

■要旨

ビデオカメラは、動画像を撮影・記録し、保存しておくことができる家庭用のカメラである。ここでは家庭用のビデオカメラを扱う。

ビデオカメラは日本で開発製品化され、世界中の人々に広く使われてきた。ここで培われた技術はその後、静止画像を撮影するデジタルカメラ、コミュニケーションの携帯電話へと引き継がれ、更に、スマートフォンやタブレット端末にも適用されている。

ビデオカメラはコンパクトにまとめられているが、数多くの基本技術が結集されたシステムである。

レンズを含む光学系、光電変換の Key Device であるイメージセンサ、高画質・高機能の画像を再現するデジタル信号処理、画像を記録する録画システム、コンパクトにまとめる高密度実装、など技術範囲は多岐に及ぶ。更に、ビデオカメラに必須である小型・軽量・堅牢・低消費電力と民生用の基本である低コスト・高信頼性が要求される。

イメージセンサは、折から急速に進められた半導体技術に支えられ、数々の特徴ある研究成果が盛り込まれて、日本の得意とする産業に発展した。綺麗な画像が欲しいという多くの日本人のこだわりが、テレビ・カメラの高画質化技術開発に拍車をかけることになり、センサ技術者とカメラ技術者の連携により、世界トップの高画質化ビデオカメラを生み出す技術の発展につながったといえよう。

ノイズを大幅に低減する埋め込みフォトダイオード、スマアを解決した FIT - CCD、光の利用を大幅に改善した内蔵マイクロレンズ、にじみを改善した VOD、インターレースを可能にした加算読み出し、残留電荷を除去する掃出し駆動、インターレースに適し、感度向上を実現した色差線順次方式、などの輝かしい国内技術が多数開発された結果、世界に冠たるビデオカメラが完成していった。

ビデオカメラとしては世界初の製品が次々と日本から出現する。1974 年ビデオカメラのルーツと言われる家庭用単管式ビデオカメラ IK-12 が東芝から製品化された。その後、撮像管を用いたビデオカメラが各種開発、製品化されていくが、1980 年には撮像管に代って固体イメージセンサを用いた世界初の単板式ビデオカメラ VK-C1000 が MOS 型イメージセンサを用いて日立製作所から製品化された。1982 年 CCD を用いたビデオカメラ TC-100 が NEC から製品化され、各社の製品化競争が激しくなる。1983 年になると録画可能な β 方式 VTR を内蔵した一体型カメラ BMC-100 がソニーから製品化された。1985 年にはカメラ内蔵を目的とした小型 VTR が開発され、VHS-C 方式ビデオカメラ GR-C1 が日本ビクターから、8 ミリ方式ビデオカメラ CCD-V8 がソニーから製品化された。1989 年にはパスポートサイズと称した小型ビデオカメラ CCD-TR55 がソニーから製品化され、本格的普及が始まった。その後、42 万画素を用いた高画質ビデオカメラ AI-XS1 が東芝から製品化され、多画素化競争が終わりを告げた。使い勝手を改良した高機能型が次々と製品化されて行った。

ビデオカメラ技術の波及効果として、1970 年カラーテレビ電話、1983 年電子内視鏡（世界初は米国であるが、現在は実質的に日本製が 7 割を占める）、1981 年親指カメラ、1989 年立体ビデオカメラなど多数の世界初製品が日本で生まれ、監視用、産業用、医療用など広く活用されている。

日本の技術開発が世界のトップに躍進できた理由は厳しい競争の中であって、技術者各自の意欲と連携によるところが大きい。CCD の初期の段階では主流であった高性能撮像管に対して性能が未達で、担当技術者は社内でも逆境にあった。その中で、将来必ず成功させるという青春の夢と意欲を持っていた。共通の強い目的意識、学会レベルで他社に悩みを打ち明け、それに快くアドバイスする指導者がいた。イメージセンサとビデオカメラ、双方の技術者で、課題提案→課題解決という見事な連鎖が築かれ、よい人材が集まり、優秀な技術者に育って行った。やがて、特許提案、IEEE など世界の学会で技術成果を次々に発表することにより、日本の技術の優位性が世界中から認知されて行った。

この分野の研究開発は 2000 年代に山を越したかに見えたが、デジタル技術とソフト技術の進歩により、新しい方向に転機を迎えている。撮像された画像から数学的手法を駆使して解像度を向上する超解像技術、ライトフィールドを捕えて、変換処理によって画像を再生するコンピュタイメーキングなどが新たに、学会の注目を集めている。環境の変化に対応して、日本の技術が再度、花を開かせる土壌が生まれつつある。新しい手法を駆使して高画質の画像を作り上げるのは日本の技術者が最も得意とするところである。

カメラ技術は限りなき前進を期待され、日本の技術開発が新しいカメラ応用製品として結実することを祈念している。

■ Abstract

The video camera is a color television camera for consumer use that makes it possible for anyone to take a moving picture. This paper surveys developments in video camera technology.

Video cameras have been developed and manufactured in Japan for several decades, and exported to global markets. Many kinds of video camera technology have been developed in Japan and applied to digital cameras, cellular phones, tablet PCs and more.

Although compact in size, the video camera is a large system including myriad basic technologies such as optical systems, imaging sensors, digital signal processing circuits and high density assemblies. Moreover, it must be small, light-weight, and durable, with low power consumption, low pricing and high reliability.

The image sensor industry in particular has evolved into one of Japan's most successful industries, supported by advanced semiconductor production technologies. The Japanese consumer expects high fidelity color picture quality, which has driven the development of various new video camera technologies, developments that have stemmed from collaboration between sensor technology and camera technology engineers.

Many successful image sensor technologies have been invented by Japanese engineers, such as pinned photodiodes that significantly reduce noise levels, FIT-CCD image sensors that resolve the problem of image smear, on-chip micro lenses that enable significantly better light utilization efficiency, VOD technology to rectify issues of image blooming, interlaced scanning read-out, residual charge sweep-out drive technology, line-sequential chrominance difference systems for increasing photographic sensitivity suitable for interlaced scanning, and pixel shift correction to deliver enhanced resolution.

The world's first video camera for consumer use, the IK-12, was developed in 1974 by Toshiba using an image pickup tube with color stripe filters. Various video cameras using a single tube were subsequently manufactured in Japan. Then the world's first solid-state single-chip video camera, the VK-C1000, was developed in 1980 by Hitachi using an MOS image sensor. In 1982, the world's first CCD video camera, the TC-100, was developed by NEC using a single-chip CCD. Then in 1983, the BMC-100 video camera was developed by Sony, using β max VCR. Later in 1985, two types of small VCR system suitable for video cameras, the VHS-C and 8mm, were developed. A VHS-C video camera, the GR-C1, was developed by the Japan Victor Company (JVC), and an 8mm video camera, the CCD-V8, by Sony. The video camera industry had truly begun to take hold of the market by 1989 when the compact "passport-sized" CCD-TR55 was released by Sony. Toshiba later went on to unveil its AI-XS1 high-resolution 420,000-pixel video camera, thereby bringing pixel-number competition to an end. Sophisticated and increasingly user-friendly video cameras then began hitting the market.

Developments in video camera technology came to be widely used in surveillance, industry, medicine and other fields, producing ripple effects whereby Japanese manufacturers began unveiling a slew of products that would represent world firsts such as the color TV telephone in 1970, a thumb-sized camera in 1981 and a stereoscopic video camera in 1989.

That Japanese video camera technologies came to dominate world markets was largely attributable to cooperation among the nation's engineers, who exhibited a strong desire to develop new technologies in the midst of a fiercely competitive environment. In the early stages of CCD development, the technology fell short compared to the then mainstream high-end image pickup tubes, a situation that vexed engineers specializing in the technology, not to mention the companies they worked for. A strong sense that they shared a common objective led engineers from competing companies to raise concerns at academic conferences, which in turn prompted sound advice from willing mentors. Eventually, patent filings and successive presentations of technological achievements at gatherings of professional associations such as the IEEE and worldwide academic conferences resulted in Japan gaining global recognition for its unparalleled technological excellence.

From here on in, expectations are still high regarding the boundless possibilities for advances in camera technology. The world is watching for new technological innovations from Japan that will further the development of the video camera.

Contents

要 旨	111	6.5	VTR 一体型ビデオカメラ	160
1 まえがき	114	6.6	多画素化	161
1.1 撮像の技術	115	6.7	ビデオカメラの実際	161
1.2 ビデオカメラの技術	116	6.8	ビデオカメラの変遷	167
2. 光学系	119	6.9	ビデオカメラ技術の応用	167
2.1 撮像レンズ	119	7. ビデオカメラ用録画機器	171	
2.2 ダイクロイックプリズム	120	7.1	概要	171
2.3 CFA	120	7.2	VTR	171
2.4 光学 LPF	120	7.3	デジタル記録メディア	171
2.5 マイクロレンズ	121	7.4	デジタル記録メディアを用いた ビデオカメラ	172
2.6 その他の光学系	121	8. 高機能化技術	173	
3. 撮像デバイス	124	8.1	概要	173
3.1 撮像デバイスの歩み	124	8.2	AE	173
3.2 撮像管	126	8.3	AF	173
3.3 CCD	127	8.4	AWB	175
3.4 CMOS イメージセンサ	130	8.5	手振れ補正	176
3.5 CMOS センサと CCD	131	8.6	顔検出・認識	177
3.6 撮像デバイスの重要技術	133	9. 高画質化技術	182	
4. カラー撮像方式—その 1—	144	9.1	コントラスト補正	182
4.1 概要	144	9.2	ダイナミックレンジ拡大	183
4.2 単管式	144	9.3	デモザイキング	184
4.3 2 管式	149	9.4	超解像技術	187
5. カラー撮像方式—その 2—	152	10. ビデオカメラ技術の系統化	195	
5.1 Bayer 方式	152	10.1	ビデオカメラ技術の全貌	195
5.2 色差線順次方式	153	10.2	ビデオカメラ技術の展開	195
5.3 その他の方式	153	10.3	ビデオカメラ技術の進展	196
6. ビデオカメラ	157	10.4	学会の役割と貢献	197
6.1 概要	157	10.5	ビデオカメラ技術の展望	203
6.2 ビデオカメラの生産高	157	11. むすび	205	
6.3 単管式カラーカメラ	158	略語集	206	
6.4 単板式カラーカメラ	159			

■ Profile

竹村 裕夫 *Yasuo Takemura*

国立科学博物館産業技術史資料情報センター 主任調査員

1962 年 3 月 早稲田大学第一理工学部電気通信学科卒業
同 年 4 月 東京芝浦電気株式会社 (現 株式会社東芝) 入社
中央研究所 配属
カラーテレビジョン撮像方式、ビデオカメラな
ど撮像機器の研究開発に従事
1994 年 9 月 同社退職 10 月東芝 AVE ㈱ 入社

2002 年 3 月 株式会社オクト映像研究所 設立
車載用カメラ開発業務
この間、電気通信大学大学院、東京工芸大学大
学院 非常勤講師
IEEE Fellow 映像情報メディア学会フェロー

1 | まえがき

ビデオカメラの技術は日本で生まれ、日本の技術者によって完成された数少ない、総合技術が結集されたものである。

家庭用映像機器にはテレビ受像機、VTR、カメラ、DVDが挙げられるが、これらはいずれも、日本の技術者によって開発が進められ、量産化が達成されてきた。

中でもカメラは放送局用のテレビカメラに始まり、家庭用のビデオカメラ、更に静止画像に特化したデジタルカメラ、コミュニケーションの携帯電話、多機能のスマートフォンと形を変えて進展し、いずれも日本の技術が世界をリードしてきた。ビデオカメラはこの流れの中でも、中心的な役割を演じ、ここで研究開発された技術が基本になって、後のカメラに引き継がれている。

カメラのKey DeviceであるCCDは発明こそ米国であったが、日本の半導体技術に支えられながら、CCD特有のプロセス技術を盛り込むことによって、性能が飛躍的に向上し、量産可能なデバイスに成長した。また、画像へのこだわりがカメラ技術者の画づくりに生かされ、数々の新しい画像処理技術を生み出し、ビデオカメラの完成度を高めて行った。

ビデオカメラの開発初期にも、すでに、高性能な放送局用カメラが実用化されていた。しかし、このカメラは熟練されたプロのカメラマンが操作するもので、しかも、放送が始まる30分前から念入りの整備調整が行われ、初めて高性能な画像が得られる代物であった。誰でもが使える家庭用カメラにはほど遠いものであった。

放送局用カメラを家庭に持ち込むための要件は、まず、小型、軽量、堅牢、無調整であった。これにはカメラの基本性能を向上することが第一に必要であった。このため、使えるレベルのイメージセンサの開発が急務であった。その上で、小型・軽量化には3枚のCCDを1枚にして色分解プリズムをなくすこと、このために単板式カラー撮像方式の開発が不可欠であった。更に、イメージサイズを小さくした上で、撮像レンズを小型軽量にする必要があった。更に、回路を洗練して調整箇所をなくすことによって、部品点数を減らしたうえで、LSI化をする。コンパクトにまとめるために小型実装技術も必要とした。

一方、撮影しやすくするためには、露光、フォーカス、色温度の調整を自動化しなければならない。そこ

で、光学メーカーとの共同作業で、AI、AF、AWBが生まれた。手持ち撮影のためには手振れ補正も必要になった。

ここではこれらの技術開発経緯を詳細に、資料に基づき述べるとともに、如何にして日本の技術開発が世界のトップに躍進できたかを明らかにしていきたい。

第1章はまえがきとビデオカメラの生い立ちを概観し、第2章は被写体像を効率よく結像するための光学系、第3章はkey Deviceであるイメージセンサ、第4章は単管式を中心としたカラー撮像方式、第5章はCCDを中心としたカラー撮像方式、第6章は本報告書のかなめのビデオカメラ、第7章はカメラ用記録装置、第8章はよい画像が撮れるために必要な高機能化処理、第9章は高画質化のために必要なデジタル信号処理、第10章で系統化を述べた。

本報告書の趣旨に合わせているため、技術解説の記載は殆ど省いている。技術の内容を理解したい読者の方は下記図書を参照して頂きたい。

【参考図書】

- (1) 寺西信一監修 電子情報通信学会編：画像入力とカメラ、現代電子情報通信選書 知識の森、オーム社刊、2012年6月刊。
- (2) 蚊野浩監修 映像情報メディア学会編：デジカメの画像処理、オーム社刊、2011年4月刊。
- (3) 竹村裕夫：CCD・CMOSカメラ技術入門、コロナ社刊、2008年4月。
- (4) 畑田豊彦、ほか：眼・色・光 より優れた色再現を求めて、日本印刷技術協会刊、2007年12月。
- (5) 米本和也：CCD/CMOSイメージセンサの基礎と応用、CQ出版社、2003年8月。
- (6) 映像情報メディア学会編、和久井孝太郎監修：テレビジョンカメラの設計技術、コロナ社、1999年8月。
- (7) 相澤清晴、浜本隆之編著：CMOSイメージセンサ、コロナ社、2012年8月
- (8) 黒田隆男：イメージセンサの本質と基礎、コロナ社刊、2012年8月

1.1 撮像の技術

撮像技術のルーツは1884年ニポー (Paul Nipkow) の機械式撮像装置と言えよう。その根拠はドイツの特許にあり、1884年1月に出願され、その翌年、1885年1月に登録になっている⁽¹⁾。その記念すべき特許の一部を図1.1に示す。この明細書には図1.2のように、円板式の撮像装置の構想が示されている。しかし、このアイデアを実用化する人はしばらく現れなかった。



図 1.1 Nipkow 特許の一部

1926年になって、英国のベアード (John Logie Baird)⁽²⁾ が Nipkow の円板を用いてテレビジョンの実験に世界で初めて成功した。この記念すべき日は1926年1月26日であった⁽³⁾。1927年には Glasgow と London 間 438 miles の遠隔伝送に、更に、1928年には London と New York の大陸間伝送に成功した。

一方、1923年にツヴォルキン (Vladimir Kosma Zworykin)⁽⁴⁾ は全電子式テレビジョンを發明、1930年に電子式カメラを可能とする撮像管、アイコノスコープを發明した。

先行していた機械式には高画質化ができないという基本的な課題があり、撮像管、受像管 (いわゆるブラウン管 Cathode ray tube) を組み合わせた電子装置が現れると窮地に陥った。

BBC では1935年、405本の走査線を有する Marconi の全電子式と240本の Baird の機械式との評価を行い、全電子式を採用することになった⁽⁵⁾。

これらの世界の動きに対し、国内では浜松高等工業の高柳健次郎と、早稲田大学の山本忠興と河原田政太郎のグループがそれぞれ独自に研究開発を行っていた。1930年3月に、両方式は東京日比谷の市政会館で開催されたラジオ放送5周年の記念展覧会で初めて

公開された⁽⁶⁾。

その後、1940年に開催が予定された東京五輪のテレビジョン中継を目指して、NHKは総力を挙げて開発に取り組んだ。浜松工高の高柳も開発部長として参加し、1939年にはテレビ実験放送も開始された。しかし、国際情勢の悪化により東京五輪が中止、第二次世界大戦の開始で全てのテレビジョン開発が中断された。

この後の動きも含めて、表1.1にテレビジョンの簡単な歴史を示す。

戦後いち早くテレビジョン同好会が発足され、テレビジョンの開発が始まった。当初は大戦の影響が大きく、米国に大きく後れを取っていた。

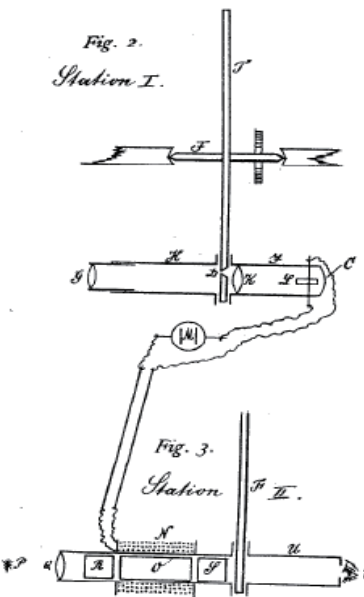
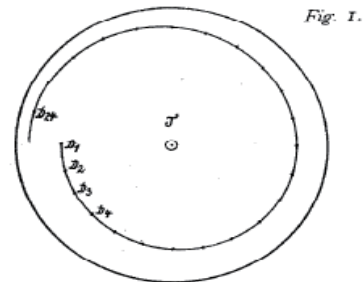


図 1.2 Nipkow の円板

表 1.1 テレビ関連の歴史 文献 (1)-(8) 等を参照してまとめた

年		人名・機関名	項目	備考
1884	明治 17 年	ニプコー	ニプコー円盤の発明	
1897	明治 30 年	ブラウン	ブラウン管発明	
1923	大正 12 年	ツヴォルキン	全電子式テレビジョンの発明	
1925	大正 14 年	ベアード	機械式走査世界初のテレビ発明	
1926	大正 15 年	高柳健次郎	「イ」の字再生に成功	
1930	昭和 5 年	山本、河原田、高柳	早稲田大学方式と浜松高等工業方式テレビの公開	
		ツヴォルキン	アイコノスコープ撮像管原理特許の発明	
1933	昭和 8 年	ツヴォルキン	アイコノスコープ発表	
1935	昭和 10 年	東京電気、	国産初のアイコノスコープ撮像管開発	
1936	昭和 11 年	BBC	テレビ放送開始 走査線 441 本、25/s インタレース	
1937	昭和 12 年	高柳指導の下 NHK	東京五輪目標にテレビジョン開発着手	
1939	昭和 14 年	NHK	テレビジョン実験放送	
1941	昭和 16 年		実験放送中止、研究開発中止	
1946	昭和 21 年		テレビジョン同好会発足	
1950	昭和 25 年		テレビジョン学会設立	
1953	昭和 28 年	NHK	テレビ本放送開始*	2月1日
		日本テレビ放送網	民放テレビ局開局	8月28日
1960	昭和 35 年		カラーテレビ本放送開始	9月10日
1963	昭和 38 年		日米間テレビ衛星中継受信実験成功**	11月23日
1969	昭和 44 年		アポロ 11 号人類初の月面第一歩 宇宙中継	7月21日
1989	昭和 64 年		衛星本放送開始	6月1日
			ハイビジョン(アナログ) 実用化試験放送開始	11月25日
2000	平成 12 年		BS デジタル放送開始	12月1日
2003	平成 15 年		地上デジタル放送開始	12月1日
2011	平成 23 年		アナログテレビ放送終了***	7月24日

* 4 時間 / 日 受信契約 866 件

** ケネディ米大統領暗殺速報

*** 震災の影響で岩手、宮城、福島各県が除かれた

1.2 ビデオカメラの技術

1940 年代から 1950 年代のテレビジョン黎明期にはテレビジョン用のカメラは白黒で、何とか画像が撮れる、ハーフトーンが再現されるという時代であった。その後、1964 年の東京オリンピックでは国産の 2 管式カラーカメラが入場式の風景を鮮やかに映し出すことに成功、新装なった国立競技場の大観衆の中で坂井選手の持つ聖火の煙がたなびく姿が全国に同時に中継放送された。この美しいカラー画像は今でも目に焼きついている。1970 年に、大阪で万国博覧会が開催されると世界各国の踊りや民族衣装が毎晩放映されるに至ってカラーカメラの画質が向上し、カラーテレビ受像機の普及が急速に進んだ。次第に、番組を記録に残しておきたいという要求が急速に広まり、家庭用の VTR (Video Tape Recorder 磁気録画装置) が普及していった。

一方、放送用カメラはプロの技術者が使いこなしていく装置であって、当初は放送が始まる前から入り念な調整を施すことによって初めてカラー画像が得られるというカメラであった。したがって、当初から民生用を目指した受像機に比べて、ビデオカメラは研究開発が著しく遅れていた。

録画装置の VTR が家庭用として普及し始めると、画像を自分たちで撮りたいという要求が大きくなり、家庭用の撮像装置、ビデオカメラが注目され、日本メーカーが競って研究開発に参入、注力し始めた。後に、デジタルカメラ、携帯電話、スマートホン、タブレット端末と形態を変えて、大きな産業を築き上げることになるが、基本技術はこのビデオカメラで培われたものが多い。

従来の放送用カメラと大きく異なるのは使う人がアマチュアであるため、誰でも、どこでも、安心してよい画像が撮れることが必要であった。更に、普及させるためには小型軽量、品質が均一で、量産可能、しかも低価格で売れる製品を作り上げる必要があった。

ここに、日本の技術者が苦勞し、切磋琢磨して世界に誇る技術が多数生まれる素地があったといえよう。

以下で、これら技術開発の根幹に迫る事実をエピソードと共に明らかにしていきたい。

その後、ビデオカメラ、デジタルカメラ、カメラ付携帯電話などの家庭用機器が普及するにつれ、目的とするカメラが色々と変化してそれぞれに特有の技術が進歩してきた。

他の産業は一つの製品が完成し、普及するとやがては衰退の道をたどったのに対して、カメラ技術は次々に形を変えて、新製品を生み出して行った。



図 1.3 時代をリードした主要なカメラ技術の変遷

図 1.3 には主要なカメラと牽引してきたカメラ技術を示した。目的とした画像が少しずつ違って、研究開発が行われてきた様子が理解できよう。今後は乗用車に搭載される車載カメラや教育・介護などの知的カメラに幅広い用途が期待されている。

他にも、セキュリティに必須な監視カメラや医療の現場で活躍する内視鏡、組み立て現場での産業・工業用カメラ、科学研究用の高速度カメラなど撮像技術は広範囲に活用されている。

ビデオカメラに特徴的なのは日本の産業に貢献してきたことである。テレビやVTRがいち早く価格競争に巻き込まれた結果、多くは海外に拠点を設けて海外生産が増加し、国内の産業、雇用の創出の機会を失って言った。これに対し、ビデオカメラは優れた技術の積み重ねと、Key DeviceのCCDの量産が国内メーカ

の独壇場であったので、長らく映像機器の中心となってきた。

図 1.4 は映像機器の金額ベースでの国内生産実績を示したもので、2004年～2005年にはビデオカメラとデジタルカメラを加えたものが金額ベースで半数近くを占めている。表 1.2 にこれらの数値を示す。

ところが、2年後の2008年になると図 1.5 のように、さすがにカメラにも陰りが見られ始める。

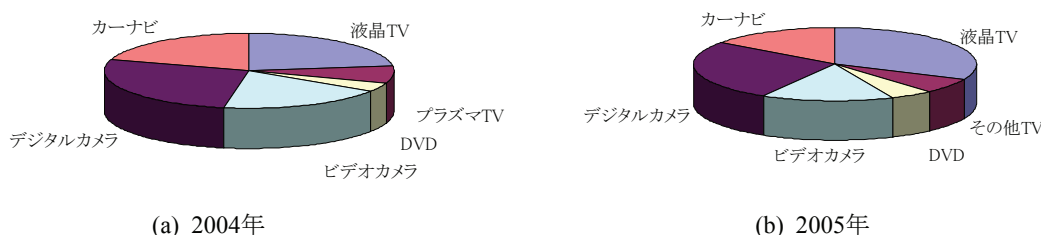
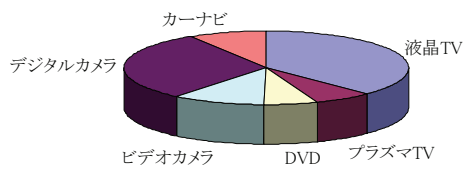


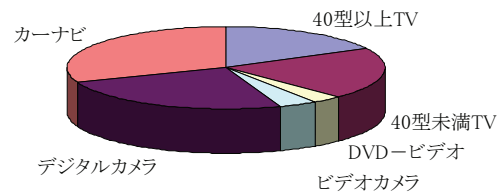
図 1.4 映像機器国内生産実績その1 (金額での比較)⁽⁹⁾ ほぼ半数がカメラ -

表 1.2 国内映像機器の生産実績(単位:十億円)⁽⁹⁾

	2004年	2005年	2008年		2011年
液晶TV	550	874	875	TV	
プラズマTV	173	-	158	40型以上	258
その他TV	-	182		40型未満	300
DVD	94	138	142	DVD-ビデオ	46
ビデオカメラ	439	418	246	ビデオカメラ	58
デジタルカメラ	650	736	706	デジタルカメラ	370
カーナビ	476	416	211	カーナビ	461



(a) 2008年



(b) 2011年

図 1.5 映像機器の国内生産実績その2 (金額での比較)⁽⁹⁾ - カメラに陰りが見える

文 献

- (1) Paul Nipkow : Elektrishes Teleskop, Patentschrift No.30105, 1885年1月15日登録、1884年1月6日出願。
- (2) Russell Burns : John Logie Baird, Television Pioneer, IEE History of Technology Series 28, The Institution of Electrical Engineers, 2000 (国立科学博物館所蔵)。
- (3) The "Televisor" Successful test of new apparatus, The Times, p9, Column C, 28 January 1926.
- (4) Albert Abramson (foreword by Eric Barnouw) : Zworykin Pioneer of Television, University of Illinois Press, 1995 (国立科学博物館所蔵)。
- (5) BBC History, http://www.bbc.co.uk/history/historic_figures/baird_logie.shtml
- (6) 高柳健次郎：テレビ事始、有斐閣、1986年。
- (7) テレビは進化する - 日本放送技術発達小史、<http://www.nhk.or.jp/str/aboutstr/evolution-of-tv/index.html>
- (8) 映像情報メディア学会編、和久井孝太郎監修：テレビジョンカメラの設計技術、コロナ社刊、1999年8月。
- (9) 経済産業省生産動態時計 映像機器生産実績表による

2 | 光学系

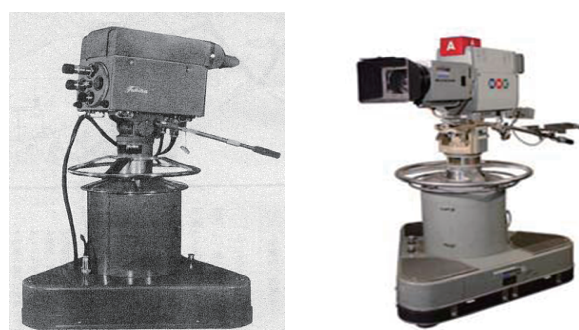
カメラ用光学系は撮像レンズ、光学 LPF、ダイクロミックプリズム、CFA(Color Filter Array: 色フィルタアレイ) など多岐にわたる。

ここでは全てを述べるスペースがないので、主要な技術開発の経緯を記載する。

日本の光学技術は海軍の潜水艦潜望鏡で蓄積されてきた技術が基本と言われる。日本光学(現在のニコン)は1930年頃から海軍用兵器を製造していた。1932年に、陸軍が独自に製造を開始するにあたって、服部時計店精工舎が出資、勝間光学機械製作所を買収して、東京光学機械(現在のトプコン)が設立された⁽¹⁾。海軍の日本光学、陸軍の東京光学と言われるように、東京光学では測遠機、照準器などが作られ、技術開発が進められた。なお、キヤノンは1934年に精機光学研究所として設立、1934年には国産初のフォーカルプレーンシャッターカメラを試作している。また、ニコンは東京計器製作所の光学部門と岩城硝子製作所の反射鏡部門を統合、三菱合資会社社長岩崎小弥太の出資により日本光学工業(株)として1917年に設立された⁽²⁾。カメラ用光学系について主要な技術を表2.1に示す。

2.1 撮像レンズ

撮像レンズはカメラの画質を左右する重要な光学部品である。1950年代では図2.1(a)に示すように、異なる焦点距離のレンズ3-4本を備え、ターレット式と言って、所望のシーンに合わせてこれらを交換して撮影していた。動画像の撮像を目的とするテレビカメラではズームレンズが必須であることから、ズームレンズの開発が行われ⁽³⁾⁽¹⁰⁾、図(b)に示すように、標準装備で



(a)ターレット式レンズ装着 (b)ズームレンズ装着

図 2.1 放送用カメラとレンズ

表 2.1 カメラ光学技術の年表

文献(44)を参照してまとめた。

年	メーカー	項目
1958	キヤノン	国産初のテレビカメラ用ズームレンズ開発
1959	キヤノン	国産初のスタジオズームレンズ 45-200mm/F2.8 開発、
1964	フィリップス	ダイクロミックプリズム使用 3P(プランピコン) カメラ発表(13)
1965	富士写真光機	3 インチ IO カメラ用高性能 10 倍ズームレンズ 80-800mm/F2.0 野球中継放送などで活躍
1967	東芝	黒レベル安定化(篠崎健吉)(41)
1968	キヤノン	1.25 インチプランピコンカメラ用スタジオズームレンズ(P10 × 20) 開発
1969	NASA	アポロ 11 号宇宙船から全世界にカラーテレビ生中継(面順次)
1970	富士写真光機	TK-301 用 10 倍/F1.6 ズームレンズ(R10 × 16) NHK 全局カラー化の標準カメラに搭載
1970	キヤノン	パイアスライト組込み 3 色分解プリズム(14) プランピコン固有の残像低減
1971	日本コロムビア	複屈折を用いた水晶フィルタ(長原脩策)(30)
1972		回折格子型位相フィルタ(R.L.Townsend)(31)
1976	富士写真光機	ENG 2/3 インチカメラ用 10 倍/F2.0 ズームレンズ(A10 × 10.5) 開発 小型軽量
1976	コダック	Bayer 方式発明
1980		初のオートフォーカス搭載テレビレンズ(P18 × 16 B-AF) 開発 アクティブ AF-TTL 方式 TTL(Through the Lens)
1982	キヤノン	1 インチカメラ用高倍率ズームレンズ(PV40 × 13.5) 開発 1984 年開催ロスアンゼルス五輪で活躍
1983	NEC	オンチップマイクロレンズ(32)
1984	キヤノン	1 インチ HDTV カメラ用ズームレンズ(PV14 × 12.5HD) 開発
1986	東芝	直径 16.5mm カメラ用超小型レンズ開発
1989	東芝	立体カメラ用複眼レンズ開発
1993	キヤノン	可変頂角プリズムを搭載した放送用初の光学防振レンズ J14a × 17KRS-V 開発
1993	富士写真光機	ENG 用非球面 10.5-378mm, F2.0, 36 倍ズームレンズ A36 × 10.5 開発

ズームレンズが付いたカメラとなった。1958年にはキヤノンが国産初のズームレンズを開発している⁽²⁾。放送局用カメラはダイクロイックプリズムを有する3管式、3板式が主流であったので、プリズムを装着するためにバックフォーカスを長くする必要があり、設計上の制約があった。その後、家庭用では単管式、単管式が主流になり、この制約はなくなった。その反面、RGBの画像を同一平面上に結像する必要があり、色収差を最小限にする設計が必要になった。その後、HDTV時代になって高解像度化が必要になった⁽¹¹⁾⁽¹²⁾。

ビデオカメラでは手軽に誰もが使えることが必要なことから、まず、光量調整で自動絞りが搭載され、その後、オートフォーカスが普及し、更に、手振れ補正が入るようになった。また、小型軽量化競争が盛んで、プラスチックレンズの採用、非球面レンズの導入により、レンズ枚数が減少していった。

2.2 ダイクロイックプリズム

ダイクロイックプリズムは図2.2に示すように、レンズから入射した光線をRGB3色光学像に分解して結像させる光学部品である。1960年 Philips から提案され⁽¹³⁾、3管式、3板式には必須の光学部品になった。3個のプリズムで形成され、第1面でB光線が、第2面でR光線がそれぞれ選択的に反射されるので、透過光線はG光線だけになる。反射されたRB光線はいずれも2回の反射で結像されるので、G光線と同じ倒立像となるのが特徴である。

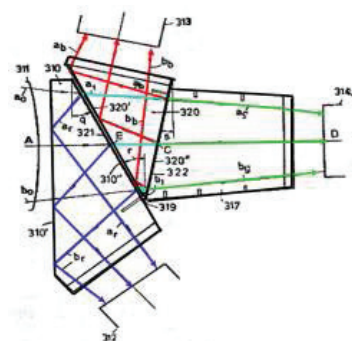


図 2.2 ダイクロイックプリズム⁽¹³⁾

その後、プランビコン撮像管の残像低減のためにバイアスライトが効果があることがわかり、バイアスライト組込みダイクロイックプリズムが開発された⁽¹⁴⁾。

3板式用ではダイクロイックプリズムに直接 CCD を高精度に固着させる技術が開発された⁽¹⁵⁾⁽¹⁷⁾。撮像

管と違って、CCDでは感光面が画素配列で精度よく決まり、変動することがないので、これにより、運用中にRGB画像の色ずれが生じる不具合が解消された。

その後、高級タイプのビデオカメラにも3板式が使われるようになり、CCDを高精度に固着させる自動化技術が開発され、本格的量産が可能になった。

2.3 CFA

カメラ用CFAでは1976年コダックからBayer方式が提案され⁽¹⁸⁾、RGB原色タイプのCFAの主流となった。

当初、単管式カメラの色フィルタはストライプタイプが主流であり、撮像管の工程で高熱処理が必要であったため、多層干渉膜が用いられた。30数層に蒸着された多層干渉膜を逆エッチングで十数ミクロンの幅でストライプ状に形成する技術が東芝で開発され、富士写真光機で量産化された。これにより、カラー用撮像管、クロミコンが製品化され⁽¹⁹⁾、世界初の単管式ビデオカメラの誕生につながった⁽²⁰⁾。

1980年以降はCCDの開発と共に、CFAの開発競争が始まり、CCDの上にCFAを高精度で張り合わせる方式が採用された。安価に製造するために干渉膜の無機フィルタから染料の有機フィルタに代わって行った。CFAが印刷技術で作れることがわかり、凸版印刷、大日本印刷など印刷会社がビデオカメラの製造にかかわるようになった。

一方で、CCDとCFAを別々に作って張り合わせる方法では工程が複雑になると共に、ごみの管理がしにくいことから、CCDの上にダイレクトにCFAを形成する技術開発が進んだ⁽²¹⁾⁽²⁶⁾。

2.4 光学LPF

CFAを用いてCCDから色信号を取り出す場合、サンプリングすることになるので、図2.3に示すように、被写体にサンプリング周波数の1/2以上の高周波成分

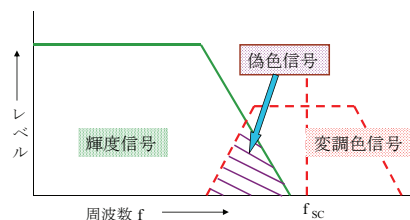
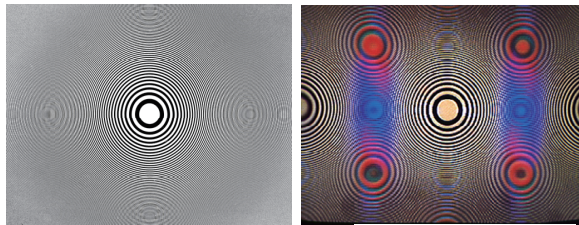


図 2.3 偽色信号発生の要因

表 2.2 光学 LPF の種類

種類	構成	特徴
水晶板	人工水晶の結晶の複屈折を利用 CCDカメラの殆どに用いられている	厚さによって任意の特性が可能 比較的急峻なカットオフ特性
レンチキュラー	かまぼこ型円筒レンズを並行に 並べたもの	ピッチ、曲率の選定で任意の特性 レンズの瞳位置に設ける
位相フィルター	位相差を与える凹凸をストライプ、 または格子状に形成	色で異なるカットオフが得られる レンズの瞳位置に設ける
クリスチャンセン フィルター	特定の波長で異なる特性を持つ 散乱物質を液体中に分散。	色で異なるカットオフが得られる 方向性が出しにくい

が含まれていると折り返し成分と重なって、偽信号が発生する。図 2.4(a) は中心から外側に向かってリングの幅と間隔がが次第に狭くなっている CZP(Circular



(a) CZPチャート (b) 偽信号の発生

図 2.4 偽色信号発生 の要因

Zone Plate) チャートで、これを撮影すると図 (b) に示すように、本来ない部分に無数のリングが見えてくる。これらが全て偽信号である。偽信号をなくすには被写体の高周波成分を落とせばよい。この目的で、光学 LPF が用いられている⁽²⁷⁾⁽²⁸⁾。これには表 2.2 のような種類がある⁽²⁸⁾。現在用いられるのは大部分が結晶の複屈折を用いた人工水晶フィルタ⁽²⁹⁾⁽³⁰⁾で、一部に回折格子型位相フィルタ⁽³¹⁾がある。

2.5 マイクロレンズ

CCD は表面に設けられたフォトダイオード部分に入射した光が光電変換に寄与するだけであって、その他の部分に入った光は無効になってしまう。このため表面に何も処理をしないと光の利用率は 20 ~ 30% 程度に低下する。

これを改善するために、フォトダイオードの上部にマイクロレンズを設けて光の利用率を向上する方法がとられている。これも CFA と同様に、CCD の表面に一体構造で形成される。

最初の発表は 1983 年に NEC から行われている⁽³²⁾。その後、量産化され感度向上に寄与している⁽³³⁾⁽³⁴⁾。

最近では画素の微細化に伴い、フォトダイオードの位置が相対的に表面から深くなり、光が有効に到達

しなくなってきた。これを改善するために、層内レンズを設けて改善を図るなど数々の改善が施されている⁽³⁵⁾⁽⁴⁰⁾。

2.6 その他の光学系

次に、黒レベルの基準を得る方式と色再現について記す。

2.6.1 OB (Optical Black)

映像信号では黒レベルの基準が安定していないと色バランスが崩れ、また、画面が暗い、明るいなど安定しない。この安定化には基準電位を設けてこのレベルで映像信号をクランプする。

基準電位を設けるために必要なのが OB である。OB は撮像管時代に既に東芝から図 2.5 が提案されている⁽⁴¹⁾。現在の CCD、CMOS イメージセンサを通して全てに用いられている重要な技術である。

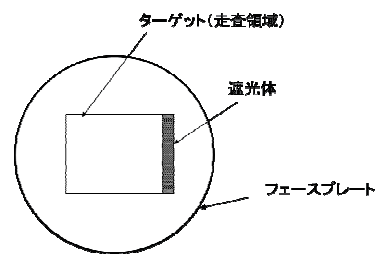


図 2.5 OB の実際⁽⁴¹⁾

2.6.2 色再現

カメラでは色再現は重要な技術で、放送用カメラを中心に広く研究開発が行われてきた⁽⁴²⁾⁽⁴³⁾。

表示デバイスの 3 原色の色特性に基づき計算された結果に補正を加え、原色フィルタの分光特性は図 2.6 のような特性が用いられている。

一方、照明の色温度、波長分光特性も重要であり、屋外、屋内の切り替えはもとより、照明の色温度によっ

てホワイトバランスが自動的にとれるようにカメラは設計されている。

ここでは多くのスペースがとれないので、参考文献の記載にとどめる。

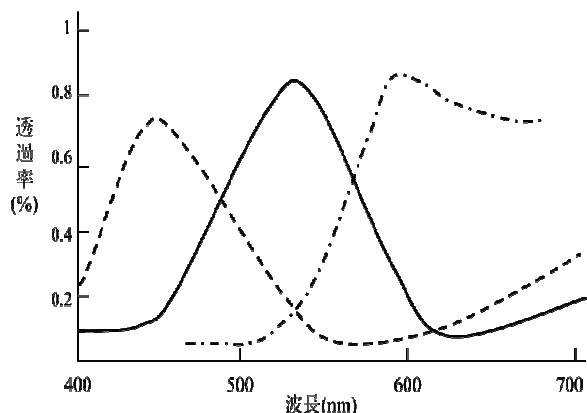


図 2.6 RGB フィルタ分光特性の一例

文献

- (1) 白澤章茂：トプコンカメラの歴史 カメラ設計者の全記録、朝日ソノラマ刊、2007年4月。
- (2) ニコン：カンパニーの歴史、<http://www.ave.nikon.co.jp/profile/history/chronology/index.htm> 2013.2.9 現在
- (3) 山路敬三：ズームレンズの光学設計に関する研究、キヤノン技報、3, Nov. 1964
- (4) 松居吉哉：レンズ設計法、共立出版、1972年
- (5) R.Kingslake：The Development of Zoom Lens, SMPTE J., Vol.69, pp.534-544, 1960.
- (6) 山路敬三：ズームレンズの光学設計に関する研究、キヤノン研究報告、No.3, 1964.
- (7) 大島茂：3-CCD カメラ用ズームレンズ、テレビ学技報、Vol.12, No.36, pp.31-36, Sep. 1988.
- (8) 大西：Standardization of Design Parameters for CCD Camera Lenses, SMPTE J., pp.647-650, Sep. 1989.
- (9) 岸川：光学入門、オプトロニクス社、1990.
- (10) 竜岡静夫：ズームレンズ、テレビ誌、Vol.23, No.5, pp.346-354, 1969年5月
- (11) 片桐克夫：HD テレビジョン用撮影レンズ、テレビ学技報、Vol.14, No.53, pp.29-34, Sep. 1990.
- (12) 大島茂：HDTV用ズームレンズ、光学、Vol.23, pp.100-101, Feb. 1994.
- (13) ヘンドリーグ デラング、ジースベルタス ブーフイス：対物レンズを背後に配設させた色分離プリズム系を具えるテレビジョン撮像装置、特公昭 38-23724、1963年12月7日（優先権主張 1960年8月2日オランダ）
- (14) 大久保、関口：キヤノンバイアスライト、キヤノンイメージ、Vol.5, 1970
- (15) 袋敏洋：テレビジョンカメラの固体撮像素子取付構造、実開昭 59-39580.
- (16) 坂下昭夫、綿貫光康：固体撮像素子の取付装置、特開昭 61-135279,
- (17) 金山茂弘、田中和人、伊藤昌紀：固体撮像素子の取付構造、実開昭 62-47288
- (18) B. E. Bayer：Color Imaging Array, U. S. Patent, 3,971,065, July 20, 1976.
- (19) 舟橋行平、竹村裕夫、本山博：クロミコン-ストライプフィルタ内蔵ビジコン、東芝レビュー、Vol.28, No.9, pp.1017-1022, Sep. 1973.
- (20) 竹村裕夫：家庭用単管式カラーカメラの開発、映像情報メディア学会誌、Vol.60, No.6, pp.879-882, June 2006.
- (21) K. Shimomura, et al., "Novel Synthetic Aqueous Photoresist for CCD Micro Color Filter," SPIE, 2195-72.
- (22) H. Aoki, et al., "Advanced Complementary Color Filter Technology without Dyeing Process for CCD Image Sensors," SPIE, 3333-132.
- (23) Y. Inaba, et al., "Degradation-Free MOS Image Sensor With Photonic Crystal Color Filter," IEEE Electron Device Lett., vol.27, no.6, pp.457-459, Jun. 2006.
- (24) 和田孝道、照井康明、吉野 優、大田善夫、"固体撮像装置及びその製造方法、" 特許公報、特願昭 51-151123, Dec. 1976.
- (25) 中野寿夫、谷口彬雄、金子忠男、筒井 謙、橋本通晰、小池紀夫、泉 章也、笹野 晃、"固体撮像素子用オンウエハ色フィルタ、1980 テレビ全大、1980年
- (26) 長原、津田、樋口、城崎：小型カラーカメラにおける色フィルタ技術、テレビ誌、Vol.35, No.3, 1981年
- (27) 佐柳和男、"Optical Noise Filter," 応用物理、27-10, pp.623-632, Oct. 1958.
- (28) 竹村裕夫：CCD・CMOS カメラ技術入門、コロナ社刊、2008年4月。
- (29) 長原脩策、"撮像面多重利用カラーテレビカメラの現状と動向、" 昭 48 連大、273.

- (30) 長原脩策, 小林義和, 信時三郎, 高木俊彦, “周波数多重化単管カラーカメラの開発,” テレビ誌, 26-2, pp.104-110, Feb. 1972.
- (31) R. L. Townsend, “Spatial-Frequency Filter for a Kell-Type Color Camera,” J. Appl. Opt. pp.2463-2472, 1972.
- (32) Y. Ishihara, et al., “A high photosensitivity IL-CCD image sensor with monolithic resin lens array,” IEDM Tech. Digest, pp.497-500, Dec. 1983.
- (33) Y. Sano, et al., “Submicron Spaced Lens Array Process Technology for a High Photosensitivity CCD Image Sensor,” IEDM Tech. Digest, pp.283-286, Dec. 1 990.
- (34) MEL/MEC (Panasonic), SONY, “Pioneering Developments in MICROLENS Technology for CCDs Used in ENG Cameras,” EMMY AWARD, The National Academy of Television Arts and Sciences, Technical/ Engineering Achievement Awards Committee Data Inquiry, Oct. 1994.
- (35) 佐野義和, 重田陽子, 小林美千代, 青木裕光, 梅田卓也, 上坂 渡, 塚本 朗, 千田浩之, 新添真人, “オンチップ層内レンズ技術による CCD 撮像素子光電変換特性の向上,” テレビ誌, vol.50, no.2, pp.226-233, Feb. 1996.
- (36) 武藤秀樹, “CCD の形状・光学・デバイス統合シミュレーション,” テレビ年次大, pp.89-90, 1995.
- (37) 武藤秀樹, “層内レンズ構造の 3 次元波動光学シミュレーション,” 映像情報メディア技報, vol.23, no.49, pp.7-12, IPU'99-46, Jul. 1999.
- (38) 廣田 功, 古川順一, 高村洋二, 和田隆宏, 慶児幸秀, 大塚洋一, 西堀一彦, 建部竜太郎, 北山尚一, 志村雅之, 松井拓道, “1/3 インチ有効 38 万画素 IT 型 CCD 撮像素子,” テレビ技報, vol.16, no.18, pp.7-12, IPU'92-8, CE'92-9, Feb. 1992.
- (39) K. Toshiakiyo, et al. “A MOS Image Sensor with Microlenses Built by Sub-wavelength Patterning,” 28.8, ISSCC, Feb. 2 007.
- (40) K. Onozawa, et al, “A MOS Image Sensor with a Digital-Microlens,” IEEE Electron Device Lett., vol.27, no.6, pp.457-459, 2006.
- (41) 篠崎健吉: 黒レベル安定化テレビジョン送像装置、特公昭 42-23381、1967 年 11 月 13 日
- (42) A. H. Jones : Optimum color analysis characteristics and matrices for color television cameras with three receptors, SMPTE J., Vol.77, No.3, 1968.
- (43) 齋藤利也: カラーカメラの色再現、テレビ誌、Vol.23, No.1, pp.2 -12, 1969 年 1 月。
- (44) 和久井孝太郎: 電子メディア総合年表、NEW MEDIA 誌、 pp.29-136, 1997 年 1 月。

3 | 撮像デバイス

3.1 撮像デバイスの歩み⁽¹⁾

ビデオカメラの key element である撮影デバイスがどのように進展してきたのか概観する。

3.1.1 撮像管

ビデオカメラに最初に使われた撮像デバイスはビジコンという撮像管であった。初期の10年ほどは撮像管が使われていたが、1970年にベル研究所から CCD の発表があると、内外のメーカーは一斉に研究開発を進め、日本の半導体技術の進歩に歩調を合わせて研究開発が進み、80年代後半には撮像管から CCD に置き換わっていった。

撮像デバイスの歴史を振り返ってみると、表 3.1 のようにまとめることができる。撮像デバイスはテレビ用のカメラとして、1884年のニポールの円盤と呼ばれる機械式が最初といわれている。これから約50年後の解像管は初めての電子式であったが、蓄積動作がないため、感度が著しく劣っていた。アイコノスコープはこれを改善したもので、蓄積型撮像管の最初のものであった。これを改良したイメージオルシコン (IO) が

白黒テレビ放送の時代に活躍し、カラー放送の初期に使われた撮像管であった。しかし、IO は特性は優れているが、使用前に電子ビームなどの念入りの調整を必要とし、一般用に使えるものではなかった。

次に、光量に応じて電気抵抗が変化する光電効果を用いた光導電型撮像管が出現する。RCA の Weimer らが考えた Sb_2S_3 を光導電膜に用いたビジコンは産業用、家庭用のカメラに盛んに用いられた。

世界初の家庭用単管式カラーカメラは色フィルタ内蔵のビジコンが使われたもので、1974年東芝から当時の価格 298,000 円で発売された。本格的な家庭用カラーカメラのルーツであった⁽²⁾。

ビジコンは残像が多いのが欠点であったが、光導電膜に PbO を用いたプランピコンはこれを解決し、放送局用の3管式カラーカメラには殆どの機種で採用された。

3.1.2 固体撮像デバイス

撮像管に対し、半導体で構成された撮像デバイスを総称して固体撮像デバイスと呼ぶ⁽³⁾。実用的な固体撮像デバイスの研究開発は CCD の発明⁽⁴⁾⁽⁵⁾以降になる。当初は BBD⁽⁶⁾、CID⁽⁷⁾⁽⁸⁾を含めて CTD (Charge

表 3.1 ビデオカメラ用撮像デバイスの変遷

種類	名称
機械式	ニポールの円盤 (1884年 Nipkow)
電子式	解像管・Image Dissector (1931年 Farnsworth)
	アイコノスコープ (1933年 Zworykin)
イメージ型	イメージオルシコン (1946年 Zworykin)
	SEC(1964年 Westinghouse)
	SIT(1971年 RCA)
光導電型	ビジコン (1940年 RCA)
	プランピコン (1962年 Philips)
	カルニコン (1971年東芝)
	サチコン (1972年 NHK・日立製作所)
	ニューピコン (1974年松下電器)
像倍型	HARP管 (1994年 NHK)
固体	
XY アドレス	ホトスキャナ (1963年 Honeywell)
	TFT(1964年 RCA)
	スキャニスタ (1964年 IBM)
	Phototransistor Array(1966年 Westinghouse)
	MOS型イメージセンサ量産 (1981年日立製作所)
電荷転送	BBD(1969年 Philips)
	CCD(1970年 Bell)
	CID(1971年 Philips)
	CPD(1979年松下電器)
	アコーデオン CCD (1984年 Philips)
	CSD(1984年三菱電機)
CMOS	CMOS センサ (1993年 Fossum)

Transfer Device、電荷転送素子)とも呼ばれていた。

3.1.3 CCD

CCDの出現によって、固体撮像デバイスの研究開発は一気に加速されていくことになった⁽⁹⁾。日本では東芝、NEC、日立製作所、松下電子工業、ソニーなど大手半導体メーカーが一斉に研究開発に乗り出した。1980年代はテレビジョン学会(現在、映像情報メディア学会)でイメージセンサの研究会を開くといつも会場に入りきれないほどの技術者が集まり、閉会後もメーカー間の垣根を越えて、夜遅くまで熱心にアイデアを考え、議論して、技術力の向上を図り、力を合わせて製品化を目指していた⁽¹⁰⁾⁽¹¹⁾。これが現在の日本の撮像技術が世界トップになったエネルギーであろう⁽¹²⁾⁽¹³⁾。

CCDが中々製品化されなかった最大の理由は製造工程中の傷欠陥とゴミとの戦いであった。イメージセンサでは大面積の感光面を持ち、20万画素のセンサが無欠陥で動作しなければならない。各メーカーは量産化に見込みをつけて、製品化の報道発表をしても実際の製品が出てくるまでにかかなりの時間を要していた⁽¹⁴⁾⁽¹⁵⁾。

3.1.4 CMOS イメージセンサ

ビデオカメラの撮像デバイスではCCDで決まりと思われていたが、カメラの小型化、LSIの高集積化の期待から90年代後半から新たな撮像デバイスの動きが出てきた。CCDは高性能な特性を得るために、±の3.5V程度の電源の上に、10V近くの高圧電源が必要であった。このために、回路部分も含めた1チップ化が困難であった。

このような状況下で、1993年E. R. Fossumがアクティブ型CMOSイメージセンサを提唱した。これが現在のCMOSイメージセンサの最初といわれている⁽¹⁶⁾。Complementary Metal Oxide Semiconductor、相補性金属酸化膜半導体というLSIの設計、製造プロセス技術、CMOSプロセスを用いた撮像デバイスという意味である。

1995年に同じE. R. FossumからCMOSイメージセンサによる1チップ化の構想が発表になり⁽¹⁷⁾⁽¹⁸⁾、各機関で研究開発が一気に活性化された。その後、DSP(Digital Signal Processing)内蔵の1チップカメラの実現を目指して開発が進んだ⁽¹⁹⁾⁽²¹⁾。1997年には東芝から130万画素のCMOSセンサを用いたデジタルカメラが発売され、注目を集めることになった。現在ではデジタルカメラ、携帯電話、タブレット端末を中心に大きな市場が形成され、ビデオカメラもCCDから

置き換わってきた。

3.1.5 他の固体撮像デバイス

(a) MOS型

1980年代に日立製作所から実用化されたMOS型は画素内増幅器が設けられてなかったのが、現在のCMOS型との相違である。しかし、CCDにも適用可能な数々の研究成果が開発されていったことは注目に値する。npn構造⁽²²⁾や非破壊読み出し、走査線ごとに画素を1/2ピッチずらす画素ずらし⁽²³⁾など数々の技術開発が行われた。また、固定パターンノイズの抑圧方式も開発された⁽²⁴⁾。さらに、各画素に水平スイッチトランジスタを設けることにより、信号読出しを水平線からにしたTSL(transversal signal line)方式で特性改善が図られた⁽²⁵⁾。しかし、CCDの低ノイズに勝てず、一旦姿を消すことになった。

(b) 積層型

積層型の撮像デバイスはCCDやMOS型センサをスイッチだけに使い、上部に積層された光導電膜で光電変換を行うことにより、開口率の向上を図ろうとするものであった。

CCDやCMOSセンサでは光電変換するフォトダイオードとスイッチングや転送の走査回路が半導体チップの同一平面上に形成されている。このため、光の利用率が悪く、開口率が大きく取れなかった。光電変換と走査を積層構造にすればそれぞれが自由に設計でき、開口率も100%近くに向上できると考えられた。日立製作所⁽²⁶⁾⁽²⁷⁾、松下電器⁽²⁸⁾、東芝⁽²⁹⁾等で研究開発され、HDTV用の200万画素が開発され⁽³⁰⁾⁽³¹⁾、放送用カメラにも使われたことがあった⁽³²⁾。

(c) 増幅型等

フォトダイオードで光電変換された信号電荷をMOSFETで増幅するAMI(Amplified MOS intelligent imager)がNHK⁽³³⁾⁽³⁵⁾、オリンパス光学工業、三菱電機などで研究開発が進められた。

また、CCDとMOS型の長所を合せたCPD(Charge Priming Device)⁽³⁶⁾、CCDの改良型CSD(Charge Sweep Device)⁽³⁷⁾、アコーディオンCCD⁽³⁸⁾などもあった。

一方、静電誘導フォトトランジスタで光電変換するSIT(Static Induction Transistor)⁽³⁹⁾⁽⁴⁰⁾、が東北大学とオリンパス工業で、CMD(Charge Modulation Device)⁽⁴¹⁾⁽⁴²⁾がNHKとオリンパス光学工業で、APD(Avalanche Photodiode Device)⁽⁴³⁾、FGA(Floating Gate

Amplifier)⁽⁴⁴⁾、BASIS(Base Stored Image Sensor)⁽⁴⁵⁾等が研究されてきた。

3.2 撮像管

1974年のビデオカメラに最初に用いられた撮像デバイスは光導電膜に Sb_2S_3 (3硫化アンチモン)を用いたビジコンという撮像管であった。これ以降、撮像管時代が続く中で、ビジコンの欠点であった残像軽減のための研究が進み、光導電膜に PbO を用いたプランビコンが登場し、これに刺激を受けて国内ではサチコン、カルニコン、ニュービコンなどの撮像管が次々に発明された。

プランビコンは1962年 Philips によって開発され、撮像管3本を使用する、いわゆる3管式カラーカメラに使用され、放送のカラー画質は著しく改善された。これに対し、サチコン、カルニコン、ニュービコンはビデオカメラに使用され、ビジコンの欠点であった残像が改善され、これも画質向上に寄与した。

図 3.1 は単管式カラービデオカメラ用撮像管と CCD

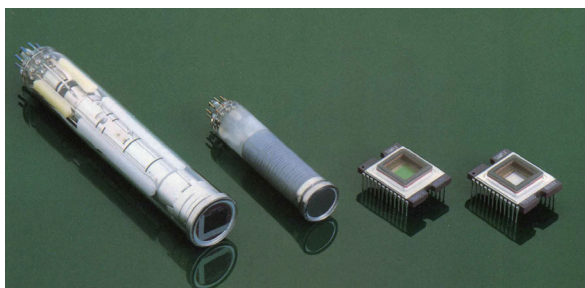


図 3.1 撮像管と CCD⁽⁴⁶⁾

との外形比較である⁽⁴⁶⁾。左から電磁偏向電磁集束(いわゆるマグマグ)の1インチ撮像管 E5180、次が電磁偏向静電集束(いわゆるマグスタ)の18mm 撮像管、その隣がカラー用1インチ CCD、右端が白黒用1インチ CCDである。なお、撮像管の場合は電子ビームを偏向集束させるためにコイルアセンブリが必要になる。図 3.2 に示すように静電集束の場合には撮像管の中に、集束機能が内蔵されているので、外部に集束用

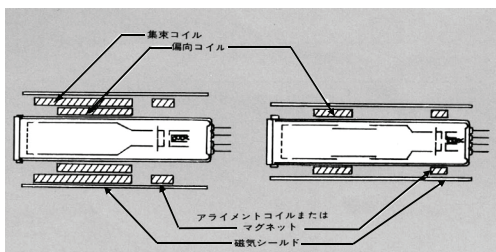


図 3.2 電磁集束と静電集束の違い⁽⁴⁷⁾

のコイルアセンブリが不要になり、小型化に好適である。

18mm 撮像管では外径がほぼ18mmであり、大砲のような4インチ半のイメージオルシコンと比べると格段に小型化が達成されている。

撮像管については参考文献も少なくなっているので簡単に図 3.3 を用いて、動作を説明しておこう⁽⁴⁷⁾。

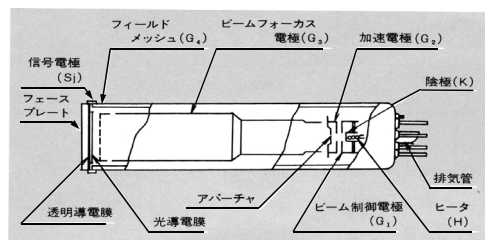


図 3.3 撮像管の構造⁽⁴⁷⁾

フェースプレートは光学ガラスでできていて、内面にITO(いわゆるネサコーティング)が真空蒸着で作られ、その上に光導電膜が形成される。左側からレンズを介して光が入射し、この光導電膜上に光学像が結像される。撮像管内部は真空が保たれ、ヒーターで温められた電子ビームが光導電膜を走査すると、光学像によって、光電効果で蓄積された信号電荷がITOの部分から取り出されていく。この動作は図 3.4 の等価回路によっても説明できる。

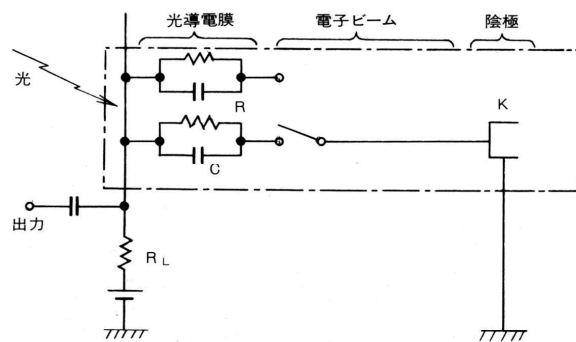


図 3.4 撮像管の等価回路⁽⁴⁷⁾

光学像によって光導電膜上には信号電荷が蓄積されていくので、電子ビームで走査することは電子ビームの太さに相当する各画素をスイッチングしていくことと考えられる。各画素が混じり合わないためには光導電膜の抵抗が大きく、横方向に電荷が移動しないことが必要になる。

3.3 CCD

3.3.1 構造

CCDの発明当初は図3.5に示すように簡単な構成で信号電荷が蓄積・転送できるということで、半導体メモリと撮像デバイスと両面からの応用が研究開発されてきた。しかし、撮像デバイスとしてのメリットが大きいことがわかり、実用化に向けての開発が盛んになっていった。

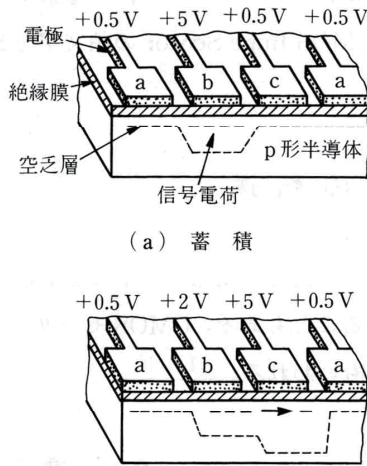


図 3.5 CCD の構造⁽¹⁾

CCDの基本構造は 図3.5に示すように、MOS キャパシタを接近させて並列に多数並べたものである。半導体表面に絶縁膜を介して電極を多数並べただけのシンプルな構造である。各電極に電圧を順次、加えていくことにより、信号の蓄積と転送という二つの動作が行える。

信号電極を3組ごと a、b、c に区切って、これらに加える電圧を変化させていく。信号蓄積の状態では電極 a と c に低い電圧 + 0.5 V、電極 b に高い電圧 + 5V を加える。MOS 構造の場合と同様に、高電圧が加えられた b 電極の下にポテンシャル井戸ができ、この状態で光を当てると発生した信号電荷が移動して蓄積される。

電極 a の電圧を +0.5V に保ったままで、電極 c の電圧を +0.5V から +5V に変化させると同時に、電極 b の電圧を +5V から徐々に +0.5V に変化させると、ポテンシャル井戸は図 (b) のように変化して、

電極 b の下に蓄積されていた信号電荷は電極 c の下に移動する。このとき、電圧 a の下は障壁となって信号電荷の逆方向への移動を妨げている。徐々に変化させていた電極 b の電圧が +0.5V になれば電極 c の下に全ての信号電荷が蓄積される。この動作を繰り返して行けば、信号電荷は右方向に次々と転送されていく

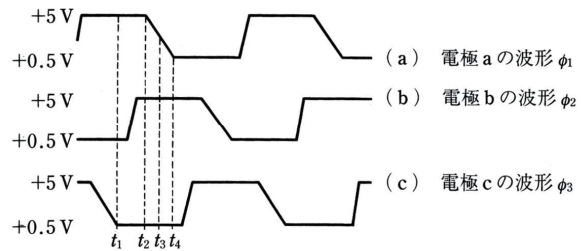


図 3.6 3 相駆動波⁽¹⁾

ことになる。言葉で説明した動作を3相の波形で示すと図3.6のようになる。

このように電極3個ごとに電圧を順次切り替えて、信号電荷を転送する方法を3相駆動という。3相駆動では +5V から +0.5V までの間にアナログ動作が必要になり、2値のパルス波形では実現できない部分がある。

そこで実際の CCD では水平転送には2相駆動、垂直転送には4相駆動が用いられている。

また、構造自体も図3.5のような単純なものでは転送効率、S/N が確保できないことがわかってきて、撮像デバイス特有の数々の改良が施されていった。

3.3.2 CCDの種類

現在、実用化されている CCD 撮像デバイスの種類は図3.7に示すように5種類ある。光電変換用にフォトダイオードを設けるか、CCD 自体で光電変換まで行うか、1画面の CCD メモリを設けるかどうか、による組合せである。

いわゆる 200 万画素 CCD では水平に 1920 画素、垂直に 1080 の有効画素数が設けられているが、ここでは説明の便宜上、4 × 4 画素、すなわち、水平 4 画素、垂直 4 画素、合計で 16 画素の場合を表している。このうちで最もよく使われているのが、IT-CCD なので、まずこれで CCD 撮像デバイスとしての基本動作を説明しよう。

(a) IT-CCD

図 3.7(c) は IT-CCD (Interline Transfer CCD、イン

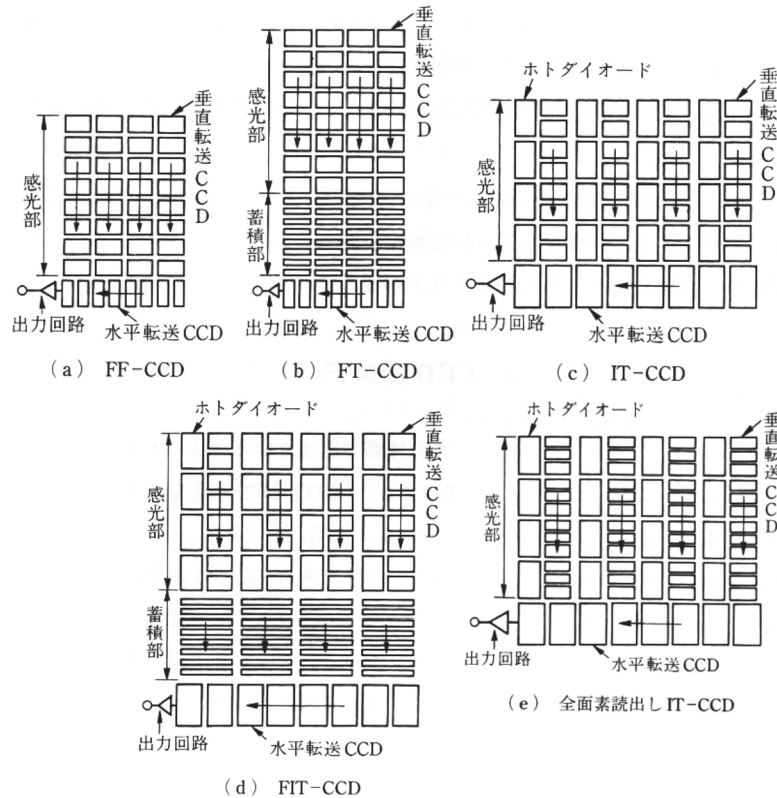


図 3.7 各種 CCD⁽¹⁾

ターライン転送 CCD) の構成を示したもので、縦長の四角がフォトダイオード、横長の四角が垂直転送 CCD の電極を示している。各列のフォトダイオードの間にはそれぞれ垂直転送 CCD が配列され、最後の行の垂直転送 CCD に隣接して水平転送 CCD が 1 ライン分設けられている。

撮像レンズによって、この表面に被写体の光学像が結像されると各フォトダイオードで光電変換が行われ、信号電荷が蓄積され、電荷像ができる。

この電荷像を CCD では縦横に順次、信号を転送していき、1 個の信号出力端子から信号を取り出すように工夫されている。この役目をするのが CCD 転送部である。

16 画素のフォトダイオードに蓄積された信号電荷はフィールドシフトパルスにより、一斉に、垂直 CCD の一部、図(c)では1つおき、に転送される。次に、垂直 2 画素が加算された上、4 列の垂直転送 CCD が並列に垂直方向に電荷を転送していく。垂直に転送された信号電荷は水平転送 CCD に送り込まれ、1 行分、水平 4 画素の信号が入る度に、信号を水平方向に転送し、左端に設けられた出力回路を通して出力される。水平転送 CCD が空になると次の 1 ラインの信号が送り込まれるという動作を繰り返す。このようにして 1 ラインずつの信号が出力端子から得られていく。

フィールドシフトパルスで垂直 CCD に電荷が転送された直後には各フォトダイオードは空になるが、光は各フォトダイオードに連続して当たっているから、再び、電荷が蓄積されていく。そして、1 画面の信号全てが読み出され、垂直転送 CCD の電荷が空になると、次のフィールドパルスが加えられて、フォトダイオードから信号が読み出されて、再び、最初の状態に戻り、上記動作が繰り返される。

IT-CCD はビデオカメラ、デジタルカメラなど広く使われ、特殊用途以外、殆どのカメラにこの CCD が使われ、普通に CCD といえばこのタイプをいう。

画素数は 1982 年、CCD が製品化された当初は 20 万画素 (400H × 480V) であった。また、1 画素の大きさも発売当初は $13 \mu\text{m} \times 22 \mu\text{m}$ 程度もあった。これが 2010 年時点では微細化技術を含む技術進歩によって、 $1.7 \mu\text{m} \times 1.7 \mu\text{m}$ になっている。

(b) FF-CCD

図 3.7(a) は FF-CCD (Full Frame-CCD、フルフレーム CCD) で、垂直転送 CCD が光電変換も兼ねている。もっとも CCD の原点に近い形である。図 3.5 の CCD 原理説明と同じ動作で信号の蓄積・転送を行っていく。CCD 表面に光が入射しなければならないので、CCD の各電極をポリシリコンなどの透明電極で形成する。

FF-CCDはCCDの中で構造は最も簡単であるが、信号電荷の転送中にも光がかぶってしまうので、撮影にはストロボ発光のように照明をオンオフするか、写真機のようにメカニカルなシャッターが必要である。蓄積期間中だけシャッターを開いて光を入れて、シャッターを閉じて光を遮蔽してから信号電荷の転送を行うようにする。

当初はチップサイズを小さくできるので、内視鏡などの微細カメラに使われたこともあるが、現在ではほとんど使用されない。

(c) FT-CCD

図 3.7(b) は FT-CCD (Frame Transfer-CCD、フレーム転送 CCD) で、FF-CCD の感光部と水平転送 CCD の間に CCD 蓄積部 (1 画面のメモリー) を設けたものである。感光部で蓄積された全画素の信号電荷を光遮蔽のできる蓄積部に素早く転送して、転送中に光がかぶるのを防いでいる。

CCD 発明当初はこの FT-CCD が盛んに研究されたが、チップサイズが大きいこと、光の漏れによるスミア現象 (強い光が入ると、垂直に白線が見える CCD 特有の現象) が避けられないことにより、日本では使われる機会は少ない。

(d) FIT-CCD

図 3.7(d) は FIT-CCD (Frame Interline Transfer-CCD、フレームインターライン転送 CCD) で IT-CCD に 1 画面の CCD 蓄積部を設けたものである。IT-CCD よりチップサイズが大きく、垂直転送が 2 種類必要で動作が複雑になるが、IT-CCD の欠点であるスミアを低減でき、CCD では最高の性能が得られる。従って、性能重視の放送局用のスタジオカメラや取材用の ENG カメラ (Electronic News Gathering Camera) には FIT-CCD が使われている。

放送局用カメラの主流は現在、2/3" FIT-CCD で、S/N 62dB、画素数は 200 万画素の HDTV 対応が使われる。

(e) 全画素読出し IT-CCD

図 3.7(e) は全画素読出し IT-CCD で 1 個のフォトダイオードに対して垂直転送 CCD の電極 3~4 個が対応して、一度に全てのフォトダイオードの信号が読み出せるようにした構造である。

3.3.3 CCD の構造

現在、実用化されている代表的な IT-CCD の 1 画素

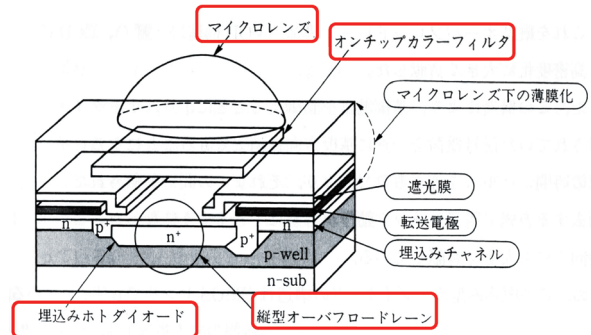


図 3.8 IT-CCD1 画素の構造 (48)

の断面構造を図 3.8 に示す。文献 (48) を参照して加工した。中央のマイクロレンズが付いている下が感光部、その右側に垂直転送部が配置されている。図中に示した四角い枠で囲まれた部分が性能向上に顕著な効果があった日本の発明である。

図 3.5 に CCD の原理説明を行ったが、実用化された構造は性能向上のためにかなり複雑な構成になっている。

(a) フォトダイオード

フォトダイオードは半導体 n 基板の上に p-well を形成し、その上に n⁺層を形成する、いわゆる n⁺pn 構造になっている。更に、n 型層の上に p⁺層が形成され、フォトダイオードを表面でなく、ややバルク側に形成したことに特徴があり、埋め込みフォトダイオードと呼ばれる。構造は表面から p⁺n⁺pn となっている。この構造によりフォトダイオード界面が空乏化しないようにでき、界面に発生しやすい暗電流が抑制され、暗電流に起因する固定パターンノイズを一桁以上下げることができるようになった。

p-well はフォトダイオードの下を薄くして、基板方向に pn 構造を作り、強い光で過剰に発生した信号電荷を基板側に捨て去るような構造に工夫されている。これにより、ブルーミングを抑えることができ、さらに、近赤外線のような長波長光線は p-well の深い部分まで達して光電変換されるので、長波長光線による電荷が消滅し、可視光成分が効率よく蓄積できるようになる。これを VOD 構造 (Vertical Overflow Drain 構造、縦型オーバーフロードレイン構造) と呼び、CCD の微細化、高密度化に大きく貢献した。

この構造を採用すると、基板電圧を制御する事により、フォトダイオードに蓄積されていた信号電荷を一斉に基板方向に消去できることになる。そこで、任意の時間にパルスを加えることにより、それまでの間に蓄積されていた信号を消去する方式で電子シャッター動作が容易にできるようになった。

なお、この埋め込み型フォトダイオードの構造は CMOS イメージセンサでも使われている。

(b) 色フィルタ

フォトダイオードの上には色フィルターアレイとマイクロレンズが形成される。

これらは特殊な樹脂を塗布して染色、或いは加工をしていくので、シリコン基板に加工、処理を施していく通常の半導体技術とは異なる工程である。

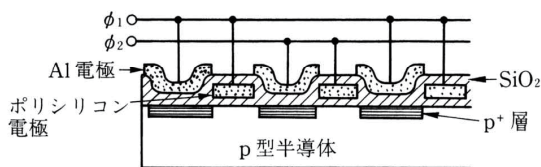
色フィルターアレイは CCD 画素と正確に位置合わせをして、画素の上にミクロンオーダーで重ねて作られるので、オンチップカラーフィルターといわれる。

さらに、この上にマイクロレンズアレイが形成される。マイクロレンズは感光面に到達する光を集光してフォトダイオード部分に当てようとするもので、これによりフォトダイオードに入る光が2.3倍に増加でき、IT-CCD や CMOS イメージセンサの欠点であった光の利用効率が著しく改善される。感度向上に役立つとともに、転送電極やトランジスタ部に当る光が少なくなって遮光効果があがるメリットもある。

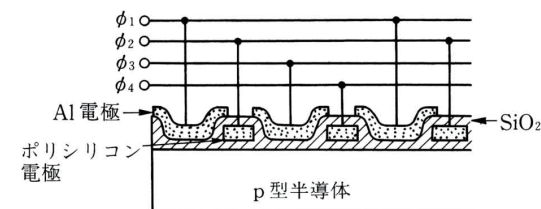
(c) 転送電極部

転送電極にフィールドシフトパルスが加えられると、フォトダイオードの右側に隣接して形成された p+ 層を介して転送部の埋め込みチャンネルにフォトダイオードに蓄積されていた信号電荷が転送される。

転送部は n 埋め込みチャンネルの上に SiO₂ の絶縁膜を介して Poli-Si の電極が作られ、さらに絶縁膜を介して Al 遮光膜で覆い、光の混入を極力抑える構造になっている。



(a) 2相駆動 CCD



(b) 4相駆動 CCD

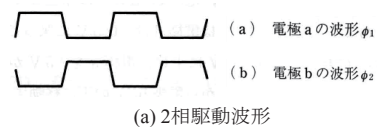
図 3.9 水平・垂直 CCD の断面構造⁽¹⁾

(d) 転送部転送方向の構造

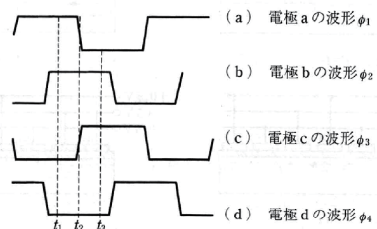
図 3.9 に水平転送用 2 相駆動 CCD と垂直転送用 4 相駆動 CCD の構造を示す。

電極はいずれも、オーバーラップ構造にして不要な障壁が生じないようにしている。2 相駆動では片方の電極下に p+ 層を作り電位障壁を形成しているため、一方向への転送が可能になる。

図 3.10 に各々の波形を示す。高速転送が必要な水平転送には 2 相駆動、比較的低速で構わない垂直転送には 4 相駆動が用いられている。



(a) 2相駆動波形

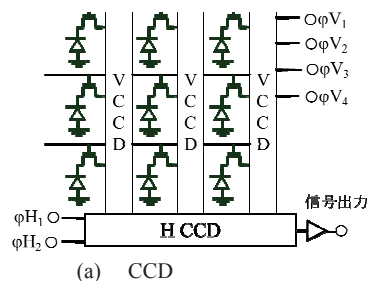


(b) 4相駆動波形

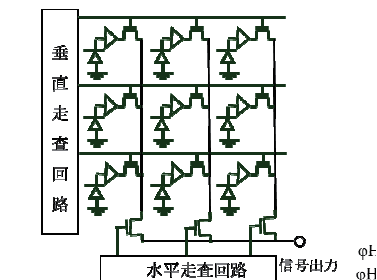
図 3.10 2 相・4 相駆動の波形⁽¹⁾

3.4 CMOS イメージセンサ

CMOS イメージセンサは 3.1.4 に述べたように、1995 年頃から注目を集めた。撮像デバイスの構成の面から IT-CCD と比べてみると図 3.11 に示すように、フォトダイオードで光電変換された信号電荷を出力回路まで読み出す方式の違いと見ることができる。



(a) CCD



(b) CMOS イメージセンサ

図 3.11 イメージセンサの構成

CCDでは図(a)に示すように、フォトダイオードに蓄積された信号電荷は転送トランジスタを用いてV-CCD(垂直転送CCD)に読み出され、垂直転送、水平転送された後、出力段に設けられた増幅器で増幅されて読み出される。一方、CMOSイメージセンサでは図(b)に示すように、フォトダイオードに蓄積された信号電荷は画素ごとに設けられた増幅器で増幅された後、垂直、水平のシフトレジスタで画素ごとにスイッチングされ、読み出される。

1画素はCCDではフォトダイオード、転送トランジスタ、VCCDの一部で構成されるのに対し、CMOSイメージセンサではフォトダイオードと4個のトランジスタで構成される。図(b)では2個のトランジスタで構成された例を示したが、性能向上を図るために、最近では4個のトランジスタ構成が主流である。

3.4.1 画素構造

1画素が4個のトランジスタで構成される、いわゆる4TRの画素構成を図3.12に示す⁽⁴⁹⁾。

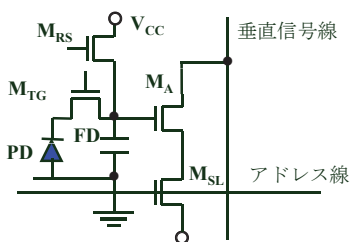


図 3.12 4TR 画素の構成

CMOSセンサの1画素はフォトダイオードPDと読出しトランジスタ M_{TG} (トランスファーゲートトランジスタ)、増幅トランジスタ M_A 、選択トランジスタ M_{SL} (アドレストランジスタ)、リセットトランジスタ M_{RS} の4トランジスタで構成されている。

光電変換された信号電荷は読出しトランジスタ M_{TG} のソース部に蓄積される。蓄積された電荷はゲートにパルスが印加されるとオンになり、フローティングディフュージョンFDに貯められる。選択トランジスタ M_{SL} によりライン選択されると増幅トランジスタ M_A で増幅された信号が垂直信号線に転送される。このようにして、垂直シフトレジスタ、水平シフトレジスタにより、順次、信号が出力されていく。

ここで、リセットトランジスタは読出しトランジスタと増幅トランジスタの間に設けられ、信号読出し前に電位を一定レベルに初期化するものである。

3.4.2 特性

CMOSセンサでは画素ごとに増幅器を設けることによって、以前のMOSセンサの最大の欠点であったノイズの課題をクリアすることができた。画素ごとに増幅器を設けたいという願いは以前からあったが、増幅器の特性がばらつけば固定ノイズとなって使い物にならない。均一な増幅度を有する素子が作れるようになったのは半導体の微細加工の進展によるところが大きい。また、ノイズや画素欠陥を電子的に補正する回路技術の進歩も寄与している。

また、カラムADCとって、水平ラインごとに信号電荷を一斉にAD変換して、デジタル信号で後処理ができるようになったこともカメラとしての機能を大きく前進できた。

更に、光電変換された信号電荷を速やかに出力できることもCMOSイメージセンサの大きな特徴である。

3.4.3 CMOSイメージセンサの製品化

CMOSイメージセンサを使用した製品の第1号は1997年に製品化されたデジタルカメラPDR-2であった。

その後も主としてデジタルカメラ用撮像デバイスとして大きく成長し、更に携帯電話用には多数使われるようになった。

ビデオカメラ用としては主として、多画素化が要求されるHDTV用に使われ始めた。

3.5 CMOSセンサとCCD

今まで述べてきたように、CCDがビデオカメラを中心とした撮像デバイスの全盛であった時代が、今やCMOSセンサに置き換わりつつある。

技術の内容については本報告書の主題でないので、まえがきに記載した参考文献を参照して頂くことにし、ここでCMOSセンサと民生用として主流のIT-CCDの比較をいくつか行ってみることにする。これを通して、CMOSセンサが飛躍的に伸びてきた理由が理解できよう。

(a) 特徴と性能

表3.2は両者の特徴を示したものである。低消費電力、DSPなど周辺回路の一体化などに優れていることから、小型のカメラ付携帯電話に重宝され、この分野で主力製品になった。

表 3.2 CMOS センサと CCD の特徴

	CMOS センサ	CCD
光電変換	フォトダイオード	同左
増幅器	画素ごと	出力段に一つ
読出し	カラム読出し	CCD 転送
スミア	ナシ	有
出力	デジタル	アナログ
FEA	内蔵	別チップが必要
信号処理回路	内蔵可能	不可
電源	1 電源	3 電源

表 3.3 は両者の特性を示したもので、泣き所であった高感度化、低ノイズ化が研究されて特性上も CCD と遜色ないところに到達してきた。CCD のスミアは 70dB から 90dB 程度に改善されてきたが、CMOS センサでは本質的に生じない。また、200 万画素以上の多画素化では CMOS センサの優位が決定的になってきた。撮像デバイス 30 年周期説があり、1970 年発明された CCD がようやく主役の座を明け渡そうとしている。

表 3.3 CMOS センサと CCD の特性比較

項目	CMOS センサ	IT-CCD
感度	◎	◎
スミア	◎	△
ダイナミックレンジ	○→◎	○
多画素化	◎	△
高速化	◎	○
S/N	○→◎	◎

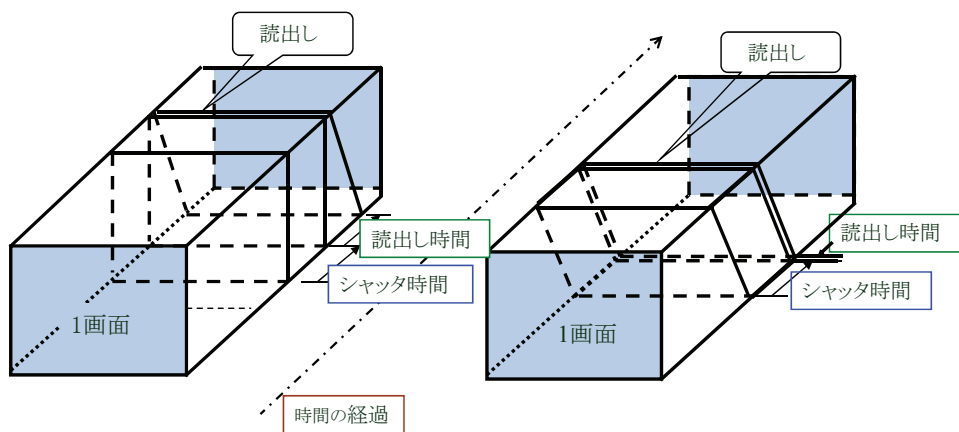
(b) 読出し方法 - グローバルシャッタとローリングシャッタ

CCD と CMOS イメージセンサでは、イメージ部に蓄積された信号電荷の読み出し方法が異なる。CCD では全画素に蓄積された信号電荷がフィールドシフトパルスによって、一斉に V-CCD に転送され、読み出

される。これをグローバルシャッタと呼ぶ。これに対し、CMOS イメージセンサでは、1 ラインずつ読み出されていくので、ローリングシャッタと呼ぶ。この読出し方法の違いについて図 3.13 を用いて検討してみよう⁽⁵⁰⁾⁽⁵¹⁾。時間軸が紙面の表面から奥の方へ伸びている。光学像は時間の経過と共に金太郎飴のように連続してセンサの結像面に到達している。この連続画像をどのようにサンプリングするか、すなわち、この金太郎飴をどこで切り出すかが両者の違いである。

図 (a) は CCD の読み出し方法を示したもので、特定の時間にシャッタが開いて、信号蓄積後にシャッタが閉じる。これは全画素のどこでも同様であるから、時間軸では垂直に切り出し、一定時間経過した時点で、蓄積が終了する。次に、一斉に、V-CCD に転送される。V-CCD ではラインごとに順番に読み出されていくから、時間経過と共に、斜めに順次信号を読み出していくことになる。一方、図 (b) は CMOS センサの読み出し方法で、シャッタは全画素の中で、ラインごと開いていくから、時間経過で見ると斜めに切り出されることになる。シャッタ時間は全画素で一定であるから、時間間隔では一定期間、信号を積分していく。これが終了した時点で今度はラインごとに順番に読み出されていくから、時間経過が生じ、斜めに順次信号を読み出していく。

このように、CCD では駒ドリ撮影であるのに対し、CMOS イメージセンサは連続撮影である。したがって、動画像の場合は CMOS イメージセンサの読み出し方法が、むしろ、自然であるが、1 画面を切り出した場合に差異が生じる。被写体が動いている場合、CCD では全画素同時刻のシーンが撮像できるのに対し、CMOS イメージセンサでは全画素の中でラインごとに異なるシーンの画像を撮像することになる。そこで、CMOS イメージセンサで高速で動いている被



(a) CCD の読み出し方法

(b) CMOS の読み出し方法

図 3.13 読出し方法の違い⁽⁵⁰⁾⁽⁵¹⁾

写体を撮像すると画像にひずみが生じることになる。このことは静止画像を撮影することが目的のデジタルカメラの場合には注意が必要である。

この一方で、時間遅れなく、信号を瞬時に読み出したい場合には、CCDが不利になる。図(a)から明らかかなように、蓄積終了から信号の読み出しまで三角形の形で時間遅れが生じる。これに対し、CMOSセンサでは図(b)から明らかかなように、蓄積終了から信号の読み出しまで時間遅れが生じていない。通常の標準方式ではCCDの三角形の底辺は1フィールド時間、1/60s、16.6msであり、CMOSセンサでは最大でも時間遅れは1ライン時間、1/32400s、すなわち、0.031 μ sでほとんど無視できるオーダーである。

この読み出し時間の相違はビデオカメラではさほど問題とならないが、撮像画像を用いて画像処理で制御を行うような、自動車用カメラの場合など一刻を争う場面では重要な事柄である。

(c) 画素ピッチの推移

図3.14に画素ピッチの微細化の傾向を示す。ビデオカメラが実用化された1980年当時は12 μ mあった画素ピッチは1995年前後には一時5.6 μ mの正方形画素が主流となった。その後、微細化は一時停滞したが、90年代後半からは再び微細化が進められた。

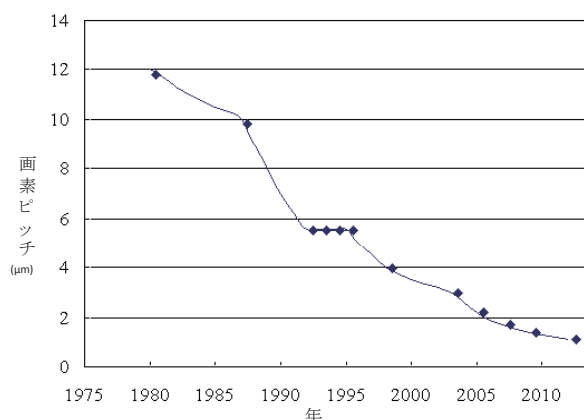


図 3.14 画素ピッチ縮小化の傾向

2.2 μ m以下になると光の波長に近づくこと、撮像レンズの回折の影響等で、結像性能が低下してカメラが作れなくなるといわれてきたが、技術開発の進歩により、2012年には1.12 μ m画素が製品化されている。2000年以降はCMOSセンサの画素で示してある。

画素ピッチが小さくできると、画素数を一定とした場合に、チップサイズを小さくでき、1枚の半導体ウエハー上に多数のチップを配置できる。そこで、低コスト化には有効な手段である。

一方、画素が微細化されると入射する光量が減るので、信号量が小さくなる。感度が低下し、S/Nも低下する。しかし、これらは技術開発の進歩によりクリアされてきた。

3.6 撮像デバイスの重要技術

3.6.1 重要技術の年表

撮像デバイスが実用化される段階で、特性改善や量産技術の確立のために、数々の重要技術が国内で開発されてきた。ここでは年代別に重要技術を列挙し、表3.4にまとめて項目と注釈を記す。なお、技術の詳細は参考文献を参照して頂きたい。

3.6.2 特許・学会報告から見た重要技術

特許と学会報告を検証して、項目ごとに調査、検討を行ったので、いくつかを紹介する。

なお、特許庁は特許出願技術動向調査報告書—デジタルカメラ - ⁽⁵²⁾ を2009年に刊行していて、209ページには基本特許・重要特許の一覧表が掲載されている。ここに記載された技術はビデオカメラにも使われているものが多い。動画像は静止画像の連続と考えることができるからである。

(a) VOD 構造の技術

図3.8に示した構造で、ブルーミングの抑制と電子シャッタの有効な手段として著しく画質と機能の向上に有益であった。表3.5に示すように、VOD構造の発明は山田哲生(当時 東芝)で平成2年度 全国発明表彰 通商産業大臣発明賞 受賞、平成元年度 関東地方発明表彰 科学技術庁長官発明奨励賞 受賞で関連特許がもう1件ある。学会発表は後藤ほか⁽⁵³⁾があるが、英国電子学会の論文誌のため知名度が小さい。石原はISSCCで発表⁽⁵⁴⁾、国内の報告もある⁽⁵⁵⁾。

(b) FIT-CCD の技術

図3.7(d)に示す1画面のメモリを持ったCCDである。スマアが著しく低減されるので、現在スタジオカメラなど放送局用CCDカメラにはほとんどFIT-CCDが使われる。チップサイズが大きくなりコストアップになるので、ビデオカメラには使われることは少ない。表3.6に示すようにFIT-CCDの発明は関根であるが、特許出願はしたが、審査請求をしなかったため、特許登録されていない。代わりに後願の石原の特許が権利化されている。

なお、論文では堀居賢樹のものが古い。⁽⁵⁶⁾⁻⁽⁵⁸⁾

表 3.4 撮像デバイスの年表

年	名前・メーカー	名称	備考
1947	J. Bardeen and W. H. Brattain (ベル研究所)	トランジスタ	
1963	Morrison (Honeywell)	フォトスキヤナ ⁽⁶¹⁾	
1963	F. M. Wanlass (Fairchild)	CMOSの発明	1963 IEEE ISSCC USP 3356858
1964	J. W. Horton	スキヤナスタ ⁽⁶²⁾	フォトダイオードを並べて順番に読み出して行けば撮像デバイスが作れるという発想
1964	P. K. Weimer	Thin Film 撮像素子を並べる	Thin Film 素子を並べて順番に読み出して行けば撮像デバイスが作れるという発想 ⁽⁶³⁾
1968	Plessey Company Ltd.	PN Photodiode + MOS Amp ⁽⁶⁴⁾	CMOSイメージセンサの原理
1969	F. L. J. Sangster	BBD ⁽⁶⁾	CIDの一種、CCDより1年早い
1970	W. S. Boyle and G. E. Smith	CCD ⁽⁴⁾⁽⁵⁾	CCD発明
1971	Philips	CID ⁽⁷⁾⁽⁸⁾	
1971	M. F. Tompsett, et al	FT-CCD ⁽⁶⁵⁾	CCD最初のエリアセンサ
	W. F. Kosonocky and J. E. Carnes	Floating Diffusion Amp ⁽⁶⁶⁾	
	R. H. Krambeck, et al.	2相駆動CCD ⁽⁶⁷⁾	水平転送に使われている
1972	W. F. Kosonocky and J. E. Carnes	IT-CCD ⁽⁶⁸⁾	民生用CCDの主流
	R. H. Walden, et al.	埋め込みチャネルCCD ⁽⁶⁹⁾	
	C. H. Sequin	横型OD(Over flow Drain) ⁽⁷⁾	
1974	M. H. White, et al	CDS(Correlated Double Sampling) ⁽⁴⁰⁾	相関二重サンプリング回路 ⁽⁷⁰⁾
	遊佐 厚、ほか(オリンパス)	MOS型BCD(Bulk Charge Transfer Device) ⁽⁴⁰⁾	埋め込みチャネルCCDと類似技術
1975	吉野優、ほか(松下電器)	3値駆動 ⁽⁹⁴⁾	読出し電極と転送電極を同一電極で駆動する
1976	越智成之(ソニー)	フィールド読み出し ⁽⁷¹⁾	
1978	山田哲生(東芝)	VOD(Vertical Overflow Drain) ⁽⁷⁴⁾⁽⁷⁶⁾	表3.5参照 縦型オーバーフロードレイン
	関根弘一(東芝)	FIT-CCD	表3.6参照 1979石原(NEC)、1979年越智(ソニー) 堀居、黒田(松下)1981年学会発表 ⁽⁶³⁾⁽⁶⁵⁾⁽⁶⁶⁾
1979	小池紀雄、ほか	MOS型 npn構造 ⁽²²⁾	
	日立製作所	積層型 ⁽²⁶⁾⁽²⁷⁾	
	東北大学、オリンパス工業	SIT ⁽³⁹⁾⁽⁴⁰⁾	static induction transistor 静電誘導フォトトランジスタで光電変換する。
1980	大場、ほか	固定バターンノイズの抑圧方式開発 ⁽²⁴⁾	
	近村隆夫、ほか(松下電器)	積層型 ⁽²⁷⁾⁽²⁸⁾	
	真鍋宗平、ほか(東芝)	積層型 ⁽²⁹⁾⁽³²⁾	
	松下電器	呼水転送CCD CPD ⁽³⁶⁾	Charge Priming Device
	日本電気	イントリンシックゲッターリング(IG) ⁽⁷⁷⁾	
1981	寺西信一(NEC)	埋め込みフォトダイオード ⁽⁷²⁾⁽⁷³⁾	後にB. C. Burkeyが: Pinned Photodiodeと名付ける ⁽³⁾
	竹村裕夫、ほか(東芝)	掃出し駆動 ⁽⁸³⁾	画素数より多くのパルス数で駆動することにより残留電荷を消去する
1982	黒田隆男、ほか(松下電器)	読出し時に光電変換素子を空乏化 ⁽⁹⁵⁾	残留電荷の除去
	日立製作所	MOS型画素補間方式 ⁽²³⁾	
1983	越智成之(ソニー)	画素ずらし ⁽⁷⁸⁾	走査線ごとに画素を1/2ピッチずらす
	関根弘一(東芝)	市松画素配列 ⁽⁷⁹⁾	ハニカム特許のアイデア

	石原保雄 (NEC)	オンチップμレンズ ⁽⁸⁰⁾	
	ソニー	MCZ基板 ⁽⁸¹⁾	
1984	A. J. P. Theuvsissen, et al. (Philips)	アコデオオンCCD ⁽⁸⁸⁾	
1985	日立製作所	MOS型TSL方式 ⁽²⁵⁾	特性改善 ⁽³⁾ (各画素に水平スイッチトランジスタを設けることにより、信号読出し
1985	三菱電機	CSD(Charge Sweep Device) ⁽³⁷⁾	CCDの改良型
	オリンパス光学工業	CMD(charge modulation device) ⁽⁴¹⁾⁽⁴²⁾	フォトダイオードで光電変換された信号電荷をMOSFETで増幅する
	安藤文彦、ほか(NHK)	AMI(Amplified MOS intelligent imager) ⁽³³⁾⁽³⁵⁾	
1988	J. Hynecce	FGA(floating gate array) ⁽⁴⁴⁾	
1990	松下電器	APD(avalanche photodiode device) ⁽⁴³⁾	
1991	東芝	HDTV用の200万画素スタックCCD開発 ⁽²⁹⁾⁽³²⁾	
1993	E. R. Fossum	アクティブ型CMOSイメージセンサ提唱 ⁽¹⁶⁾	
	日本電気	全画素読み出し方式	Progressive順次走査方式 ⁽⁸²⁾
	U. Seger	WDR ⁽⁸³⁾	
1995	E. R. Fossum	DSP内蔵の1チップカメラ ⁽¹⁷⁾⁽¹⁸⁾	DSP: Digital Signal Processing デジタル信号処理
1996	C. H. Aw	グローバルレンヤッタ ⁽⁸⁴⁾	
1997	D. Scheffer	Active Pixel Image Sensor ⁽⁸⁵⁾	
2000	杉木 忠、ほか(東芝)	並列ADC ⁽⁸⁷⁾	ラインごとにADCを設け、ADCとデータ出力をパイプライン化
	中村信男、松長誠之(東芝)	CMOSノイズ低減技術 ⁽⁸⁸⁾	出力アンプの1/雑音と熱雑音を出力アンプ自身のフィードバッククランンプ方式により抑圧
	山田哲生(富士フイルム)	ハニカムCCD ⁽⁸⁹⁾	
2001	Pixim	WDR画素内ADC	画像処理と併せてWDR化
2003	小田和也、ほか(富士フイルム)	ハニカムWDR ⁽⁹⁰⁾	
2005	須川成利(東北大学)	WDR	横型オーバーフロー蓄積容量 ⁽⁹¹⁾
2007	江川佳孝(東芝)	WDR	2重露光動作 ⁽⁹²⁾
2008	OmniVision-TSMC	裏面照射型CMOS-APS	携帯電話用裏面照射型
2010	ソニー	1641万画素裏面照射型CMOS-APS	ビデオカメラ用裏面照射型
	東芝	1460万画素裏面照射型CMOS-APS	携帯電話用裏面照射型
	キヤノン	1億2000万画素CMOS-APS	9.5コマ/s 最大画素数

表 3.5 VOD 技術

名称	電荷転送デバイス	固体撮像装置	固体撮像装置	固体撮像装置及びその駆動方法	固体撮像装置	固体撮像装置の製造方法
発明者	白木廣光	竹本一八男	山田哲生 東芝	山田哲生/ほか 石原保雄	寺西信一	寺西信一
メーカ			東芝	NEC	NEC	NEC
出願番号	特願昭49-134668	特願昭52-5953	特願昭53-1971	特願昭55-100346	特願昭56-57999	特願昭57-8433
出願日	1974年11月21日	1977年1月24日	1978年1月13日	1980年7月22日	1981年4月17日	1982年1月22日
公開番号	特開昭51-60186	特開昭53-91622	特開昭54-95116		特開昭57-173274	特開昭58-125970
公開日	1976年5月25日	1978年8月11日	1979年7月27日		1982年4月2日	1983年7月27日
公告番号	特公昭61-60592	特公昭58-23992	特公昭59-17581	特公昭62-17878	特公平1-21351	特公平4-24870
公告日	1986年12月22日	1983年5月18日	1984年4月21日	1987年4月20日	1992年4月9日	1992年4月28日
特許番号	1430947	1211101	1243180	1411948	1932139	1925337
登録日	1988年3月24日	1984年6月12日	1984年12月14日	1987年11月27日	1995年5月26日	1995年4月25日
拒絶査定	1984年5月8日	1982年7月6日			1989年2月14日	
異議申立						
審判	S59-10283	S57-15970			S1-4536	
審判請求	1884年6月7日	1882年8月4日			1989年3月16日	
連名者		小池紀雄 久保征治:	鈴木信雄 後藤浩成		石原保雄 織田英嗣	織田英嗣
備考	FT-CCDでpn構造	MOSセンサでp-well形成	平成2年度 全国発 表彰で「通商産業 大臣発明賞」受賞 平成元年 関東地方 発明表彰において 「科学技術庁長官 発明奨励賞」受賞)		N型領域の拡散 深さを変化	CZ基盤の 不純物ムラ抑制

参考資料 (1) 寺西信一:[記念講演]CCDイメージセンサ実用化への技術展開、一垂直オーバーフローロードレイン(VOD)の進化一、
映像情報メディア学会、情報センシング研究会、2010年11月19日

(2) 特許庁:特許電子図書館

関連論文は下記がある。

- (1) Hiroshige Goto, Hirokazu Sekine, Tetsuo Yamada and Nobuo Suzuki : CCD Linear Image Sensor with Buried Overflow Drain Structure, Electronics Letters, Vol. 17, No. 24, pp. 904-905, 1981.
- (2) Y. Ishihara, E. Oda, H. Tanigawa, N. Teranishi : Interline CCD Image Sensor, with Anti-blooming Structure, ISSCC82, pp.168-169, Feb. 1982.
- (3) 石原、ほか:縦型オーバーフロー構造CCDイメージセンサ、テレビジョン学会誌、Vol.37, No.10, pp.782-787, 1983年10月
- (4) Y. Hiroshima, S. Matsumoto, K. Senda, T. Kuriyama, K. Horii, T. Kuroda, T. Kunii, H. Mizuno: Elimination of Fixed Pattern Noise in Super-8 Format Image Sensor by the Use of Epitaxial Wafers, IEEE IEDM, PP.32-35(Dec. 1984

(c) オンチップμレンズ

図 3.8 に示す構造で、結像された光学像を光電変換に寄与するフォトダイオード上に効率よく集中させることで、感度向上に大きな効果がある。表 3.7 に示すように、学会発表では石原の文献が最初である。特許では和田らの発明が基本とされる。フォトダイオードなどのディスクリート部品では古くから素子の上に小さなレンズを設けて集光することが行われていた。しかし、CCD が形成された半導体基板の上に異質な樹脂でマイクロレンズを傷欠陥なしに設けることにはさまざまな改良が必要であった。論文は石原が古い⁽⁵⁹⁾。

(d) 加算読み出し

動画像ではインタレース (飛び越し走査) が行われ

るため、ラインごとの読み出しに工夫がいる。残像がなく、効率よく信号電荷を読み出していくには隣接 2 ラインの信号を加算して読み出していくことが有効である。

基本特許は残念ながら RCA であったが、表 3.8 に示すようにこの特許が公知になった直後に、国内メーカーも多数特許提案されていた。特許庁の審査の段階で、引用された特許が登録にならならず、その後に提案された特許の方が登録になるなど、複雑な動きが見える。インタレースについては C. H. Sequin の論文がある⁽⁶⁰⁾。

表 3.6 FIT-CCD

名称	固体撮像装置	電荷転送撮像装置とその駆動方法	固体撮像装置
発明者	関根弘一	石原保雄	越智成之
メーカー	東芝	NEC	ソニー
出願番号	特願53-125703	特願54-72035	特願54-83455
出願日	1978年10月14日	1979年6月8日	1979年7月3日
公開番号	特開昭55-52675	特開昭55-163963	特開昭56-8966
公開日	1980年4月17日	1980年12月20日	1981年1月29日
公告番号	-	特公昭60-33345	特公昭62-52988
公告日	-	1985年8月2日	1987年11月9日
異議申立			有
拒絶査定			1989年11月14日
審判請求			1989年12月14日
特許番号	-	1309974	1615692
登録日	-	1986年3月26日	1991年8月30日
備考	FIT-CCDの最初の提案 審査請求忘れて特許不成立	関根先願を審査官が見落とし 拒絶なしで登録	関根先願で異議申立 拒絶査定後審判請求 拒絶理由に対し 再度請求範囲を限定して登録 名称も変更 電子シャッタ機能を有するFIT-CCD

【文献】

- (1) 堀居賢樹、黒田隆男、松本茂則、国井孝雄：新構成CCD撮像素子－FIT-CCD撮像素子－、昭和56年電気関係学会関西支部連合大会、G9-14、pp.G280。
(FIT-CCD構成が示されている。FIT-CCDという名称はここが初めて)
- (2) K. Horii, T. Kuroda and T. Kunii : A New Configuration of CCD Imager with a Very Low Smear Level, IEEE Electron Device Letters, Vol.EDL-2, No.12, pp.319-320, Dec. 1981。
(FITという言葉はないが、実質FIT-CCDの構成が図示されている。)
- (3) K.Horii, T. Kuroda and S. Matsumoto : A New Configuration of CCD Imager with a VeryLow Smear Level – FIT-CCD, IEEE Electron Devices, Vol.ED-31, No.7, pp.904-909, 1984. (FIT-CCDのフルペーパー)

表 3.7 μ レンズ

名称	光電変換装置	光線式警戒器用受光装置	固体撮像装置およびその製造方法	撮像デバイス	マイクロレンズの製造方法	固体撮像装置およびその製造方法	オンチップレンズの製造方法
発明者	小林茂雄	山本隆司	和田孝道ほか	佐藤正倫	中野寿夫ほか	青木徹郎	門村新吾
メーカー	松下電器	松下電工	松下電器	富士フイルム	日立製作所	シャープ	ソニー
出願番号	特願昭47-128724	実願昭50-46170	特願昭51-151123	特願昭54-31974	特願58-168165	特願平5-241030	特願平7-158845
出願日	1972年12月20日	1975年3月31日	1976年12月15日	1979年3月19日	1983年9月14日	1993年9月28日	1995年6月26日
公開番号	特開昭49-84797	実開昭51-124360	特開昭53-74395	特開昭55-124366	特開昭60-60755	特開平7-99296	特開平9-8266
公開日	1974年8月14日	1976年10月7日	1978年7月1日	1980年9月25日	1985年4月8日	1999年7月9日	1997年1月10日
公告番号	-	-	特公昭60-59752	-	-	-	-
公告日	-	-	1985年12月26日	-	-	-	-
特許番号	拒絶	拒絶	1336494	拒絶	取り下げ	2950714	3355874
登録日	-	-	1986年9月11日	-	-	36350	2002年10月4日
拒絶査定	1980年7月20日	1979年5月8日	1985年1月22日	1987年10月20日	-	-	-
審判請求	-	-	1985年2月21日	-	-	-	-
備考	センサの上に凸レンズを密着する	受光素子の上に可視光カットフィルタを球面状に覆う	連名者は照井康明 吉野優、太田善夫 エミー賞受賞		連名者は笹野晃 筒井謙 塚田俊久	凹レンズと平坦層と凸レンズを設ける製造方法	特許庁調査報告 オンチップレンズの量産特許 かなりの限定
参照特許			特開昭49-84797 実開昭51-124360				特開平3-190166 特開昭60-60755 特開平7-99296 特開平2-244625

文献

(1)Y. Ishihara and K. Tanigaki : A High Photosensitivity IL-CCD Image Sensor with Monolithic Resin Lens Array, IEDM Tech. Digest, pp.497-500, Dec.1983.

表 3.8 加算読出し

名称	電荷転送型映像感知装置の作動方法	固体撮像装置	カラー-固体撮像装置	固体撮像装置	固体撮像装置	インターライン型 CCD撮像装置	カラー-固体撮像装置
発明者 メーカー	P.A.レビン RCA	太田善夫 松下電器	太田善夫 松下電器	長原脩策 日立	太田善夫 松下電器	越智成之 ソニー	小池紀雄 日立
出願番号	US 491836	特願昭49-131701	特願昭50-82996	特願昭51-71142	特願昭51-154017	特願昭51-157234	特願昭52-82965
出願日	1974/7/25優先権	1974年11月14日	1975年7月4日	1976年6月18日	1976年12月20日	1976年12月24日	1977年7月13日
公開番号	特開昭51-36819	特開昭51-57123	特開昭52-6416	特開昭52-155010	特開昭53-77125	特開昭53-80119	特開昭54-37427
公開日	1976年3月27日	1976年5月19日	1977年1月18日	1977年12月23日	1978年7月8日	1978年7月15日	1979年3月19日
公告番号	特公昭54-41363	-	特公昭58-14789	特公昭60-43704	特公昭60-28435	特公昭62-40910	特公昭58-53830
公告日	1979年12月7日	-	1983年3月22日	1985年9月30日	1985年7月4日	1987年8月31日	1983年12月1日
特許番号	1003021	みなし取り下げ	1185619	審判拒絶	1306183	1522884	123058
登録日	1980年6月27日	-	1984年1月20日	-	1986年3月13日	1989年10月12日	1984年9月19日
拒絶査定	-	-	-	-	-	1985年7月25日	-
審判番号	-	-	審判昭59-17716	審判昭59-17716	-	審判昭60-17670	-
審判請求日	-	-	-	1984年9月25日	-	1985年8月29日	-
備考	加算読出しの基本	1水平読出し期間に					
連名者		複数ラインを同時に 読み出す手段が書 かれている	中部隆平 松浦敏郎	小野寺秀夫 高橋健二 佐藤和弘	照井康明 和田孝道 吉野優		竹本一八男 久保征治 佐藤和弘 長原脩策
参照特許			特開昭51-29021	特開昭51-31119 特開昭51-36819	特開昭51-36819	特開昭51-57123 特開昭52-155010 特開昭53-77125	特開昭52-6416 特開昭52-2403

文献

- (1) 竹村裕夫：CCD・CMOSカメラ技術入門、コロナ社刊、2008年4月。
- (2) 竹村裕夫：家庭用単管式カラーカメラの開発、映像情報メディア学会誌、Vol.60, No.6, pp.879-882, 2006年6月。
- (3) 辻重夫、竹村裕夫：6. 固体撮像デバイス、テレビジョン学会誌、vol.28, no.11, pp.911-917, 1974-11.
- (4) W. S. Boyle and G. E. Smith : Charge Coupled Semiconductor Devices, Bell Syst. Tech. J., 49, pp.587-593, Apr. 1970.
- (5) G. F. Amelio, et al. : Experimental Verification of the Charge Coupled Devices Concept, Bell Syst. Tech. J., 49, pp.593-600, Apr. 1970.
- (6) F. L. J. Sangster : Bucket-Brigade Electronics - New Possibilities for Delay-Axis Conversion and Scanning, IEEE J. of Solid-State Circuits, SC-4, pp.131-136, June 1969.
- (7) E. Arnold, et al. : Video Signals and Switching Transients in Capacitor-Photodiode and Capacitor Phototransistor Image Sensors, IEEE Trans. Electron Devices, ED-18, 11, pp.1003-1010, Nov. 1971.
- (8) G. J. Michon and H. K. Burke : Charge Injection Imaging, ISSCC Digest of Tech Papers, pp.138-139, Feb. 1973.
- (9) 竹本一八男：撮像デバイスへの応用、テレビジョン学会誌、Vol.37 No.1, pp.25-31, 1983年1月。
- (10) 座談会：固体撮像技術若手技術者大いに語る、テレビジョン学会誌、Vol.37, No.10, pp.869-876, 1983年10月
- (11) 座談会：固体撮像素子、40万画素量産への課題は何か、日経エレクトロニクス、437, pp.73-85, 1987年12月
- (12) 座談会 固体イメージセンサ開発の熱気と学会活動 - 前編、映像情報メディア学会誌、Vol.60, No.8, pp.1244-1249, 2006年8月。
- (13) 座談会 固体イメージセンサ開発の熱気と学会活動 - 後編、映像情報メディア学会誌、Vol.60, No.9, pp.1386-1392, 2006年9月。
- (14) 竹村裕夫：ビデオカメラ、テレビジョン学会誌、Vol.38, No.7, pp.622-624, 1984年7月。
- (15) 佐藤和弘：固体カラーカメラ、テレビジョン学会誌、Vol.37, No.2, pp.104-111, 1983年2月
- (16) E. R. Fossum : Active pixel Sensors; Are CCD's Dinosaurs?, Proc. SPIE, vol.1900, pp.2-14, 1993.
- (17) E. R. Fossum : CMOS Image Sensors, Electronic Camera on a Chip, IEDM, pp.17-25, Feb.1995.
- (18) E. R. Fossum : CMOS Image Sensors; Electronic Camera - on-a-chip, IEEE Trans. Electron Devices, vol.44, No.10, pp.1689-1698, 1997
- (19) R. D. McGrath : CMOS Image Sensor Technology, AIM デジタル映像国際シンポジウム予稿集、1996年12月2日
- (20) 馬淵圭司、大場英史、飯田義典、中村信男、三浦浩樹：1/4インチVGA対応33万画素CMOSイメージセンサ、映像情報メディア学会技術報告、1997年3月14日
- (21) 松長誠之、遠藤幸雄：CMOSイメージセンサのノイズキャンセル回路、映像情報学会技術報告、vol.22, No.3, pp.7-11, 1998年1月。
- (22) 小池紀雄、竹本一八男、佐藤和弘、笹野晃、長原脩策、久保証治：単板カラーカメラ用npn構造型MOS撮像素子の特性、テレビジョン学会誌、Vol.33, No.7, pp.548-553, 1979年7月。
- (23) 高橋、ほか：補完画素配置を用いた高解像度MOS形撮像素子、テレビジョン学会誌、Vol.37, No.10, pp.812-818, 1983年10月。
- (24) 大場、ほか：2次元MOS型固体素子の固定パターン雑音と抑圧回路の提案、テレビジョン学会技術報告、TEBS64-2, pp.53-58, 1980年8月。
- (25) 竹本、ほか：水平転送方式固体撮像素子、テレビジョン学会技術報告、ED891, pp.49-54, 1985年
- (26) T. Tsukada, et al. : New Solid-State Image Pickup Devices using Photosensitive Chalcogenide Glass Film, IEDM Tech. Digest, pp.134-136, Dec. 1979.
- (27) 馬路徹、下元泰治、松丸治男、田中靖夫、小池紀雄、秋山俊之、笹野晃、塚田俊久：非晶質Siを用いた単板カラー固体撮像素子、テレビジョン学会技術報告、Vol.5, No.29, ED-607, 1981年12月
- (28) 近村隆夫、藤原慎司、柴田卓夫、照井康明、和田孝道、米田忠央、小川一文、小倉基次、田中大通、深井正一：異種接合受光素子を積層した固体撮像板、テレビジョン学会技術報告、ED490, pp.13-18, 1980年3月27日
- (29) S. Manabe, et al. : A 2-million-pixel CCD image sensor overlaid with an amorphous silicon photo conversion layer, IEEE Trans. Electron Devices, Vol. ED-38, No.8, pp.1765-1771, Aug.1991.
- (30) 松長誠之、井上郁子、宮川良平、柴田英紀、山下浩史、能見菜穂子：容量性残像のない200万画素PSID、テレビジョン学会技術報告、Vol.16, No.18,

- pp.31-36, 1992年2月.
- (31) 井上郁子、山下浩史、佐々木道夫、大澤慎治、宮川良平、大場英史、中村信男、遠藤菜穂子、松長誠之、江川佳孝、遠藤幸雄、山口鉄也、飯田義典、古川章彦、真鍋宗平、石塚芳樹、一之瀬秀夫、新山貴子、井原久典、野崎秀俊、柳瀬 勇、佐久間尚志、坂久保武男：2/3 インチ 200 万画素スタック CCD, テレビジョン学会技術報告、Vol.18, No.16, pp.13-18, 1994年3月.
- (32) 内田資之、松本英之、海野芳弘：固体化ハイビジョンカラーカメラ HSC-100、東芝レビュー、Vol.46, No.9, pp.703-706, 1991年9月.
- (33) 安藤文彦、竹歳和久、中村一彦、今井正晴：増幅型固体撮像素子 AMI (Amplified MOS Intelligent Imager)、テレビジョン学会誌、Vol.41, No.11, pp.1075-1082, 1987年11月.
- (34) 安藤文彦、川島 光、田中 克、村田直文、菅原正幸、山脇 正雄：1/4 インチ 25 万画素増幅型固体撮像素子 AMI、テレビジョン学会誌、Vol.49, No.2, pp.188-195, 1995年2月.
- (35) Y. Fujita, et al. : A New High-Speed Camera System for Broadcast Use, SMPTE Journal, pp.820-823, Oct.1990.
- (36) 寺川、ほか：呼水転送による CCD 読み出し新固体撮像素子、電子通信学会技術研究会報告、半導体トランジスタ研究会資料、SSD79-100, 1980-2.
- (37) M. Kimata, et al. : A 480 × 400 Element Image Sensor with a Charge Sweep Device, ISSCC 85, pp.100-101, Feb. 1985.
- (38) A. J. P. Theuwissen, et al. : The Accordion Imager : an Ultra High Density Frame Transfer CCD, IEDM 84, pp.40-43, Dec. 1984.
- (39) J.Nishizawa, et al. : Static induction Transistor image sensors, IEEE Trans. Electron Devices, Vol.ED-26, No.12, pp.1970-1977, Dec.1979.
- (40) A. Yusa, et al. : SIT Image Sensor : Design Considerations and Characteristics, IEEE Trans., ED-33, 6, pp.735-742, June 1986.
- (41) 中村 力、松本一哉、日向良二、大石泰広、遊佐 厚：ゲート蓄積型 MOS フォトトランジスタイメージセンサ、テレビジョン学会誌、Vol.41, No.11, pp.1047-1053, 1987年11月.
- (42) 中村 力、松本一哉、野本哲夫：CMD 撮像素子：高解像度への取り組み、テレビジョン学会誌、Vol.50, No.2, pp.251-256, 1996年2月.
- (43) Komobuchi, et al. : A Novel High-gain Image Sensor Cell Based on Si p-n APD in Charge Storage Mode Operation, IEEE Trans., ED-37, 8, pp.1861-1868, Aug. 1990.
- (44) J. Hyneczek : A New Device Architecture Suitable for High-Resolution and High-Performance Image Sensors, IEEE Trans. Electron Devices, ED-35, 5, pp.646-652, May 1988.
- (45) N. Tanaka, et al : A Novel Bipolar Imaging Device with Self-Noise-Reduction Capability, IEEE Trans. Electron Devices, ED-36, 1, pp.31-38, Jan. 1989.
- (46) 竹村裕夫：CCD カメラ技術、ラジオ技術社刊、1986年11月。(現在、廃刊)
- (47) 東芝撮像管カタログ、No.P6A、1980年。
- (48) 東芝 CCD 技術資料、1996年8月。
- (49) 井上郁子：CMOS センサの「これまで」と「今後」、映像情報インダストリアル、pp.2-5、2003年1月。
- (50) 竹村裕夫：広ダイナミックレンジ技術と車載カメラへの課題、映情学技術報告、vol.31, No.30, pp.11-14, 2007年6月。
- (51) 竹村裕夫：広ダイナミックレンジカメラ技術の現状と動向、映情学技術報告、vol.31, No.50, pp.1-6, 2007年10月。
- (52) 平成 20 年度特許出願技術動向報告調査報告書ーデジタルカメラ装置ー、p.209、表 1-6-1 デジタルカメラ関連装置における基本特許・重要特許の抽出、特許庁、2009年3月。
- (53) Hiroshige Goto, Hirokazu Sekine, Tetsuo Yamada and Nobuo Suzuki : CCD Linear Image Sensor with Buried Overflow Drain Structure, Electronics Letters, Vol. 17, No. 24, pp. 904-905, 1981.
- (54) Y. Ishihara, E. Oda, H. Tanigawa, N. Teranishi : Interline CCD Image Sensor with Anti-blooming Structure, ISSCC82, pp.168-169, Feb.1982.
- (55) 石原、ほか：縦型オーバーフロー構造 CCD イメージセンサ、テレビジョン学会誌、Vol.37, No.10, pp.782-787, 1983年
- (56) 堀居賢樹、黒田隆男、松本茂則、国井孝雄：新構成 CCD 撮像素子 FIT-CCD 撮像素子ー、昭和 56 年電気関係学会関西支部連合大会、G9-14, pp.G280。
- (57) K. Horii, T. Kuroda and T. Kunii : A New Configuration of CCD Imager with a Very Low Smear Level, IEEE Electron Device Letters, Vol.

- EDL-2, No.12, pp.319-320, Dec. 1981.
- (58) K.Horii, T. Kuroda and S. Matsumoto : A New Configuration of CCD Imager with a Very Low Smear Level – FIT-CCD, IEEE Electron Devices, Vol.ED-31, No.7, pp.904-909, 1984.
- (59) Y. Ishihara and K. Tanigaki : A High Photosensitivity IL-CCD Image Sensor with Monolithic Resin Lens Array, IEDM Tech. Digest, pp.497-500, Dec.1983.
- (60) C. H. Sequin : Interlacing in Charge-Coupled Imaging Devices, IEEE Trans. Electron Devices, Vol.ED-20, No.6.p. 535 , 1973.
- (61) S. R. Morrison : A New Type of Photosensitive Junction Device, Solid-State Electronics, 6, pp.485-494, Sep./Oct. 1963.
- (62) J. W. Horton, et al. : The Scanistor-a Solid-State Image Scanner, Proc. IEEE, 52, 12, pp.1513-1528, Dec. 1964.
- (63) P. K. Weimer, et al. : Integrated Circuits Incorporation Thin-Film Active and Passive Elements, Proc. IEEE, 52, 12, pp.1479-1486, Dec. 1964.
- (64) 佐藤真木 : 5-4 情報家電用デバイス技術、電子情報通信学会「知識ベース」14 群 1 編 5 章、2010 年 6 月。
- (65) M. F. Tompsett, et al. : Charge-Coupled Imaging Devices : Experimental Results, IEEE Trans. Electron Devices, Vol.ED-18, No.11, pp.992-996, 1971.
- (66) W. F. Kosonocky and J. E. Carnes : Charge-Coupled Digital Circuits,, ISSCC Dog. Tech. Papers, pp.162-163, 1971
- (67) R. H. Krambeck, R. H. Walden and K. A. Picker : Implanted -Barrier Two-Phase Charge-Coupled Device, Applied Physics Letters, Vol.19, No.12, pp.520-522, 1971.
- (68) W. F. Kosonocky and J. E. Carnes : Charge-Transfer Devices, ISSCC Dog. Tech. Papers, pp.132-133, 1972.
- (69) R. H. Walden, R. H. Krambeck, R. J. Strain, J. Mckenna, N. L. Shryer and G. E. Smith : The Buried Channel Charge Coupled Device, The Bell System Technical Journal, Vol.51, pp.1635-1640, 1972.
- (70) M. H. White, D. R. Rampe, F.C. Blaha and L. A. Mack : Characterization of Surface Channel CCD Image Arrays at Low Light Levels, IEEE Journal of Solid-State Circuit, Vol. SC-9, No.1, pp.1-13, 1974.
- (71) 越智成之 : インターライン型 CCD 撮像装置、特許登録 1522884、1976 年 12 月 24 日出願
- (72) 寺西信一、河野明啓、織田英嗣、新井浩一、石原保雄 : p+n- 構造フォトダイオードを用いた IL-CCD の残像特性、テレビ全大、pp.45-46、1981。
- (73) N. Teranishi, et al. : No Image Lag Photodiode Structure in the Interline CCD Image Sensor, IEDM Tech. Digest, pp.324-327, Dec.1982.
- (74) Hiroshige Goto, Hirokazu Sekine, Tetsuo Yamada and Nobuo Suzuki : CCD Linear Image Sensor with Buried Overflow Drain Structure, Electronics Letters, Vol. 17, No. 24, pp. 904-905, 1981.
- (75) Y. Ishihara, E. Oda, H. Tanigawa, N. Teranishi : Interline CCD Image Sensor with Anti-blooming Structure, ISSCC82, pp.168-169, Feb.1982.
- (76) 石原、ほか : 縦型オーバーフロー構造 CCD イメージセンサ、テレビジョン学会誌、Vol.37, No.10, pp.782-787, 1983 年 10 月
- (77) 津谷英樹 : Si ウェハの内部欠陥導入方法、特公昭 63-44720、1988 年 9 月 6 日、1980 年 1 月 22 日出願。
- (78) 越智成之 : 固体撮像体、特公昭 59-3066、1984 年 1 月 21 日、1975 年 9 月 18 日出願。
- (79) 関根弘一 : 固体撮像装置、特公平 1-37910、1989 年 8 月 10 日公告、1983 年 3 月 22 日出願。
- (80) Yasuo Ishihara, K. tanigaki : A High Photosensitivity IL-CCD Image Sensor with Monolithic Resin Lens Array, IEDM pp.497-500, 1983.
- (81) 松本博行、ほか : 高抵抗 MCZ 基板を用いた CCD 撮像素子、テレビ誌、Vol.37, No.10, pp.776-781, 1983.
- (82) Kobayashi, et al. : A $\frac{1}{2}$ -in 380k-pixel Progressive Scan CCD Image Sensor, ISSCC, pp, 192-193, 1993.
- (83) U. Seger, H. G. Graf and M. E. Landgraf : Vision Assistance in Scenes with Extreme Contrast, IEEE Micro, Vol.13, No.1, pp.50-56, May 1993.
- (84) C. H. Aw, et al. : A 128 × 128-pixel standard-CMOS image sensor with electronic shutter, ISSCC, pp.180-181, 1996
- (85) D. Scheffer, B. Dierickx and G. Meynants :

- Random Addressable 2048 × 2048 Active Pixel Image Sensor, IEEE Trans. Electron Devices, Vol.44, No.10, pp.1716-1720, Oct. 1997.
- (86) A.EI Gamal : High Dynamic Range Image Sensors, ISSCC 2002.
- (87) 杉木、ほか：コラム型 FPN のないコラム型 AD 変換器を搭載した CMOS イメージセンサ、電子情報通信学会技術報告、EID2000-22, pp.79-84, 2000 年 6 月。
- (88) 中村信男、松長誠之：高感度 CMOS イメージセンサの開発、映像情報メディア学会誌、vol.54, No.2, pp.216-223, 2000 年 2 月。
- (89) T. Yamada, et al. : A Progressive Scan CCD Image Sensor for DSC Applications, IEEE J. Solid-State Circuits, vol.35 No.12, pp.2044-2054, 2000.
- (90) 小田和也、小林寛和、竹村和彦、竹内 豊、山田哲生：広ダイナミックレンジ撮像素子の開発－第 4 世代スーパー CCD ハニカム－、映像情報メディア学会技術報告、Vol.27, No.25, pp.17-20, 2003 年 3 月 28 日。
- (91) 須川成利、赤羽奈々、足立 理、盛 一也、石内 敏之、溝渕孝一：横型オーバーフロー蓄積容量を用いた広ダイナミックレンジ CMOS イメージセンサ、映像情報メディア学会技術報告、Vol.29, No.24, pp.29-32, 2005 年 3 月 18 日。
- (92) 江川佳孝、小池英敏、岡元立太、ほか：2 重露光動作を用いたワイドダイナミックレンジ CMOS イメージセンサ、映像情報メディア学会技術報告、Vol.31, No.21, pp.25-28, 2007 年 3 月 23 日。
- (93) 竹村裕夫、片山儀高：電荷結合素子、特公昭 53-911、1978 年 1 月 12 日、1972 年 5 月 31 日出願。
- (94) 吉野優、照井康明：半導体装置、特許 1398724 号、1987 年 11 月 26 日、1975 年 5 月 16 日出願。
- (95) 黒田隆男、堀居賢樹：国体撮像装置の駆動方法、特公平 4-14551、1992 年 3 月 13 日、1997 年 9 月 3 日補正あり、1982 年 4 月 26 日出願。

4 | カラー撮像方式 —その1— 撮像管時代

4.1 概要

ビデオカメラに用いられてきた撮像デバイスは70年代の撮像管、80年代後半からのCCD、2000年代以降のCMOSイメージセンサなどいずれも光の明暗を感じて電気信号の大きさが変化する、光電変換デバイスであった。

これは光電変換を行う撮像管の光導電膜、CCDやCMOSイメージセンサのフォトダイオードが光の波長選択性を持たず、可視光領域の波長に感度を有するためである。

そこで、カラー信号を得るためには何らかの光学的手段を用いて、色信号を選択的に分離して得ることが必要であった。この手法についてはこれまで多くの研究開発が行われてきた⁽¹⁾。撮像デバイスの数から分類すると図4.1のように表すことができる。撮像管では単管式、3管式と呼ばれ、固体撮像デバイスになって単板式、3板式と呼ばれるようになったが、この図では煩雑になるので、板を用いている。

この中でビデオカメラに用いられ方式は図(b)がほとんどであり、一部の特殊用途として、図(c)が用いられる。

なお、図(a)の面順次はアポロの月面着陸のテレビ映像送出で話題となった。医療用など一部の業務用に実用化され、最近では内視鏡の一部、などにも用いられている。

一方、高性能が要求される放送局用のスタジオカメラ、ニュース取材用カメラ(ENG)、フィールドカメラ(EFP)などは図(c)の3板式である。

ここでは経緯を中心に述べるので、技術の詳細は文献(1)(2)を参照願いたい。

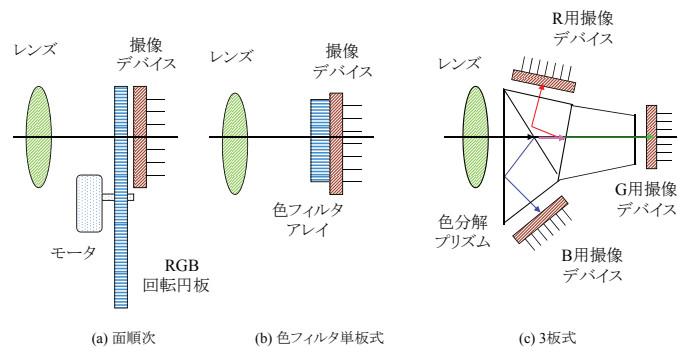


図 4.1 カラー撮像方式⁽²⁾

4.2 単管式

CCDが実用化される以前のビデオカメラはビジコンという Sb_2S_3 (3 硫化アンチモン)を光導電膜に用いた撮像管が主流であった。

撮像管は光導電膜を電子ビームで走査して、透明電極から信号を取り出すもので、電子ビームの走査と収束にはコイルによる電磁偏向、電磁収束が一般的であり、走査と収束はアナログであった。したがって、走査の均一性が難しく、走査歪みも発生するため、走査位置が正確には定まらず、画素単位で情報をアクセスすることは不可能であった。

4.2.1 トライカラービジコン

色フィルタ内蔵の単管式の最初は1955年のRCAのトライカラービジコンである⁽³⁾。図4.2に示すように、普通は均一に蒸着される透明電極ITO(ネサコーティング)をストライプ状に分割して3番目ごとに結線して3組の出力線を形成する。3組の電極に対応し

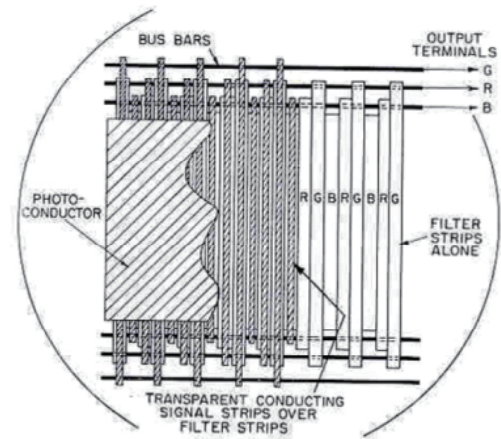


図 4.2 トライカラービジコン⁽⁵⁾

て、それぞれに RGB の色フィルタをストライプ状に設ける。すると 3 組の出力線から RGB 色信号が分離して得られる。実際にはこのような構成にすると配線間容量の影響で混色が生じ、信号の S/N が低下する。1 インチ撮像管で 300pF にもおよび、1.3MHz で 400 Ω に達する。混色を避けるためには負荷抵抗を下げなければならず、その結果、S/N が低下する。これを改善する努力が発表されている⁽⁴⁾⁽⁵⁾。

このトライカラービジコンを用いて、RCA、Magnabox などが業務用カメラを製品化した。

4.2.2 周波数多重

国内では日本コロネアで、1960 年代に活発な研究開発が行われた⁽⁶⁾。当時は撮像管の製造メーカーも限られていたため、撮像管は普通のビジコンを用いて、リレーレンズを使って、研究開発が行われた。

図 4.3 に示すように、ストライプフィルタの像を撮像管の光導電膜上に再結像させるのがリレーレンズの目的である。(当時はストリップフィルタとも呼ばれていた。)しかし、リレーレンズは近接画像を周辺光量や周辺解像度の劣化なしに再結像しなければならず、光学設計的にも無理があり、十分な性能が得られなかった。

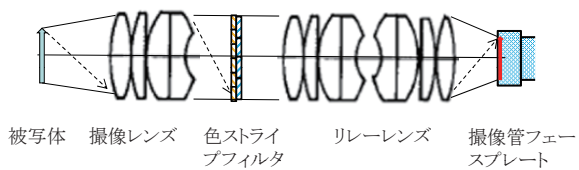


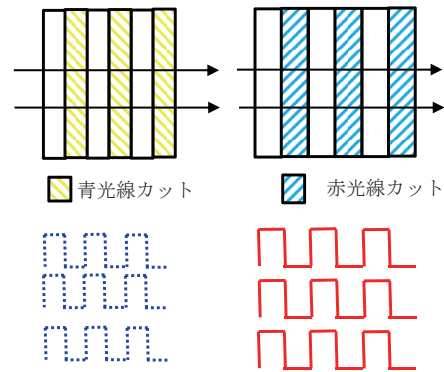
図 4.3 リレーレンズを用いた単管式の一例

原理を図 4.4 に示す。図 (a) に示すように、B カットと R カットの 2 種類のストライプフィルタを用いる。被写体の光学像はこのフィルタのピッチに相当する周波数で振幅変調され、変調 R 信号と変調 B 信号が図 (b) のような関係で得られる。

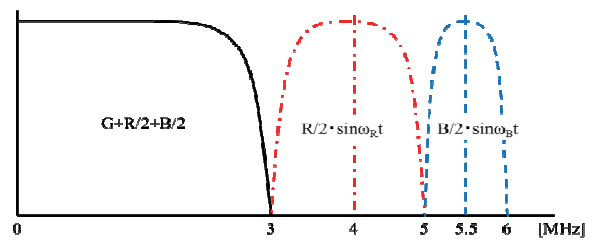
また、撮像管に要求される解像度特性が図 4.4 に示すように、6MHz と広帯域に及び、しかも、6MHz 付近まで高 S/N が要求されるため、特別な高性能撮像管が必要になる。そのため、なかなか良い画像を安定して得ることが難しかった。

日本コロネアでは数年間にわたって研究開発を継続し、業務用カメラとしてこの方式が実用化された⁽⁷⁾⁽¹⁵⁾。

一方、世界的にはこの周波数多重方式は古くからアイデアが提案されていた。1953 年には Leslie H.



(a) 色フィルタと波形



(b) 周波数帯域の関係

図 4.4 周波数多重方式

Bedford (Canadian Marconi)⁽¹⁶⁾⁽¹⁷⁾ とキース・ティーア (フィリップス)⁽¹⁸⁾ が 2 色のストライプフィルタを使った単管式を、1956 年にはデビッド・ラッセル・テート (EMI) が 2 色のストライプフィルタを使った単管式を提案している⁽¹⁹⁾。これらの特許提案が公告になったのは 1958 年であるから、これら 3 人の発明は先後願の関係にあるため、米国、英国、カナダ、日本でそれぞれ登録されている。当時の特許出願は公開制度がなかったため、公告にはならないと公知にならない。公知になる前に複数の特許が出願されると先後願の関係といて、同一内容でなければ登録されやすい。そこでこのように類似の特許が登録されることになる。

これに対して日本コロネアの最初の提案は 1961 年であるから、これらの特許が公知例となり、ビート妨害を除去する混合器を有するなど限定された特許になっている⁽²⁰⁾⁽²²⁾。

これら特許の一覧を表 4.1 に示す。

表 4.1 周波数多重方式特許

名称	Color Television Camera	Colour Television Transmission	Colour Television Transmission Filter	複数のテレビジョン情報信号を同時に発生する装置の改良
発明者	Ray D. Kell	Leslie H. Bedford	Leslie H. Bedford	キース・ティアー
メーカー	RCA	Canadian Marconi	Canadian Marconi	フィリップス
出願番号	301,503	650,962	659,355	
出願日	July 29, 1952	16-Jul-53	Jan. 6, 1954	優先権主張 1953-11-14
公告番号				特公昭 33-3361
公告日				1958/11/14
特許番号	2,733,291	Canad 602,998	Canad 578,146	
登録日	Jan. 31, 1956	Aug. 9, 1960	June. 23, 1959	
備考	周波数多重の基本特許	シアンとイエローのストライプフィルタを有するカラーカメラ	カラーカメラ用 Cy Ye のストライプフィルタ	シアンとイエローのストライプフィルタを有するカラーカメラ

名称	色信号発生装置	単一撮像管による色信号発生装置	色彩テレビジョン信号発生方式	複合信号発生装置
発明者	デビッド・ラッセル・テート	高木俊彦、長原脩策	高木俊彦、長原脩策	高木俊彦、長原脩策
メーカー	EMI	日本コロムビア	日本コロムビア	日本コロムビア
出願番号		特願昭 36-18776	特願昭 37-31707	特願昭 38-70590
出願日	優先権主張 1956-2-24	1961年5月27日	1962年7月26日	1963年12月26日
公告番号	特公昭 35-14656	特公昭 39-13833	特公昭 40-5170	特公昭 42-12473
公告日	1960/10/5	1964/7/16	1965/3/18	1967/7/14
特許番号				
登録日				
備考	ストライプフィルタを有するカラーカメラ	ビート妨害除去混合器を有する単管式カラーカメラ	ビート妨害を避けるために1つの色フィルタを傾ける周波数多重方式	1つの色フィルタを傾け、副走査を行う周波数多重方式

対応 英国特許 856,002

日本コロムビアからの3件はいずれも右4件の公知例後に出願

4.2.3 周波数インターリーブ

この方式は1970年電気関連4学会全国大会で東芝と日立製作所からそれぞれ発表された。両社の発表は微妙な違いがあり、東芝は図4.5(a)(b)のように、Bの

変調波を輝度信号とR変調波の間にインターリーブする方式⁽²³⁾、日立は図(c)のように、RとB二つの変調波を輝度信号の中にインターリーブする⁽²⁴⁾方式であった。

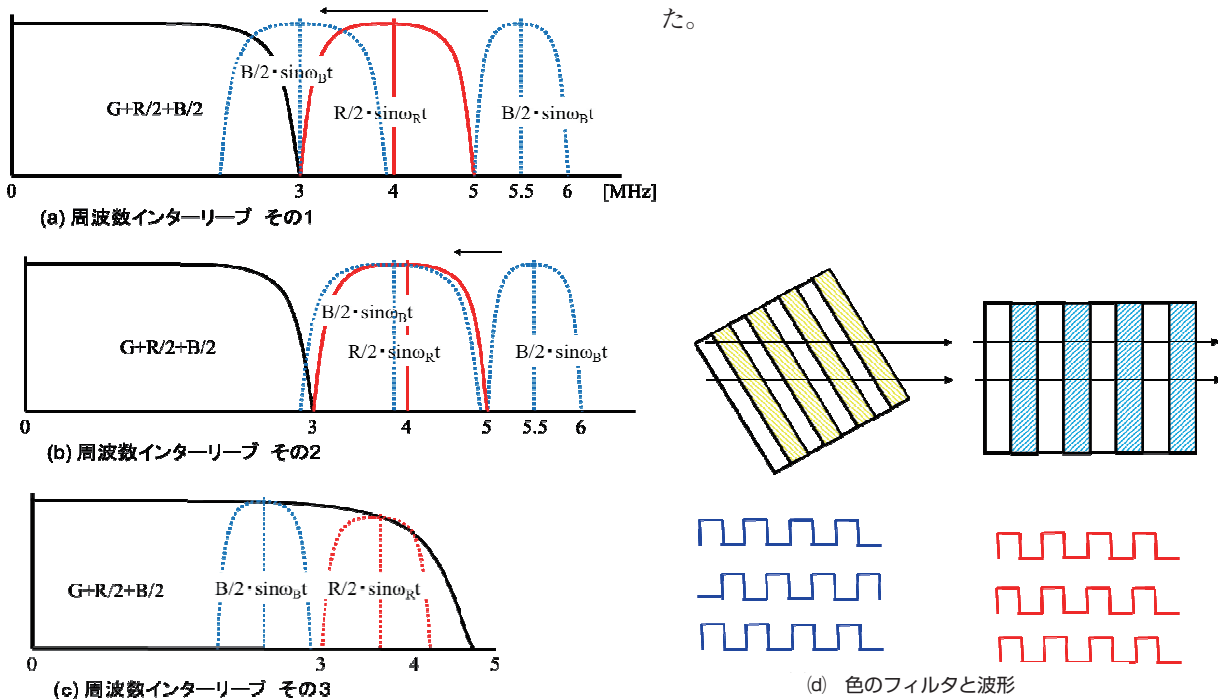


図 4.5 周波数インターリーブ

表 4.2 周波数インタリーブ方式特許

名称	周波数分離式単撮像管 カラー・テレビジョン・カメラ	色信号発生装置	カラーテレビジョン撮像装置	カラーテレビジョン撮像装置
発明者	坂田晴夫	江藤良純	竹村裕夫	八木基、竹村裕夫
メーカー	NHK	日立製作所	東芝	東芝
出願番号	特願昭 41-30805	特願昭 44-25544	特願昭 44-68387	特願昭 44-77051
出願日	1966/5/16	1969 年 4 月 4 日	1969 年 8 月 30 日	1969 年 9 月 29 日
公開番号				
公開日				
公告番号	特公昭 45-8699	特公昭 49-49247	特公昭 50-34375	特公昭 51-32053
公告日	1970 年 3 月 28 日	1974 年 12 月 26 日	1975 年 11 月 7 日	1976 年 9 月 10 日
特許番号	583954	787522	822621	857019
登録日	1970 年 9 月 22 日	1975 年 9 月 16 日	1976 年 7 月 28 日	1977 年 4 月 28 日
内容	単一搬送波周波数 インタリーブ方式基本 インタリーブ	2種類の色信号により、 輝度信号の中に2つの変調 色信号をインタリーブ	2種類の斜め色フィルタを交 差配列させ、2種類の搬送波を インタリーブの関係に配置	傾けた2種の斜め色フィル タを有し、輝度信号の中に2つの 変調色信号をインタリーブ

名称	2つの独立した画像を 伝送するビデオシステム	色信号発生方式	色符号化カメラ方式	複数の信号を得る ための撮像装置
発明者	スー・ヤン・シャイ、ほか	ジャイエロームブランディン ガー、ほか	ロバート・アダムズ・デイスチャート	八木基、竹村裕夫
メーカー	ヴェスターン エレクトリック	RCA	RCA	東芝
出願番号	特願昭 46-3742	特願昭 46-6126	特願昭 46-6127	S45-11436
出願日	優先権主張 1970 年 2 月 2 日	優先権主張 1970 年 2 月 11 日	優先権主張 1970 年 2 月 11 日	1970.2.12
公開番号	特開昭 46-759	特開昭 46-1208	S46-1207	
公開日	1971 年 9 月 3 日	1971 年 9 月 16 日	1971.9.16	
公告番号		特公昭 52-1615	特公昭 57-22503	S51-22775
公告日		1977 年 1 月 17 日	1982 年 5 月 13 日	1976.7.12
特許番号			1142424	967285
登録日			1983.4.13	1979.7.26
審判番号	S51-7515	S51-7515	S51-7516	
審判登録			1982.10.25	
審判拒絶		1981.9.30		
放棄	1978 年 12 月 14 日			
内容	色フィルタを交互に傾ける 点で最初	単一搬送波インタリーブ	単一搬送波 120°インタリーブ	単一搬送波 インタリーブ
備考	放棄	松下電器より異議申立により拒 絶査定(1976.4.6) 不服審判で請求却下(特許不成 立)特願 46-3742 と同一。	拒絶査定(1976.4.6) 不服審判で登録	請求範囲補正 1979.10.8

従来の周波数多重方式では、図 3.4(b) のように、撮像管の周波数帯域が 6MHz まで必要とされていたが、

この方式は同じ解像度を得るために、どちらも、5MHz で十分であり、周波数帯域が格段に狭くできる画期的な方式である。

その後、東芝ではこの色フィルタを撮像管内部に形成するクロミコンの量産化に成功し、1974 年、世界初の家庭用ビデオカメラの製品化につなげた⁽²⁵⁾。一方、日立も上述したようにこの方式の開発を行ったが⁽²⁶⁾⁽²⁷⁾、周波数

多重方式に熱心であった⁽²⁸⁾⁻⁽³⁶⁾。

周波数インタリーブ方式は図 (d) に示すように、走査方向に対して、少なくともどちらかの色フィルタを走査線ごとに位相が π 変化するように、斜めに配置することが特徴で、これにより周波数を共有したままで、2 つの信号を分離できる。この信号が周波数インタリーブされていることは 1971 年の Proc. IEEE に発表され⁽³⁷⁾ 話題を呼んだ。こののち、詳細な解析結果が報告されている⁽³⁸⁾⁽⁴²⁾。

この周波数インタリーブ方式は国内を始め、海外メーカからも同時期に多数の提案があった。これらを表 4.2 にまとめて示す。坂田 (NHK) が最も古く、1966 年に単一搬送波方式を提案⁽⁴³⁾⁽⁴⁴⁾、登録になった。その後、1969 年に、江藤 (日立製作所) が学会発表と同じ図 (c) の方式⁽⁴⁵⁾を、竹村 (東芝) が学会発表と同じ図 (a), (b) の方式を特許出願⁽⁴⁶⁾⁽⁴⁷⁾している。

海外メーカからはスー・ヤン・シャイ、ほか (ウエスタン エレクトリック) が 1970 年に⁽⁴⁹⁾、ジャイジェロームブランディングーほか (RCA) が 1970 年に⁽⁵⁰⁾、周波数インタリーブ方式を提案し日本に優先権主張で出願したが、どちらも上記提案と同一とみなされ拒絶され特許は成立していない。ただ、1 件、ロバート・アダムズ・デイスチャート (RCA) が 1970 年に優先権主張で出願⁽⁵¹⁾したものが限定されて、特許が成立している。

更に、上記特許と 1 日違いで、単一搬送波インタリーブ方式が特許出願され⁽⁴⁸⁾、限定つきで特許になっている。

周波数インタリーブの学会発表と坂田特許の公告が 1970 年 3 月で、上記、特許提案のどれもが 1970 年 2 月までに出版されていて、これらが全て、先後願の関係にあって、公知でない。同じアイデアを発明するのが、世界中で、同時期にあるという興味ある現象である。

ここで、発想の点に触れてみたい。アイデア創出の機会はさまざまである。ある研究所では新しいアイデアを盛り込んだ機器の試作に追われていた。研究所にしては珍しく、残業が続き、肉体的に疲れきった状態で床に入っていた時にアイデアが浮かんだという。今、作っている機器は 2 管式で進めているが、量産の時には単管式が必要だろう。それには何か工夫が要る。単管式にならないわけは周波数帯域が広がり過ぎているからである。これが問題であって、狭くできれば解決する。身近なテレビで使われている NTSC 方式は色信号をインタリーブという特殊な変調方式を RCA が考え出して狭くしていることにたどり着く。周波数を織り込めれば狭くでき、別々に複数の色信号を分離できる。これを単管式に適用できれば周波数が有効利用できる。それにはフィルタを斜めにすればいけるかもしれない。こうしてアイデアの整理に取り掛かる。

このように、忙しいときには気が充実しているので、連想が次々に浮かんで行き、アイデアが固まるのに時間がかからない。

業務が忙しいから、時間の余裕がないからアイデアが生まれないということはない。業務多忙な中でこそ

良いアイデアが生まれる余地があると考えられる。

また、ある場合は専門とかけ離れた文献を皆で読んでいるときにも生まれる。輪講会では複数の参加者があるので必ずしも専門が近い人ばかりではない。他の分野で使われている技術を自分の分野に適用すると大きな効果が得られることがある。専門が違うから、面白くないからと逃げてしまわずに、常に前向きに新しい技術に関心を持つことがアイデア創出には必要である。

4.2.4 位相分離方式 (トリニコン)

トライカラー方式が 3 電極にして、RGB 信号を直接取り出そうとしたのに対し、トリニコンは図 4.6 のように、電極は 2 つに分割する。しかも、ここからは位相分離に必要な基準信号を取り出すだけで、RGB 信号の取出しは 1 本にしている⁽⁵²⁾。これによりトライカラーの欠点であった容量の影響を避けることができる。色信号は RGB の順次信号となるから、インデックス信号を基準として位相分離できる。

この方式は 1971 年ソニーから業務用カメラとして製品化された。

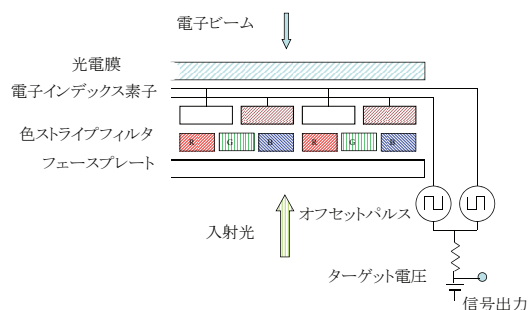


図 4.6 トリニコンの断面模式図

4.2.5 ステップエネルギー方式

この方式は W C G のストライプフィルタを設け、高域成分から、包絡線検波により 2 組の色信号成分を分離しようとするものである⁽⁵³⁾。図 4.7 に示すように、比較的広帯域の LPF により輝度信号を分離する。次に、狭帯域 LPF により色信号の一つを分離する。更に HPF により高周波成分を分離、二つの包絡線検波により、2R+B と R+2B の色信号を分離マトリクス回路により、RGB の 3 色信号を分離する。

日本ビクターから 1978 年に提案され、単管式カメラが作られた。

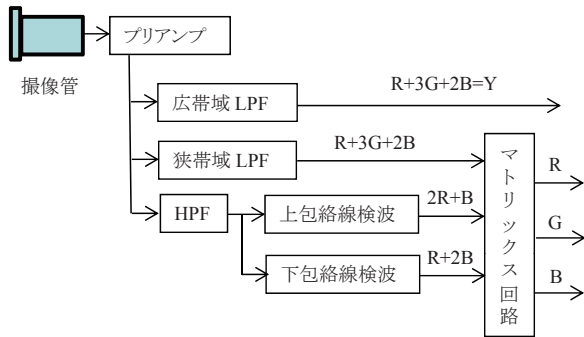


図 4.7 ステップエネルギー方式の回路構成

4.2.6 3 電極方式

1974 になって、日立製作所では 3 電極方式の撮像管、カメラの開発が行われた⁽⁶⁴⁾⁽⁵⁷⁾。

4.3 2 管式

周波数多重方式では撮像管にかかる負担が大きく、高性能ビジコンが必要になった。そこで、撮像管を 2 本用い、輝度信号を 1 本の撮像管から、RB の 2 色信号をもう 1 本の撮像管⁽⁵⁸⁾⁽⁵⁹⁾ から取り出す 2 管式が用いられた。

図 4.8 は 1970 年に大阪万国博で公開展示されたカラーテレビ電話⁽⁶⁰⁾ に用いられた 2 管式カラーカメラの光学系である。

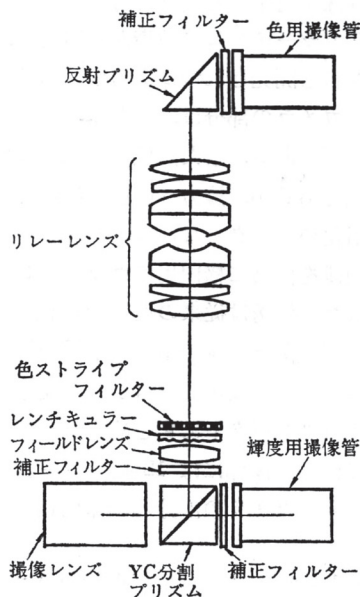


図 4.8 2 管式カラーテレビ電話の光学系

2 管式なので、青信号の搬送波 1.4MHz に設定されている。色信号の周波数帯域は 0.5MHz でよから撮像管の周波数帯域は 2.5MHz もあれば十分である。光学像もそれに応じて簡略化できるが、それでも周辺解像度、周辺光量の低下を防ぐためにリレーレンズは 8

枚構成が使用された。

なお、2 管式カメラ⁽⁶¹⁾ は IK-83 として業務用に製品化された⁽⁶²⁾⁽⁶⁴⁾。

当時は 100 万円を切る業務用カメラとして脚光を浴びた。

また、放送局用カメラとしては、NHK からイメージオルシコンを用いた 2 管式カメラが 1964 年に開催された東京オリンピックで使用されている⁽⁶⁵⁾⁽⁶⁶⁾。

文献

- (1) 竹村裕夫：CCD・CMOS カメラ技術入門、5. カラー撮像方式、pp.110-132、コロナ社刊、2008 年 4 月。
- (2) 寺西信一監修 電子情報通信学会編：画像入力とカメラ、現代電子情報通信選書 知識の森、オーム社刊、2012 年 6 月刊。
- (3) P. K. Weimer, S. Gray, H. Borkan, S. A. Ochs and H.C. Thomson : The Tricolor Vidicon - An Experimental Camera Tube for Color Television, Proc. IRE, Vol.43, pp.370-371, 1955.
- (4) S. Gray and P. K. Weimer : Production of Fine Patterns by Evaporation, RCA Rev., Vol.20, pp.413-425, 1959.
- (5) H. Borkan : Simultaneous Signal Separation in the Tricolor Vidicon, RCA Rev., Vol.21, pp.3-16, 1960.
- (6) 山崎孝：単一撮像管カラーカメラ、テレビ誌、Vol.18, No.9, pp.530-533, 1964.
- (7) 高木俊彦、長原脩策：単一撮像管同時式カラーカメラの考察(第一報)、テレビ学会回路委員会資料、1963 年 3 月。
- (8) 高木俊彦：撮像管多重化カラーテレビジョン系の解析、テレビ誌、Vol.18, No.9, pp.549-557, 587, 1964.
- (9) 長原脩策、市川武雄、高木俊彦：2 ビジコン周波数分離形カラーカメラの試作、テレビ全大予、2-8、1965 年。
- (10) 長原脩策、長島、高木俊彦：周波数分離形カラーカメラとその一応用、テレビ全大予、4-11、1966 年。
- (11) 小松康城、長原脩策：単管式イメージオルシコンカラーカメラ、テレビ全大予、4-8、1967 年。
- (12) 佐々木徹郎、長原脩策、高木俊彦：CT-11 形モノカラーフィルムカメラ装置、テレビ全大予、4-3、1968 年。
- (13) 信時三郎、富岡 茂、長原脩策：16m/m モノカラー撮影機、テレビ全大予、4-2、1968 年。

- (14) 米山、長原脩策：単管式カラーフィルムカメラの光学系、テレビ全大予、5-6, 1969.
- (15) 長原脩策、米山：周波数分離型カラーカメラの色再現性の電子計算機シミュレーション、テレビ学会方式回路委員会資料、1969年9月。
- (16) Leslie H. Bedford (Canadian Marconi) : Colour Television Transmission, Canadian Patent 602,998, Aug. 9, 1960 (650,962, filed July,16, 1953) [シアンとイエローのストライプフィルタを有するカラーカメラ]
- (17) Leslie H. Bedford (Canadian Marconi) : Colour Television Transmission Filter, Canadian Patent 578,146, June 23, 1959, (659,355, filed Jan. 6, 1954) [カラーカメラ用シアンとイエローのストライプフィルタ]
- (18) キース・ティーア (フィリップス) : 複数のテレビジョン情報信号を同時に発生する装置の改良、特公昭 33-3361 (1958-11-14)、優先権主張 1953-11-14. [シアンとイエローのストライプフィルタを有するカラーカメラ]
- (19) デビッド・ラッセル・テート (EMI) : 色信号発生装置、特公昭 35-14656 (1960-10-5)、優先権主張 1956-2-24. [ストライプフィルタを有するカラーカメラ]
- (20) 高木俊彦、長原脩策：単一撮像管による色信号発生装置、特公昭 39-13833, 1964-7-16, (特願昭 36-18776, 昭 36(1961)年5月27日出願) [ビート妨害除去用混合器を有する単管式カラーカメラ]
- (21) 高木俊彦、長原脩策：色彩テレビジョン信号発生方式、特公昭 40-5170, 1965-3-18, (特願昭 37-31707, 昭 37(1962)年7月26日出願) [ビート妨害を避けるために1つの色フィルタを傾ける周波数多重方式]
- (22) 高木俊彦、長原脩策：複合信号発生装置、特公昭 42-12473, 1967-7-14, (特願昭 38-70590, 昭 38(1963)年12月26日出願) [1つの色フィルタを傾け、副走査を行う周波数多重方式]
- (23) 竹村裕夫：ITV用カラーテレビ撮像方式の一考察、昭45年電気四学会連大予、1948、1970年。
- (24) 江藤良純、日比正男：周波数分離形新カラー撮像方式、昭45年電気四学会連大予、1949、1970年。
- (25) 竹村裕夫：家庭用単管式カラーカメラの開発、像情報メディア学会誌、Vol.60, No.6, pp.879-882, June 2006.
- (26) 江藤良純、日比正男：高解像度単管カラー撮像方式の提案、テレビ誌、Vol.24, No.6, pp.460-462, 1970.-
- (27) 江藤良純、日比正男：高解像度単管カラーカメラ、テレビ誌、Vol.26, No.5, pp.381-387, 1972.-
- (28) 信時三郎、富岡 茂：単管カラーカメラ用色分解系内蔵ビジコン、テレビ全大予、3-8, 1970.
- (29) 長原脩策、信時三郎、加納、高木俊彦：周波数分離式単管カラーテレビカメラ、テレビ学会方式回路委員会資料、22-13, 1970年8月。
- (30) Nobutoki Takagi : A Filter Integrated Color Vidicon for Single Pickup Tube Color Television Camera, IEEE IEDM, 10-3, 1970.
- (31) 信時三郎、高木俊彦、長原脩策、富岡 茂：周波数多重化単管カラーカメラ用フィルター内蔵ビジコン、電子装置委員会、資料。
- (32) Nobutoki Takagi and Shusaku Nagahara : A Filter Integrated Color Vidicon for Single Tube Color Television Camera, SMPTE Winter Television Conference, San Fransisco, Jan. 1971.
- (33) 長原脩策、小林義和、信時三郎、高木俊彦：周波数多重化単管カラーカメラ、電気四学会連大、238, 1971.
- (34) 米山正秀、国吉 孝、長原脩策、高木俊彦：単管カラーフィルムカメラの光学系、テレビ誌、Vol.26, No.1, pp.14-20, 1972年1月
- (35) 長原脩策、小林義和、信時三郎、高木俊彦：周波数多重化単管カラーカメラの開発、テレビ誌、Vol.26, No.2, pp.104-110, 1972年2月
- (36) 長原脩策：撮像面多重利用カラーテレビカメラの現状と動向、電気四学会連大、273, 1973
- (37) Yasuo Takemura : New Color Television Pickup System, Proc. IEEE, Vol.59, No.2, pp.322-323, Feb. 1971.
- (38) 竹村裕夫：斜め色ストライプフィルタによる周波数インタリーブ撮像方式の検討、昭49年電子通信学会全国大会、1370, p.1373.
- (39) 竹村裕夫：周波数インタリーブを用いたカラーテレビ撮像方式、電子通信学会論文誌 (A)、Vol.57-A, No.8, pp.606-611, 1974年8月。
- (40) Ysuo Takemura : Frequency Interleaving Color TV Pickup System, IEEE Trans. Broadcasting, Vol. BC-21, No.3, pp.44-51, Sep.1975.
- (41) 竹村裕夫、佐藤逸三、金子照一、斎藤喜久雄： $2\pi/3$ 周波数インタリーブ撮像方式、テレビジョン学会誌、Vol.30, No.8, pp.658-664, 1976.
- (42) 竹村裕夫：単管式カラーテレビカメラ用周波数インタリーブ信号の解析、電子通信学会論文誌、Vol.60-B, No.4, pp.237-244, 1977.
- (43) 坂田晴夫：単撮像管カラー・テレビジョン・カメ

- ラ、特公昭 45-8698、昭 45 年 (1970)-3-28、特願昭 41-30804、昭 41(1966)-5-16 出願。[斜めの白黒ストライプを設けてこれをインデックスとして同期検波する単管式]
- (44) 坂田晴夫：周波数分離式単撮像管カラー・テレビジョン・カメラ、特公昭 45-8699、昭 45 年 (1970)-3-28、特願昭 41-30805、昭 41(1966)-5-16 出願。[単一搬送波周波数インタリーブ方式基本]
- (45) 江藤良純：色信号発生装置、特公昭 49-49247、昭 45 年 (1970)3 月 28 日、特願昭 44-25544、昭 44(1969)-4-4 出願。[2 種類の斜め色フィルタにより、輝度信号の中に 2 つの変調色信号をインタリーブ。]
- (46) 竹村裕夫：カラーテレビジョン撮像装置、特公昭 50-34375、昭和 50 年 (1975)11 月 7 日、特願昭 44-68387、昭 44(1969)8 月 30 日。[2 種の色ストライプフィルタを交差するように配列させ、2 種の搬送波をインタリーブの関係に配置するようにしたカメラ]
- (47) 八木基、竹村裕夫：複数の信号を得るための撮像装置、特公昭 51-32053、1976 年 9 月 10 日、特願昭 44-77051、昭 44(1969)9 月 29 日出願。[傾けた 2 種の斜め色フィルタを有し、輝度信号の中に 2 つの変調色信号をインタリーブ。]
- (48) 八木基、竹村裕夫：複数の信号を得るための撮像装置、特公昭 51-2275、1976 年 7 月 12 日、特願昭 45-11436、昭 45(1970)2 月 12 日出願。[交互に傾けた斜め色フィルタを有し、単一搬送波インタリーブ]
- (49) スー・ヤン・シャイ、ほか(ウエスタン エレクトリック)：2 つの独立した画像を伝送するビデオシステム、特開昭 46-759、1971 年 9 月 3 日。(特願昭 46-3742 優先権主張 1970 年 2 月 2 日)。但し、フィルタを傾ける、R,B をインタリーブすることは 1969 年 8 月 30 日先願あり。1978 年 12 月 14 日放棄(権利化されず)[色フィルタを交互に傾ける点で最初。]
- (50) ジャイジェロームブランディングー、ほか(RCA)：色信号発生方式、特公昭 52-1615、1977-1-17、(特願昭 46-6126、優先権主張 1970 年 2 月 11 日)松下電器より異議申立により拒絶査定。不服審判で請求却下(特許不成立)特願 46-3742 と同一。
- (51) ロバート・アダムズ・ディスチャート(RCA)：色符号化カメラ方式、特公昭 57-22503、1982 年 5 月 13 日、特願昭 46-6127、優先権主張 1970 年 2 月 11 日。[単一搬送波 120° インターリーブ]
- (52) 窪田泰治、黒川弘道、塩野隆史、田川進、蠣崎武広：電子インデックスによる位相分離方式単管カラーカメラ、テレビ誌、Vol.27, No.4, pp.243-251, 1973 年 4 月
- (53) 高梨稜雄、三好忠義、中垣新太郎：ステップエネルギー復調方式単管カラーカメラ、テレビジョン学会技術報告、TBS48-2, pp.49-54, 1978 年 8 月 25 日。
- (54) 西村、笹野、中野、松丸、筒井、長原脩策：3 電極方式単管カラー撮像管、電学全大、387, 1974。
- (55) 長原脩策、江藤良純、佐藤和弘、高橋健二、西村、石橋：3 電極方式単管カラーテレビカメラ、電学全大、388, 1974。
- (56) 笹野晃、中野寿夫、松丸治男、筒井謙、西村孟郎、長原脩策：3 電極方式単管カラーカメラ用ビジコン、テレビ誌、Vol.29, No.6, pp.485-490, 1975。
- (57) 江藤良純、佐藤和弘、高橋健二、長原脩策、西村孟郎、石橋 静：3 電極方式単管カラーカメラの開発、テレビ全大、4-8, 1974。
- (58) 舟橋行平、竹村裕夫、本山博：クロミコン - ストライプフィルタ内蔵ビジコン、東芝レビュー、Vol.28, N.9, pp.1017-1022, 1973 年 9 月。
- (59) Kohei Funahashi, Yasuo Takemura and Hiroshi Motoyama, Toshiba Review, pp.20-26, Oct. 1973.
- (60) Yasuo takemura, Daiki Nabashima and Motoi Yagi : Characteristics of the Color TV Telephone, IEEE Trans. Broadcasting, Vol. BC-19, No.4, pp.77-84, Dec. 1973.
- (61) Yasuo Takemura, Itsuzo Sato and Hisao Tajiri : Compact Color Television Camera, J. of the SMPTE, Vol.82, No.1, pp.12-16, Jan.1973.
- (62) 舟橋行平、竹村裕夫、渡部弘、小林英雄、奥原光彦：2 管式小形カラーカメラ、テレビジョン学会方式回路研究委員会、1971 年 10 月 21 日。
- (63) 渡部弘、小林英雄、舟橋行平、竹村裕夫：IK83 形カラーカメラ装置 - ストライプフィルタ内蔵ビジコンと簡易型カラーテレビカメラ、東芝レビュー、Vol.27, No.7, pp.647-650, 1972 年 7 月。
- (64) Hiroshi Watanabe, Hideo Kobayashi, Kohei Funahashi and Yasuo Takemura : Compact Color TV Camera, Model IK83, Toshiba Review, pp.17-21, Feb. 1973.
- (65) 林 宏三、藤尾、杉本昌穂、坂井：2 撮像管分離輝度カラーカメラ、電気通信学会全国大会、582、1963 年 11 月
- (66) 林 宏三、杉本昌穂：2 撮像管式分離輝度カラーカメラ、テレビ誌、Vol.20, No.5, pp.303-313, 1966 年 5 月。

5 | カラー撮像方式-その2- CCD・CMOSセンサ時代

撮像管は感光面が一様な光電膜で、電子ビームで感光面を走査することにより、信号を取り出していた。走査は偏向コイルに加える電圧によって変化するので、感光面上の画素の位置は精度よく定めることはできなかった。

これに対し CCD・CMOS イメージセンサでは感光面がフォトダイオードアレイで構成されているので、画素の位置は μ オードで正確に決めることができた。走査も電子的なスイッチングで行われるので、画素の位置を正確に指定することができる。そこでカラー撮像方式では撮像管と異なる新規な方式が生み出せるようになった。

主要なカラー撮像方式お表 1 に示す。

表 5.1 主要なカラー撮像方式

年	項 目
1960 年	3 板式のもとになる色分解プリズム ⁽²⁰⁾
1976 年	ベイヤー方式 ⁽⁷⁾
1977 年	水平画素ずらし 2 板式 ⁽¹⁸⁾
1978 年	ベイヤー方式の改良 ⁽¹⁹⁾
1979 年	RB ストライプ 2 板式 ⁽¹⁷⁾
1979 年	画素ずらし 3 板式 ⁽¹⁾
1979 年	MOS 型 W G Cy Ye 方式 ⁽¹⁴⁾
1980 年	MOS 型 W G Cy Ye 画素ずらし方式 ⁽¹⁵⁾⁽¹⁶⁾
1982 年	周波数インターリーブ方式 ⁽¹⁰⁾
1982 年	イメージシフト ⁽³⁾
1983 年	フィールド蓄積周波数インターリーブ方式 ⁽¹¹⁾⁽¹³⁾
1983 年	スイング CCD ⁽²⁾
1983 年	フレーム蓄積色差線順次 ⁽⁶⁾
1983 年	フィールド蓄積色差線順次 ⁽⁵⁾
1984 年	ベイヤー方式の改良 ⁽⁸⁾
1984 年	ベイヤー方式信号処理方式 ⁽⁹⁾
1999 年	垂直色分離型センサ ⁽²⁴⁾
2007 年	WRGB 方式 ⁽²¹⁾⁻⁽²³⁾

5.1 Bayer 方式

単板式の基本となる Bayer 方式は図 5.1 に示すように、輝度信号に相当する Y を市松上に配列、残りの部分に 2 色の色 C_1 、 C_2 を配列する。これが 1976 年 Kodak の Bayer によって提案された基本特許⁽¹⁾である。実際には図 5.2(a) のように、光の 3 原色は RGB であるから、輝度信号を多く含む G を市松に、残りの部分に RB を配列する。図 (b) ~ (d) に示すように、全 16 画素に対して、G は 8 画素、R と B はそれぞれ 4 画素になる。この配列は水平垂直ともに対称な配列であり、2 次元情報を扱う上で、素直に受け入れられ

る方式である。

ところが、動画像のテレビの標準方式ではインターレース (飛越し走査) が行われている。インターレースで Bayer 方式を使うと R B 画像がフィールド順次 (面順次) になってしまい、R 画像と B 画像が画面ごとに交互に現れてしまう。同時式に変換するためには 1 フィールドメモリが必要になる、RB 画像で動きが不自然になるなどの欠点が生じる。そこで、動画像を扱うビデオカメラでは扱いにくい方式であった。

実はこのような配列は白黒フィルムを用いてカラー化しようとしていた 1930 年代に盛んに研究されており、日本では特許出願されたが登録にならなかった⁽²⁾。

Bayer 配列の CFA から色信号を分離する方式についてはいろいろな手段がある⁽³⁾⁻⁽⁵⁾。

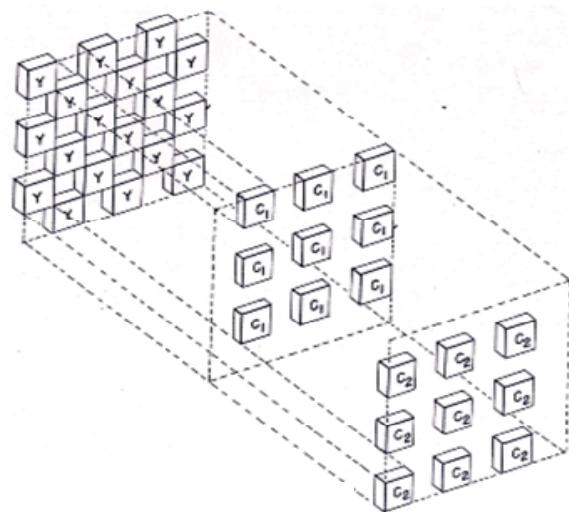
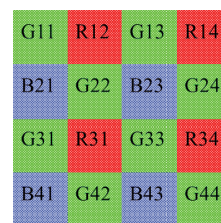
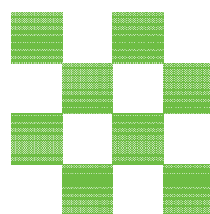


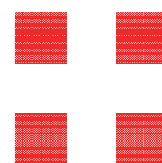
図 5.1 Bayer 特許⁽¹⁾



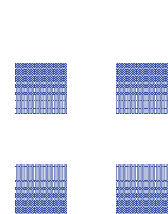
(a) 4×4画素の場合



(b) G画素



(c) R画素



(d) B画素

図 5.2 Bayer 原色フィルタ

5.2 色差線順次方式

この方式は森村ら(松下電器)によって提案された方式で加算読み出しに適した動画像に効果のある色配列である⁶⁰⁾。色フィルタ配列は図5.3(a)に示すように、Y C Mの補色3色とGの原色1色の4色で構成され、第4のラインのG M配列が第2のラインのM G配列と入れ替えていることが特徴である。このCFAを読

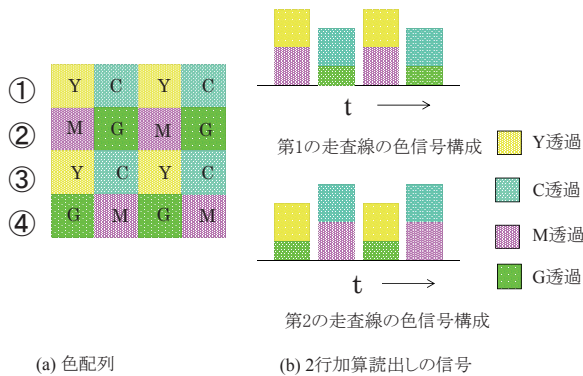


図 5.3 色差線順次色フィルタ

み出す際に、まず第1フィールドでは第1のライン①と第2のライン②を加算して読出し、次に、第3のライン③と第4のライン④を加算して読出し、以下この繰り返しになる。インタレースの第2フィールドでは第2のライン②と第3のライン③を加算して読出し、次に、第4のライン④と第5のライン⑤を加算して読出し、以下これを繰り返す。

このようにすると、図(b)に示すような信号出力が得られる。ここで図(b)の信号は3原色信号に直すと図5.4(b)のように表すことができる。これらの信号は

RGBの原色信号の構成で示すと図(c)のようになる。

この色分離の方法を次式を使って説明する。

これらの波形はパルス振幅変調と信号であるから、フーリエ級数で展開すると直流成分と基本波成分とで表すことができる。第1の走査線(奇数番目の走査線)では

$$S_0 = (2R + 3G + 2B) / 2 + \frac{1}{2} (2R - G) \sin 2\pi f_s t$$

一方、第2の走査線(偶数番目)の走査線では

$$S_e = (2R + 3G + 2B) / 2 + \frac{1}{2} (2B - G) \sin 2\pi f_s t$$

ここで、 f_s は色フィルタのピッチで決まる基本周波数である。

上式より、LPFで分離することにより直流成分の輝度信号を、 f_s を中心とするBPFで高周波数成分を分離することにより二つの色差信号、 $(2R-G)$ 信号と $(2B-G)$ 信号を走査線ごとに線順次で得ることができる。ここで示した直流成分と色差信号は輝度信号と色差信号とは若干異なるが、これらはマトリクス回路等で補正することができる。

5.3 その他の方式

ビデオカメラで実用化されている方式は現在では原色のBayer方式と補色の色差線順次方式にほぼ統一されてきたが、それまでには各種方式が提案実用化されてきた。これらの概略を示す。

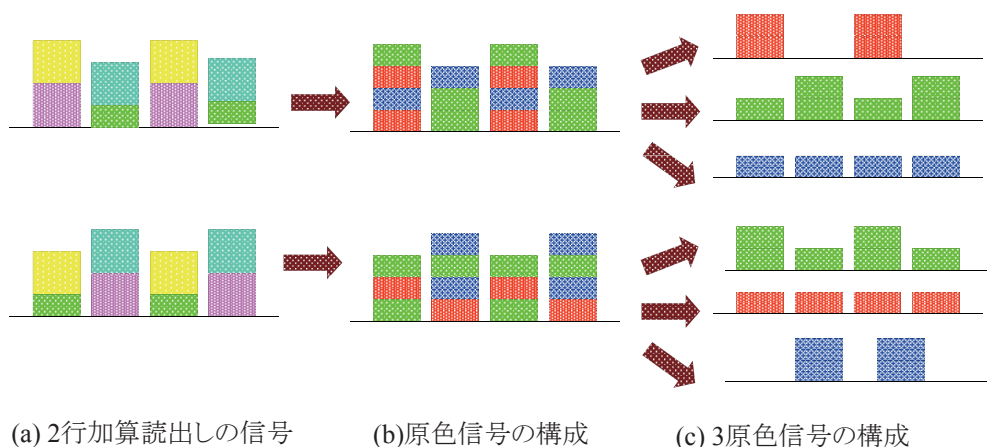


図 5.4 色差線順次方式の色分離

5.3.1 WRGB方式

Bayer方式で光の利用効率を向上しようとして、二つ配列されているGの一つを図5.5に示すようにW(透明)にしたものである。

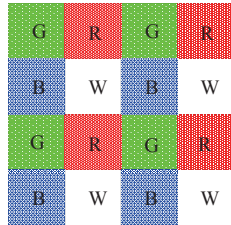


図 5.5 WRGB 配列

W部分の画素は色フィルタで遮光されることなく、入射した光がそのままフォトダイオードで光電変換されるので、感度向上が期待できる。このフィルタ配列を用いたイメージセンサが東芝⁽⁸⁾⁽¹⁰⁾とコダック⁽¹¹⁾から相次いで発表された。

5.3.2 MOS型

日立製作所がMOSイメージセンサに注力してカメラの開発を進めていく段階で数々の撮像方式の提案があった⁽¹²⁾⁽¹⁴⁾。CCDと異なり、複数の信号出力が容易に得られることからその特徴を生かした色信号多重方式が提案された。図5.6にCFAを示す。図(a)はWCGYの4色を用い、それぞれ4本の出力信号をデバイスから直接取り出すもので、直交型と呼ばれた。2行同時読み出しを採用し、

WGとYCを同時に読み出すことにより、1フィールドで全画素の信号が読み出せる、いわゆるフィールド読み出しが採用された。一方、図(b)は隣接したラインで位相が180°ずれるように、画素を配列し、画素の上の設けられた色フィルタをΔで対称になるよう

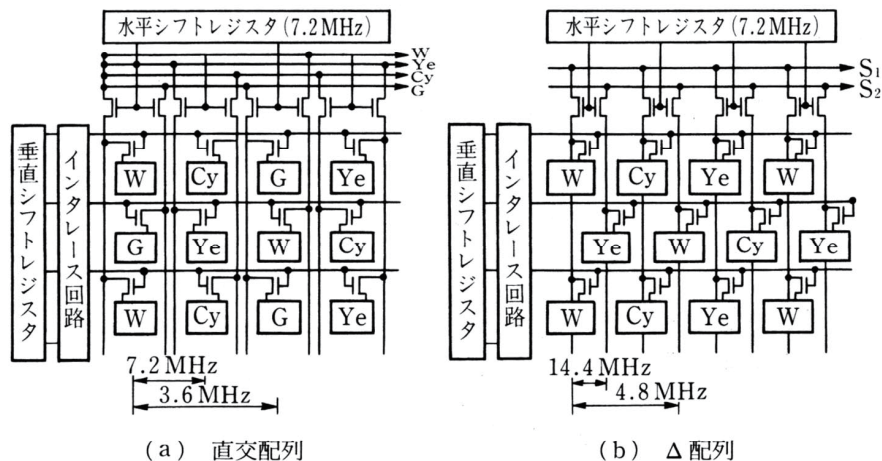
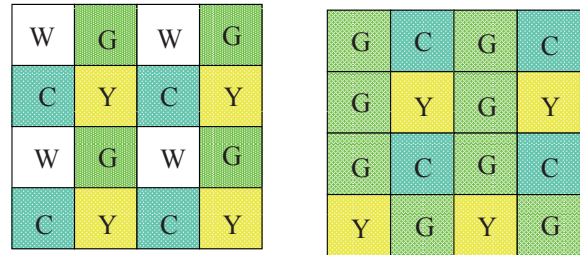


図 5.6 MOS型-CFAの一例

に配列している。画素ずらし効果による解像度の向上を行っている。

5.3.3 周波数インタリーブ

撮像管で行われたものと同じような画素配列をCFAに適用したもので、赤と青信号を周波数インタリーブの関係で得られるようにした。フレーム読み出しタイプとフィールド読み出しタイプの2種類が東芝によって提案、一部で製品化されている⁽¹⁵⁾⁽¹⁸⁾。



(a)フレーム読み出し

(b)フィールド読み出し

図 5.7 周波数インタリーブ

図5.7に示すように4×2画素を基本単位として繰り返される色フィルターアレイを用い、フレーム読み出しとフィールド読み出しで両方が可能である。図(a)がW,G,C,Yの4色からなるフレーム読み出し、図(b)はC,G,Yの3色からなるフィールド読み出しである。

図5.7(a)を用いて、動作原理を簡単に説明しよう。

図(a)のフレーム読み出しでは奇数ラインでW,G,W,G…の繰り返し、偶数ラインでC,Y,C,Y…の繰り返しとなる。

ここで

$$W = R + G + B$$

$$Y = R + G$$

$$C = G + B$$

であるから、各走査線の信号は図 5.8(a) の (i) (ii)

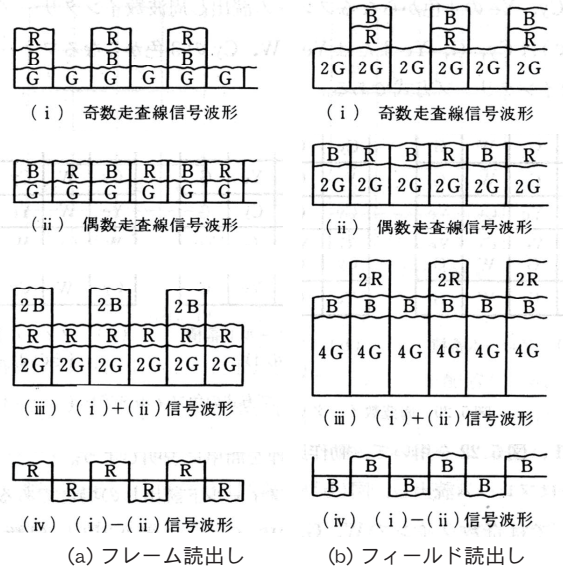


図 5.8 インタリーブの信号波形

のように R, B 信号がパルス振幅変調されて得られる。従って、奇数ラインと偶数ラインの信号の加算を行うと (iii) のように 2B 信号が変調信号で、R+2G 信号がベースバンド信号で得られる。一方、減算を行うと (iv) のように R 信号が変調されて得られる。

これらの信号の周波数成分を解析するとパルス振幅変調信号の高調波成分は信号の周波数帯域外となるので、基本波成分までに着目すると奇数ラインの信号 S_o は

$$S_o = \frac{2G + C + Y}{2} + \frac{2G - 2(C + Y)}{\pi} \sin 2\pi f_s t$$

$$= \frac{R + 4G + B}{2} - \frac{2(R + B)}{\pi} \sin 2\pi f_s t$$

但し、 f_s : CCD 画素数に起因する搬送周波数。

同様に、偶数ラインの信号 S_e は

$$S_e = \frac{G + Y + C + G}{2} + \frac{2(G + Y) - 2(C + Y)}{\pi} \sin 2\pi f_s t$$

$$= \frac{R + 4G + B}{2} - \frac{2(R - B)}{\pi} \sin 2\pi f_s t$$

広帯域の輝度信号 E_y はどの走査線でも等しく、

$$E_y = \frac{R + 4G + B}{2}$$

となる。

一方変調色信号は奇数走査線では E_{co} 、偶数走査線では E_{ce} とすると

$$E_{co} = \frac{-2(R + B)}{\pi} \sin 2\pi f_s t$$

$$E_{cy} = \frac{-2(R - B)}{\pi} \sin 2\pi f_s t$$

ここで、変調赤信号 R の搬送波は走査線毎に逆相、変調青信号 B は同相となる。

従って、R, B の変調色信号の搬送波はお互い位相が π 異なり、両搬送波信号は周波数インタリーブで織り込まれている。

5.3.4 垂直色分離

これまででは色分離を画素ごとに行う、すなわち、2次元に色フィルタを配列させて画素ごとに異なる色情報を得る方法であった。これに対して、垂直色分離型は1画素の厚み方向に色分離を行おうとするものである。各層で吸収される光以外は全て通過しなければならない。従って、配線層も含めて透明な物質で構成する必要がある。図 5.9 にこの概念図を示す。

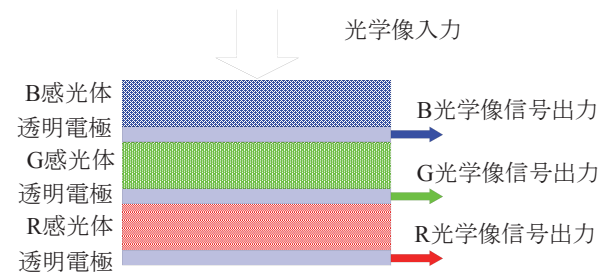


図 5.9 垂直色分離型の概念図

目的の色が分離できるような急峻な波長選択性を備えて、目的の色以外の波長についてはロスなく透過するような透明な物質が見つければ理想的なイメージセンサが作れるであろう。

現時点で、この目的に近いのは、Si の波長選択性に着眼したものと、有機光導電膜を使おうとするもの、大別して2つの方式がある。

フォトダイオードに光が入射する際に断面を見ると波長の短い青から順次吸収されて行き、長波長の赤は最も深い部分に到達して光電変換される。そこで厚さ方向に分離して信号を取り出すことができれば異なる波長の信号が分離して得られることになる。米国 Foveon 社がこの原理を用いたダイレクトイメージセンサを開発、シグマ社がデジタルカメラを製品化した⁽¹⁹⁾⁽²¹⁾。

一方、波長選択性を有する有機材料を用いて透明な光電膜を作ることにより、厚さ方向に3色分解された信号を取り出す試みもある。NHK、富士フイルムで

それぞれ基礎的な研究開発が進められている⁽²²⁾⁽²⁴⁾。

【文献】

- (1) B. E. Bayer : Color Imaging Array, U. S. Patent, 3,971,065, July 20, 1976.
- (2) 特開昭 51-112228。1980年5月20日拒絶査定。
- (3) P.L.P.Dillon, et al. : Color imaging System using a Single CCD Area Array, IEEE Trans. Electron Devices, ED-25, 2, pp.102-107, Feb. 1978.
- (4) M.Onga, et al. : Signal Processing Ics Employed in a Single-Chip CCD Color Camra, IEEE Trans. Consumer Electronics, CE-30, 3, pp.374-380, Aug.1984.
- (5) P.L.P.Dillon, et al. : Fabrication and Performance of Color Filter Arrays, ED-25, 2, pp.97-107, Feb.1978.
- (6) 曾根賢朗、石川清次、橋本進、黒田隆男、大久保祥雄 : フィールド蓄積モード CCD の単板カラー化方式、テレビジョン学会誌、37,10, pp.855-862, (1983.10).
- (7) 森村、: 改良型色差線順次単板カラー方式、テレビジョン学会誌、37,10, pp.847-854, (1983.10).
- (8) H. Honda, Y. Iida, G. Ito and Y. Egawa : A Novel White-RGB Color Filter Array for CMOS Image Sensors, Electronic Imaging, Proc. SPIE, Vol.6492, pp.6492J-1-10, Feb. 2007.
- (9) H. Honda, Y. Iida and Y. Egawa : High Sensitivity Color CMOS Image Sensor with WRGB color Filter Array and Color Separation Process using edge detection, Proc. International Image Sensor Workshop, pp.263-266, Jun. 2007.
- (10) 本多浩大、飯田義典、江川佳孝、関弘道、田中長孝 : White-RGB カラーフィルタ・アレイを用いた高感度単板カラー CMOS センサ、映像情報メディア学会技術報告、Vol.31, No.50, pp.15-18, 2007年10月26日。
- (11) Eastman Kodak News Release, June 14, 2007.
- (12) 梅本益雄、佐藤和弘、小池紀雄、竹本一八男、笹野晃、泉田守司、高橋健二、長原脩策 : 単一撮像板カラーテレビカメラ、テレビジョン学会誌、33, 7, pp.554-559, 1979.7.
- (13) 原、ほか : 小型 MOS 型単板カラーカメラ、テレビジョン学会誌、34, 12, pp.1088-1095, 1980.12.
- (14) 増田、ほか : PAL 方式 MOS 型単板カラーカメラ、テレビジョン学会誌、37, 10, pp.840-846, 1983.10.
- (15) Y.Takemura and K.Ooi : New Frequency Interleaving CCD Color Television Camera, IEEE Trans. Consumer Electronics, CE-28, 4, pp.618-624, Nov.1982.
- (16) Y.Takizawa, et al. : Field Integration Mode CCD Color Television Camera using a Frequency Interleaving Method, IEEE Trans. Consumer Electronics, CE-29, 3, pp.358-364, Aug.1983.
- (17) 小滝弘昭、瀧澤義順、竹村裕夫 : CCD を用いたフィールド蓄積周波数インターリーブ撮像方式、テレビジョン学会誌、37, 10, pp.833-839, 1983.10.
- (18) Y.Takemura, et al. : New Field Integration Frequency Interleaving Television Pickup System for Single-Chip CCD Camera, IEEE Trans. Electron Devices, E D-32, 8, pp.1402-1406, Aug.1985.
- (19) R. B. Merrill : Color Separation in an Active Pixel Cell Imaging Array using a Triple-Well Structure, USP 5,965,875, 1999.
- (20) FOVEON 社 home page <http://www.foveon.com/>
- (21) Paul M. Hubel : Foveon Technology and Changing Landscape of Digital Cameras, 13th IS & T Color Imaging Conference, pp.314-317, 2005.
- (22) 瀬尾北斗、相原聡、難波正和、渡部俊久、大竹浩、久保田節、江上典文、平松孝浩、松田時宜、古田守、新田浩士、平尾孝 : 有機光電膜と Z n OTFT 回路の積層構造を用いた有機撮像デバイスの原理実証実験、映情学誌、Vol.64, No.3, pp.365-371, 2010年。
- (23) 相原聡 : 有機光電膜のイメージセンサへの応用、映情学誌、Vol.60, No.3, pp.291-294, 2006年。
- (24) 井浜三樹男、三ツ井哲朗、野村公篤、前原佳紀、猪俣浩、後藤崇、竹内豊 : 画素サイズの微細化に適した新有機 CMOS イメージセンサ、FUJIFILM RESEARCH & DEVELOPMENT, pp.14-17, No.55, 2010.

6 | ビデオカメラ

6.1 概要

1960年代後半から、家庭用VTRが普及し始めるとテレビ番組を録画するだけでなく、手軽に撮影できるビデオカメラが切望されてきた。しかし、当時はテレビ放送もカラー番組がわずかな状態であった。大阪の万国博を契機にカラー化の時代が来る。それと共に家庭用を目指したビデオカメラの研究開発が各メーカーで活発化してきた。1974年に東芝が家庭用カラービデオカメラの製品化に成功すると各メーカーから次々と光導電膜をターゲットに有する撮像管、ビジコンを使った単管式ビデオカメラが製品化されていった⁽¹⁾⁽²⁾。

その後、1980年中ごろに固体撮像デバイス、CCDの量産化が成功し、CCDカメラが製品化されるまでは単管式ビデオカメラが家庭用として普及していった。

当初はカメラの出力信号を記録するVTRは据え置きタイプであり、VTRを台車に乗せて移動させ、カメラとの間は映像用の同軸ケーブルと音声ケーブルで接続されていた。やがて、可搬型VTRが開発されたが、まだ重い、肩から下げるショルダータイプであった。それでも、運動会や学芸会でわが子の活躍を録画したいという強い希望があり、70年代後半から、録画ブームが起これ、急速にビデオカメラの台数が増え ていった⁽³⁾。

しかし、ケーブルで接続する方法は煩わしく、VTRと一体化したいという期待は根強かった。一部に、従来型VTRと一体化したビデオカメラが製品化されたが、家庭用として普及してきたβ方式やVHS方式ではカセットサイズが決まっておき、機構的にも小型化には限界があることがわかってきた。そこで、カメラに特化したVTRの開発が進み、ビデオカメラ用を目的とした8ミリ方式とカセットを小型化したVHS-C方式が1985年に出現した。これ以降、ビデオカメラはVTRと一体化された製品になっていく。CCDの量産化に各メーカーが成功した時期とも合致し、爆発的に数量が増加していった。当初20万画素で製品化されたが、各メーカーは特徴を出すために、熾烈な画素競争が始まった。30万画素、40万画素と進んでいき、42万画素でNTSC方式の解像度を満たすことになった。90年代になると、高機能化競争が始まる。AF、AWBの精度が向上し、手振れ補正、顔認識などの新

機能が追加されていった。2000年代になるとデジタルテレビの普及とともに、ビデオカメラもHDTV化とデジタル化が急速に進んだ。すると録画装置もDV方式VTRだけでなく、DVD、HDD、メモリーカードと多様化していく。

一方、静止画像に特化してきたデジタルカメラがイメージセンサの高速化とメモリー容量の増加に伴い、2000年代後半からは動画が撮れるようになってきた。ビデオカメラも静止画機能が付くようになり、境界が薄れてきた。

以下、ビデオカメラの生産高を述べた後、各時代の中心となったビデオカメラについて記載する。

6.2 ビデオカメラの生産高

ビデオカメラの統計が始まった1983年にはわずか120万台であったが、表6.1、図6.1に示すように、年々

表 6.1 カメラ関連生産高⁽⁴⁾

	ビデオカメラ	デジタルカメラ	ビデオカメラ	デジタルカメラ
	数量 (百万台)	数量 (百万台)	生産高 (千億円)	生産高 (千億円)
1983年	1.202		1.15	
1984年	1.571		1.55	
1985年	2.574		3.54	
1986年	3.258		4.17	
1987年	4.609		4.83	
1988年	6.682		6.45	
1989年	6.935		6.15	
1990年	8.803		7.36	
1991年	11.774		9.23	
1992年	8.383		6.14	
1993年	7.751		4.98	
1994年	7.997		4.50	
1995年	8.658		4.43	
1996年	8.830		4.62	
1997年	8.898		4.55	
1998年	9.684		4.89	
1999年	10.456	5.057	5.25	2.14
2000年	11.706	9.615	5.49	3.27
2001年	8.522	12.765	4.10	3.87
2002年	8.993	16.916	4.15	4.36
2003年	11.88	25.080	4.76	5.91
2004年	11.957	29.200	4.18	7.36
2005年	13.076	28.876	4.39	6.50
2006年	12.524	37.150	3.92	7.31
2007年	12.477	46.761	3.92	8.35
2008年	7.928	36.273	2.46	7.06
2009年	4.155	24.695	1.30	5.30
2010年	3.856	24.206	1.32	4.35
2011年	1.904	19.539	0.58	3.90

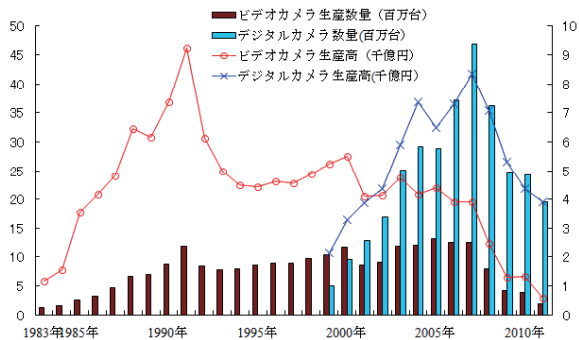


図 6.1 ビデオカメラ・デジタルカメラの生産高⁽⁴⁾

増加の一途をたどり、1991年には1千万台を突破した。ところが景気低迷によってその後は落ち込みが続き、1995年を境に再び上昇機運になった。しかし、2000年を第2のピークに、デジカメの急速な上昇に伴い、横ばいが続いた。2005年を過ぎると、数量でも生産高でも下降現象となっている⁽⁴⁾。

一方、生産高は、91年の9千億円をピークに、量産効果と競争の激しさにより、低コスト化が続き、2度とこの値を上回ることがなかった。

生産高のほとんどが輸出されていた。国内は1988年で177万台、1991年で208万台であった。因みに、1994年3月時点での我が国の普及率はカラーテレビ99.0%、VTR 72.5%に対し、ビデオカメラは29.9%であった。

このころからテレビやVTRが海外生産に移行し、国内生産高が減少していった。これに対し、ビデオカメラは国内生産が主流の数少ない電気製品で、外貨を稼ぎ、国内の雇用確保にも貢献してきたことは特筆に値する。

図表では、参考までにデジタルカメラの台数、生産高も併せて記載した。生産高では、統計が始まった1999年から数年間の伸びが、1985年からのビデオカメラの数年間の伸びと似ているのが興味ある現象である。2007年に台数、価格ともピークを迎えた。それ以降は海外生産への移行と価格競争の激化で台数、価格とも下降現象になっている。2000年代後半からは携帯電話やスマートフォンにカメラ機能が盛り込まれたことも影響して、更に、低下している。

6.3 単管式カラーカメラ

1970年、日本コロニアが色ストライプフィルタを内蔵したFIC(Filter Integrated Color)と称するビジコンを製品化、業務用単管式カラーカメラを製品化した⁽⁶⁾。1971年、ソニーは位相分離方式で同じく業務用

カメラを製品化している⁽⁶⁾。

1974年、東芝はカラー用撮像管、クロミコンの量産化、カメラの量産化に初めて成功、298,000円という当時では画期的な世界初の家庭用ビデオカメラが製品化された⁽⁷⁾。それまでは100万円を切るカメラは少なく、東芝の2管式カラーカメラIK-83が65万円で発売されていた時代であった。

それまではカメラの調整箇所を外部から見えるところに設置し、具合が悪くなるとそこを回して調整するのが当たり前であった。一般家庭用は技術者が使うカメラではないから、無調整で動作しなければならない。更に、小型、軽量、堅牢に配慮した設計が採り入れられて、初めて量産化が可能になったものである。図6.2にパンフレットを示す⁽⁹⁾。



図 6.2 世界初のビデオカメラ⁽⁹⁾

実は、このカメラが製品化される前にも東芝は家庭用カメラの開発発表を行っていた⁽¹⁰⁾。ビジコン2本を使った2管式で、当時盛んであった映画フィルムを用いた8ミリ撮影機と同程度の大きさであった。このカメラはニューヨークで開催されたIEEE Showに展示公開されて注目を集めた。しかし、家庭用に量産するには価格が合わず、1972年4月に業務用カメラIK83として、製品化され、当時としては最も安い65万円で発売された⁽¹¹⁾。2管式では光学系が複雑になり、低価格化が見込めず、単管式にする必要があり、家庭用として製品化されるまでに5年が経過していた。

これを契機に各メーカーもカメラの量産技術を確認し始め、業務用カメラからスタートしたソニーは位相分離方式(トリニコン)を家庭用に製品化した。更に、1978年には日本ビクターは出力信号を低域、広域に

分けて包絡線検波で色信号を取り出すステップエネルギー方式で単管カメラを発表した。また、1979年、日立製作所はトライカラー方式のサチコン単管式で、1980年、松下電器はニュービコン単管式で家庭用カメラに参入した。

ここで注目すべきは、1981年7月の電子スチルカメラの発表以来、フィルムがなくなるという危機感から、写真機メーカーが一斉に電子化への転換を図ってきたことである。1982年になると、小西六、キヤノン、ニコンが単管式ビデオカメラの発売に踏み切った。

このようにして、70年代後半から80年代前半まで、撮像管を用いた単管式ビデオカメラが広く普及し、ビデオカメラの基礎を築き上げていった。80年初めからは CCD カメラが実用化され始めたが、当初は量産が難しく、価格も高価であったため、それほど普及しなかった。しかし、80年代中頃になって量産技術が確立すると、急速に CCD カメラに置き換えられていった。

6.4 単板式カラーカメラ

1981年4月世界初の固体ビデオカメラ VK-C1000 が日立製作所から発売された。4色の CFA を有し、4線式の MOS 形撮像デバイスを用いたもので、価格は35万円であった⁽¹²⁾。図 6.3 に外形写真を示す。続いて、1982年10月、図 6.4 に示すような、世界初の CCD ビデオカメラ TC-100 が NEC から278,000円で発売された⁽¹³⁾。Bayer 方式で IT-CCD を用いたものであった。この1年後、1983年10月には CCD-G5(ソニー)が228,000円で Bayer 方式、IT-CCD を用いて発売され、同時期に日立製作所は2色の



図 6.3 世界初の MOS ビデオカメラ (日立製作所提供)



図 6.4 世界初の CCD カメラ (日本電気提供)

CFA を用いた2線読み出し方式の MOS 形撮像デバイスを用いた新製品を218,000円で発売した。

これらにより、先行していた単管式カメラと同程度の価格が実現されていく。1984年10月になると松下電器が色差線順次方式で独自の CPD を用いたカメラを258,000円で、同年12月には NEC が色差線順次方式の CCD カメラを198,000円で発売、初めて20万円を切った。

1984年から1985年時点の各社の単板式カメラを表 6.2 にまとめて示す⁽⁹⁾。

表 6.2 1983-1984 年時点の単体ビデオカメラ

型名	VK-C1500	VCK-100	CCD-G5	VZ-CD100	TC110	IK-3000
メーカー	日立	三洋電機	ソニー	松下電器	NEC	東芝
イメージセンサ	MOS	MOS	CCD	CPD	CCD	CCD
カラー撮像方式	画素補間点順次	4色同時読出し	Bayer	色差線順次	色差線順次	周波数インターリーブ
CFA	YCW 市松	GICYW	RGB 市松	YCMG 市松	YGC 市松	YGC 市松
水平解像度 (TV本)	300 以上	250	250	250	250	250
最低照度 (lx)	35	28	30	30	9	20
消費電力 (W)	3.7	4.7	4.5	5	4	3
撮像レンズ (mm)	6倍ズーム f =12.5-75	6倍ズーム f =12.5-75	6倍ズーム f =12-72	6倍ズーム f =12.5-75	6倍ズーム f =11-70	6倍ズーム f =8.5-51
外形寸法 WHD(mm)	124 × 134 × 195	149 × 139 × 192	107 × 137 × 218	209 × 168 × 242	120 × 148 × 183	108 × 137 × 223
重さ (kg)	0.98	1.09	1.02	0.98	0.98	0.95
発売時期	Oct-83	Oct-83	Oct-83	Oct-84	Dec-84	-
価格 (円)	218,000	248,000	228,000	259,800	198,000	-

6.5 VTR 一体型ビデオカメラ

ビデオカメラにVTRは必須であったが、従来のβ方式、VHS方式ともに、カセットサイズが大きくカメラに内蔵するには不十分であった。そこで、80年代初めころから、各メーカーはビデオカメラ用には新たな規格を作る必要があるとして、独自規格のVTRを内蔵したビデオカメラ試作品を発表した。図6.5(a)に示すように、1980年ソニーがビデオムービー⁽¹⁴⁾を発表すると、その2か月後には日立が図(b)のマグカメラ⁽¹⁵⁾、そして翌1981年には松下電器が図(c)のマイクロビデオシステム⁽¹⁶⁾を発表しそれぞれ規格提案を行った。なお、三洋電機もカメラ一体型超小型VTRを1981年8月に発表している。

これらの提案はこの3社に、VHSの開発メーカーである日本ビクター、V-2000の開発メーカーであるフィリップス白熱電球社(いわゆるフィリップス(オランダ))を加え、5社で新フォーマット8ミリビデオの骨子を作成、その後、日本電子機械工業会、磁気テープ工業会、日本写真機工業会など関連する各メーカーの参加を呼び掛けた⁽¹⁷⁾。その結果、8ミリビデオ懇談会が結成され、1984年4月に127社の賛同で8ミリビデオが規格化された⁽¹⁸⁾。詳細は7章参照。

その結果、1985年以降、各メーカーはVTRを内蔵したいわゆるカメラ一体型VTRを発売する。ポラロイド社が発売した8ミリビデオカメラには周波数インターリーブ方式のIT-CCDが使われた。1984年10月、25万画素CCDを用いた8ミリビデオカメラがソニーから298,000円で発売、続いて、1985年4月に録画専用の普及型8ミリビデオカメラが198,000円で発売された。一方、1985年10月、VHSビデオカメラが松下電器から発売、色差

線順次方式で8ミリサイズのIT-CCDを用い、298,000円で発売された。日立製作所も1986年2月から新方式のMOS型センサを用いてVHSビデオカメラお発売。東芝も1986年4月にVHS方式のビデオカメラを発売した。



(a) ビデオムービー(ソニー)



(b) マグカメラ(日立)



(c) マイクロビデオシステム(松下電器)

図 6.5 VTR 一体型ビデオカメラ提案
(各社新聞発表資料より)

表 6.3 1985-1986 年代の一体型カメラ

型名	CCD V88AF	NV-M3	GR-C7	VM-500	VM-500
メーカー	ソニー	松下電器	JVC	日立	東芝
VTR	8ミリ	VHS	VHS-C	VHS	VHS
イメージセンサ	2/3 CCD	8ミリ CCD	1/2 CCD	2/3 MOS	1/2 CCD
画素数	25万	20万	22万	30万	20万
カラー撮像方式	G ストライプ	MGYC 市松	MGYC 市松	WGYC 市松	GCY 市松
CFA	RB 線順次	色差線順次	色差線順次	独立4線式	周波数インターリーブ
最低照度 (lx)	19	10	15	10	10
消費電力 (W)	7.1	9.5	7.5	9.4	8
撮像レンズ	6倍ズーム F1.4 AF	6倍ズーム F1.2 AF	6倍ズーム F1.6 AF	6倍ズーム F1.2 AF	6倍ズーム F1.2 AF
外形寸法 HD(mm)	126×191×350	144×192×361	121×165×223	164×192×359	164×192×365
重さ (kg)	2.3	2.7	1.3	2.4	2.7
発売時期	Oct-85	Oct-85	Feb-86	Feb-86	Apr-86
価格 (円)	299,800	298,000	248,000	298,000	298,000

更に、8ミリに対抗してJVCはVHS-C方式のビデオカメラを1986年2月に発売、記録メディアとして3方式が製品化されていった。これらのビデオカメラを表6.3に示す⁽³⁾。

6.6 多画素化

今まで述べてきたように、70年代、80年代前半のビデオカメラはNTSC放送に見合った解像度が得られることが第一であった。一方で当初普及していた撮像管の単管式カメラ並みの解像度が得られる必要があった。このため画素数は20万～25万画素での実用化に集中してきた。表6.3に示すように、各メーカーが一通りこのレベルの製品化に到達すると次の目標は高解像度化になった。

NTSC放送は3.58MHzにカラー用の副搬送波があるため、当初、水平解像度は270TV本程度であり、これにはイメージセンサは20万画素で十分とされていた。NTSC放送の輝度信号の周波数帯域が3.5MHzまでとれたとしても、80倍がTV本であるから、270TV本となる。ところが、記録メディアのVTRが8ミリ、S-VHSなどの新規格の採用によって、水平解像度が400TV本以上に向上したため、これに見合ったイメージセンサの高解像度化が必要になった。

イメージセンサの画素数と解像度の関係はカラー撮像方式や輝度信号処理の違いによって差が出てくるが、単板式カラーカメラの画素数と水平解像度の関係は図6.6に示すようになる⁽¹⁹⁾。原色方式では輝度信号の主成分であるG信号の割合が少なく、ほとんどの画素にG信号を有する補色方式が解像度の点では優位にあった。

図示したように、400TV本以上を確保するためには、40万画素が目標値ではあったが、20万画素から一気に

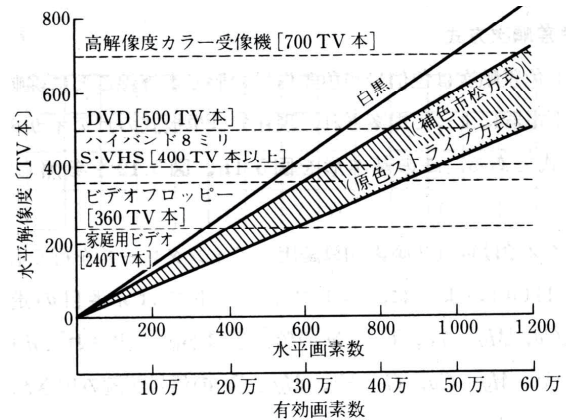


図 6.6 イメージセンサの画素数と水平解像度の関係

進めることは困難で、30万画素を経て40万画素へと向かった。

20万画素から40万画素へ至るカメラの性能・仕様の推移の一例を表6.4に示す。20万画素では水平解像度が250TV本であった。それが30万画素では360TV本に向上する。42万画素では余裕をもって470TV本を達成できるようになり、S-VHSの解像度を上回ることになる。

なお、多画素化による高画質化と共に高機能化競争も活発化したが、これは8章に述べる。

6.7 ビデオカメラの実際

ビデオカメラは数多く開発・製品化されてきたが、ここではこれらをいくつかの観点から推移を注目していこう。まず、70年代以降から現在までの主なビデオカメラを表6.5に示す。できるだけ正確を期すため、各メーカーのパンフレット、新聞発表資料を中心に、学会発表、参考文献⁽²⁹⁾⁽³⁰⁾で補足した。したがって、数値は同一条件で測定されたものではないことを了解頂きたい。

表 6.4 画素数の推移とカメラ性能の一例

	IK-3000	AI-30AF	AI-40SV	AI-XS1
特徴		高画質自動追尾AWB	初の40万画素	高解像度化(初の40万画素)
撮像デバイス	2/3インチ CCD	1/2インチ CCD	2/3インチ CCD	1/2インチ CCD
画素数	20万	30万	40万	42万
水平解像度	250TV本	360TV本	470TV本	470TV本
VTR	なし	VHS-C	S-VHS	SVHS-C
撮像レンズ	6倍ズーム	6倍ズーム	6倍ズーム	8倍ズーム
明るさ F	1.2	1.2	1.7	1.2
ファインダー	0.6インチ白黒 CRT	0.6インチ白黒 CRT	0.6インチ白黒 CRT	1インチ白黒 CRT
最低被写体照度	50lx	8lx	15lx	7lx
重量	1.1kg	1.6kg	1.7kg	1.34kg
外形寸法(W×H×D)	95×120×210mm	115×156×270mm	115×156×291mm	112×145×295mm
消費電力	5W	8.5W	9.0W	10.3W
発売時期	1981年秋予定	1987年8月	1988年4月	1989年9月
価格	350,000	198,000	248,000	198,000円

重量はカセット、バッテリー含む

表 6.5 ビデオカメラの変遷

年	月	型名	メーカー	インチ・撮像デバイス	重量	消費電力	録画装置	定価(円)	特徴
1970			日本コロンビア	1インチ FICビジョン			別		業務用 色フィルム内蔵周波数多重単管式
1971			ソニー	1インチビジョン トリニコン			別		業務用 位相分離単管式
1872	4	IK81	東芝	1インチビジョン2管式			別	800,000	業務用2管式 色フィルム内蔵撮像管
1973	4	IK83	東芝	2/3インチビジョン2管式			別	650,000	業務用低価格 色フィルム内蔵撮像管
1974	4	IK12	赤井電機				別	450,000	業務用低価格
		VCC-300	東芝	1インチ 特殊ビジョン(クロミコン)	2.8kg	1.5	別	298,000	世界初の家庭用ビデオカメラ 発売
		三洋電機		25mm静電収束・電磁偏向ビジョン			別		
1975	5	板式試作品	NHK-NEC	CCD			別		国産初の試作品公開
1978	4	IK1300	東芝	1インチ 特殊ビジョン(クロミコン)	2.6kg	31W	別	227,000	コストダウン 月産3,000台
		VK-C600E	日立製作所	ビジョン			別	178,000	
		GC-3350F	日本ビクター	単管式			別	251,800	ステツブエネルギー方式
1979	7	GX-V3	日本ビクター		1.4kg		別	138,000	世界最小・最軽量家庭用カラービデオカメラ、単管式
		XC-350JA	シャープ	3電極単管方式	3kg	12W	別		
		VK-C830	日立製作所	サチコン単管式			別		トライカラー方式 サチコン採用
1980	1	XC-1	ソニー	2/3 12万画素IT-CCD	1.3kg		別		2板式 全日空B747に搭載
		IK-2300	東芝	2/3 特殊ビジョン(クロミコン)	2.5kg	9W	別	199,000	最低照度50lx
		7 ビデオムービー	ソニー	2/3 FT-CCD	2kg	7W	別		一体型(8ミリ方式) テープ幅8mm 9月ベルリンショー 試作機公開
		VK-C1000	日立製作所	2/3 MOS	1.1kg	3.8W	別	350,000	世界初の固体化ビデオカメラ 80エレクトロニクス展示 81年4月発売
		9 マグカメラ	日立製作所	2/3 MOS	2.6kg		別		一体型(1/4"方式) テープ幅1/4" 9月ベルリンショー 試作機公開
		10 試作品	東芝	2/3 20万画素CCD			別		エレクトロニクスショーで試作品展示
			松下電器	ニューコスビジョン単管式			別		
1981	2	マイクロビデオシステム	松下電器産業	1/2インチ コスビジョン	2.1kg	5W	別		一体型(蒸着テープ方式提案) テープ幅7mm
		HVC-F1	ソニー	MFトリニコン管	2.7kg		別	220,000	水平解像度300本の高画質映像を実現
		5 マイクロビデオシステム	松下電器産業	2/3 CPD	1.9kg	4.9W	別		マイクロビデオシステム CPD採用 米国松下技術展で公開
		5 IK-3000	東芝	2/3 20万画素CCD	1.1kg	5W	別	350,000	開発・発売予定の発表
		8 マピカ	ソニー				別		電子スチルカメラ 1986年発売
		VK-C1500	日立製作所	MOS	980g		別		重さ1kgを切る
		XC-2P	シャープ	単管ビジョン			別	99,800	ズームオートフォーカスグッドデザイン賞
1982	10	KONICA color VC	小西六写真工業	単一搬送波 1/2 サチコン	690g		別		カメラメーカー 初 82年フォトキナ出品
		TC-100	NEC	CCD			別		世界初の家庭用CCDビデオカメラ 発売
		VK-C3000	日立製作所	MOS			別	288,000	世界初ビデオオートフォーカス採用
		VC-100	キヤノン				別		キヤノン初
		S-100	ニコン				別		ニコン初
		KY-1900	ビクター	サチコン3管式			別		
1983	3	IK-C400	東芝	1/2 サチコン	890g	2.9W	別	145,000	最軽量 最低消費電力
		BMC-100	ソニー	1/2 SMFトリニコン撮像管	2.48kg		別	269,000	ベータムービー・初めてのVTR 一体型・録画のみ
		CCD-G5	ソニー	2/3 19万画素IT-CCD	1kg		別	228,000	CCDで初の量産化
		XC-37	ソニー	2/3 19万画素IT-CCD	115g		別		世界最小・最軽量(当時) 産業用高感度白黒CCDカメラモジュール
		VCC-520	三洋電機	1/2インチ サチコン	2.2kg	5.8	別	198,000	ポータブルBetaビデオ記録用カメラ
1984		TORONE	ミノルタ				別		

10	VL-HL1	シャープ	1/3インチ 41万画素CCD	890g	9.4W	Hi-8	210,000	世界初 液晶ビューカム 4型液晶 8倍ズーム
	NV-3CCD1	松下電器	3CCD			S-VHS-C	298,000	ブレインプロ・手振れ補正機能
	CCD-VX1	ソニー	41万画素3CCD	1.5kg		Hi-8	350,000	家庭用ビデオカメラのフラッグシップモデル
	VL-HX1	シャープ	1/3 CCD 41万画素			Hi8	198,000	ソニカム8・ズームレンズ+広角単焦点
1993	FS-1	富士フイルム	1/3 41万画素CCD	900g		別		通称 シンプルHi8
1994	2 THK-500D	東芝	2/3 130万画素CCD×3枚	900g		別		ハイビジョン用3板式 解像度1000TV本
	5 GR-EX7	日本ビクター	CCD	815g	8W	一体型	185,000	S-VHSステレオHiFiムービー
	E1	キヤノン	1/2 41万画素CCD					通称ムービーボーイ フェインダーに視線入力採用
1995	4 CCD-TRV90	ソニー	1/3インチ CCD	1.1kg		Hi8		TRVスタイル・液晶モニタを脇腹で開閉
	9 NV-DJ1	松下電器	3CCD			DV	275,000	デジタル 高画質。水平解像度500TV本
	9 DCR-VX1000	ソニー	1/3 41万画素3CCD	1.4kg		DV	350,000	デジタルハンデンダイカム DV(デジタルビデオ規格)
	9 DCR-VX700	ソニー	単板式			DV	235,000	
1995	12 GR-DV1	日本ビクター	1/3 CCD 57万画素	450g		DV	220,000	DV・縦型 小型軽量 ポケットデジタルムービー
	12 VL-DH5000	シャープ	1/4 41万画素3CCD	1.19kg	10.4W	miniDV	350,000	デジタル記録 水平解像度500TV本 224,640画素5型LCDモニター
	QV-10	カシオ計算機						液晶デジタルカメラ 本格的普及始まる
	VM-H39	日立製作所						劣化のない電子式
1996	10 GR-DVM1	日本ビクター	1/3 CCD	620g	8.7W	一体型	230,000	液晶付デジタルビデオカメラ(ポケットデジタルムービー)
	VM-PS102	三洋電機	1/4インチ 27万画素 CCD	640g	3.9W	8mm		単三乾電池駆動 2時間撮影
1997	7 PK-MC202	NEC	320×240 1/4 CCD	200g		なし		世界初のUSB対応
	8 アルグレット PDR-2	東芝	1/4 33万画素CMOS	930g	7.1W	miniDV	59,800	CMOSイメージセンサーの実用化 デジタルカメラに適用
	9 MV1	キヤノン	1/3 38万画素プログレシブCCD	930g		miniDV	235,000	プログレシブ デジタル化フレーム静止画
	11 GR-DVL	日本ビクター	CCD 38万画素	670g	6.3W	一体型		水平解像度500本プログレシブスキャナCCD
1998	2 XL-1	キヤノン	1/3 27万画素CCD	1.7kg	9.5W	miniDV	588,000	3CCD レンズ交換式 XLマウント採用 ハイアマチュア・プロ用
	9 DCR-TRV900	ソニー	1/4 3CCD	880g		DV		インターレース/プログレシブの切替可能 デジタル化
	GR-DLS1	日本ビクター	CCD 38万画素	670g	6.3W	一体型		光学10倍、総ズーム200倍
1999	DI	ニコン						既存の一眼レフレンズが使える 一眼レフデジタルカメラ
1999	9 ADA	富士重工業	CCD					車載ステレオカメラ(レガシイライカスター搭載) Active Driving Assist
2000	5 DCR-VX2000	ソニー	1/3 38万画素3CCD	1.4kg		DV	380,000	液晶モニター搭載メモリーステイタス”スロウト装備
	7 VL-MR1	シャープ	1/4型CCD68万画素	880g	5.0W	miniDV	230,000	3.5型液晶 LCD分離可能タイプ業界初D端子搭載/SDカード対応
	GR-DVA2000	日本ビクター	1/4 CCD 68万画素	660g	4.4W	一体型		ムービー、デジタルカメラ 兼用
2001	8 VL-NZ10	シャープ	1/4型CCD68万画素	450g	4.4W	miniDV	160,000	3型液晶 10倍ズーム ズームマイク 液晶デジタルビューカム
	IDC-1000Z	三洋電機	1/2インチ 150万画素CCD	575g		iDデバイス		iDshot 世界最小 光磁気ディスク 業界初IEEE1394
2002	X3	Foveon	積層型CMOS					積層型一眼レフデジタルカメラ
2002	6 VL-MG10	シャープ	1/4型CCD133万画素	590g	4.8W	miniDV		3型液晶 10倍ズーム フラッシュライト内蔵
	8 VL-DD10	シャープ		630g	5W	miniDV		3倍ズーム静止画・10倍ズーム動画 カメラ分離タイプ
	AG-DVX100	松下電器				DV		ビデオカメラで映画撮影 24p撮影と映画用γ
2003	2 VL-Z7	シャープ	1/4型CCD133万画素	580g	4.4W	miniDV		2.5型液晶 10倍ズーム SDカード対応
	HDI	ビクター	1/1.8型CCD420万画素/1/4型CCD68万画素	155g	2.9W	SDカード		初のハイビジョン相当カメラ 720p
	DMX-C1	三洋電機	1/2.7インチ 334万画素CCD			別		Xacti 1号機 世界初 MPEG4ムービー VGA30fps
2004	2 TK-WB310	日本ビクター						Pixim方式WDRカメラ
	10 HDR-FX1	ソニー	1/3型 112万画素3CCD	2.0kg		HDV		民生用世界初1080i記録のハイビジョンビデオカメラ
2005	7 HDR-HC1	ソニー	1/3 297万画素CMOSセンサー	680g		HDV		原色フィルタ コンパクトHDV ハイビジョン普及の立役者
	9 MEHV10	東芝	500万画素CCD			HDD		0.85型HDD(4GB)搭載の小型軽量 テープからHDDへ

2006	7 HDR-UX1	ソニー	1/3 CMOS	660g	DVD	オープン	AVCHD規格方式デジタルハイビジョン
	7 HDR-SR1	ソニー	1/3 CMOS	640g	HDD	オープン	AVCHD規格方式デジタルハイビジョン
	DZ-GK3300	日立製作所			DVD	オープン	記録媒体にDVDを用いた世界初のHDTVビデオカメラ*1。
	DMX-HD1	三洋電機	1/2.5インチ 536万画素CCD	210g	SDカード	オープン	世界最小最軽量ハイビジョンムービー
	DMX-CA6	三洋電機	1/2.5インチ 637万画素CCD	155g	SDカード	オープン	世界初の生活防水ムービー
	DMX-CA65	三洋電機	1/2.5インチ 637万画素CCD	220g	SDカード	オープン	世界初の防水ムービー
2007	1 HDC-SD1	松下電器			SDカード	オープン	AVCHD方式
	9 GSC-A100F	東芝	1/3 236万画素 CMOS	495g	HDD	オープン	フルハイビジョン 100GBHDD 世界最小
	DMX-CG65	三洋電機	1/2.5インチ 618万画素CCD	150g	SDカード	オープン	MPEG4 AVC (H.264) ファーマット
2008	11 HDR-FX1000	ソニー	クリアピッドCMOSセンサー		HDV	オープン	HDVフラッグシップ 業務用HDVシリーズ
	DMX-HD1000	三洋電機	1/2.5インチ 400万画素CMOS	270g	SDカード	オープン	世界最小最軽量のフルHDムービー
	DMX-HD2000	三洋電機	1/2.5インチ 810万画素CMOS	268g	SDカード	オープン	世界初 フログレンジアップハイビジョン 1080 60P
	DMX-CG10	三洋電機	1/2.33インチ 1066万画素CMOS	171g	SDカード	オープン	コンパクト 1000万画素写真
2010	1 HDR-AX2000	ソニー	1/3 3CMOS	2.1kg	メモリ記録	オープン	HDV→AVCHD テープからメモリへ
	9 NEX-VG10	ソニー	APS-Cサイズ CMOS	620g	メモリ記録	オープン	世界初レンズ交換式HDビデオカメラ
2012	10 EOS-C300	キヤノン	35mmフルサイズ1810万画素CMOS	1.82kg	メモリ記録	オープン	4K Cinema 1~60fps 2012エミー賞受賞
	10 EOS-C500	キヤノン	35mmフルサイズ829万画素CMOS	1.43kg	メモリ記録	オープン	2K フルハイビジョン 2012エミー賞受賞
	10 NEX-VG900	ソニー	35mmフルサイズ2430万画素CMOS	1.03kg	メモリ記録	オープン	レンズ交換式世界初35mmフルサイズCMOSイメージセンサー搭載
	12 NEX-VG30	ソニー	1610万画素APS CMOS	1.42kg		328,000	
2013	2 X920M	パナソニック	1/2.3 裏面照射型 3-CMOS	480g		178,000	総画素数1276万

メーカー名の表記については、東芝は全て現在の東芝に、松下電器、三洋電機は当時の名称で記した。

参考文献

- (1) 電子情報通信学会 現代電子情報通信選書 知識の森 画像入力とカメラ オーム社刊 2012年
- (2) 玄光社:ビデオサロン、2011年11月号
- (3) ビデオカメラグランプリ
- (4) 車載ステレオカメラの開発(3)、日経エシ、pp.92-95、2011-9-19
- (5) 茨木県立歴史館 特別展 茨木からの家電
- (6) 竹村裕夫:CCDカメラ技術、ラジオ技術社刊、1986年11月(現在廃版)
- (7) 各メーカー home page
- (8) 謝辞に記した方々にご協力頂いた

表 6.6 は 1970 年後半にビデオカメラが現れてから、1990 年代にかけてビデオカメラの革新が激しい中であって、一つの時代を形成してきたビデオカメラを選んで、表にまとめたものである。単管式ビデオカメラで世界初の家庭用を達成した IK-12、固体カメラで世界初の製品化を達成した VK-C1000、長らくビデオカメラとして主流であった CCD を用いて世界初のビデオカメラを発売した TC-100 を挙げる事ができよう。当初、量産化に苦勞した CCD カメラの中で、いち早く量産に成功したのは CCD-G5 であった。ここまではカメラ単体がほとんどであった。

録画機能を有した VTR を一体化したビデオカメラ

で、パスポートサイズにまとめたのが図 6.7 に示すよ



図 6.7 パスポートサイズのビデオカメラ⁽¹⁸⁾

表 6.6 時代を代表するビデオカメラの仕様(70 年後半から 90 年代)

	撮像管	MOS 型	CCD	CCD	8 ミリ
	IK-12	VK-C1000	TC-100	CCD-G5	CCD-TR55
	東芝	日立製作所	NEC	ソニー	ソニー
特徴	初の家庭用カメラ	初の固体ビデオカメラ	初の CCD ビデオカメラ	CCD カメラ初の量産品	パスポートサイズ(初の普及品)
撮像デバイス	1 インチビジコン	2/3 インチ 19 万画素 MOS	IT-CCD	2/3 インチ 19 万画素 CCD	1/2 インチ 27 万画素 CCD
撮像方式	Ye, Cy ストライプ 周波数インタリーブ	Cy,W,Ye,G モザイク	RGB 市松 Bayer	R,G,B 市松 Bayer	Mg,G,Ye,Cy 色差順次
水平解像度	250 TV 本	260TV 本以上		250TV 本	—
撮像レンズ	固定(Cマウント交換可能)	6 倍ズームレンズ		6 倍ズームレンズ	6 倍ズームレンズ
ファインダー		電子ビュー ファインダー		1 インチ白黒 CRT	0.6 インチ 白黒 CRT
電子シャッター	なし	なし		なし	1/60-1/4000
重量	2.6kg	1.7kg		1.02kg	0.79kg
外形寸法(mm) (W×H×D)	90×170×345	58×100×155		107×137×218	107×106×176
消費電力	65W	5.3W		4.5W	5.2W
発売時期	1974 年 4 月	1981 年 4 月	1982 年 10 月	1983 年 10 月	1989 年 6 月
価格	298,000 円	350,000 円	278,000 円	228,000 円	160,000 円

	SVHS-C	SVHS-C	Hi8	DV(6 ミリデジタル)	DV(6 ミリデジタル)
	AI-XS1	NV-S1	VL-HL1	NV-DJ1	DCR-VX1000
	東芝	松下電器	シャープ	松下電器	ソニー
特徴	高解像度化 (40 万画素)	ブレンビー、 手振れ補正	液晶ビューカム	デジタル記録	デジタル記録
撮像デバイス	1/2 インチ 38 万画素 CCD	1/3 インチ 27 万画素 CCD	38 万画素 CCD	1/4 インチ 27 万画 素 CCD	1/3 インチ 38 万画素 CCD
撮像方式	Mg,G,Ye,Cy 色差順次 単板式	Mg,G,Ye,Cy 色差順次 単板式	Mg,G,Ye,Cy 色差順次 単板式	RGB 3 板式	RGB 3 板式
水平解像度	470TV 本	330TV 本	-	500TV 本	500TV 本
撮像レンズ	8 倍ズーム	6 倍ズーム	-	10 倍ズームレンズ	10 倍ズーム
ファインダー	1 インチ白黒 CRT	-	4 型カラー液晶	カラー液晶	カラー液晶
電子シャッター	1/60-1/10,000	1/100-1/4,000	1/60-1/10,000	1/60-1/8000	1/4-1/10,000
重量	1.3kg	0.97kg	0.89kg	1.1kg	1.6kg
外形寸法(mm) (W×H×D)	112×145×295	96×134×167	198×144×78	144×122×266.5	110×144×329
消費電力	10.3W	7.8W	9.3W	7.5W	9.5W
発売時期	1989 年 9 月	1990 年 6 月	1992 年 10 月	1995 年 9 月	1995 年 9 月
価格	198,000 円	165,000 円	210,000 円	275,000 円	235,000 円

うな CD-TR55 で、この機種により本格的に普及できるビデオカメラが実現できた。ここまではまだ解像度の点で物足りなさがあったが、AI-X1 は 42 万画素の CCD 開発に初めて成功し、多画素化競争に終止符を打った。それまで悩まされてきた手振れを解決したのが、NV-S1 である。これ以降は AE、AF、AWB の 3 大機能に加えて手振れ補正 (AS : Auto Stabilization) が必須のものになった。そして、1995 年になると DV 方式のカメラが登場し、画質の劣化がないデジタル記録に入る。ビデオカメラで撮ったものは見やすいビデオに編集して保存したかったが、それまでのアナログ記録ではダビングの際に画質の劣化が避けられず、編集がネックになっていたが、これ以降はこの悩みが解決された。

6.8 ビデオカメラの変遷

ここで、図 6.8 を参照して、年代別にビデオカメラの変遷をたどってみよう。

当初はビデオカメラもかなりの重さがあり、図 (a) のように、は 1969 年のビデオカメラとして最初のイメージが発表された当時は未だ三脚に載せるタイプであった。これが、実用化された 1974 年になると肩に載せるショルダータイプになる。図 (d) は最後の単管式ビデオカメラで、小型化が達成された。しかし、未だ記録用の VTR は別タイプで肩から提げなければならなかった。80 年代後半になるとカメラ用に 8 ミリ、VHS-C の VTR が登場し、ビデオカメラも手のひらで支えるタイプになった。しばらくはこの形が定着するが、記録メディアが VTR から更に小型の SD カード、HDD、DVD などが登場すると図 (f) のように手のひらに入るまでに小型化が可能になった。



(a) 2管式試作品1969年 (b)単管式IK12 1974年 (c)単板式IK3000 1981年 (d)単管式IKC400 1983年 (e)VHS-C一体型 AI35AF 1988年 (f)HDD内蔵 2005年

図 6.8 外形から見るビデオカメラの変遷

6.9 ビデオカメラ技術の応用

1970 年に CCD が発明されて以来、内外各メーカーで、研究開発が続けられた。特に国内メーカーがビデオカメラを目指して撮像管を凌ぐ性能を実現すべく、激しい開発競争が繰り広げられた。その結果、80 年代初めから各メーカーで、ビデオカメラの開発・製品化の新聞発表が行われたが、量産技術の確立が遅れたため、予定された半年後の製品化が見送られることが多かった。

CCD の量産化に苦しむ各メーカーは比較的生産台数の規模が小さい業務用カメラに活路を見出すことにし、その結果、業務用カメラの製品化が相次いだ。

1983 年 9 月にソニーは箱型業務用カメラを初めて製品化、1988 年に東芝は CCD を 3 個使った 3CCD カメラ IK-T30C を世界で初めて製品化した。これには 3 色分解プリズムに CCD の感光面を精度よく固着する CCD 張り合わせ装置が開発された。

6.9.1 親指サイズカメラ (超小型カメラ)

1986 年 9 月に図 6.9 のような親指大の超小型カメラが東芝から製品化された⁽²⁰⁾⁽²²⁾。これらは今までのカメラで撮影できなかったカメラアングルからの撮影を



図 6.9 世界初の超小型カメラ



(e)VHS-C一体型 AI35AF 1988年



琵琶湖マラソンで伴走するオートバイの車近くに装着して、ランナーの足の動きを鮮やかに捉えた画像がNHKから放送され、解説者が驚きの声を上げた。さらに、富良野のスキー滑降コースでは、試走者のヘルメットに装着して滑り降りることにより、スキー選手の目線で、起伏に富んだコースをダイナミックに滑走するリアルな画像をお茶の間にダイレクトに届けることができた。NHKはこれらの画像を世界で初めて放送し、絶賛を浴びた。また、映画「マルサの女」でメガネの横にひっそりと置くシーンにも活用された。

この斬新なカメラの発想は井上靖の短編小説「他人の眼」による。CCDはこんなに小さくなったのに、ビデオカメラは何で大きいのだろう、見たいところへ眼を！これがカメラ研究者の究極の夢であった。だったら、カメラから眼を外したら？些細なアイデアを実現するには一苦労が要る。本来の業務をやりながら、アンダーザテーブル(どこからも資金をもらわず自力で進める開発)で未知への挑戦を進める。新規な研究には誰も専門家はいない。苦労して試作してもあまりに斬新過ぎるとメーカーの中ではよさをわかってもらうのが大変である。捨てられる直前だったマイクロカメラはユーザーが使ってくれ、大評判になる。究極の夢と発想の転換により、世界初のマイクロカメラが実現できた。

6.9.2 電子内視鏡

今では当たり前前の電子内視鏡が1987年、国内で初めて開発された⁽²³⁾⁽²⁵⁾。それまでは5万本程度のファイバースコープを用いて手元まで、画像を導いて一人の医者が観測し、必要に応じて写真撮影を行っていた。CCDでは、直接、スコープの先端に取り付けることが可能になり、図6.10のようにテレビ画面で、複数の医者が同時に内部を観測できるようになった。無理



図 6.10 電子内視鏡

な姿勢で、内視鏡を走査する必要がなくなったため、医者腰痛が減少したといわれる。更に、細胞片を摘み取る鉗子や、患部を焼き切るレーザも内蔵することにより、今や、内視鏡は観察だけでなく、治療器に成長した。これもビデオカメラ技術の波及効果である。

6.9.3 立体ビデオカメラ

1987年には図6.11のような世界で初めての立体ビ



図 6.11 世界初の立体ビデオカメラ

デオカメラ SK3D7が開発され、米国向けに製品化された⁽²⁶⁾⁽²⁸⁾。

これは表6.4に示した30万画素のビデオカメラ、AI-30AFを母体とし、カメラヘッド部を複眼化したもので、2組のレンズとCCDを一体構造に精度よく収納することによって、それまで、煩雑だった左右の画像を μ オーダーで合致させることに成功した。左右の画像をフィールド順次で撮り出し、普通のVTRに記録する。再生側では画像に同期して液晶メガネを左右交互に切り替えスイッチすることにより、左画像が左眼に、右画像が右眼に入り、手軽に立体画像を楽しむことができる。現在でもこのカメラは世界中で活躍している。

これまでの立体画像を撮るカメラは2台のビデオカメラを三脚に取り付け、根気よく2枚の画像の位置合わせを調整しなければならなかった。画面が垂直にずれると左右の画像が重ならず、著しく、見にくくなるからである。この立体ビデオカメラでは、3板式カメラ用にプリズムとCCDを高精度に固定する自動調整器具の技術を取り入れることにより、垂直方向の誤差を μ オーダー以内の精度に抑えることができた。このようにして、レンズとCCDを一体構造にして固着させることに成功、いつでも手軽に安定した立体画像が得られるようになった。新規なカメラを作り出すには技術のポイントを抑えることが必要である。

6.9.4 知的玩具

ビデオカメラ技術の応用として将来期待されるものに知的玩具がある。一人暮らしの女性、シニア世代の人々が外出先から自宅に戻って玄関に入るとき、ちょっと話しかけたくなる、それに応じて一言返してくれる、そのようなインテリジェントな人形が一つのイメージであり、目を離せない介護老人を見守り、異常発生時には素早く通報できるような介護ロボットも家庭や施設、病院などで活躍するであろう。これらに共通する基本技術がカメラと記録、信号処理の技術であり、ビデオカメラそのものである。

図 6.12 はビデオカメラに、ノートパソコンの顔認識、



図 6.12 知的玩具の一例 I-Doll

日本語認識・合成を応用して試作された知的玩具、愛称 I-Doll (Intelligent Doll) である^{(29) - (31)}。話しかけると、人形の額に付けたビデオカメラが検知、言葉を認識・理解して、人形の画面が表情を変え、スピーカから返事を聞け、会話を楽しめる。1998 年に試作されたが、当時はコストがかかり、時代の先取りが早過ぎ、製品化に至らなかった。

6.9.5 カラーテレビ電話

1970 年大阪で開催された万国博の電気通信館で世界初のカラーテレビ電話が公開された。これは図 6.13 のように、2 管式カメラの応用で、上部にカメラ部、下部に受像部、右上に小型モニタが設けられている^{(32) - (34)}。カメラは高感度の 2/3 型カルニコンを 2 本用いた 2 管式である。電気通信館に 1 対抗設けられ、180 日間にわたって一般の入館者が自由に使い、必要



図 6.13 カラーテレビ電話

に応じて東京霞が関ビル、大阪 MM ビルとの間でも交信された。

6.9.6 コックピットカメラからビデオカメラへ

80 年代初め、CCD の量産化には各メーカーとも苦労していた。その中で、ソニーの戦略は少量の機種から実用化を進め、業務用機種を挟んで、本格量産化につなげていった。その経緯を紹介する。

撮像管から CCD への転換期に 3 種のカメラがあった。先陣はソニーの XC-1。1980 年、CCD カラーカメラ商品化として世界初、CCD 量産へ向けた足場を築いた。用途は航空機搭載で、最初に全日空ジャンボ機のスカイビジョン用にコックピットとランディングギア (前足) に取り付けられた。採用の理由は撮像管の大型サイズ、振動衝撃に弱い、焼き付きという弱点の克服にあった。CCD は 12 万画素で、解像度不足を 2 板方式でカバーした。

第二陣は 1983 年、本格 CCD 量産ラインから生まれた白黒カメラ XC-37 であった。撮像管から CCD への転換期にあたる。CCD ならではの耐振動衝撃性と手のひらに乗る超小型サイズで、業務用分野で圧倒的な評判を呼び、マシンビジョン用カメラの元祖として 15 年のロングセラー機となった。画素数は 19 万画素、テレビカメラには不足だが、コンピュータの眼としては十二分に役立った。

そして、1985 年、ビデオカメラ CCD-V8 は撮像管から CCD への転換の最終戦を飾った。小型ビデオ一体型カメラの元祖でもある。25 万画素の単板式カラー CCD を用い、記録は 8mm 方式。プロトタイプ「ビデオムービー」が発表されてから、苦節 5 年、技術開発の成果であった。

(元ソニー 名雲文男氏への取材による)

文献

- (1) 長原脩策、信時三郎、蠣崎武広、安藤隆男：2 色および 3 色撮像管、テレビ誌、Vol.28, No.11, pp.896-301, 1974.
- (2) 川崎満、和久井孝太郎：特集撮像デバイス 7. 撮像管とカメラ技術、テレビ誌、VOL.28, No.11, pp.918-925, 1974.11.
- (3) 竹村裕夫：CCD カメラ技術、ラジオ技術社刊、1986 年 11 月。(現在、廃刊)
- (4) 電子機械工業会、JEITA、カメラ工業会の統計より、フォーマットに合わせて編集。
- (5) 長原脩策、小林義和、信時三郎、高木俊彦：周波数多重化単管カラーカメラの開発、テレビ誌、Vol.26, No.2, pp.104-110, 1972 年 2 月

- (6) 窪田泰治、黒川弘道、塩野隆史、田川進、嶋崎武広：電子インデックスによる位相分離方式単管カラーカメラ、テレビ誌、Vol.27, No.4, pp.243-251, 1973年4月
- (7) 竹村裕夫：家庭用単管式カラーカメラの開発、映像情報メディア学会誌、Vol.60, No.6, pp.879-882, June 2006.
- (8) 東芝小型カラーカメラ IK-12 パンフレットより、1974年4月
- (9) 世界最小のカラーテレビカメラ－家庭用小型VTRなどに最適な超小型カラーテレビカメラを開発－、東芝新聞発表資料、1969年3月6日。
- (10) Yasuo Takemura, Itsuzo Sato and Hisashi Tajiri : Compact Color Television Camera, J. of SMPTE, Vol.82, No.1, pp.12-16, Jan. 1973.
- (11) 低価格の簡易型カラーカメラ IK-83 を発売、東芝新聞発表資料、1972年3月29日
- (12) 日立 MOS カラービデオカメラ VK-C1000 パンフレットより、1981年3月
- (13) NEC 新聞発表資料より
- (14) ソニー：ビデオ / カメラ一体型「ビデオムービー」{仮称}に試作機公開。方式統一を提案。ソニー新聞発表資料、1980年7月1日
- (15) 基本設計2時間撮影のビデオ内蔵カメラ「マグカメラ」について。日立製作所新聞発表資料、1980年9月16日。
- (16) 世界最小・最軽量・低消費電力のカメラ一体型VTR、CPD 固体撮像素子採用“マイクロビデオシステム”を開発、松下電器産業新聞発表資料、1981年5月20日。(松下電器は1981年2月にも1/2インチ撮像管を用いたマイクロビデオシステムを提案している。)
- (17) カメラ一体型VTR “ミリビデオ”の新フォーマット案の骨子を関係業界に5社共同提案、5社新聞発表資料、1982年1月20日。
- (18) 弓手康史：8ミリビデオの標準化規格案について、テレビ誌、Vol.38, No.3, pp.219-225, 1984年4月。
- (19) 竹村裕夫：CCD・CMOSカメラ技術入門、コロナ社刊、2008年4月。
- (20) Yasuo Takemura, Masanobu Kimura, Kazushige Ooi, Hiroshi Mukaigawa, Takahiro Nakamura, Chiaki Tanuma, Kiyofumi Sanda and Minami Amano: CCD Micro-Miniature Color Camera, IEEE Trans. Consumer Electronics, Vol.CE-33, No.2, 85-89, May 1987.
- (21) 日経記者による新製品ハイテク度調査 新製品ハイテク度ランキング第1位 超小型 CCD カメラ、日経ハイテク情報、1985年8月18日。
- (22) 田沼千秋、竹村裕夫、逸見和弘、木村正信、近藤雄、天野南、福岡義孝：超小型 CCD カラーカメラ、テレビ誌、Vol.41, No.11, pp.1026-1032, 1987年11月。
- (23) 星：電子内視鏡、メディカルレビュー、Vol.11, No.2, pp.44-50, 1987.
- (24) 伊藤 阿耶雄：オプトエレクトロニクスと医療、電子通信学会誌、Vol.71, No.1, pp.28-31, 1988年1月。
- (25) 竹村裕夫：CCD 内視鏡とその微小化動向、Coronary, Vol.6, pp.31-36, 1989年8月。
- (26) Yasuo Takemura, Masanobu Kimura Shinichi Yamaguchi, Junichi Hosokawa and Yasunari Arakawa : Stereoscopic Video Movie Camera using 300K Pixel IT-CCD Sensors, IEEE Trans. Consumer Electronics, Vol.37, No.1, pp.39-44, Feb. 1991.
- (27) (Invited Paper) Yasuo Takemura : Stereoscopic Video Movie Camera “3D-CAM”, 1989 3D Meeting June 1989.
- (28) 竹村裕夫：次世代テレビ特集 永年の大きな夢が実現に近づく 立体ビデオディスク、立体ビデオムービーが実用化、日経ハイテク情報、1989年1月9日。
- (29) 古谷智子：21世紀のセンサ・認識技術の応用、東芝 AVE 技術レビュー、第10号、2000年3月。
- (30) 古谷智子、竹村裕夫、竹内元比古：知的ロボット、特開平 2001-179665、2001.7.3 公開、1999.12.24 出願。
- (31) 古谷智子、竹村裕夫、竹内元比古：表情を有する知的ロボット、特開平 2001-215940、2001.8.10 公開、2001.1.31 出願。
- (32) 竹村裕夫、八木基、鍋島大樹、青木栄一郎、浜口和男：カラーテレビ電話の試作、第7回テレビジョン学会全国大会、10-7, pp.331-332, 1971年。
- (33) Yasuo Takemura, Daiki Nabeshima and Motoi Yagi : Characteristics of the Color TV Telephone, IEEE Trans. Broadcasting, Vol.BC-19, No.4, pp.77-84, Dec. 1973.
- (34) 竹村裕夫、鍋島大樹、八木基：カラーテレビ電話、テレビジョン学会誌、Vol.27, No.3, pp.190-196, 1973年3月。

7 | ビデオカメラ用録画機器

7.1 概要

7.1 概要

ビデオカメラの録画機器は当初はカメラと別に設けられ、その間をケーブルで接続して用いられてきた。しかし、これでは不便なので、カメラの中に組み込めるように、カメラ一体型 VTR という呼び方で一体化が進められた。しかし、既存のベータ方式、VHS 方式ではカセット自体が大きすぎ、小型の使いやすいビデオカメラを作ることは不可能であった。そこで、カメラ用に小型のカセットが提案、規格化されていった。それによって、8ミリビデオ、VHS-C、SVHS-C、DV、HDV など多数の方式が乱立した。更に、VTR テープ以外にも、DVD、HDD、SD カードなど各メーカーの得意分野でビデオカメラが作られるようになって行った。

ここでは、簡単にこれらの経緯を振り返ってみたい。

7.2 VTR

最初の家庭用 VTR は 1969 年に日本電子機械工業会 (EIAJ) の技術標準として規格化された統一 I 型で、これはテープがカセットでなく、リールに巻かれた状態のオープンリール方式であった。

その後、テープのカセット化が進み、1970 年に 3/4 インチテープの U マ / チック方式、1972 年に統一 I 型フォーマットのカートリッジ VTR、1974 年に 1/2 インチテープの V コード方式が製品化された。

本格的なカセット VTR は 1975 年ソニーから β 方式、1976 年ビクターから VHS 方式が出現し、据置きタイプの VTR はこの 2 方式に集約された。

米国市場では VHS フォーマットのカメラ一体型も発売された。国内ではカセットがやや小さいベータ方式で 83 年にソニーが VTR 一体型を発売した。

その後、NTSC 方式の周辺機器の性能向上が行われ、VHS 方式の水平解像度 240TV 本では物足りなくなってきたので、高解像度化を図った S-VHS 方式が 1987 年に規格化された。YC 分離で入力する S 端子の採用により、NTSC 方式のテレビ放送の解像度が 330TV 本に制約されるのに対し、5MHz の信号入力が可能になり、水平解像度が 400TV 本以上になった。

一方、カメラ組込みを意識して、1984 年次世代家庭用 VTR を目指した 8 ミリビデオが世界 127 社の統一フォーマットとして規格化された。これに対し、VHS 方式についても同年、カメラ用に VHS-C が開発された。しかし、VHS-C カセットは録画時間が 20 分で、120 分の録画が可能な 8 ミリビデオに対して苦戦した。

後に、8 ミリビデオは Hi 8、Digital 8 と性能アップが図られ、小型化カセットを採用したため、ビデオカメラ用に普及した。

表 7.1 にカセットサイズとテープ幅を示す。

表 7.1 カセットサイズとテープ幅

項目	カセットサイズ(mm)	テープ幅(mm)
VHS	188 × 104 × 25	12.65
β	156 × 96 × 25	12.65
VHS-C	92 × 52 × 23	12.65
8 ミリビデオ	95 × 62.5 × 15	8.00
DV	125 × 78 × 14.6	6.35
miniDV	66 × 48 × 12.2	6.35

HD デジタル VCR 協議会ではデジタル記録 VTR の規格である DV 規格を 1995 年に設定した。標準の DV カセットは 125 × 78 × 14.6mm、mini DV カセットは 66 × 48 × 12.2mm で、テープ幅は 1/4 インチ (=6.35mm) とした。これにより、従来からの悩みであったダビングによる画像劣化が低減した。

その後、ハイビジョン画像に向けて、HDV 方式を策定、しかし、これは 1440 × 1080 で、水平 1920 画素を必要とするフルハイビジョンではなかった。

7.3 デジタル記録メディア

但し、多くの人は知らされていないが、現在、日本の地上デジタル放送はこの画素数で放送を続けているのであるから、規格としては間違っていない。因みに、水平 1920 画素での放送は日本では BS デジタルだけである。

一方、1995 年には DVD が規格化され、HDD、SD カードなどのデジタル記録メディアが次々出現した。

当初パソコン用の記録メディアであった HDD は携帯用に信頼性が著しく向上し、2004 年 1 月には直径 0.85 インチ (約 22mm) の小型化が達成された。寸法は 32 × 24 × 4mm で、容量は 4GB であった。更に、2012 年 6 月には HDD として 1.5TB の大容量化も行な

われている。図 7.1 に 0.85 インチ HDD の外観を示す。500 円硬貨と同程度の大きさに小型化されている。

当初デジタルカメラ向けの静止画像の記録用であっ



図 7.1 0.85 インチ HDD

た SD カードは半導体技術の進歩とともに、年々記録容量が増加し、標準タイプで 32GB、2012 年には 64GB の大容量化が達成された。

これらのデジタル記録メディアは、従来の磁気テープによる記録に比べ、複雑なメカを必要としない、信頼性が著しく向上する、アクセスもはるかに優れている、などのメリットが大きく、これらの記録メディアを用いたビデオカメラが次々に製品化され、複雑なメカが必要となる VTR を用いたビデオカメラは急速に消滅して行く。

7.4 デジタル記録メディアを用いたビデオカメラ

1995 年になるとソニー、ビクターから DV 方式のビデオカメラが登場、編集・ダビングによって画質が劣化しないということで脚光を浴びた。

2003 年にはビクターから初のハイビジョンビデオカメラが発売された。しかし、これは 720p と標準の 1080i ではなく普及しなかった。2004 年にソニーが 1080i ハイビジョンカメラを発売、これは HDV 方式で業務用であったが、2005 年にソニーは普及型のハイビジョンカメラを発売した。

2007 年になると、SD カードを用いたハイビジョンカメラがパナソニックから、HDD を内蔵したハイビジョンビデオカメラが東芝から発売され、各メーカーの得意な記録メディアを搭載したビデオカメラが市場に出回るようになった。HDV 方式にこだわっていたソニーも 2010 年になるとテープからメモリ記録に下ビデオカメラを発売するに至った。

表 7.2 にこれらのスペックを示す。

文 献

- (1) 横山克哉、日本放送協会編：NHK ホームビデオ技術、日本放送出版協会刊、1980 年 4 月
- (2) 日本放送協会編：VTR 技術、日本放送出版協会刊、1982 年 10 月
- (3) 竹村裕夫、田中繁夫、テレビジョン学会編：家庭用ビデオ機器、コロナ社刊、1991 年 10 月
- (4) 映像情報メディア学会編：映像情報メディア工学大事典、継承技術編、オーム社刊、2010 年 6 月
- (5) 東芝ニュースリリース：モバイル機器に搭載可能な 0.85 型ハードディスクドライブの開発について、2004 年 1 月 8 日
- (6) 東芝ニュースリリース：ポータブルハードディスク「CANVIO」の発売について、2012 年 6 月 19 日

表 7.2 デジタル記録のメディア

方式	記録メディア	容量	画素数
DV	磁気テープ	12.9GB/時間	720 × 480、720 × 480
HDV	磁気テープ	同上	1440 × 1080、1280 × 720
AVCHD			1920 × 1080、1440 × 1080、1280 × 720、720 × 480、720 × 576
	80mmDVD	2.8GB(両面) BD 7.5GB	
	SD カード	64GB	
	HDD	1.5TB	

1.5TB：写真 408,000 枚 (3.5MB/枚) 映画 1200 本 (13MB/分 90 分/本) デジタル TV 番組 159 時間
音楽 381,000 曲 (MP3 による圧縮 128kbps 4 分/曲)

8 | 高機能化技術

8.1 概要

ビデオカメラの電子回路は高機能化に関する回路と高画質化に関する回路に大別できる。これらの回路技術は1960年代70年代に放送局用カメラを中心に研究開発が行われ、カラーカメラの高性能化に大きく貢献してきた。その後、70年代に入ると家庭用のビデオカメラの開発競争が激しくなり、この基本となる高機能化、高画質化電子回路は画像処理技術として日本の技術が中心となって開発が進み、ビデオカメラが世界に大きく躍進する原動力となった。ここではまず、高機能化について主要技術を紹介する。

ビデオカメラの高機能化技術は、図10.1に示したように自動光量 AE (Auto Exposure 自動光量制御)、オートフォーカス AF (Auto Focus 自動フォーカス制御)、オートホワイト AWC (Auto White Balance 自動白バランス制御)、手ブレ補正 AS (Auto Stabilizer)、顔認識、フリッカ除去が主なものである。

8.2 AE

AEの初めての特許は図8.1に示すように、1955年のJulius Durst(独 AGFA社)⁽¹⁾といわれる。明るさを検出して写真機のシャッター時間を制御しようとするものであった。

写真機では個別のセンサを付加して測光していたが、これでは環境光を測定することになり、被写体の明るさを正確に測ることが不可能であった。

現在では表8.1に示すように、イメージセンサという高性能センサがあるのでこれを用い、イメージセン

サの出力信号で制御する。

表 8.1 AE 方式

方式	検出手段	原理
環境光	スポットセンサ	単純測光
被写体	イメージセンサ	平均測光
		重点測光

被写体が明るければ出力が大きくなり、暗ければ小さくなる。これを一定レベルに制御するには入射光量を制御する必要があり、レンズの絞りを変える、電子シャッターの時間を制御する二つの方法がある。現在はプログラム制御で両者を変化させることが一般に行われる。単純に被写体全画面を平均して測光することは少なく、被写体の画面を細分化して、その中の主要部分を測光する重点測光や人物を撮るときには顔認識により顔部分を抽出してそこを測光する、顔認識 AE が行われている。

8.3 AF

AF技術の最初も写真機に始まる。1977年発売されたコニカ C35AF、ジャスピコンニカの愛称で人気になった。これはハネウェル社が開発したモジュールを使用した世界初の AF カメラである⁽²⁾。

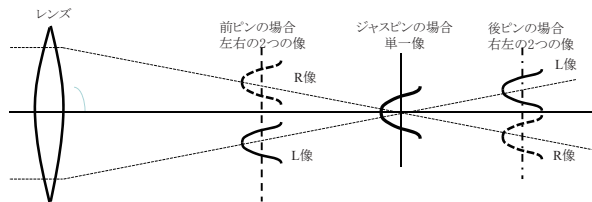


図 8.2 TCL 方式⁽⁴⁾

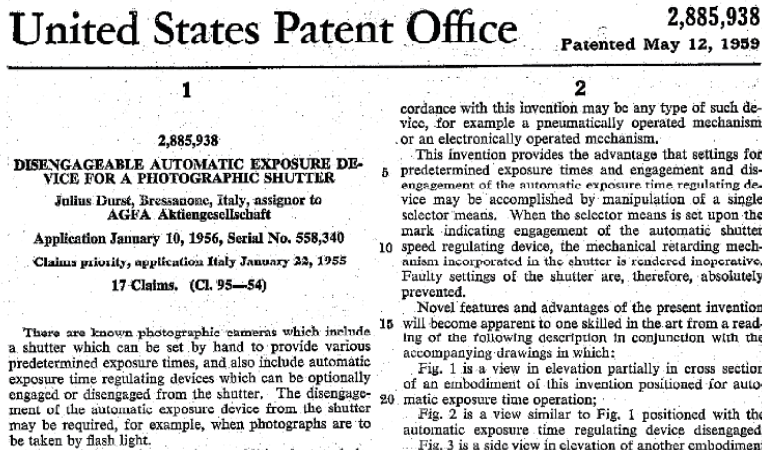


図 8.1 AE 基本特許⁽¹⁾

この仕組みは TCL (Through the Camera Lens) 方式と言われ⁽⁴⁾、図 8.2 に示すように、レンズを通った光を 2 分割して、2 枚の像を作りこの位相差を検出するものである。

なお、ハネウェル社との間ではミノルタの特許紛争があった。

両社は当初共同で進めていたが、ハネウェル社の開発スピードが遅く、途中からミノルタが独自開発し、一眼レフカメラ、a 7000 に搭載してしまった。

その結果、ハネウェル社の特許⁽⁷⁾に抵触することになってしまった⁽⁸⁾。この特許は図 8.3 に示すように

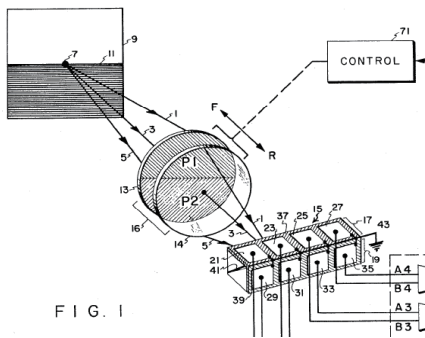


図 8.3 ハネウェル社の AF 特許⁽⁷⁾

TCL の出力信号を用いて制御手段までが示されている。なお、TCL 方式の原理は独 Leitz 社の特許⁽⁹⁾にも示されているが、図 8.4 に示すように制御手段には

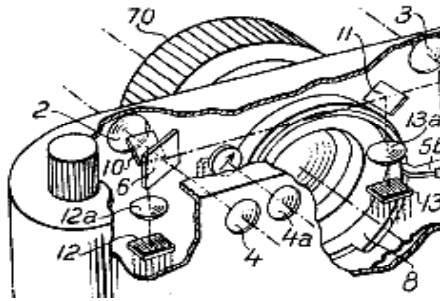


図 8.4 ライツ社の AF 特許⁽⁸⁾

触れられていない。

こののち AF には表 8.2 に示すように映像信号のコントラストを最大になるように制御するコントラスト方式と位相差方式に大別されて技術が進んできている。

表 8.2 AF 方式

方式	検出手段	制御手段	原理
アクティブ方式	超音波	レンズフォーカス	伝搬速度
	赤外線	レンズフォーカス	三角測量
パッシブ方式	TCL	レンズフォーカス	位相検出
	映像信号	レンズフォーカス	位相差 コントラスト
ライトフィールド	なし	なし	画像処理



図 8.5 奥行きのある景色

ここで、AF の原点に立ち戻ってみると、被写体は本来図 8.5 に示すように、3 次元の奥行き情報を有している。ここで被写体のどこにフォーカスを合わせたいかは撮影者の意志によるものである。したがって、単純な手段では AF の完成度を上げることはできない。

第一に考えられるのは、撮影者は撮りたい被写体を画面中央に配置するであろうという仮定で、中央部分のエリアを抽出してここにフォーカスを合わせる中央重点測光であった。しかし、この方式では、乾杯のシーンでジョッキにフォーカスが合って、肝心の人物がボケるといふ不具合が生じた。そこで、最近では顔検出の技術を用いて、顔にフォーカスを合わせる方法がとられるようになった。

なお、AE や AF の制御の基本技術には山登り制御が多く採用されている。合焦位置で映像信号の高周波成分が最大振幅になり、前ピンでも後ピンでも振幅が小さくなる。この関係を図 8.6 に示す。山の頂点を究めることになるので山登りサーボといわれ、これは日本の技術である⁽¹⁰⁾

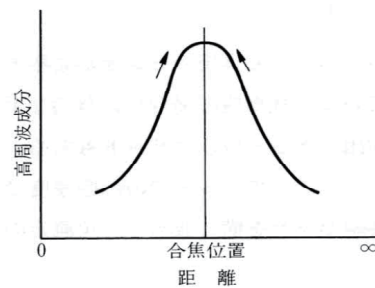


図 8.6 山登り制御

実際にはマイコンを使ったデジタル制御が行われている。

高周波成分を 1 フィールド期間積分し、この値がもっとも大きくなるようにレンズを移動させるモーターを制御するものである。原理上は簡単であるが、実際にはピントが合っているとき、すなわち、山の頂

上にいるときでもどちらかに振ってみて、信号の振幅が最も大きいことを確認しないと本当にピントが合っているかどうか分からない。山の高さ、振幅の最大値が被写体の種類によって大きく変わり、絶対値が設定できない。また、被写体が移動したときに追従するスピードが問題になる。さらに、フィールド毎に積分して値が得られるので最小でも数フィールドの時間が必要になるなどの課題がある。

AF の分野で最近の注目すべき技術にライトフィールド⁽¹¹⁾⁽¹³⁾がある。レンズの後面に結像するフーリエ変換像を電気的な画像処理によって変換して画像を再生する方式が行われている。

通常は結像位置にイメージセンサを置くため、各画素に入力した像はレンズの全面を通った光を積分している。このため本来、あったはずの角度情報が失われている。この角度情報を抽出する。具体的には結像面にマイクロアレイレンズを置き角度情報を持った複数の像をイメージセンサに結像させる。この光学系を用いて被写体を撮像し、この画像から角度情報を用いて、画像処理を行うと撮影者の好みの位置にフォーカスを合わせることができる。

8.4 AWB

同一の被写体を撮像する場合でも、屋外の太陽光の



図 8.7 色温度による変化



図 8.8 色温度が変化したときの望ましい色調

下、曇天下、屋内の白色ランプの下、蛍光灯照明下など光の条件で色の見え方が変わってくる。人間の眼はこれらの光に順応して、白は白に感じるようにできているので、それ程不自然には感じない。しかし、カメラではこれら色温度の異なる光に含まれる RGB 成分に忠実に反応して、色温度が高いと図 8.7(a) に示すように青みがかった白、低いと図 (c) に示すように赤みがかった白に再現される。

カメラでは多くの場合、白は白く見えることが必要になるから、図 8.8 に示すように、色温度が変わった場合にもその色温度でホワイトバランスが採れるように制御しなければならない。これには無彩色の被写体では RGB の割合がいつも一定値になるように、または色差信号の R-Y, B-Y が常にゼロになるように制御する。具体的には図 8.9 のように、RGB 信号のバランスを見て、色温度を検出して、色温度が高い場合には B のゲインを下げ、色温度が低い場合には R のゲインを下げるように制御する。

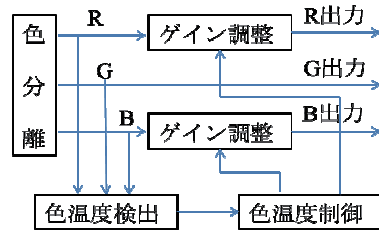


図 8.9 AWB の構成

ここでは色温度を正確に検出することが必要になる。撮影する環境に基準の白を置いて、これを撮影してカメラの白バランスをとることが理想的である。

しかし、これでは一般の人が使用するカメラでは煩わしいので、被写体の特徴を生かして白を判断することが行われる。

例えば、撮像する1画面に含まれる色成分は全体を積分すると大体ゼロ、無彩色に近くなるという仮定に基づくものである。

この場合にも、画面の中で、色付きの大きな部分(飽和度の高い部分)は除外して、飽和度の低い部分だけを抽出して積分する、

このような工夫を施すことによって、色温度検出の精度を高めている。更に、被写体の特徴を把握して、全体が赤い色調になる夕焼けの景色、赤いトマトをアップで撮像する際など、特殊なシーンではAWB動作を除外する方法を用いて、不自然な画像に陥ることがないように工夫が施されている。

実際には色温度の種類はそれ程多くないので予め、白熱ランプ、蛍光灯、太陽光線など何種類かの色温度の補正係数をメモリーしておき、これを切り替えて使用することにより、最適状態に近いホワイトバランスがとれる。

これら技術の詳細については文献⁽¹⁴⁾⁽¹⁹⁾を参照して頂きたい。

8.5 手振れ補正

電子的に手ブレを補正する、いわゆる手ぶれ補正技術が87年始めに放送用として実用化された⁽²⁰⁾⁽²¹⁾。

画面の揺れや振動を画像全体の平行移動量として画像信号から検出して、この揺れ情報に基づいて画面の位置補正を行うことにより、揺れを除去する電子的な揺れ補正方式が採られた。

図8.10に示すように、映像信号中から動きベクトルを検出して、補正ベクトルを発生させて、画像位置の平行移動を行うものである。

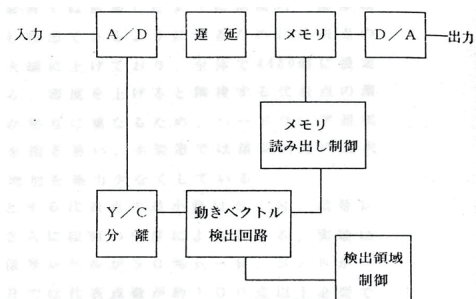


図 8.10 揺れ補正装置の構成⁽²⁰⁾

自動車などの移動体からのカメラ撮影には防震台が必要であり、ハンディカメラからの映像は画面がゆれて見づらい画像が放送されていたが、この装置により画像を改善することができた。

今ではデジタルカメラでは手ぶれ補正は当たり前の機能であるが、1987年当時は現在のような半導体技術の進歩がなかったから、図8.11に示すように、装置は可搬型ラック1本が必要であった。

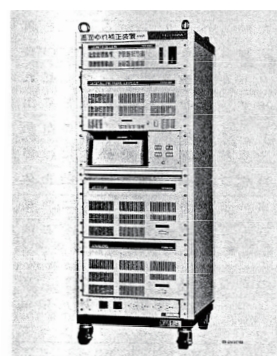


図 8.11 初期の揺れ補正装置⁽²⁰⁾

ビデオカメラの手振れ補正は80年代後半から必要性が認識され始め、研究開発が活発になってきた⁽²²⁾。ビデオカメラで最初に製品化されたのは図8.12に示すようなジンバルメカ方式⁽²³⁾⁽²⁴⁾である。

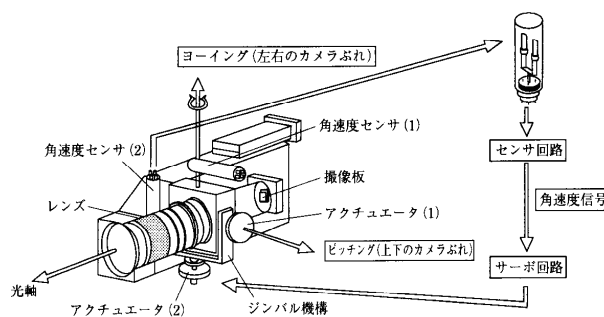


図 8.12 ジンバルメカ方式⁽²²⁾

手持ち撮影では20Hz以下の振動による手振れの要因が大きいことがわかり⁽²³⁾、水平垂直両方向の帯域抽出フィルタを用いて、映像信号から動き検出に有効な周波数成分を抽出し、代表点マッチング法により動きベクトルを効率よく抽出する帯域抽出代表点マッチング法が開発された⁽²⁵⁾⁽²⁶⁾。更に、手振れか被写体の動きかをファジー理論を使って識別して、誤動作を防いでいる⁽²⁷⁾。

なお、特許としては1980年にCCDのカメラぶれ補正がある⁽²⁸⁾。

その後も数々の手振れ補正方式が研究開発されてきた^{(29)~(86)}。

8.6 顔検出・認識

カメラで撮影する場合に、顔は最も重要な被写体であり、統計によると70%が顔を中心に撮影しているという⁽⁸⁷⁾。したがって、露出、ピント、色調を顔に合わせることで、失敗のない写真が撮れることが必要になり、顔検出機能が付いたカメラが増加している。

最初にカメラに搭載したのはニコンで、2005年2月に発売したCOOLPIXシリーズで7900, 7600, 5900の3機種に搭載した。これはIdentix社(米国ミネソタ州)が開発した生体認証技術を用いた顔認識技術FaceITを採用、コンパクトデジタルカメラにおいて、撮影画面内の人物の顔を検出してピントを合わせるもので、世界初の顔認識AFである⁽⁸⁸⁾。

その後、2006年9月に富士フイルムは顔検出機能、顔キレイナビを搭載したデジタルカメラFine Pix S6000fdを発売した。画像処理ソフトウェア、Image Intelligenceを開発することにより、世界最速で10人まで一度に検知できると発表している⁽⁸⁹⁾。

2007年になるとペンタックス(Optio A30 2月)、ソニー(Cyber-shot T100 3月)、オリンパス(μ 780 4月)、キヤノン(IXY DIGITAL 810IS 6月)、カシオ(EXILIM ZOOM EX-Z1200 6月)などのメーカーが次々にデジタルカメラを発売する。

更に単純な顔検出でなく、笑顔でシャッターが切れるようにした技術が2007年秋には登場する。ソニーは独自の自然な笑顔を逃さず撮影する「スマイルシャッター」を搭載した“サイバーショット”『DSC-T200』『DSC-T70』を9月に発売した⁽⁹⁰⁾。その翌日にはオムロンが図8.13のように、顔画像から笑顔度を測定す

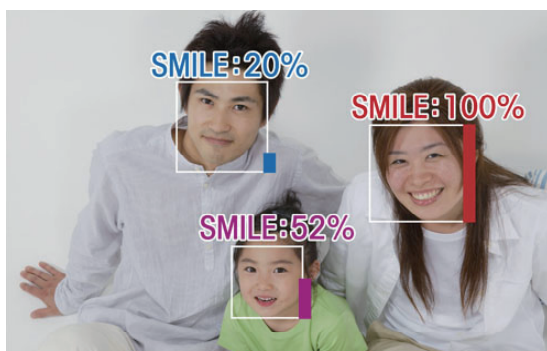


図 8.13 オムロン社のOKAOVisionの笑顔度測定技術による画像⁽⁸⁹⁾

るリアルタイム笑顔度測定技術を開発⁽⁹¹⁾、また、オリンパスは2008年1月に笑顔を自動的に連写撮影するスマイルショットを搭載したカメラCAMEDIA FE-

320を発売⁽⁹²⁾した。

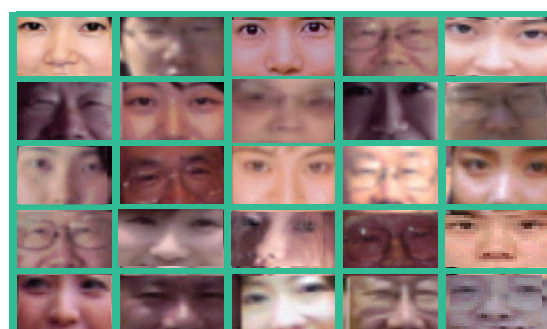
ビデオカメラでは2008年1月に、パナソニックが動画撮像時に人物の顔を検出し適切な補正を自動で行うことで、ユーザーが面倒な操作なくキレイに撮影することができる「おまかせ顔認識」を搭載した、世界初の顔認識搭載デジタルハイビジョンビデオカメラHDC-SD9/HDC-HS9を発売した⁽⁹³⁾。また、4月には、ソニーがデジタルハイビジョンカメラHDR-TG1に、顔をきれいに撮影する「顔検出」機能を搭載した⁽⁹⁴⁾。

顔認識技術は、入館時のゲートでのチェックや空港のゲートでの不審者の検出などのセキュリティ用途や、テレビの視聴率調査時に視聴者の個人別統計を取る用途などで、古くから研究開発が進められてきた。これらは個人の顔をデータとして記録した辞書を持っており、カメラの前に立った個人の顔をこの辞書にある顔と照合するのが目的であった。従って、正解率を高める必要があった。

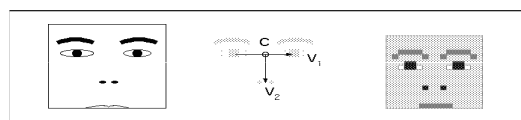
これに対してカメラの顔認識は顔を捕らえるだけでよいので、技術的にははるかに容易なことであった。この技術を紹介しておこう。

カメラが捕らえる視野(被写体)の中から顔を確実に検出することが必要になる。一般には顔の辞書を作って置き、顔と顔以外の画像を区別する。顔の中の眼、鼻、口などの器官には位置や端点、中心点などに特徴がある、顎、鼻、眼、眉、口には形状や輪郭に特徴がある。これらを組み合わせることにより顔検出が行われる。

識別器の一例は図8.14(a)に示したように、事前に



(a) 顔辞書の一例



(b) 特徴点抽出

図 8.14 顔辞書の一例 文献(95)を参照して作成

収集しておいた顔画像と顔以外の画像を学習して分類しておく。次に図(b)に示すように、顔の左右の眼と

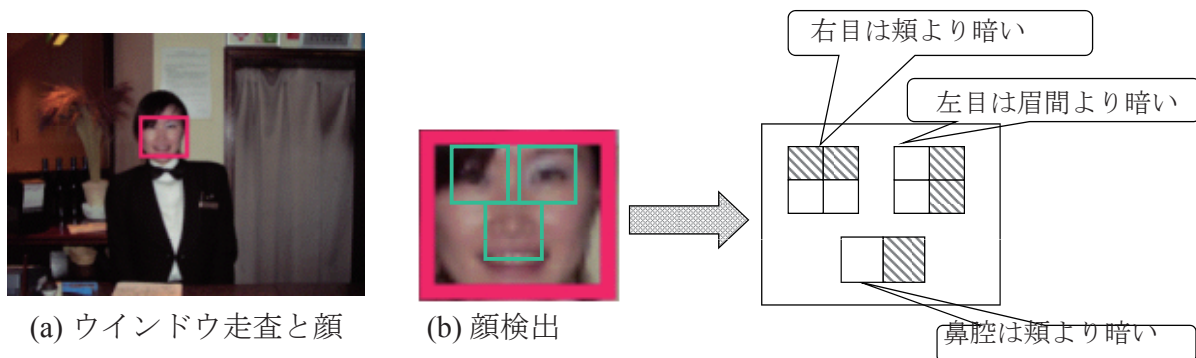


図 8.15 顔検出処理の一例

鼻に注目すると位置関係はほぼ定まり、更に3つの特徴がある。

右目は頬より暗い、左目は眉間より暗い、鼻孔は頬より暗いという特徴があり、明暗の長方形の3組の領域で表すことができる。それぞれの組みは Haar

Wavelet 特徴といわれる。これらからブースティングという学習アルゴリズムを用いて最終判定を行う。

このように複数の特徴が同時に満たされることを共起性といい、検出精度の向上に寄与している⁽⁹⁵⁾。部分的明暗差を用いる方式では左右の眼と口を用いる例もある⁽⁹⁶⁾。一例を図 8.15 に示す。

更に技術の詳細に関心がある方は文献⁽⁹⁷⁾⁻⁽¹⁰³⁾を参照願いたい。

文献

- (1) Jullius Durst : Disengageable Automatic Exposure Device for a Photographic Shutter, USP 2,885,938, May 12, 1959, (Jan. 22, 1955 優先権主張)
- (2) 小西六写真工業カメラ技術部 : 新型カメラの技術資料、コニカ C35AF、写真工業、Vol.36, No.1, pp.74-79, Jan. 1976.
- (3) 遠藤康正 : ビデオカメラ用 2 分割赤外線方式オートフォーカス、テレ学技報、Vol.11, No.10, pp.27-32, Aug. 1987.
- (4) 小野信介、坂野 誠 : TCL センサを利用したビデオカメラ用オートフォーカス、テレ学技報、vol.11, No.10, pp.33-38, Aug. 1987.
- (5) 豊田 : ビデオカメラ用新オートフォーカスシステム、テレ学技報、vol.11, No.10, pp.39-44, Aug. 1987.
- (6) 村島弘嗣、前田 暁 : デジタル積分オートフォーカスビデオカメラ、テレ学技報、vol.11, No.10, Aug. 1987.
- (7) Norman L. Stauffer : Focus Detecting Apparatus,

USP 3,875,401, Apr. 1, 1975 (July 9, 1973 出願).

- (8) AF カメラ特許紛争の波紋広がる ミノルタがハネウエルに 165 億の和解金、日経エレクトロニクス誌、No.550, pp.225-235, 1992 年 3 月 30 日号。
- (9) Ludwig Leitz : Photoelectric Precision Camera Range Finder with Optical Verification, USP 3,529,528, Sept. 22, 1970, (Dec. 6, 1966 優先権主張)
- (10) 石田順一、藤村安志 : 山登りサーボ方式によるテレビカメラの自動焦点調節、NHK 技術研究、17, 1, pp.21-26, 1965.
- (11) Ren Ng, Marc Levoy, Mathieu Bredif, Gene Duval, Mark Horowitz, Pat Hanrahan : Light Field Photography with a Hand-held Plenoptic Camera, Stanford Tech Report CTSR, pp.1-11, 2005-02
- (12) 日浦慎作 : コンピューターショナルフォトグラフィー概観、映情学技術報告、Vol.36, No.18, pp.17-21, Mar. 2012.
- (13) 蚊野 浩 : マイクロレンズで 50 枚の画像 画素の演算でピントを調整、日経エレ、No.1089, pp.44-47, 2012-8-20.
- (14) 藤重昭仁、池田 耕二 : 簡易自動追尾ホワイトバランスシステム、National Technical. Report, Vol.31, No.1, Feb. 1985.
- (15) 矢田健一 : カラーカメラにおける照明光センサを用いた自動ホワイトバランス方式の基本検討、テレビ全大、3-10, 1978.
- (16) 村上敏夫、都木 靖、増田美智雄、川村孝太郎 : カラービデオカメラ用オートホワイトバランスシステムの検討、テレビ全大、4-6, pp.83-84, 1986.
- (17) 清水富男、長谷川隆義、松田義輝 : カラービデオカメラの自動色温度追尾システム、National Technical. Report, Vol.31, No.1, Feb. 1985.
- (18) 皆川和史、飯田陽三、中山 孝 : カラービデオカメラの自動ホワイトバランス調整、テレビ全大、5-1, pp.107-108, 1982.

- (19) 山西一啓、井手達樹、福田親：2. 家庭用 AV 機器における多機能化技術、テレビ学誌、Vol.43, No.6, pp.561-570, June 1989.
- (20) 加井謙二郎、氏原茂、門篠由男、千葉勝範、川村好英、阿部稔：画面揺れ補正装置について、テレビ学会技術報告、Vol.11, No.3, pp.43-48, May 1987.
- (21) 川村好英、阿部 稔、加井謙二郎、門篠由男：画面揺れ補正装置の開発、テレビ全大、16-5, pp.377-378, 1987.
- (22) 日下博也：3.1 手振れ補正、テレビ学誌、Vol.49, No.2, pp.131-134, Feb. 1995.
- (23) 稲治利夫、藤岡総一郎、林孝行、梶野二郎：ビデオカメラの画振れ防止技術の開発、テレビ学技報、Vol.11, No.28, pp.19-24, Nov. 1987.
- (24) 大嶋光昭、伊崎正高、梶野二郎、五十嵐祥晃、三谷浩：撮像装置、特許登録番号 1589189 号、特公平 1-53957(1983 年 12 月 29 日出願)
- (25) 森村、魚森、石井、坂口、北村：純電子式画像振れ補正システム、テレビ学技報、Vol.15, No.7, pp.43-48, Jan. 1991.
- (26) K. Uomori, et al. : Automatic Image Stabilizing System by Full-Digital Processing, IEEE Trans. Consumer Electronics, Vol.36, 3, pp.510-519, Aug. 1990.
- (27) 中山正明、赤堀裕志：シングルハンドムービー「ブレンビー」(NV-S1)、日本ファジー学会誌、Vol.3, No.1, pp.51-55, Feb. 1991.
- (28) 柳沢 弦：ビデオカメラ、特許第 1674318 号、特公平 2-32831 補正あり (1980 年 11 月 13 日出願)
- (29) 佐藤 満、石塚茂樹、二神 章、佐藤弘一：光学式手振れ補正システム、テレビ学技報、Vol.17, No.5, pp.15-20, Jan. 1993.
- (30) 日本電子機械工業会電子技術オン委員会編：手振れ防止のテクニック、エレクトロニクス、Vol.39, No.7, pp.21-40, July 1994.
- (31) T. Kinugasa, et al. : Electronic Image Stabilizer for Video Camera Use, IEEE Trans. Consumer Electronics, Vol.36, No.3, pp.520-525, Aug. 1990.
- (32) 日下、中山、猪熊、井出：高画質手振れ補正システムの開発、テレビ学技報、Vol.18, No.8, pp.7-12, Jan. 1994.
- (33) 当山正道：カメラの自動化とその知能化、機学誌、Vol.96, No.900, pp.10-13, Nov. 1993
- (34) 山西一啓、井手達樹、福田親：“家庭用 AV 機器における多機能化技術”、テレビジョン学会誌、Vol.43, No.6, pp.561-570 (1989).
- (35) H.Toyoda, S.Nishikawa, Y.Kitamura and M.Onishi：“New Automatic Focusing System for Video Cameras”, IEEE Trans. Consumer. Elec tronics, Vol.32, No.3, pp.312-319 (1986)
- (36) S.Kimura, H.Yamaguchi：“Angular Velocity Sensor”, US Patent 4671112.
- (37) 竹中 寛：“角速度センサ”、センサ技術、Vol.10, No.9, pp.56-59 (1990).
- (38) 日経 BP 社：“600 g 台に入るカメラ一体型 V T R 構造系の小型・軽量化が効く”、日経メカニカル、1990 年 9 月 3 日号、pp.50-58 (1990).
- (39) 中山正明、森村 淳：“ビデオムービー Panasonic 「ブレンビー」(NV-S1) ”、電子写真、Vol.30, No.1, pp.73-81 (1991).
- (40) 中村 武：“正三角柱振動子を使う圧電振動ジャイロ、小型、低価格で身近な応用ねらう”、日経エレクトロニクス、No.514, pp.183-191 (1990).
- (41) 栗原哲郎：“圧電振動ジャイロのテクニック①”、エレクトロニクス、Vol.39, No.7, pp.35-37 (1994).
- (42) 阿部 洋：“圧電振動ジャイロのテクニック②”、エレクトロニクス、Vol.39, No.7, pp.38-40 (1994)
- (43) 近藤 正、菅原澄夫、工藤すばる：“圧電形振動ジャイロスコープ角速度センサ”、電子情報通信学会論文誌、Vol.J78-C- I、No.11, pp.547-556 (1995).
- (44) 古賀良男、美濃部正、仲 雅文、渡辺幸雄：“カメラ一体型 V T R の手振れ補正機能、圧電振動ジャイロを使って誤動作を減らす”、日経エレクトロニクス、No.541, pp.217-226 (1991).
- (45) 石塚茂樹：“ハンディカムのテクニック”、エレクトロニクス、Vol.39, No.7, pp.22-25 (1994).
- (46) 石塚茂樹、佐藤弘一、佐藤 満：“カメラ一体型 V T R、プリズムと角度センサで手ブレを補正”、日経エレクトロニクス、No.558, pp.203-211 (1992)
- (47) 日下博也、中山正明、猪熊一行、井手達樹：“高画質手ぶれ補正システムの開発”、テレビジョン学会技術報告、Vol.18, No.8, pp.7-12 (1994).
- (48) 日下博也：“ブレンビーのテクニック”、エレクトロニクス、Vol.39, No.7, pp.26-30 (1994).
- (49) 日下博也、泉澤邦生、猪熊一行：“手振れ補正機能の高画質化技術”、National Technical Report、Vol.41, No.2, pp.249-254 (1995).
- (50) 日下博也、岸靖典：“高解像度純電子式手振れ補正システム”、映像情報メディア学会誌、Vol.56, No.10, pp.127-132 (2002).
- (51) 魚森謙也、森村 淳、石井浩史：“ビデオカメラの自動電子手ゆれ補正方式”、第 20 回画像工学コン

- ファレンス予稿集、pp.177-180 (1989).
- (52) 石井浩史、森村淳：“画像の動きベクトル検出方式－レベル変動のある画像に対する検出方法の一検討－”、テレビジョン学会全国大会予稿集、pp.461-462 (1989).
- (53) 石井浩史、森村淳：“画像の動きベクトル検出方式－代表点の削減と誤検出確率の低減－”、電子情報通信学会春季全国大会予稿集、pp.69 (1989).
- (54) 石井浩史、森村淳：“画像の動きベクトル検出方式－検出精度の向上と演算量の低減－”、電子情報通信学会春季全国大会予稿集 (1989).
- (55) K. Uomori, A. Morimura, H. Ishii, T. Sakaguchi and Y. Kitamura：“Automatic image stabilizing system by full-digital signal processing.”, IEEE Trans. Consum. Electron., Vol.36, No.3, pp.510-519 (1990).
- (56) 森村淳、魚森謙也、石井浩史、赤堀裕志、北村好徳、坂口隆：“純電子式画像揺れ補正技術”、National Technical Report, Vol.37, No.3, pp.48-54 (1991).
- (57) 森村淳、魚森謙也、石井浩史、坂口隆、北村好徳：“純電子式画像揺れ補正システム”、テレビジョン学会技術報告、Vol.15, No.7, pp.43-48 (1991).
- (58) Y. Egusa, H. Akahori, A. Morimura, N. Wakami：“An Application of Fuzzy Set Theory for an Electronic Video Camera Image Stabilizer.”, IEEE Trans. on Fuzzy Systems, Vol.3, No.3, pp.351-356 (1995).
- (59) 大前昌軌、田代信一、山口琢己、栗山俊寛、児玉宏達、浅海政司、今西勉、佐野義和、広島義光：“1/4インチEIS高画素CCD撮像素子”、テレビジョン学会技術報告、Vol.18, No.16, pp.31-36 (1994).
- (60) 大前昌軌、田代信一、山口琢己、栗山俊寛、児玉宏達、浅海政司、今西勉、佐野義和、広島義光：“1/4インチ高解像度手振れ補正機能付きCCD撮像素子”、テレビジョン学会技術報告、Vol.49, No.2, pp.182-187 (1995).
- (61) 日下博也、坂口隆、中山正明：“補間機能付き撮像装置”、特許登録番号 3374431号.
- (62) 日下博也、坂上茂生、中山正明、岸靖典：“メモリレス純電子式手振れ補正システム”、1995年テレビジョン学会年次大会予稿集、pp.5-6 (1995).
- (63) 日下博也、岸靖典：“視覚特性を利用した手振れ補正機能の合理化方式の検討”、画像電子学会誌、Vol.32, No.1, pp.79-86 (2003).
- (64) 成田長人：“CCIR勧告 500-5 画質評価法”、テレビジョン学会誌、Vol.47, No.7, pp.979-982 (1993).
- (65) 坂口隆：“各種機能の現状 3-2 画像メモリー応用”、テレビジョン学会誌、Vol.49, No.2, pp.134-137 (1995).
- (66) 久我龍一郎、山根洋介、福島保、石黒敬三、米山匡幸、平尾良昭、小野周佑：“高速・高精度オートフォーカスレンズシステムの開発”、テレビジョン学会技術報告、Vol.14, No.53, pp.35-40 (1990).
- (67) 林孝行、山田克、日下博也：“3板ビデオカメラ用防振レンズの開発”、映像情報メディア学会誌、Vol.56, No.3, pp.417-423 (2002).
- (68) T. Hayashi, K. Yamada and H. Kusaka：“Optical Image Stabilizing Lens System”, SMPTE Motion Imaging Journal, Vol.111, No.11, pp.554-561 (2002).
- (69) 日下博也、土田幸孝、下畠剛：“光学式手振れ補正のための制御システム開発”、映像情報メディア学会誌、Vol.56, No.3, pp.411-416 (2002).
- (70) H. Kusaka, Y. Tsuchida and T. Shimohata：“Control Technology for Optical Image Stabilization”, SMPTE Motion Imaging Journal, Vol.111, No.12, pp.609-615 (2002).
- (71) 浜崎岳史、豊村浩一、矢野修志、中山正明、浅井祥光：“150万画素静止画対応3CCDカメラシステム”、映像情報メディア学会技術報告、Vol.25, No.28, pp.61-66 (2001).
- (72) 藤岡総一郎、稲治利夫、林孝行、梶野二郎：“ビデオカメラの画振れ防止技術”、National Technical Report, Vol.34, No.6, pp.662-668 (1988).
- (73) M. Oshima, T. Hayashi, S. Fujioka, T. Inaji, H. Mitani, J. Kajino, K. Ikeda and K. Komoda：“VHS Camcorder with Electronic Image Stabilizer”, IEEE Trans. Consum. Electron., Vol.35, No.4, pp.749-758 (1989).
- (74) 佐藤満、石塚茂樹、二神章、佐藤弘一：“光学式手振れ補正システム”、テレビジョン学会技術報告、Vol.17, No.5, pp.15-20 (1993).
- (75) K. Sato, S. Ishizuka, A. Nikami and M. Sato：“Control Techniques For Optical Image Stabilizing System.”, IEEE Trans. Consum. Electron., Vol.39, No.3, pp.461-466 (1993).
- (76) 日経BP社：“松下電器、ビデオカメラ用の新型レンズ機構を開発”、日経メカニカル、No.536, pp.56-57 (1999).
- (77) 中村武：“小型ジャイロとその応用”、日本機械学会誌、Vol.96, No.900, pp.14-17 (1993).

- (78) 稲治利夫、藤岡総一郎、三谷 浩：“撮像装置”、特許登録番号 2001064 号。
- (79) 日経 BP 社：“マイクロマシーニング・センサ、自動車での実用化が始まる”、日
- (80) 経エレクトロニクス、1996 年 9 月 2 日号、pp.169-178 (1990).
- (81) 細谷克己、大場正利：“静電容量型加速度センサシリコンマイクロマシニング技術による小型高精度の静電容量型加速度センサの開発について”、OMRON TECHNICS、Vol.36、No.2、pp.130-133 (1996).
- (82) 日下博也：“手振れ補正機能の高解像度化・高性能化”、画像電子学会誌、Vol.31、No.6、pp.1183-1191 (2002).
- (83) 大石末之：“アマチュアカメラにも搭載されてきた”、エレクトロニクス、Vol.39、No.7、pp.31-34 (1994).
- (84) 内藤貴志、塚田敏彦、山田啓一、小塚一宏、山本新：“屋外環境下における走行中の車両のナンバープレート認識”、映像情報メディア学会誌、Vol.53、No.5、pp.730-737 (1999).
- (85) 佐原正義：“ミノルタ α システムの電子化技術” テレビジョン学会技術報告、Vol.9、No.35、pp.23-28 (1985)
- (86) Garrett Brown：“Equipment for Use with Hand held motion Picture Cameras”, USP 4,017,068 (1974)
- (87) 蚊野 浩 (監修)：“デジカメの画像処理”、映像情報メディア学会編、pp.45-76、オーム社 (2011)
- (88) ニコン：生体認証技術を用いた、世界初の顔認識 AF 機能をコンパクトデジタルカメラに搭載、Press Release、2005 年 2 月 16 日。
- (89) 富士写真フイルム：世界最速の顔検出機能「顔キレイナビ」搭載で、人物がもっとキレイに撮れるネオ一眼デジタルカメラ「FinePix S6000fd」、ニュースリリース、2006 年 7 月 27 日。
- (90) ソニー：笑顔を検出し、自動で撮影する「スマイルシャッター」新搭載“サイバーショット”T シリーズ 2 機種発売、報道資料、2007 年 9 月 4 日。
- (91) オムロン：リアルタイム笑顔度測定技術を開発、ニュースリリース、2007 年 9 月 5 日。
- (92) オリンパス：笑顔を自動的に連写撮影する「スマイルショット」搭載コンパクトデジタルカメラ「CAMEDIA FE-320」新発売、ニュースリリース、2008 年 1 月 22 日。
- (93) パナソニック：世界初、顔を見つけてキレイに撮れる「おまかせ顔認識」搭載デジタルハイビジョンビデオカメラ HDC-SD9/HDC-HS9 を発売、プレスリリース、2008 年 1 月 9 日。
- (94) ソニー：スナップ写真を撮影する感覚で気軽にハイビジョン撮影が楽しめる世界最小・最軽量デジタルハイビジョン“ハンディカム”発売、プレスリリース、2008 年 4 月 3 日
- (95) 三田雄志：高速・高精度を両立する顔検出技術、東芝レビュー、Vol.61、No.7、pp.62-63、2006 年 7 月。
- (96) 川出雅人：第 12 章 組込み顔認識技術とそのセキュリティ応用の可能性、トリケップス、2007 年 8 月
- (97) 徐 剛、杉本岳夫：顔検出及び顔追跡方法並びにその装置、特許 3459950(1997 年 4 月 30 日出願)
- (98) ギュッタ、スリニヴァス：監視・偵察システムにおける軌道分析を用いた侵入者検知、特許 3974038(2000 年 12 月 12 日出願)
- (99) 伊藤 渡：撮像装置および方法並びにプログラム、特許 4121026(2004 年 1 月 21 日出願)
- (100) 川口善也、小杉真人：撮像装置及びその制御方法並びに制御用プログラム、特許 4006415(2004 年 6 月 3 日出願)
- (101) 三菱総合研究所 コモディティ化の進む顔認識技術、<http://easy.mri.co.jp/20080115.html> 2008 年 1 月 15 日
- (102) M.-H. Yang, D. J. Kriegman and N. Ahuja: “Detecting Faces in Images: A Survey,” IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell., vol. 24, No. 1, pp.34-58 (2002)
- (103) P. Viola and M. Jones: “Rapid Object Detection using a Boosted Cascade of Simple Features,” Proc. IEEE CVPR, vol. 1, pp.511-518 (2001)

9 | 高画質化技術

8章に引き続き、ビデオカメラの電子回路のうち高画質化に関する技術を述べる。

ビデオカメラ技術の全貌をまとめた図 10.1 に示すように、色分離回路、色信号処理、輝度信号処理のカメラ基本回路を通った後に、コントラスト補正、ダイナミックレンジ拡大、デモザイキング、超解像処理がある。

9.1 コントラスト補正

最近のデジタル画像処理技術の進歩により、画像認識、画像処理の分野で新たな展開が行われている。

従来の、アナログ的手法では輪郭強調や、逆光補正を行う目的で、特定の信号を強調するとこれに応じてノイズも増加されてしまうため、目的は達成されても全体にノイジーな画像となってしまい、総合評価としては画質が改善された効果が顕著に現れないという状況が多かった。

デジタル処理を行うことによって、フーリエ変換に基づく周波数領域での画像処理がたやすく行えるようになってきた。更に、周波数領域で扱うことによって、いろいろな手法のフィルタリングが行える。その上に数学の関数を用いてデジタル処理を行う。

このような分野にいち早く参入して、デジタルカメラや監視用カメラの画質改善に取り組んできたのは Apical Limited(英) である⁽¹⁾。信号の圧縮・記録の際に失われていた白部分、黒部分の信号を適切なコントラスト補正をすることにより改善する。また、表示装置のコントラスト範囲を超えたような信号が入力されないように、予め、コントラスト補正をすることができる。

また、図 9.1 に示した Retinex 理論⁽²⁾に基づき、入力画像を照明光成分と物体光成分に分け、別々に処理を加えた上で合成することにより、所望の特性が改善された高画質画像が得られる⁽³⁾。この原理は 1970 年

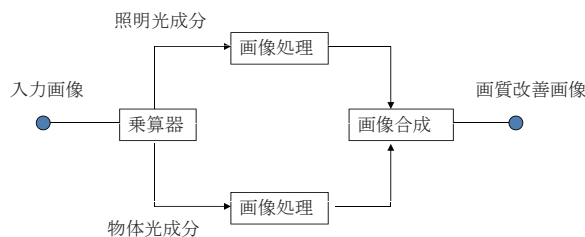


図 9.1 Retinex の原理

代に提案されたが、デジタル画像処理の進歩により、1990 年代に米国 NASA で活発な研究開発が行われ、2000 年代になって、デジタル処理の高速化と高集積化が可能になったことで、民生分野にも使われるようになった。

入力画像の分離には乗算器が目的に応じて用いられ、画像処理には ϵ フィルタなどの各種デジタルフィルタや関数が用いられ、高度な演算処理が行われる⁽⁴⁾⁽⁵⁾。

例えば、図 9.2 のように、分離後に一方をレベル圧縮、一方をレベル伸長することにより、入力画像のコントラストを最適化できる。

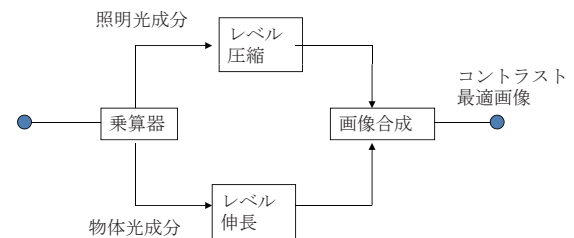


図 9.2 適応型コントラスト伸長 (ACE)

また、入力画像を乗算器でテクスチャ生成子と骨格画像に分離して図 9.3 に示すような処理を加えると、①エッジ周辺にリング発生がない、②サンプルホールドぼけがない、③エッジのジャギーが抑制、などの特徴がある高画質の拡大画像が得られる⁽⁶⁾。

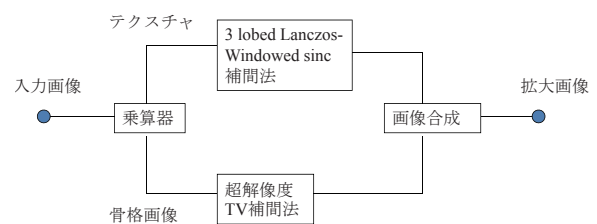


図 9.3 画像拡大への応用 文献(6)を参照してまとめた

更に図 9.4 のような処理を行うと急峻なエッジは鈍らずに、リングやジャギーの発生なしに雑音が除去された高品質の画像が得られる⁽⁶⁾。

一方、画像処理技術を駆使して、レンズのボケを電氣的に補正する技術なども実用化に向けて開発されている⁽⁷⁾。

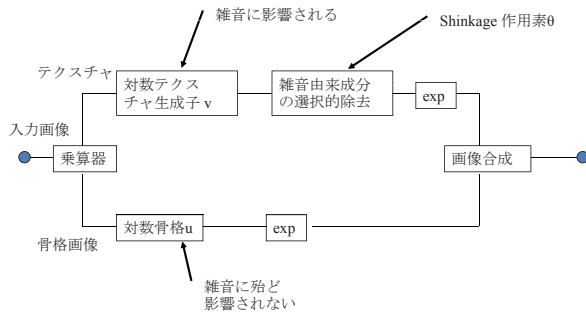


図 9.4 雑音除去への応用 文献 (6) を参照してまとめた

9.2 ダイナミックレンジ拡大

ダイナミックレンジとは1枚の画像の中に明るい部分と暗い部分が混在しているとき、明るい部分と暗い部分がどこまで再現できるかを言う。即ち、明るい部分と暗い部分の比率がいくらかであるかで評価される。図 9.5 は光電変換特性を示したもので、明るいレベルは信号出力が飽和して、歪が生じる、クリップされる、などの要因で正しい信号出力が得られなくなる。一方、暗いレベルはノイズに埋もれ、信号が再現できなくなる。したがって、ダイナミックレンジの拡大には飽和レベルを上げること、ノイズレベルを下げるのが基本的に必要になる。

現在、カメラに最も多く使われている IT-CCD (Interline Transfer CCD) ではダイナミックレンジは 60-70dB とされている。ところが、自然界では光の

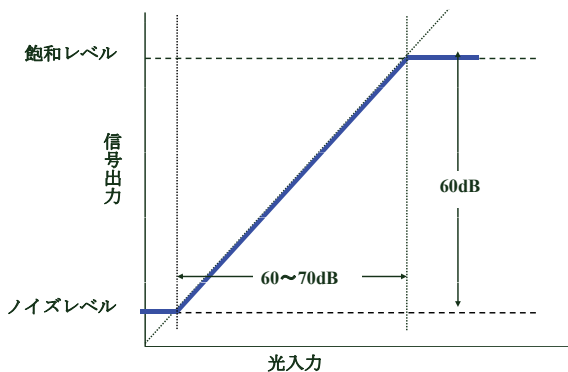


図 9.5 イメージセンサの光電変換特性

濃淡はこれよりはるかに広く、車載カメラの場合、不自由なく使いこなすには 120 - 130dB 程度のダイナミックレンジが必要である。

ダイナミックレンジの拡大はカメラ技術の中では大変重要な開発課題であり、主として、イメージセンサ技術の改良の中で、80年代から、様々な取り組みが行われてきた⁽⁸⁾。しかし、イメージセンサの基本特性が損なわれることが多く、中々カメラとして実用化されることは少なかった。

ダイナミックレンジ拡大が望まれる例は図 9.6 のように、トンネルの入り口、出口でコントラストレンジが極度に広い場合である⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾。図 (a) ではトンネル内部は見えないし、図 (b) ではトンネルの外が見えない。



(a) 入り口では内部が暗くてよく見えない



(b) 出口では外が明るくてよく見えない

図 9.6 トンネルの入り口の画像

ダイナミックレンジ拡大の技術は表 9.1 に示すように各種方式が提案、実験されてきた。しかし、いずれもカメラの基本特性に影響を与えるため、ビデオカメラに搭載されることは少ない。業務用カメラでは太陽の当たり方が大きく変化する場面での監視用⁽¹¹⁾⁽¹²⁾や駅のプラットフォームに設置されるカメラ⁽¹³⁾⁽¹⁴⁾で実用化されている。

図 9.7 は複数電子シャッタを適応的に用いた WDR カメラで撮影した画像の一コマで、図 (a) のように通常のカメラで見えない外の景色が、図 (b) のようにトンネル内部と外部の両方で画像が認識できている。

表 9.1 WDR の各種方式

項目	方式	手段
基本特性	飽和レベルの拡大	画素面積拡大 など
	ノイズレベルの低減	暗電流削減 など
画素構成	対数特性 ⁽¹⁵⁾⁻⁽²⁰⁾	MOS FET の閾値特性利用
	横型オーバーフロー容量 ⁽²¹⁾⁻⁽²⁶⁾	オーバーフロー電荷を再蓄積
	垂直 2 画素方式 ⁽²⁷⁾⁽²⁸⁾	高感度、低感度の 2 画素を垂直に配置
カメラ技術	画素内 ADC ⁽¹³⁾⁽¹⁴⁾	露光時間の異なる画素信号を各々 ADC
	掃き出し駆動 ⁽²⁹⁾	蓄積電荷の一部を削除
	複数電子シャッタ ⁽³⁰⁾⁻⁽³²⁾	高速シャッタ低速シャッタの時分割



(a) 通常カメラの画像



(b) WDR カメラの画像

図 9.7 適応型 WDR カメラの画像⁽³²⁾

CMOS イメージセンサでは画素内にトランジスタや容量を設けることができるようになったため、CCDでは不可能であった画素構造を細工する各種のWDR方式が実現できるようになり、各種の方式が提案されている^{(33)~(36)}。

ここでは各方式について述べるスペースがないので、参考文献を提示する。

9.3 デモザイキング

図 9.8(a) の Bayer 方式では各色成分は図 (b) ~ (d) に示すように、G は市松状に配列されているが、R、B は G の半分の画素数になっている。

このように、離散的に配列されている色情報から、各色成分の信号を得るためには欠如している画素を埋めていく必要がある。この画素を埋めていく方式によって、画像の解像度と偽信号が大きく変化し、画質に及ぼす効果が大きい。

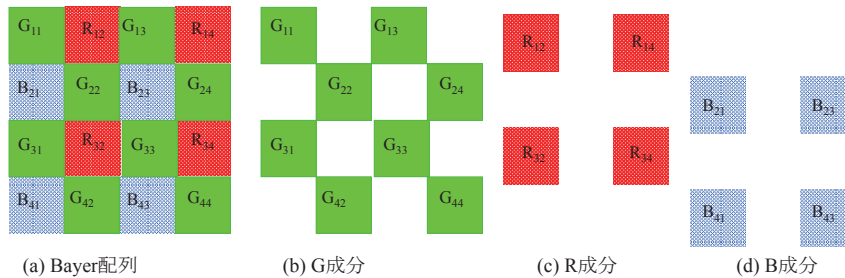


図 9.8 Bayer 配列と RGB 各色成分

70-80年代ではカメラの信号処理はアナログ回路で行われていたため、RGB 信号を得る方法も限られていた。例えば、恩賀(ソニー)ほかは4本の1H遅延線を用い、ライン相関を使って、輝度信号と2つの色差信号を得るようにして画質を改善した^{(37)~(38)}。

その後、デジタル信号処理がこの分野の画質改善に大きく貢献した。早くから、着目していたのは Bayer 方式の元祖、Kodak 社で、90年代始めから、画素を埋める各種の有力な方式特許が提案されている。更に、コンピュータの進歩で、解像度・偽信号のシミュレーションが比較的容易にでき、成果もカラー画像という形で明確に出せることから、メーカーだけでなく、大学や各種機関の実験室でも研究に注力し、夥しい数の特許、学会報告が行われるようになった^{(39)~(40)}。

これらの手法はモザイク型にサンプリングされた信号から信号を復元する技術ということで、デモザイキングと呼ばれるようになっている。

9.3.1 単純補間

G 成分は図 9.9(a) に示すように、補間対象の画素 G_{23} の周囲に、必ず4画素が存在する。これに対し、R、B成分は図 (b) ~ (d) に示すように、4画素のクロス、2画素の垂直、水平の3通りの状態がある。

最もシンプルな方法は次の方法である。図 (a) に示すように、垂直、水平4画素の平均値で画素 G_{23} を補間する。同様に、図 (b) ではクロスに存在する4画素を用いて、この平均値で R_{23} を補間する。一方、図 (c) (d) ではそれぞれ、垂直、水平の2画素で R_{22} 、 R_{13} 補間する。B成分についてもR成分と同様に補間することができる。

即ち、単純なリニア補間を行う場合にはGは

$$G_{23} = (G_{13} + G_{22} + G_{24} + G_{33}) / 4$$

となる。

一方、RBについては

$$\text{クロス補間では } R_{23} = (R_{12} + R_{14} + R_{32} + R_{34}) / 4$$

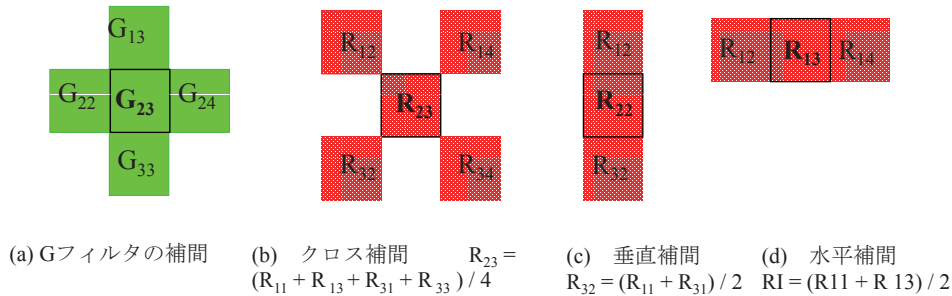


図 9.9 色フィルタの補間

垂直補間では $R_{22} = (R_{12} + R_{32}) / 2$

水平補間では $R_{13} = (R_{12} + R_{14}) / 2$

となる。

しかしこの方法はいわゆるスムージングであり、単に LPF 効果が得られるだけである。従って、画像が変化していない領域であれば問題ないが、エッジやテクスチャでは誤差が大きくなる。そこで、誤差が小さくなるように、以下に述べるように、各種の改良が行なわれ、提案されてきた。

9.3.2 勾配を用いた補間

(Adaptive Interpolation)

エッジの方向性を判断して補間する勾配補間法 (Adaptive Interpolation) が Robert H. Hibbard (Eastman Kodak) から提案されている⁽⁴¹⁾。これは図 9.9 の G_{23} を補間する場合に、周囲の G 画素を見て、好ましい補間方向を判断する。垂直と水平の G の勾配、を計算し、勾配の大きい方向の変化が大きいため、変化の小さい方向の画素を用いて保管するものである。具体的には次式による。

$$\Delta G_v = |G_{13} - G_{33}|$$

$$\Delta G_h = |G_{22} - G_{24}|$$

ここで、

$$\Delta G_h > \Delta G_v \text{ であれば } G_{23} = (G_{13} + G_{33}) / 2$$

$$\Delta G_v > \Delta G_h \text{ であれば } G_{23} = (G_{22} + G_{24}) / 2$$

$$\text{これ以外は } G_{23} = (G_{13} + G_{22} + G_{24} + G_{33}) / 4$$

上記方法は 2 画素で勾配を見ることになるが、色情報に適用することにより、3 画素で勾配を判断し、判別精度を向上させることができる。この方法は Claude A. Laroche と Mark A. Prescott (Eastman Kodak) から上記方法と同じ日に提案されている⁽⁴²⁾。

この方法は図 9.10 に示すように、 R_{34} 画素が存在する位置の G_{34} を補間する場合に、この周囲の R 画素を計算して勾配を求めるものである。G だけで補間する場合は 2 画素で勾配を見ていたが、R を用いることにより 3 画素で勾配を見ることができ、予測精度が上がる。

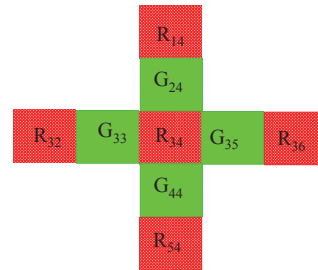


図 9.10 色情報のエッジ方向性を加味した補間の一例⁽⁴²⁾

$$\Delta R_v = |(R_{14} + R_{54}) / 2 - R_{34}|$$

$$\Delta R_h = |(R_{32} + R_{36}) / 2 - R_{34}|$$

ここで、

$$\Delta R_h > \Delta R_v \text{ であれば } G_{34} = (G_{24} + G_{44}) / 2$$

$$\Delta R_v > \Delta R_h \text{ であれば } G_{34} = (G_{33} + G_{35}) / 2$$

$$\text{これ以外は } G_{34} = (G_{24} + G_{33} + G_{35} + G_{44}) / 4$$

同様に、 B_{23} 画素が存在する位置の G_{23} を補間する場合には、この周囲の B 画素を計算して勾配を求めて、同様な条件で判断して G_{23} を補間して行く。

エッジの方向性を見て、補間する方法ではヤコビアン (ヤコビ行列) を用いた方式も提案されている⁽⁴³⁾。

9.3.3 ACPI 方式

(Adaptive Color Plane Interpolation)

G 画素と R または B 画素の 1 色を組み合わせることにより、勾配とラプラシアン (2 次微分) を用いて、補間の精度をあげる方式、ACPI 方式が John F. Hamilton, Jr. と James E. Adams, Jr. (Eastman Kodak) から提案されている⁽⁴⁴⁾。図 9.11 のように、G の変化を判断する際に G の勾配と R のラプラシアンを加える。

$$\Delta G_v = |G_{24} - G_{44}| + |2R_{34} - R_{14} - R_{54}|$$

$$\Delta G_h = |G_{33} - G_{35}| + |2R_{34} - R_{32} - R_{36}|$$

ここで、

$$\Delta G_h > \Delta G_v \text{ であれば}$$

$$G_{34} = (G_{24} + G_{44}) / 2 + (2R_{34} - R_{14} - R_{54}) / 4$$

$$\Delta G_v > \Delta G_h \text{ であれば}$$

$$G_{34} = (G_{33} + G_{35}) / 2 + (2R_{34} - R_{32} - R_{36}) / 4$$

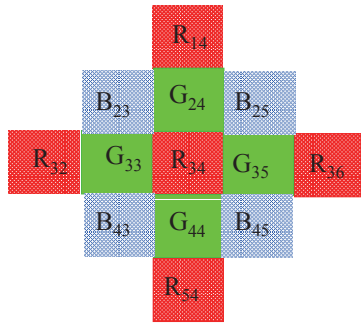


図 9.11 ACPI 方式の説明図⁽⁴⁴⁾

これ以外は

$$G_{34} = (G_{24} + G_{33} + G_{35} + G_{44}) / 4 + (4R_{34} - R_{14} - R_{32} - R_{36} - R_{54}) / 8$$

一方、R または B 画素について、B 画素を例にして説明する。

垂直間の補間は

$$B_{33} = (B_{23} + B_{43}) / 2 + (2G_{33} - G_{23} - G_{43}) / 2$$

水平間の補間は

$$B_{24} = (B_{23} + B_{25}) / 2 + (2G_{24} - G_{23} - G_{25}) / 2$$

とする。

クロス方向の補間は次の 3 種類がある。

右下がりの場合、

$$B_{34N} = (B_{23} + B_{45}) / 2 + (2G_{34} - G_{23} - G_{45}) / 2$$

右上がりの場合、

$$B_{34P} = (B_{43} + B_{25}) / 2 + (2G_{34} - G_{43} - G_{25}) / 2$$

平均値の場合、

$$B_{34A} = (B_{23} + B_{25} + B_{43} + B_{45}) / 4$$

$$+ (4G_{34} - G_{23} - G_{25} - G_{43} - G_{45}) / 4$$

判別の種類として、右下がりの場合と右上がりの場合がある。

右下がりでは、

$$DN = |2G_{34} - G_{23} - G_{45}| + |B_{23} - B_{45}|$$

右上がりでは

$$DP = |2G_{34} - G_{25} - G_{43}| + |B_{25} - B_{43}|$$

そこで、

DP > DN の場合は

$$B_{34A} = (B_{23} + B_{45}) / 2 + (2G_{34} - G_{23} - G_{45}) / 2$$

DN > DP の場合は

$$B_{34P} = (B_{43} + B_{25}) / 2 + (2G_{34} - G_{43} - G_{25}) / 2$$

DP ≐ DN の場合は

$$B_{34A} = (B_{23} + B_{25} + B_{43} + B_{45}) / 4$$

$$+ (4G_{34} - G_{23} - G_{25} - G_{43} - G_{45}) / 4$$

とする。

もう一つの色信号、R 画素についても同様な補間を行う。

9.3.4 CHBI 方式

(Constant Hue Based Interpolation)

9.3.1 ~ 9.3.3 はいずれも画素を補間する方法であった。これに対して画素を置き換えることにより、画素を生成する CHBI 方式が David. R. Cok (Eastman Kodak) によって提案された⁽⁴⁵⁾。一様な画像では色相の変化も一様であり、色の比率がほぼ一定になるといふ画像の性質を利用するものである。

そこで、周囲の画素から 2 つの色の比率を求め、この比率の平均値で画素を置き換えることによって R、B 画素を生成する。まず、G は 9.3.1 ~ 9.3.3 に述べた補間手法で、欠落画素を補間しておく。

次に R と B 画素を生成するが、同一なので、R を生成する場合について示す。Bayer 方式では R の欠落位置は図 9.9 に示したように 3 通りある。まず、図 (c) では (2,2) の位置を生成するので、垂直両隣の比を用いると、

$$R_{22} = G_{22} \left(\frac{R_{12}}{G_{12}} + \frac{R_{32}}{G_{32}} \right) / 2$$

となる。図 (d) では (1,3) の位置を生成するので、水平両隣の比を用いると、

$$R_{13} = G_{13} \left(\frac{R_{12}}{G_{12}} + \frac{R_{14}}{G_{14}} \right) / 2$$

となる。一方、図 (b) では (2,3) の位置を生成するので、クロス方向の 4 画素の比を用いて、

$$R_{23} = G_{23} \left(\frac{R_{12}}{G_{12}} + \frac{R_{14}}{G_{14}} + \frac{R_{32}}{G_{32}} + \frac{R_{34}}{G_{34}} \right) / 4$$

となり、すべての画素が生成できる。

他の色信号、B 画素についても同様な手法で生成できる。

なお、少ない R、B 画素を G 画素を用いて、補間する手法は Cop の得意とするところで、G 成分を用いて、R、B 画素の色相成分を算出することにより、RB 画素の補間制度を向上して、偽色信号 (Color Fringing) を少なくする方式が 1984 年に提案されている⁽⁴⁶⁾。

9.3.5 エッジ指標を用いた改良

上記方式に、エッジ検出を加味した方式が Ron Kimmel (Israel) から提案されている⁽⁴⁷⁾。いくつかの方向にエッジ指標 (Edge Indicator) を設定しておく。ある方向にエッジがありそうな場合にはエッジ指標の値が小さくなり、その方向の隣接画素の寄与が少ないと判断される。この場合に比率を単純加算するのではなく、重み付け加算することにより、置き換えの精度を向上している。

9.3.6 日本の技術

国内の技術では、MOS 型のカメラで先行した小沢直樹ら（日立製作所）、秋山俊之ら（日立製作所）から補色彩色フィルタアレイに画素判別手段を適用した提案が行われてきた⁽⁴⁸⁾⁽⁵⁰⁾。これらのアイデアは補色タイプに限らず Bayer 配列の色フィルタアレイにも適用可能である。

また、画素間のレベル差を判別して、置き換える画素を変えることにより、偽信号を減少して画質を向上する方式が松岡宏樹ら（松下電器）から提案されている⁽⁵¹⁾。

さらに、9.3.2 で説明した垂直、水平の相関を利用した方式は前中章弘ら（三洋電機）によって、2 か月遅れて提案されている⁽⁵²⁾⁽⁵³⁾。垂直、水平の相関値検出手段を設けて、相関が強いかわいさを判断して補間画素を決めるようにしている。

9.3.7 国内のデモザイキング技術

上記はアナログ手段で、実現できてきたが、デジタルデモザイキングは 90 年代から研究開発が行われてきた。

画素を置き換えて画質を改善しようとする方式が久野徹也ら（三菱電機）によって開発されてきた⁽⁵⁴⁾⁽⁶⁷⁾。

一般に、G 成分と R、B 成分は相関が強いので、注目する G 画素、R 画素について、それぞれの画素の低域成分を LPF で示すと

$$R_{34} : G_{34} = R_{LPF} : G_{LPF}$$

が成り立つので、

$$G_{34} = R_{34} \times G_{LPF} / R_{LPF}$$

で表すことができる。

したがって、G の垂直、水平の相関をそれぞれ、

$$\Delta G_V, \Delta G_H \text{ とすれば}$$

$$\Delta G_V < \Delta G_H \text{ のとき、}$$

$$G_{ij} = K_{ij} \times G_{VLPF} / K_{VLPF}$$

とする。ここで、K は R、B のどちらかである。

同様に、

$$\Delta G_V > \Delta G_H \text{ のとき、}$$

$$G_{ij} = K_{ij} \times G_{HLPF} / K_{HLPF}$$

次に、R、B については次の手法で画素を置き換える

$$R_{ij} = G_{ij} \times \{R_{i-1,j} + R_{i+1,j}\} / \{G_{i-1,j} + G_{i+1,j}\}$$

$$B_{ij} = G_{ij} \times \{B_{i,j-1} + B_{i,j+1}\} / \{G_{i,j-1} + G_{i,j+1}\}$$

更に相関差を利用する際に、拘束条件を設けることにより、補間の精度を上げるとともに、LPF に代わって補間誤差を低減する非線形フィルタを用いる方式が提案されている⁽⁵⁵⁾。

また、色フィルタに対応する画素には RGB 成分す

べてが存在するという仮定に基づいて、基準画素の色フィルタの色とは異なる色信号を類推して基準画素の位置に設定する仮想画素を生み出す方式が東芝から提案されている⁽⁵⁸⁾⁽⁶⁰⁾。図 9.8(a) で、基準画素 G_{22} に着目して、ここに仮想画素 R_V, B_V を生成する方式を示す。

$$B_V = G_{22} \times 2(B_{21} + B_{23}) / (G_{11} + G_{13} + G_{31} + G_{33})$$

$$R_V = G_{22} \times 2(R_{12} + R_{22}) / (G_{11} + G_{13} + G_{31} + G_{33})$$

同様に、基準画素 G_{33} については

$$R_V = G_{33} \times 2(R_{32} + R_{34}) / (G_{22} + G_{24} + G_{42} + G_{44})$$

$$B_V = G_{33} \times 2(B_{23} + B_{43}) / (G_{22} + G_{24} + G_{42} + G_{44})$$

これらの演算式の特徴は明るさの情報を G 信号から得て、色情報は周辺の R、B と G の割合、それぞれの画素平均値から演算により得ていることである。

このほかにも、大田郁子、相澤清晴（東京大学）は画素混合画像から復元する方式⁽⁶¹⁾、小松隆、齊藤隆弘（神奈川大学）は Total-Variation 正則化を用いた方式など⁽⁶²⁾⁽⁶³⁾、関根太郎ら（新潟大学）は高い空間周波数を有する色彩信号に配慮した方式⁽⁶⁴⁾ など大学の研究も盛んである。

また、最近でもキヤノン、ニコン、ソニーなどメーカーからの特許提案は盛んである⁽⁶⁵⁾⁽⁷⁷⁾。

9.4 超解像技術

9.4.1 サンプリング 周波数の増加

ビデオカメラでこれを実現するにはイメージセンサと光学像の間で、相対位置を時間的に変化させてサンプリング周波数を高くすることが K.A. Hoagland らから提案されている⁽⁷⁸⁾⁽⁷⁹⁾。光学系に挿入された薄いガラス板を周期的に振動させて、光学像を水平方向に移動させることにより、水平画素数を実質的に 2 倍にして解像度を向上させている⁽⁸⁰⁾。

この考え方を実際にイメージセンサに適用したスウィング CCD が原田望らによって提案されている⁽⁸¹⁾。図 9.12 に示すように、CCD パッケージの下に圧電素子を搭載し、水平方向に画素間隔の 1/2 微動させることにより、画素を実質的に 2 倍に向上できる。

この考え方は図 9.13 に示すように拡張できる。右、

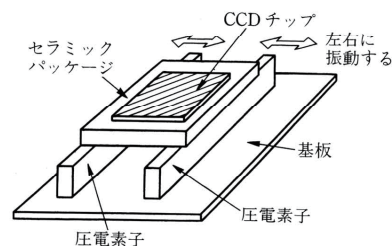


図 9.12 スウィング CCD⁽⁸¹⁾

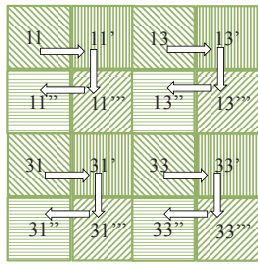


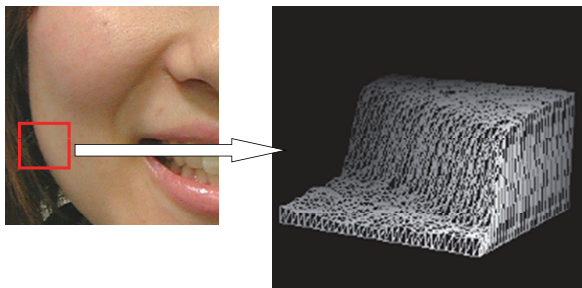
図 9.13 4 回撮像による画素の増加

下、左のように繰り返して微動させ、それぞれの位置で撮像することにより、4 倍のサンプリング点が得られ、垂直、水平の解像度がそれぞれ 2 倍向上できる。

9.4.2 フレーム内再構成型超解像方式

井田孝らはライン間で輝度変化が同じ性質を有するという自己合同性を利用して、フレーム内処理による超解像方式を実現した⁽⁸²⁾⁽⁸³⁾。

1 枚の画像の中で、輪郭などのエッジ部分はエッジに沿って輝度が同じように変化している場合が多い。即ち、エッジ部分では類似した絵柄が複数存在する。このような画像の性質は自己合同性と呼ばれる。例え



(a) 顔の一部 (b) 輪郭部分の輝度変化

図 9.14 画像の自己合同性 文献(84)を参照して作成。

ば、図 9.14(a) は画像の中で最も重要な女性の顔の一部で、頬の部分に注目すると、輝度が同じように変化している絵柄が輪郭に沿って、連続して存在する。図 (b) はこの輪郭部分の輝度変化を立体的に観測したもので、類似した変化が多数存在していることがわかる。

ここで注目すべきは輪郭部分の輝度変化は同じように変化しているが、位置が水平方向右に少しずつ移動していることである。

このことは、画面の左から等間隔でサンプリングしていると輪郭部分のサンプリング位置が上下の画素についてわずかに変化していることになる。

図 9.15 はこの説明図で、図 (a) に示したように、類似画素を抽出する。次に、図 (b) に示したように、位置を合わせ、前後の画素から新しい画素を補強する。実際には、図 9.16 に示すように、中央の画素ライン



(a) 類似画素の抽出



(b) 類似画素の位置合せ

図 9.15 前後の画素から画素を補強

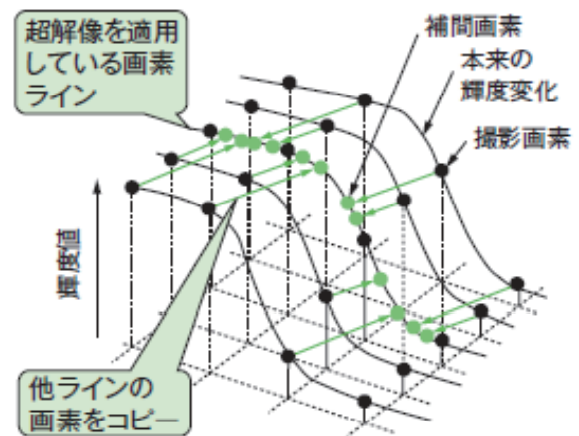


図 9.16 フレーム内処理による超解像方式⁽⁸⁵⁾

に対し、相対的に同じ位置になる点を他のラインから算出し、サンプリング点を増加している⁽⁸⁵⁾。

9.4.3 フレーム間再構成型超解像方式

動画のフレームを高解像度化する際に、前後のフレームを参照する方式である。カメラが固定されていて、被写体が動かない静止画の場合には変化がないが、カメラと被写体の間に、何らかの動きがあると、二つのフレーム間で、サンプリング位置が異なる被写体を得られる。そこでフレーム間の動きを検出し、その動きを補正して被写体の位置を合わせることができれば、サンプリング点が増加した画像が得られる。

したがって、この方式は動きを正確に検出できれば高周波成分が復元でき、高解像度画像が得られる。

9.4.2 で示したフレーム内再構成型では自己合同性のない画像では高解像度化が期待できない。そこで、フレーム間を利用したサブピクセルシフト画像を用いた複数画像による超解像度化が開発されている⁽⁸⁶⁾⁽⁸⁷⁾。図 9.17 に示すように、対象フレーム上の画素から 1/2 画素ずらせたサブピクセルシフト画像を生成して解像度を向上させている。

これらの技術は、PC やデジタルテレビに使われ

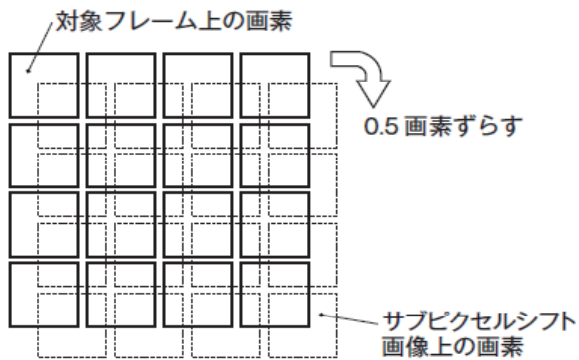


図 9.17 サブピクセルシフト画像の生成方法⁽⁸⁶⁾

ている。実用化に当たっては、高速処理が必要であり、機器に応じて、専用の LSI が開発されている。PC にはメディアストリーミング処理プロセッサ SpursEngine TM、デジタルテレビには専用 LSI の映像エンジン、メタブレイン TM プレミアムに搭載されている⁽⁸⁶⁾

ここに示した技術は今後、ビデオカメラを始め、デジタルカメラや携帯電話、スマートホンなどの撮像機器への活用が予定されている。

9.4.4 ノイズ除去技術

超解像技術の適用に当たっては事前にノイズを極力抑えておく必要がある。

従来のノイズ低減技術はフレーム相関など画像の相関を用いるものが多いが、これを事前にやってしまうと、超解像処理の妨げになる。そこで、NL-means 法 (Non-Local Means) を用いた方式が注目されてきた。

A.Buades ら (スペイン) によって提案された方式⁽⁸⁸⁾で、対象画素を中心としたブロックと画像内から大量に収集したブロックとの間の類似度を重みとして各ブロックの中心画素の加重平均をとり、対象画素を置き換える技術である。この方式を基本として、構造適応型 NL-Means 法が河田ら (東芝) によって開発された⁽⁸⁹⁾。

ブロックに分割された画像は図 9.18 に示すように、単純なパターンの組合せによって表現することができる。そこで、ノイズに対してロバストな基底パターンを自然画像から統計的に学習する。図 9.19(a) は自然画像から切り出した 5 億個のブロックを出現頻度が高い順に並べ、147 個を並べたものである。出現頻度の高い基底パターンは自然画像に多く存在する局所的な構造を表す。一方、出現頻度の少ない基底パターンは画像の構造とは相関を持たないノイズ成分とみなすことができる。そこで図 (b) のように、出現頻度の高い基底パターンだけを選別する。このパターンはノイズの影響を受けにくいパターンになる。この基底パターンを用いて、対象ブロックを置き換えることで、類似度がノイズに影響されるリスクを回避できる。図 (c) の基底パターンを用いて表現しなおしたブロックの組み立て方を図 9.20 に示す。

なお、超解像技術については詳しく述べるスペースがないが、画像の比較評価については文献⁽⁹⁰⁾、解説としては文献⁽⁹¹⁾⁻⁽⁹⁵⁾がある。

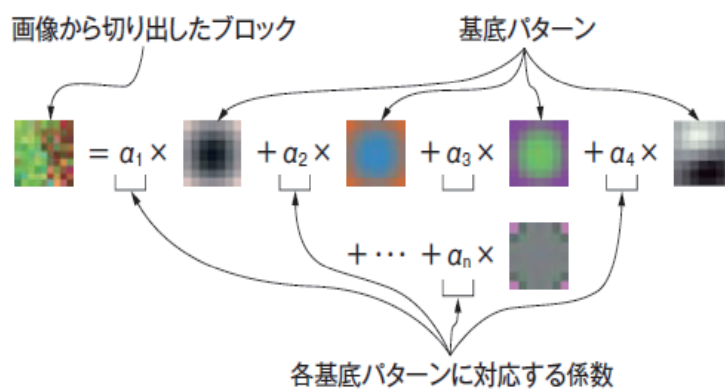


図 9.18 規定パターンによる画像の構成⁽⁸⁹⁾

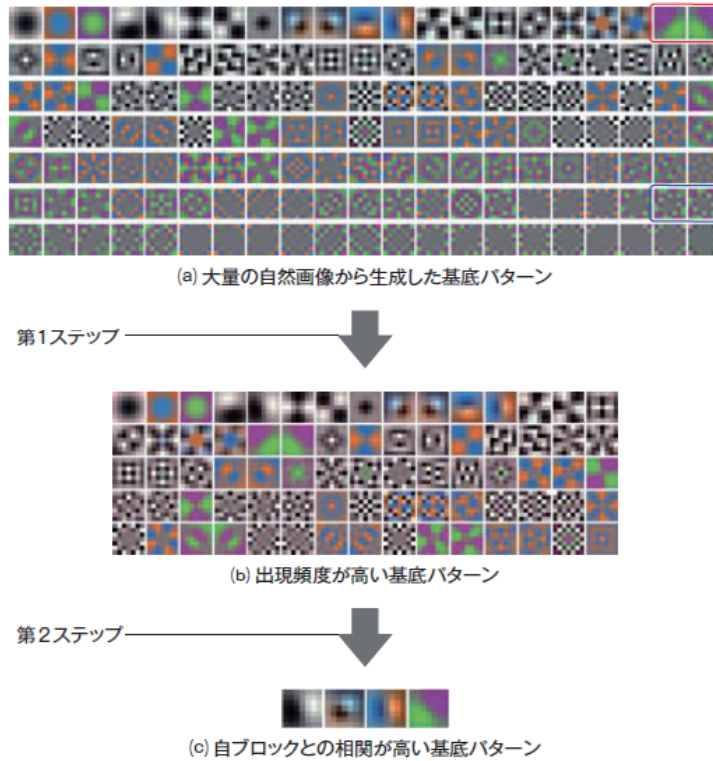


図 9.19 基底パターンの選別方法⁽⁸⁹⁾

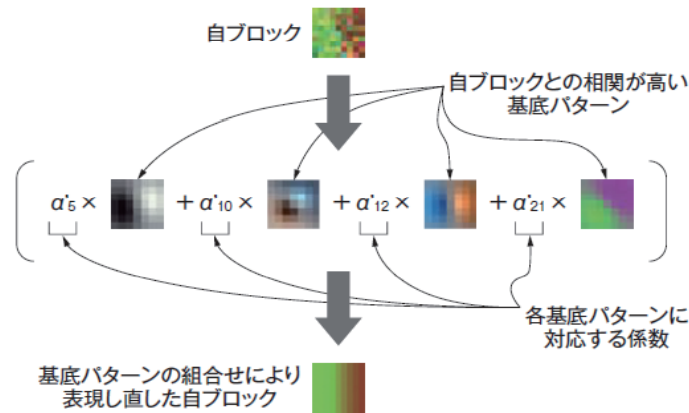


図 9.20 ノイズ低減の手法⁽⁸⁹⁾

文献

- (1) Chesnokov Vyacheslav : 画質向上方法及びそのための装置、公表特許公報 (A)、特表 2004-530368、2002 年 4 月 10 日出願。
- (2) E. H. Land and J. J. McCann : Lightness and Retinex Theory, Journal of the Optical Society of America, Vol.61, No.1, pp.1-11, Jan. 1971.
- (3) 三宅洋一 : 小特集 マルチメディアの色彩工学総論、映像情報メディア学会誌、Vol.55, No.10, pp.1216-1221, 2001 年
- (4) S.N.Pattanaik, et al. : A Multiscale Model of Adaptation and Spatial Vision for Realistic Image Display, SIGGRAPH98, Proc., pp.287-298, 1998.
- (5) 上田和彦、緒方昌美、土屋隆史、窪園 猛 : 広ダイナミックレンジカメラ用階調変換処理の開発、映像情報メディア学会誌、Vol.56, No.3, pp.469-475, 2002 年。
- (6) 齊藤隆弘 : 高品質画像入力のための新しい画像処理パラダイム、浜松地域知的クラスター創成事業第 17 回イメージングセミナー、講演資料。2006 年 10 月 31 日。
- (7) S.C.Park, et al. : Super-Resolution Image Reconstruction, IEEE Signal Processing Magazine, pp.21-36, May 2003.
- (8) 須川成利 : 広ダイナミックレンジイメージセンサの最新動向、映像情報メディア学会誌、Vol.60, No.3, pp.299-302, Mar. 2006.
- (9) 佐藤逸三、藤田和也、石井 孝、佐久間康夫、大

- 井一成：高ダイナミックレンジカメラ、1994年テレビジョン学会年次大会、29-3, pp.479-480.
- (10) 竹村裕夫：広ダイナミックレンジ技術と車載カメラへの課題、映像情報メディア学会技術報告、Vol.31, No.50, pp.1-6, Oct.2007.
- (11) 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.
- (12) 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
- (13) 熊田和秀：Pixim DPS 1 ピクセル / 1AD コンバータ型 CMOS センサシステムの概要、次世代画像入力技術部会第 107 回定例会資料、2006 年 6 月 2 日。
- (14) 熊田和秀：Pixim デジタル・ピクセル・システム D2000 イメージングシステムの紹介、映像情報インダストリアル、June 2004.
- (15) S. G. Chamberlain and J. P. Y. Lee : A Novel Wide Dynamic Range Silicon Photodetector and Linear Imaging Array, IEEE Trans. Electron Devices, ED-31, 2, pp.175-182, 1984.
- (16) D. Scheffer, B. Dierickx and G. Meynants : Random Addressable 2048 x 2048 Active Pixel Image Sensor, IEEE Trans. Electron Devices, Vol.ED-44, No.10, pp.1716 -1720, 1997.
- (17) 荻原義雄、角本兼一、中村里之、草鹿 泰、鐘堂健二、高田健二：対数変換型 CMOS エリア固体撮像素子、映像情報メディア学会誌、Vol. 54, No. 2, pp. 224 -228, 2000 年。
- (18) S. Kavadias, B. Dierickx, D. Scheffer, A. Alaerts, D. Uwaerts and J. Bogaerts : A Logarithmic Response CMOS Image Sensor with On Chip Calibration, IEEE J. Solid-State Circuits, Vol.35, No.8, pp.1146-1152, 2000.
- (19) M. Loose, K. Meier and J. Schemmel : A Self-Calibrating Single-Chip CMOS Camera with Logarithmic Response, IEEE J. Solid-State Circuits, Vol.36, No.4, pp.586-596, 2001.
- (20) 角本兼一、矢野 壮、植田将之、掃部幸一、田中良弘：FPN キャンセル・積分機能内蔵対数変換形 CMOS イメージセンサ、映情学誌、Vol.57, No.8, pp.1013-2091, 2003.
- (21) S. Sugawa, N. Akahane, S. Adachi, K. Mori, T. Ishiuchi and T. Mizobuchi : A 100dB Dynamic Range CMOS Image Sensor using a Lateral Overflow Integration Capacitor, ISSCC Dig. Tech. Papers, pp.352-353, Feb. 2005.
- (22) S. Adachi, S. Sugawa, N. Akahane, K. Mori, T. Ishiuchi and K. Mizobuchi : The Tolerance for FD Dark Current and PD Overflow Current Characteristics of Wide Dynamic Range CMOS Image Sensor using a Lateral Overflow Integration Capacitor, Proc. IEEE Workshop on CCDs and AISs, pp.153-156, Jun. 2005.
- (23) N. Akahane, S. Sugawa, S. Adachi, K. Mori, T. Ishiuchi and K. Mizobuchi : A Sensitivity and Linearity Improvement of a 100dB Dynamic Range CMOS Image Sensor using a Lateral Overflow Integration Capacitor, Symposium on VLSI Circuits, pp.62-65, Jun. 2005.
- (24) S. Adachi, W. Lee, N. Akahane, H. Oshikubo, K. Mizobuchi and S. Sugawa.: A 200- μ V / e⁻ CMOS Image Sensor with 100-ke⁻ Full Well Capacity, IEEE J. Solid-State Circuits, Vol.43, No.4, pp.823-830, 2008.
- (25) W. Lee, N. Akahane, S. Adachi, K. Mizobuchi and S. Sugawa.: A 1.9 e⁻ Random Noise CMOS Image Sensor with Active Feedback Operation in Each Pixel, IEEE Trans. Electron Devices, Vo.56, No.11, pp.2436-2445, 2009.
- (26) 溝渕孝一、足立 理、山下友和、岡村誠一郎、押久保弘道、赤羽奈々、須川成利：高温下の耐性・撮像性能を改善した広ダイナミックレンジ CMOS イメージセンサ、映情学誌、Vol.62, No.3, pp.368-375, 2008.
- (27) 小田和也、小林寛和、竹村和彦、竹内 豊、山田哲生：広ダイナミックレンジ撮像素子の開発 - 第 4 世代スーパー CCD ハニカム、映像情報メディア学会技術報告、Vol.27, No.25, pp.17-20, 2003 年 3 月 28 日。
- (28) 小林 誠、田中誠二、小田和也、池田勝己、林 健吉、西村亨：Super CCD EXR の開発、映像情報メディア学会技術報告、Vol.33, No.18, pp.1-4, 2009 年 3 月 19 日。
- (29) S. Decker, R. D. McGrath, K. Brehmer and C. G. Sodini : A 256X256 CMOS Imaging Array with Wide Dynamic Range Pixels and Column-Parallel Digital Output, IEEE J. Solid-State Circuits, Vol.33, No.12, pp.2081-2091, 1998.
- (30) 江川佳孝、小池英敏、岡元立太。山下浩史、田中

- 長孝、細川純一、荒川賢一、石田敬昭、原川秀明、酒井隆行、後藤浩成：2重露光動作を用いたワイドダイナミックレンジCMOSイメージセンサ、映像情報メディア学会技術報告、Vol.31, No.21, pp.25-28, 2007年3月23日
- (31) 佐々木一人、下池辰也、竹村裕夫：適応型ダイナミックレンジカメラの開発、OPTRONICS誌、Vol.24, No.2, pp.120-123, 2005年2月。
- (32) 竹村裕夫：広ダイナミックレンジカメラ技術と新しい車載カメラについて、映像情報メディア学会技術報告、Vol.30, No.30, pp.11-14, 2007年6月27日
- (33) 池辺将之、齊藤啓太：負帰還リセットによる蓄積容量変調型CMOSイメージセンサ、映像情報メディア学会誌、Vol. 60, No.3, pp. 384 -389, 2006年。
- (34) 原彰宏、山口隆、浜本隆之：画素並列リセット判定による広ダイナミックレンジイメージセンサ、映像情報メディア学会誌、Vol. 61, No. 3, pp. 378 -382, 2007年。
- (35) 安達雄大、能勢悠吾、香川景一郎、谷邦之、和田淳、布下正宏、大田 淳：APS・PPS方式を併用した広ダイナミックレンジCMOSイメージセンサ、映像情報メディア学会技術報告、Vol.31, No.21, pp.29-32, 2007年3月23日。
- (36) M.Sasaki, et al.: A Wide Dynamic Range CMOS Image Sensor with Integration of Short-Exposure- Time Signals, Proceedings of 2003 IEEE Workshop on CCD's Advanced Image Sensors
- (37) M. Onga, et al. : Signal Processing ICs Employed in a Single-Chip CCD Color Camera, IEEE Trans. Consumer Electronics, Vol. CE-30, No.3, pp.374-380, Aug. 1984.
- (38) 竹村裕夫：CCDカメラ技術、ラジオ技術社刊、1986年11月。
- (39) Bahadir K. Gunturk, John Glotzbach, Yucel Altunbasak, Ronald W. Schafer and M. Mersereau : Demosaicking : Color Filter Array Interpolation, IEEE Signal Processing Magazine, pp.44-54, Jan. 2005.
- (40) 竹村裕夫：CCD・CMOSカメラ技術入門、コロナ社、2008年4月刊。
- (41) R. H. Hibbard : Apparatus and Method for Adaptively Interpolating a Full Color Image utilizing Luminance Gradients, U. S. Patent 5,382,976, Jan. 17, 1995. (Jun. 30, 1993 出願)
- (42) C. A. Laroche and M. A. Prescott : Apparatus and Method for Adaptively Interpolation a Full Color Image utilizing Chrominance Gradients, U. S. Patent 5,373,322, Dec. 13, 1994. (Jun. 30, 1993 出願)
- (43) R. Kakarala and Z. Baharav : Adaptive Demosaicking with the Principal Vevtor Method, IEEE Trans. Consumer Electronics, Vol.48, No.4, pp.932-937, Nov. 2002.
- (44) J. F. Hamilton and J. E. Adams : Adaptive Color Plane Interpolation in Single Sensor Color Electronic Camera, U. S. Patent 5,629,734, May 13, 1997.(Mar. 17, 1995 出願)
- (45) David. R. Cok : Signal processing method and apparatus for producing interpolated chrominance values in a sampled color image signal, U. S. Patent 4,642,678, Feb. 10, 1987. (Feb. 3, 1986 出願)
- (46) David. R. Cok : Single-Chip Electronic Color Camera with Color-Dependent Birefringent Optical Spatial Frequency Filter and Red and Blue Signal Interpolating Circuit, U. S. Patent 4,605,956, Aug.12, 1986 (Sep. 10, 1984 出願)
- (47) Rom Kimmel : Demosaicing Image Reconstruction from Color CCD Samples, IEEE Trans. Image Processing, Vol.8, No.9, pp.1221-1228, Sep. 1999.
- (48) 小沢直樹、秋山俊之、佐藤和弘、長原脩策、三村 到：固体撮像装置、特許第 2619354 号、1997年3月11日。(1985年3月25日出願)
- (49) Naoki Ozawa, Toshiyuki Akiyama, Kazuhiro Sato, Syusaku Nagahara, Itaru Mimura : Chrominance Signal Interpolation Device for a Color Camera, USP 4,716,455, Dec. 29, 1987. (Mar. 25, 1985 優先権主張)
- (50) 秋山俊之、小沢直樹、佐藤和弘、三村 到、高橋健二：固体撮像装置の信号処理回路、特許第 2569007 号、1996年10月3日。(1986年4月25日出願)
- (51) 松岡宏樹、北村好徳、森村淳：画像信号検出補正装置、特公平 4-48033、1992年8月5日。(1985年12月27日出願)
- (52) 前中章弘、森 幸夫、村田治彦、岡田秀史、井出廣一：単板式カラービデオカメラお色分離回路、特許第 2931520 号、1999年5月21日。(1993年8月31日優先権主張)。

- (53) Akihiro Maenaka, Yukio Mori, Haruhiko Murata, Hidefui Okada, Hirokazu Ide : Color Video Camera with a Solid State Image Sensing Device, USP 5,552,827, Sep. 3, 1996. (Aug. 31, 1993 優先権主張)
- (54) Tetsuya Kuno and Hiroaki Sugiura : New Interpolation Method using Discriminated Color Correlation for Digital Still Cameras, IEEE Trans. Consumer Electronics, Vol.45, No.1, pp.259-267, Feb. 1999.
- (55) 久野徹也、杉浦博明：単板原色イメージセンサにおける画素補間方式の高精度化、映像情報メディア学会誌、Vol.61, No.7, pp.1006-1016, 2007年7月。
- (56) 守谷正太郎、牧田淳子、久野徹也、杉浦博明：局所領域における色変化の分析結果に基づくデモザイキング、映像情報メディア学会誌、Vol.61, No.3, pp.332-340, 2007年3月。
- (57) 守谷正太郎、牧田淳子、杉浦博明、山下孝一、伊藤俊、久野徹也、的場成浩、田村正司、藤田偉雄：画像信号処理方法及び装置、特許第4128538, 2008.5.23.(2004.1.27 出願)
- (58) 竹村裕夫：Bayer 配列色フィルタの新しいデモザイキング方式、2010年映像情報メディア学会年次大会、19-2, 2010年8月。
- (59) Yasuo Takemura, Hiroto Honda, Kazuhito Sasaki and Tatsuya Shimoike : Image Pickup Device and method for Processing an Interpolated Color Signal, USP 8,077,234, Dec. 13, 2011.(Jul. 27, 2007 優先権主張)
- (60) 竹村裕夫、本多浩人、佐々木一人、下池辰也：撮像装置、特開2009-55589 (2007年7月27日優先権主張)
- (61) 大田郁子、相澤清晴：画素混合画像からの復元とデモザイキング、映像情報メディア学会誌、Vol.58, No.1, pp.109-114, 2004年。
- (62) 小松隆、齊藤隆弘：光学ローパスフィルタによるボケの復元機能を有するデモザイキング、映像情報メディア学会誌、Vol.59, No.3, pp.407-414, 2005年3月。
- (63) 小松隆、齊藤隆弘：Total-Variation 正則化を用いたシャープニング-デモザイキング法、映像情報メディア学会誌、Vol.61, No.11, pp.1621-1632, 2007年11月。
- (64) 関健太郎、高橋善寿、菊池久和、村松正吾：高い空間周波数を有する色彩信号に配慮したカラーデモゼイキング、映像情報メディア学会誌、Vol.61, No.8, pp.1209-1217, 2007年8月。
- (65) 福井貴明、池田栄一郎、遠藤敏朗：信号処理方法及び信号処理装置、特許第4702912号、2011-3-18.(2000.5.12 出願)
- (66) 石賀健一、歌川健：補間処理装置および補間処理プログラムを記録した記録媒体、特許第4305989号、2009.5.15.(1999.2.4 出願)
- (67) 小林篤：画像処理装置および画像処理方法、並びにカメラ、特許第4066484号、2008.1.18.(1997.12.8 出願)
- (68) 歌川健：補間処理方法、特許第4038867号、2007.11.16.(1998.3.19 出願)
- (69) 川村佳津男、八島秀明：画像信号処理装置及びプログラムを記録した媒体、特許第3946866号、2007.4.20.(1998.5.15 出願)
- (70) 月岡健人、鶴岡建夫：画像処理装置、特許第3914628号、2007.2.9.(1998.1.28 出願)
- (71) 井出廣一：信号補間方法、特許第3662949号、2005.4.1.(1993.12.29 出願)
- (72) 信岡幸助：撮像装置、特許第3647052号、2005.2.18.(1993.4.15 出願)
- (73) 前中章弘、森幸夫、村田治彦：単板式カラービデオカメラの色分離回路、特許第2931520号、1999.5.21.(1994.4.18 出願)
- (74) 杉浦博明：カラービデオカメラ、特許第2815497号、1998.8.14.(1991.8.26 出願)
- (75) 佐々木卓、白石昭彦：カラー信号処理装置、特許第2744260号、1998.2.6.(1998.11.22 出願)
- (76) 奥富正敏、後藤知将：高解像度カラー画像生成方法、高輝度カラー画像生成装置及び高解像度カラー画像生成プログラム、特許第4214409号、2008.11.14.(2003.10.8 出願)
- (77) 小笠原隆行、中尾彰：画像処理装置及びイメージセンサ、特許第4751428号、2011.5.27.(2008.8.12 出願)
- (78) K.A.Hoagland : Television Applications of Interline Transfer CCD Arrays, NASA/JPL Conference on CCD Technology, pp.152-156, Dec. 1976.
- (79) A. Nordbryhn : The Dynamic Sampling Effect with Charge Coupled Device(CCD) Imagers, SPIE Vol.143, 1978.
- (80) K. A. Hoagland : Image-Shift Resolution Enhancement Techniques for CCD Imagers, SID 82 Digest, pp.288-289, 1982.
- (81) 原田望、遠藤幸雄、林元義明、江川佳孝、田沼千秋、

- 横山勝徳、吉田興夫：スウィング CCD イメージセンサ、テレビジョン学会誌、Vol.37, No.10, pp.826-832, 1983 年 10 月。
- (82) 井田 孝、松本信幸、五十川賢造：画像の自己合同性を利用した再構成型超解像、電子情報通信学会技術報告、IE2007, pp.135-140, 2007 年 12 月。
- (83) 熊谷明、井田 孝、田中明良：映像の高画質化を実現した超解像技術、東芝レビュー、Vol.63, No.11, pp.50-63, 2008 年 11 月。
- (84) 三島 直、山内日美生：CELL レグザの超解像技術、東芝レビュー、Vol.65, No.4, pp.15-18, 2010 年 4 月。
- (85) 渡邊敏明：高画質化技術の動向と東芝の取組み、東芝レビュー、Vol.64, No.6, pp.2-6, 2009 年 6 月。
- (86) 竹島秀則、加藤宣弘、金子敏充：サブピクセルシフト画像を用いた複数フレーム超解像技術、東芝レビュー、Vol.64, No.6, pp.11-14, 2009 年 6 月
- (87) Hidenori Takeshima, et al. : Image Registration using Subpixel-shifted Image for Super-resolution, Proc. International Conference Image Processing, San Diego, 2008-10, IEEE, pp.2404-2407.
- (88) A. Buades, et al. : A on-Local Algorithm for Image Denoising, CVPR2005, IEEE Computer Society Conference, Vol.2, pp.60-65, 2005.
- (89) 河田論志、田口安則、松本信幸：高画質なデジタルカメラを実現するランダムノイズ除去技術、東芝レビュー、Vol.65, No.9, pp.32-35, 2010 年 9 月。
- (90) Sang Cheol Park, Min kyn Park and Moon Gi Kang : Super-Resolution Image Reconstruction : a Technical Overview, IEEE Signal Processing Magazine, pp.21-36, May 2003.
- (91) 杉本茂樹、奥富正敏：画像の超解像化処理、日本ロボット学会誌、Vol.23, No.3, pp.33-37, 2008 年 4 月。
- (92) 田中正行、奥富正敏：画素数の壁を打ち破る複数画像からの超解像技術、映像情報メディア学会誌、Vol.62, No.3, pp.337-342, 2008 年 3 月。
- (93) 齊藤隆弘：高品質画像入力のための新しい画像処理パラダイム、浜松地域知的クラスタ創成事業第 17 回イメージングセミナー、講演資料。2006 年 10 月 31 日。
- (94) 齊藤隆弘：サンプリング定理の壁を打ち破る 1 枚の画像からの超解像オーバーサンプリング、映像情報メディア学会誌、Vol.62, No.2, pp.181-189, 2008 年 2 月。
- (95) 久野徹也：小特集 デジタル一眼レフカメラの画像処理技術、映像情報メディア学会誌、Vol.61, No.3, pp.275-278, 2007 年 3 月。

10 | ビデオカメラ技術の系統化

10.1 ビデオカメラ技術の全貌

図 10.1 はビデオカメラ技術の全貌を示したものである。大別すると撮像レンズ、光学 LPF、CFA を含む光学系、ビデオカメラの最重要部品である撮像デバイス、前処理に相当する AFE、ビデオカメラの主要部分のデジタル信号処理、そして出力回路から成り立っている。デジタル信号処理部の中は映像信号を組み立てていく必要な基本回路と画質をよくするための高画質化回路と失敗のない画像を得るための高機能回路からなる。これらを制御するためにはマイコンが用いられ、実際の処理のアルゴリズムはソフトで行われる。

その他に、ビューファインダーと録画装置が必要である。ビューファインダーは光学像の一部を取り入れる光学ファインダーと小型液晶を用いた電子ファインダーがある。

10.2 ビデオカメラ技術の展開

図 10.2 はビデオカメラ技術の展開を示したものである。大きな流れでは 90 年代初めから静止画像を専

用に記録再生する電子カメラ(電子スチルカメラともいわれた)が注目を集めた。記録媒体として独自規格のフロッピーディスクを用いた。しかし、これは写真フィルム、それを焼き付けた印画紙に比べて解像度がかなり劣るため、大きく普及することはなかった。

しかし、90 年代後半になると、半導体メモリにデジタル記録する技術が進み、撮像デバイスの多画素化が達成されたため、急速に普及が始まり、台数もビデオカメラを上回る産業に成長した。デジタルカメラはビデオカメラの技術を基にして、その上に、静止画像のための画質向上が進められていった。

90 年代後半には携帯電話が普及し始め、カメラの小型化技術を取り入れて、カメラ付携帯電話が登場する。当初はメモ代わりの機能で使われていたが、スナップ写真を撮りたいという要求が高まり、カメラの小型化、画素の微小化技術の進歩で、コンパクトデジタルカメラ並みの画像が撮れるようになると、国内では全ての携帯電話がカメラ付になった。更に、自分やツェーションの画像を撮りたい要求が高まり、表裏にカメラを設ける携帯電話も登場した。

この形態はコンピュータ機能を備えたスマートフォンやタブレット端末にも適用され、カメラはこれらの製品には不可欠になっていく。

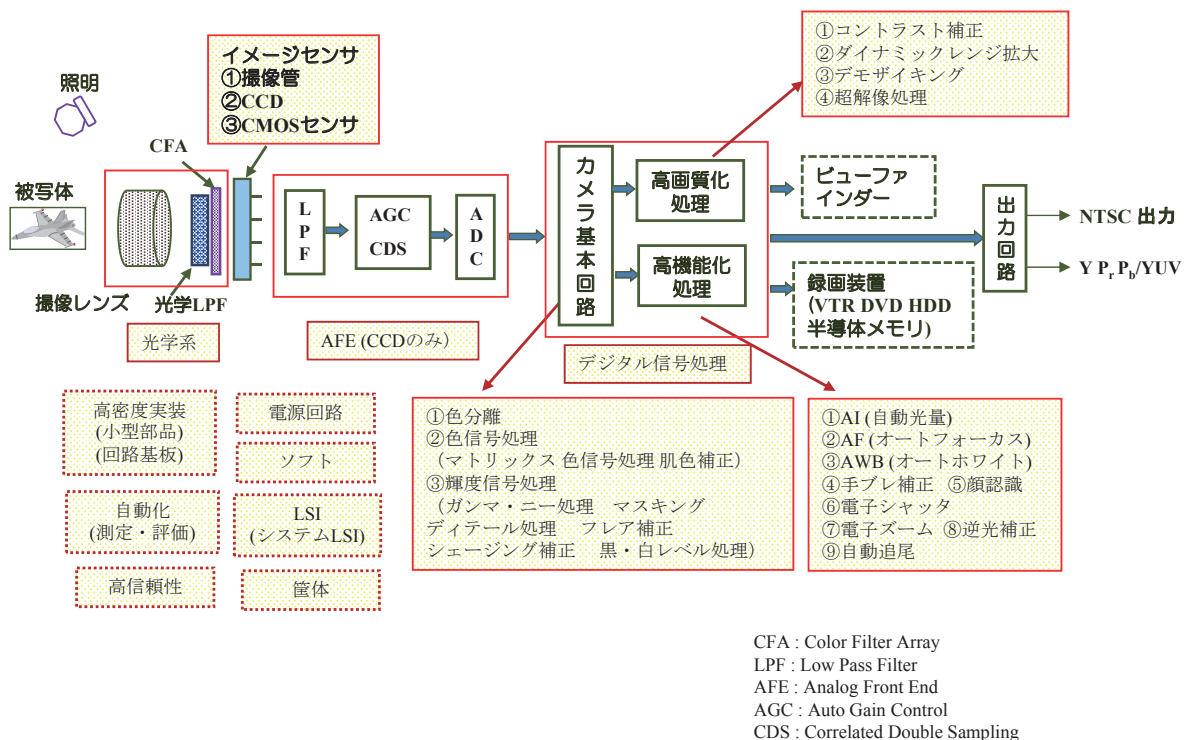


図 10.1 ビデオカメラ技術の全貌

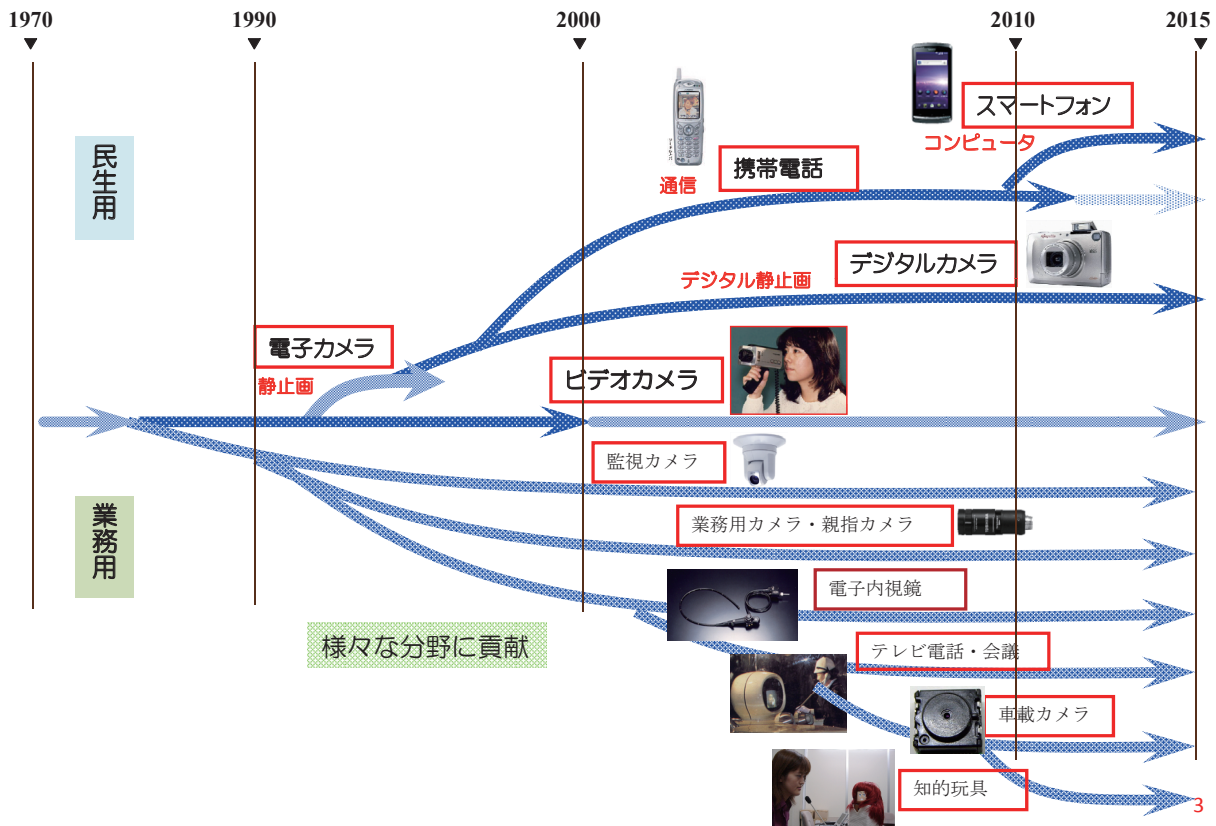


図 10.2 ビデオカメラ技術の展開

一方、業務用分野では、監視カメラが店内監視やプラットフォームの安全監視などに用いられてきたが、犯罪の抑止効果が期待されて、街角にも設置されるようになってきた。これにも、ビデオカメラ技術が展開されている。

また、医療分野ではファイバースコープが主流だった内視鏡が、CCDをスコープ先端に付けた電子内視鏡に置き換わっていった。鮮明な画像によって初期の疾患が見つかるという大きな効果がある。更に複数の医師が同時に画面を見ることができ、操作の容易さから腰痛が減少したという逸話もある。硬性鏡、腹腔鏡などへも展開され、開腹手術を行わなくても済むようになり、術後の回復が早く、患者の負担も大きく改善されて行った。

乗用車にカメラを搭載することが当たり前になってきたが、これもビデオカメラ技術の展開である。車載カメラでは車庫入れアシストや周囲を見渡せるアラウンドビューなどが製品化されてきた。追突防止や白線検出による路線はみ出しへの警告などの開発が盛んでこの分野も大きな産業になると期待されている。

10.3 ビデオカメラ技術の進展

表 10.1 にビデオカメラ技術を年代順に記載し、技術の進展をまとめた。映像情報メディア学会誌の隔年の7月号に掲載される年報と文献(1)(2)を参照してまとめたものである。縦軸に技術の項目を並べ、項目ごとに海外技術と国内技術を線の太さで示した。

表 10.2 に世界初、国内初のビデオカメラを列挙した。これらを選んだ根拠を表 10.3 にまとめて示した。これまでの調査研究を基に未来技術遺産候補を表 10.4 にまとめた。

10.4 学会の役割と貢献

これらの技術成果を次々と生み出すことになった背景には学会の貢献があった。特に、テレビジョン学会（現在の映像情報メディア学会）を通じて、長年にわたって、研究者・技術者が連携し、共通の目標に向かって歩んできたことが挙げられる。

カメラ技術が急速に進歩を遂げた70年後半から80年代は多くの人材がカメラの分野に集まった。また、良き指導者が各メーカ、機関に在籍していた。ビデオカメラは、形は小さいけれど、中身は高度な技術が結集されている。これらの新技術の発表の場を学会の研究会、論文誌が提供し、技術の進歩のために意見交換でき、親身になって若い技術者を指導してきた。メーカの垣根を越えた連携が築かれていった。これらが各メーカの若手技術者に刺激を与え、カンフル剤となって、世界に誇れる輝かしい成果を生み出していった。

当時の電子装置研究委員会を主査としてリードされてきた二宮輝雄（NHK）、木内雄二（東芝）、安藤隆男（静岡大学）、方式回路研究会の主査をされた長谷川伸（電通大）、長原脩策（日立）、編集委員会で指導された大越孝敬（東大）、芦川幹夫（日立）、辻重夫（東芝）などの各氏を挙げることができよう。

これらの活動は学会誌等に掲載された座談会に示されている⁽³⁾⁽⁵⁾なので参照頂きたい。

特に毎年3月に開催される電子装置と方式回路の合同研究会は1年間の成果を報告する研究会として注目され、ビデオカメラや撮像デバイスの研究者・技術者で会場はあふれかえり、しばしば大ホールに急遽、移動することも多かった。テレビジョン学会編集委員会では随時、論文特集を企画していった。これらの動向は海外にも伝わり、各メーカが3月の研究会を注目した。Philipsは会場近くのプリンスホテルを予約し、日本語の論文を直ちに翻訳して調査研究していたという⁽⁶⁾。

テレビジョン学会誌の第1回論文特集号は図10.3のように、1979年7月号であった。カラーの撮像デバイスだからどういう画像が得られたのか、カラー画像を載せたいという意見が出て、当時としては珍しいカラー版となった。この特集号は評判がよくすぐに売り切れ、驚くことに外国の関連のある人に会うとみんな買って持っていた、著名な研究者、ワイマー博士（RCA）、ギヨス氏（トムソンCSF）なども持っていて、海外でも関心が高かった、と当時の二宮編集長は語っている⁽⁷⁾。

目次 ©

ふたへかず	
会長就任挨拶	大島信太郎・515(1)
論文特集 固体撮像デバイス	
3 CCD カラーカメラの方式	山中成介・山崎博司・橋本武夫・阿部元昭・鮎智成之・516(2)
512×486 画素 CCD イメージセンサー	堀居賢樹・523(9)
CCD 単板カラーカメラの実験的検討	森下政信・田中敬訓・530(16)
512×340 画素 CCD イメージセンサー	原田 望・速藤幸雄・岩沢孝男・松下克雄・536(22)
CCD 2 板式カラーテレビカメラ	竹村裕夫・大井一広・佐藤進三・斎藤喜久雄・542(28)
単板カラーカメラ用 n-p-n 構造型 MOS 撮像素子の特性	小池紀雄・竹本一八男・佐藤和弘・笹野 晃・長原脩策・久保征治・548(34)
単一撮像板カラーテレビカメラ	梅本益雄・佐藤和弘・小池紀雄・竹本一八男 笹野 晃・泉田守司・高橋建二・長原脩策・554(40)
MOS 型単板カラー撮像素子	高村 亨・田中大造・560(46)

図 10.3 特集号の目次の一部⁽⁸⁾

ビデオカメラは世界に輸出したいという目標があり、撮像デバイスは IEEE の IEDM、ISSCC に、ビデオカメラは ICCE に最新の技術成果を発表し、日本の技術レベルの高さを世界にアピールした。最近では2年に1度開催される IEEE Image Sensor Workshop も活発である。

IEEE : Institute of Electrical and Electronics Engineers

IEDM : International Electron Devices Meeting

ISSCC : International Solid-State Circuits Conference

ICCE : International Consumer Electronics Conference

また、それぞれの下記の論文誌にも多くの論文が掲載されて行った。

IEEE Transactions on Electron Devices

Journal of the Solid-State Circuits

IEEE Transactions on Consumer Electronics

この一端を紹介すると、IEEE Trans. Electron Devices 1985年8月号は Special Issue on Solid-State Image Sensors が組まれた。図 10.4 に示すように、こ

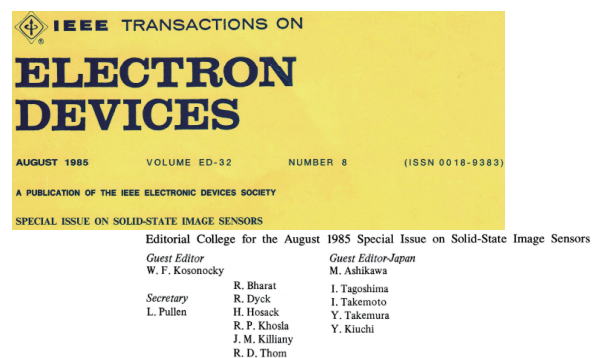


図 10.4 IEEE Trans. ED の一部⁽⁹⁾

表 10.1 ビデオカメラ技術の系統図

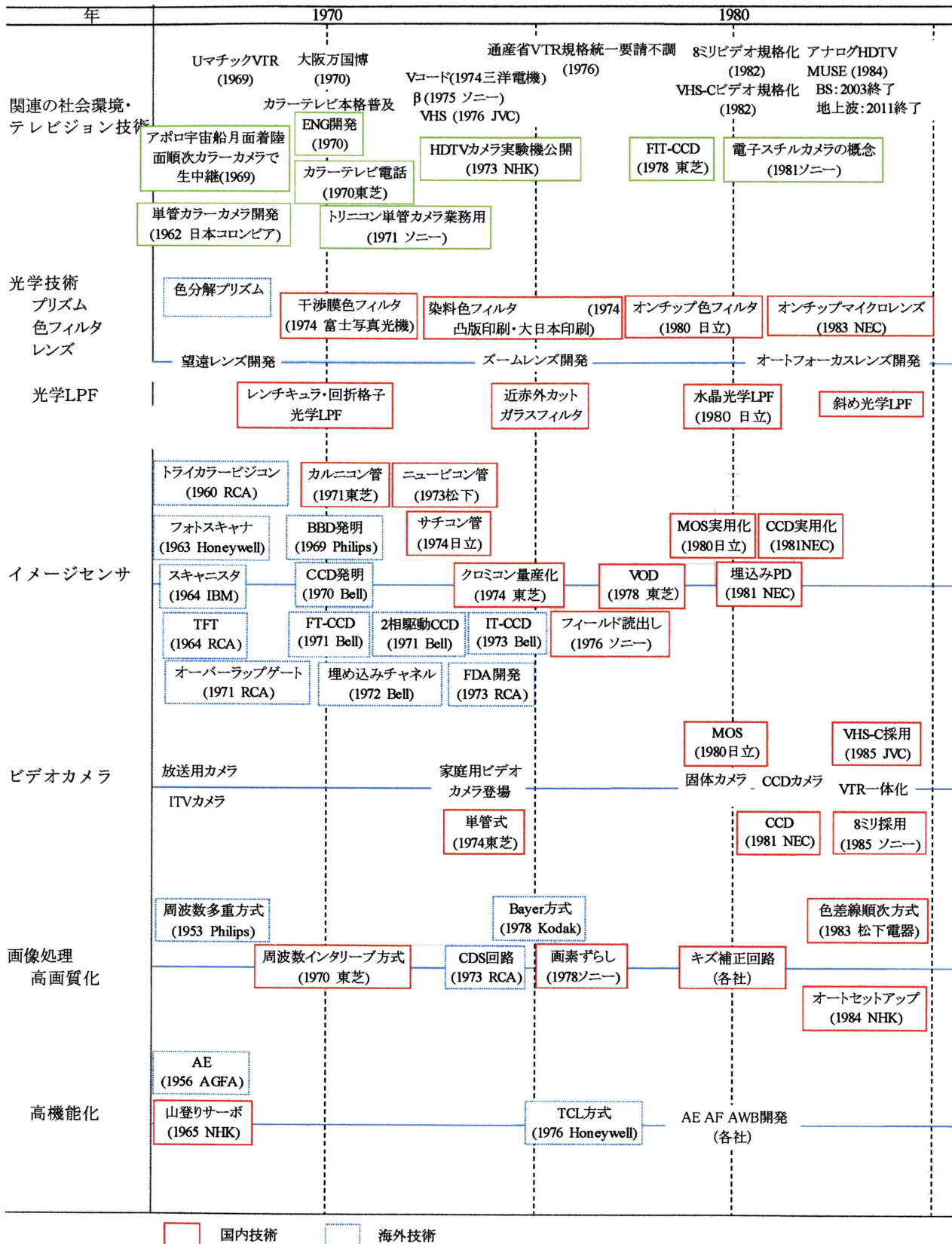
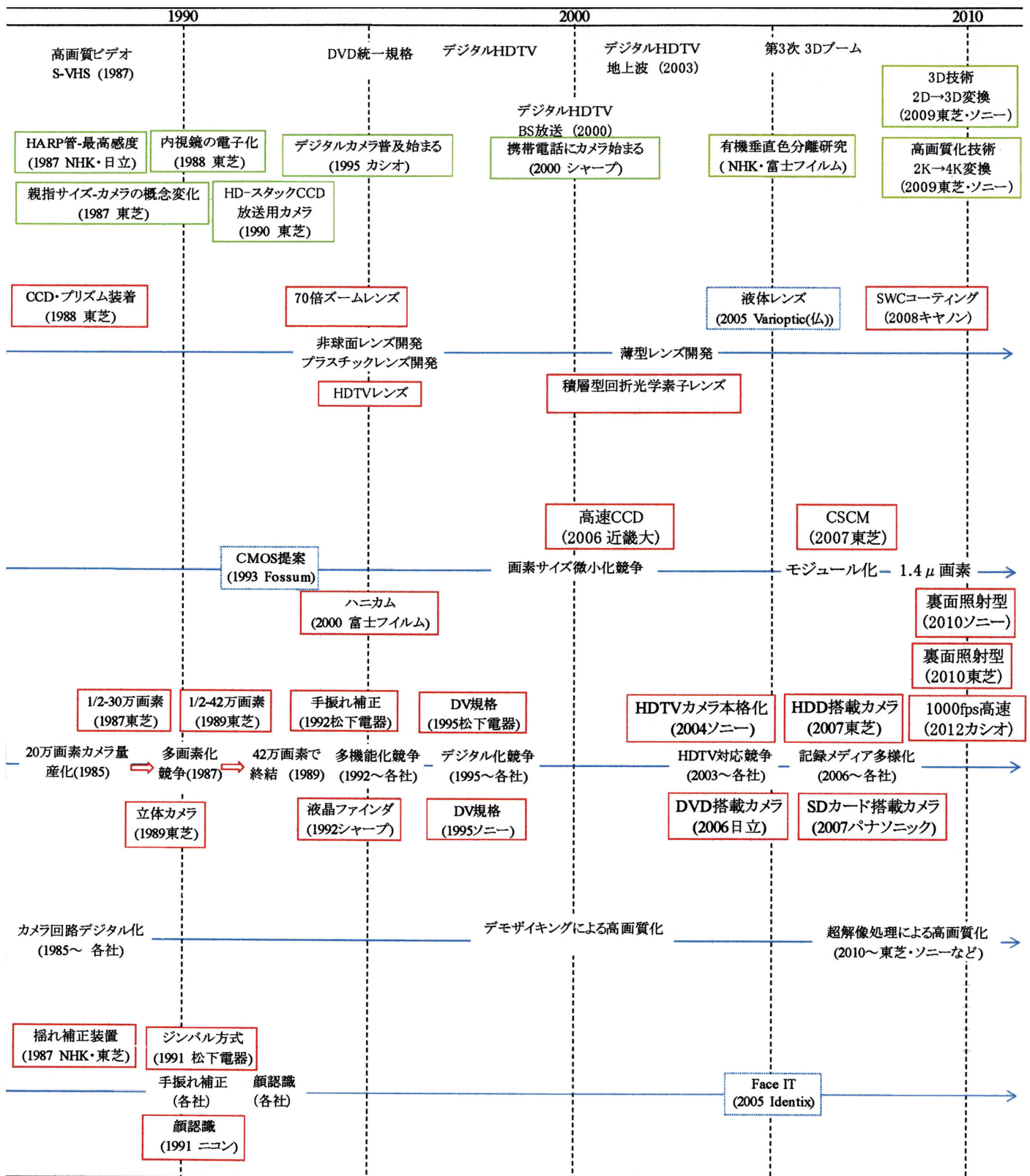


表 10.1 は次の文献・資料を参照にした。

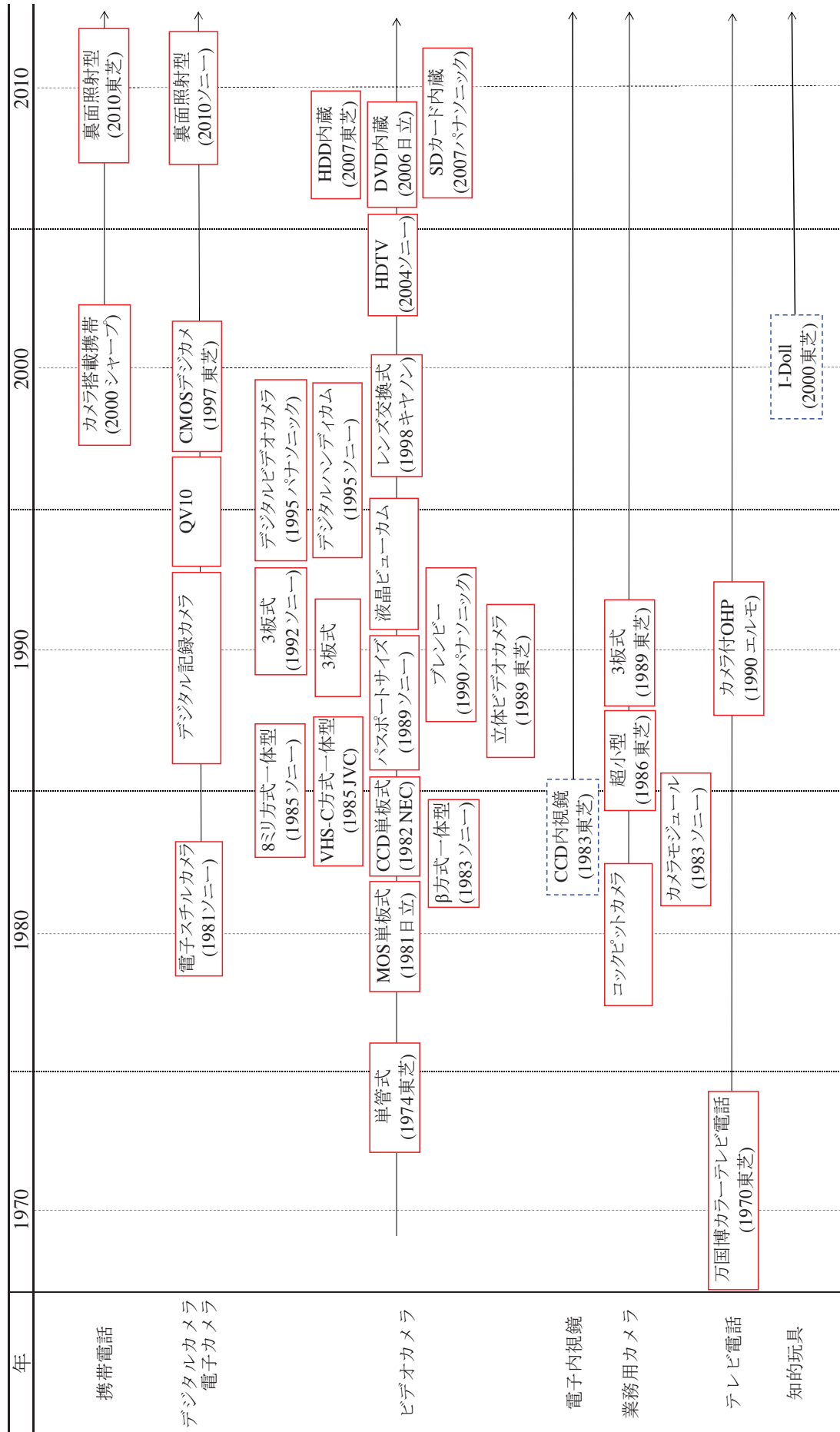
- (1) 和久井孝太郎：電子メディア総合年表、NEW MEDIA 誌、pp.29-136、1997年1月。
- (2) 竹村裕夫：CCD カメラ技術入門、コロナ社刊、1997年12月。
- (3) 和久井孝太郎、浮ヶ谷文雄、竹村裕夫、ほか：テレビジョンカメラの設計技術、pp.13-25、コロナ社刊、1999年8月。
- (4) 木内雄二：20世紀の撮像・センシング技術の進展、映像情報メディア学会誌、Vol.54, No.2, pp.136-140、2000年2月。
- (5) 寺西信一：20世紀の固体撮像技術の進展を支えた10の業績、映像情報メディア学会誌、Vol.54, No.2, pp.141-



147, 2000年2月。

- (6) 佐藤和弘：情報センシング技術 30年の鼓動、映像情報メディア学会誌、Vol.56, No.3, pp.407-410, 2002年3月。
- (7) 黒田隆男：イメージセンサの世界における日本～日本が果たしてきた役割と歴史から学ぶこと～、映像情報メディア学会誌、Vol.65, No.3, pp.336-341, 2011年3月。
- (8) 越智成之：CCD誕生40周年～黎明期～、映像情報メディア学会誌、Vol.65, No.5, pp.691-697, 2011年5月。

表 10.2 世界初、国内初のビデオカメラ



□ 世界 □ 日本

表 10.3 世界初・日本初の根拠

名 称	年 代	メーカー	型 号	理 由
単管式	1974	東芝	IK-12	色ストライプフィルター内蔵ビジュンによる世界初の本格的な家庭用ビデオカメラ。ビデオカメラのルーツ。
MOS単板式	1981	日立製作所	VK-C1000	世界初の固体イメージセンサを用いた家庭用単板式ビデオカメラ
CCD単板式	1982	NEC	TC-100	世界初のCCDを用いた家庭用単板式ビデオカメラ
β方式一体型	1983	ソニー	BMC-100	記録媒体と一体化された世界初のビデオカメラ
VHS-C方式一体型	1985	JVC	GR-C1	カメラ用に小型化されたVHS-Cカセットを用いた世界初のビデオカメラ
8ミリ方式一体型	1985	ソニー	CCD-V8	カメラ用に小型化された8ミリカセットを用いた世界初のビデオカメラ
パスポートサイズ	1989	ソニー	CCD-TR55	パスポートサイズに小型化された世界初のビデオカメラ。民生用として本格的普及が始まる
立体	1989	東芝	SK3D7	複眼のレンズ・CCDを一体化し、VHS-Cカセット内蔵の世界初の3Dビデオカメラ。米国で500万台発売。
ブレんビー	1990	パナソニック	NV-S1	手振れ補正を採用した世界初のビデオカメラ。
3板式プロ用	1990	東芝	BCC-100	世界初3板式プロ用ビデオカメラ。プリズムとCCDを高精度に接合する自動機を世界で初めて開発。
3板式プロ用	1992	ソニー	CCD-VX1	3板式家庭用ビデオカメラとしてのブラッダジップモデル。
液晶ビューカム	1992	シャープ	VL-HL1	世界初液晶ファインダー付き。今では当たり前の液晶ファインダー、これまでは小型CRT
デジタルカム	1995	パナソニック	NV-DJ1	世界初のデジタルビデオカメラ。デジタルならではの高画質。DV方式。
デジタルハンディカム	1995	ソニー	DCR-VX1000	世界初のデジタルビデオカメラ。デジタルならではの高画質。DV方式
レンズ交換式	1998	キヤノン	XL-1	ビデオカメラとして、世界初のレンズ交換式。XLマウントを採用
HDTV	2004	ソニー	HDR-FX1	走査線1080本を有する本格的HDTVビデオカメラ
DVD内蔵	2006	日立製作所	DZ-GK3300	記録媒体にDVDを用いた世界初のHDTVビデオカメラ。初代DZ-MV100はカートリッジDVD-RAMのみに対応。
HDD内蔵	2007	東芝	GSC-A100F	記録媒体にHDDを用いた世界初のHDTVビデオカメラ。2006年9月に0.85インチHDD内蔵MEHV10を発売。
SDカード内蔵	2007	パナソニック	HDC-SD1	記録媒体にSDカードを用いた世界初のHDTVビデオカメラ

【ビデオカメラ関連】				
万国博カラーテレビ電話	1970	東芝		大阪で開催された日本万国博の電気通信館と東京霞が関ビル間で、世界初のカラーテレビ電話公開。
電子スチルカメラ	1981	ソニー		現在のデジタルカメラをイメージした世界初の電子カメラ試作品。「フィルムよさよなら」が流行語になった衝撃的試作品
超小型カメラ	1986	東芝	IKM10B	直径16.5mmのカメラヘッド部を有する超小型カメラ。カメラは箱型という概念を一新した画期的な世界初のカメラ
3板式監視用	1988	東芝	IKT-30C	世界初3板式小形カメラ。プリズムとCCDを高精度に接合する自動機を開発。
デジタル記録カメラ	1990	東芝・富士フイルム	DS-X	半導体メモリを記録媒体とする世界初のデジタルカメラ。現在のデジタルカメラのルーツ。
ビデオレブレゼンター	1990	エルモ	EV101	電子式OHP。OHPは光学式であったが、これにビデオカメラ技術を転用。世界初のカメラ付OHP
本格的デジタルカメラ	1995	カシオ計算機	QV10	VGAで画質はもう一息であったが、本格的普及に至ったフラッグシップ
CMOSデジタルカメラ	1997	東芝		現在主流のCMOSイメージセンサを世界で初めてデジタルカメラに採用
カメラ搭載携帯電話	2000	シャープ	J-SH04	J-Phoneから発売された世界初のカメラ搭載携帯電話。現在では当たり前のカメラ付携帯のルーツ。
裏面照射型	2010	ソニー		1641万画素裏面照射型CMOSを用いた世界初のビデオカメラ
裏面照射型携帯	2010	東芝		1460万画素裏面照射型携帯電話
多画素CMOS	2010	キヤノン		1億2000万画素CMOS-APS 世界最高画素

表 10.4 ビデオカメラ技術 登録候補一覧

(a) ビデオカメラそのもの

番号	名称	資料形態	所在地	製作者	製作年	選定理由
1	固体ビデオカメラ VK-C1000	保管	茨城県立歴史館 水戸市緑町2-1-15	日立製作所	1981	世界初の固体イメージセンサを用いた 家庭用単板式ビデオカメラ
2	単管式ビデオカメラ IK-12	展示	東芝科学館 川崎市幸区小向東芝町1	東芝	1974	世界初の家庭用ビデオカメラ。ビデオカメラのルーツ。 色フィルタ内蔵ビジコンの開発。量産体制の確立
3	CCDビデオカメラ TC-100	調査中	-	日本電気	1982	世界初のCCDを用いた家庭用単板式ビデオカメラ いち早く製品化を達成
4	パスポートサイズビデオカメラ CCD-TR55	展示	ソニー歴史資料館 品川区北品川6-6-39	ソニー	1989	パスポートサイズの小型化で世界初のビデオカメラ 家庭用として本格的普及が始まる
5	ビデオカメラ ブレンビー NV-S1	保管	パナソニック岡山AVC工場 岡山市東区東平山1360	パナソニック	1990	手振れ補正を採用した世界初のビデオカメラ。
6	立体ビデオカメラ SK3D7	展示	東芝科学館 川崎市幸区小向東芝町1	東芝	1989	世界初の3Dビデオカメラ 立体カメラのルーツ
7	液晶ビューカム VL-HL1	展示	シャープミュージアム 天理市樺本町2613-1	シャープ	1992	世界初の液晶ファインダー付きビデオカメラ これまでは小型CRT
8	VTR一体型ビデオカメラ BMC-100	展示	ソニー歴史資料館 品川区北品川6-6-39	ソニー	1983	記録媒体と一体化された世界初のビデオカメラ これまでは録画装置は別でケーブルで接続
9	8ミリビデオカメラ CCD-V8	展示	ソニー歴史資料館 品川区北品川6-6-39	ソニー	1985	カメラ用に小型化された8ミリカセットを用いた 世界初のビデオカメラ
9	VHS-Cビデオカメラ GR-C1	保管	VHS記念館 横須賀市神明町58-4	JVC	1985	カメラ用に小型化されたVHS-Cカセットを用いた 世界初のビデオカメラ
11	3板式ビデオカメラ BCC-100	調査中	-	東芝	1990	世界初の3板式ビデオカメラ。 プリズムとCCDを高精度に接合する自動機
11	3板式ビデオカメラ CCD-VX1	保管	ソニー歴史資料館 品川区北品川6-6-39	ソニー	1992	プロ用ビデオカメラとしてのフラッグシップモデル。
13	デジタルビデオカメラ NV-DJ1	保管	パナソニック岡山AVC工場 岡山市東区東平山1360	パナソニック	1995	世界初のデジタルビデオカメラ デジタルならではの高画質 DV方式
13	デジタルビデオカメラ DCR-VX1000	保管	ソニー歴史資料館 品川区北品川6-6-39	ソニー	1995	世界初のデジタルビデオカメラ デジタルならではの高画質 DV方式

(b) ビデオカメラ応用製品

番号	名称	資料形態	所在地	製作者	製作年	選定理由
1	カメラ付携帯電話 J-SH04	保管	シャープミュージアム 天理市樺本町2613-1	シャープ	2000	J-Phoneから発売された世界初のカメラ搭載携帯電話 現在では当たり前のカメラ付携帯のルーツ
2	超小型親指カメラ IKM10B	保管	東芝科学館 川崎市幸区小向東芝町1	東芝	1986	カメラの概念を変えた世界初超小型カメラ 親指大にしてカメラは箱型という概念を一新
3	カラーテレビ電話 —	調査中	—	東芝	1970	世界初のカラーテレビ電話。半年間にわたって公開。 大阪で開催された日本万国博の電気通信館
4	電子OHP EV101	調査中	—	エルモ	1990	世界初のカメラ付OHP OHPは光学式であったが、ビデオカメラ技術を転用
5	コックピットカメラ XC-1	保管	ソニー歴史資料館 品川区北品川6-6-39	ソニー	1980	世界で初めてCCD実用化 全空ジャンボ機に取り付け スカイビジョン用
6	コックピットカメラ —	調査中	—	松下電器	—	日本航空に取り付け

では業界トップの Walter F. Kosonocky と共に、芦川幹夫(日立製作所)が Gest Editors に選ばれ、13名の Editorial Members に日本の技術者5名が参加し、論文査読を行った⁽⁹⁾。

この特集号には日本から17件、米国15件、欧州5件が採択され、もはや、日本の技術紹介なくして世界トップの論文誌も成り立たなくなるような勢いであった。

一方、1983年8月号の IEEE Trans. Consumer Electronics はビデオカメラ関連だけではないが、40件の論文中日本が21件、米国8件、欧州10件、インド1件である⁽¹⁰⁾。

これらの活動は全世界から高く評価され、この分野での日本の技術が世界にゆるぎないものとなっていった。

10.5 ビデオカメラ技術の展望

以上、ビデオカメラ技術を中心に研究開発、製品化の経緯を調査してきた。

ここでは今後、ビデオカメラ技術がどのようになっていくか、将来展望を考察してみたい。

10.5.1 動画像への欲求

図10.2に示したようにビデオカメラを中心に進んできたカメラ技術は時代と共に、デジタルカメラ、携帯電話、スマートフォン、タブレット端末と形を変えながら進化を遂げてきた。写真のような静止画像に比べて多少の煩わしさがあるとはいえ、動画像を撮り、保存しておきたいという欲求はなくなることはない。

10.5.2 高画質化

デジタルテレビ画像は2K×1K、いわゆる200万画素のHDTVから4K×2Kへ、4倍の画素数への多画素化が進みつつある。最終段階で人が見るテレビの画像はハードで4K×2Kの多画素化が行われなければならない。しかし、撮像するカメラの画像は力づくで画素数を増やすのではなく、画像処理技術を駆使して、2K→4K変換が主流となっていくであろう。今までの多画素化の歴史がそうであったように、単純な多画素化は感度低下やダイナミックレンジの副作用が生じるからである。9章で述べたように、デモザイキングや超解像技術の進歩は著しいものがある。これらの技術を用いて、日本人が得意の画づくりの技術に適用すれば新規な高画質ビデオカメラが生まれるであろう。

10.5.3 3D 技術

また、3D 表示も根強い欲求がある。一昨年の 3D デジタルテレビのブームは残念ながら 25 年前の技術と本質的な変化がないため、一時的なものとなってしまった。2D テレビとの互換性、メガネをかける煩わしさを解決しなければならない。

ここでも 2D → 3D 変換技術が注目を集めている。放送局からの電波は 2D で送られてきても、受信側で 3D に変換して楽しむことが可能になる。そうなれば 2D との互換性が保たれ、3D テレビの普及に弾みがつくことが予想される。メガネレス 3D テレビも技術的には実用段階に来ている。こうなればビデオカメラも 3D 機能付きが必需品になる。2D → 3D 変換技術も画像処理技術の応用である。

このように、半導体技術の進歩で、高速、大容量になってきたおかげで、従来では難しかった高度な画像処理の手法が実用化可能となり、これからの進歩は限らないものを秘めているといえよう。ここに、日本の技術の生きる方向があると考えられる。

文 献

- (1) 竹村裕夫：CCD・CMOS カメラ技術入門、コロナ社刊、2008 年 4 月。
- (2) 映像情報メディア学会編、和久井孝太郎監修：テレビジョンカメラの設計技術、コロナ社、1999 年 8 月
- (3) 座談会 若手技術者大いに語る：テレビジョン学会誌、Vol.37, No.10, pp.869-876, 1983.
- (4) 座談会 固体イメージセンサ開発の熱気と学会活動 前編、映像情報メディア学会誌、Vol.60, No.8, pp.1244-1249, 2006.
- (5) 座談会 固体イメージセンサ開発の熱気と学会活動 後編、映像情報メディア学会誌、Vol.60, No.9, pp.1386-1392, 2006.
- (6) 映像情報メディア学会 望月徹事務局長、沖宗恵子主任への取材。2012 年 12 月 3 日。
- (7) 会誌通巻 400 号記念 歴代編集長座談会、テレビジョン学会誌、Vol.35, No.12, pp.992-1003, 1981.
- (8) 論文特集 固体撮像デバイス、テレビジョン学会誌、Vol.33, No.7, 1979.
- (9) Special Issue on Solid-State Image Sensors : IEEE Trans. Electron Devices, Vol.ED-32, No.8, 1985.
- (10) IEEE Trans. Consumer Electronics, IEEE Trans. Electron Device, Vol.CE-29, No.3, Aug. 1983.

11 | むすび

ビデオカメラの系統化について、ビデオカメラに特有な技術を中心に記述してきた。ビデオカメラの技術成果は多くの研究者、技術者によるたゆまぬ想像力の発揮、研究開発への意欲と努力の結晶である。特に、その中の主要技術が日本の研究者、技術者によって、築き上げられ、製品化されて行ったことは特筆に値する。ビデオカメラが大きな産業に成長し、全世界の人々に広く愛用されてきたことは研究者、技術者冥利に尽きるものがある。その一端を担うことができ、本報告書の執筆ができたことは大変ありがたいことである。

ビデオカメラを構成する技術は多岐にわたり、ここに記載した技術の他にも、カメラ用ファインダー、カメラ用LSI、ビデオカメラの機能を制御するマイコン技術、関連するソフト技術、筐体などの機構技術、高速で小型に回路基板に部品を実装する高密度実装、量産技術の中心となる測定・評価や高信頼性技術などがある。これらの技術は家電製品に共通した技術でもあり、今回はページ数の制約もあって、割愛せざるを得なかった。これらについては別の切り口で調査研究が行われる際に、記載して頂けることを期待したい。

忘れてならないのはこれらの背景には学会や学会を通して、研究者・技術者が連携し、共通の目標に向かって歩んできたことが挙げられよう。ビデオカメラ技術が急速に進歩を遂げた70年後半から80年代は多くの人材がビデオカメラの分野に集まってきた。ビデオカメラは既に、撮像管を使ってよい画像が得られていた。そこに、新しいCCDを用いてビデオカメラを作り上げるのは容易なことではなかった。技術レベルを上げるため、発想が浮かぶと社外に発表の場を求め、討論して技術向上を果たしてきた。発表の場をテレビジョン学会(現在の映像情報メディア学会)の研究会、論文誌が提供し、技術の進歩のために意見交換を行った。各メーカーのベテランは親身になって若い技術者を指導し、メーカーの垣根を越えた連携が築かれていった。当時は電子装置研究会、方式回路研究会の会場は人があふれ、研究会終了後も居酒屋に繰り出して、熱心な討議が行われた。

限られたスペースで技術の詳細を記す余裕がなかった。そこで、文献はできる限り、著者全員を記載して、検索しやすいように、詳細に記載し、充実したものとした。これらを活用して頂きたい。

謝 辞

本報告書をまとめるにあたって多くの関係者のご協力を頂いた。特に下記の方々には面談の上、貴重なご意見、資料等の提供を頂いた。深く感謝の意を表する。

望月 徹氏 (映像情報メディア学会 事務局長)
沖宗恵子氏 (映像情報メディア学会 主任)
菅野智子氏 (経済産業省 特許庁)
寺西信一氏 (パナソニック株式会社 イメージセンサ技術統括)
油 大作氏 (ユーカリ光学研究所 取締役社長)
鈴木雅夫氏 (キャノン株式会社)
芝崎清茂氏 (株式会社ニコン)
名雲文男氏 (元ソニー株式会社)
佐藤和弘氏 (元株式会社日立製作所)
黒田隆男氏 (元パナソニック株式会社)
関根弘一氏 (元株式会社東芝)
山田哲生氏 (東京工芸大学)
大井一成氏 (富士ゼロックス株式会社)
浅田靖之氏 (元株式会社東芝)
川崎 満氏 (元日本電気株式会社)

また下記の方々からはビデオカメラの機種を調べて頂くなど表6.5の基になる資料提供にご尽力頂いた。深く感謝する。

春木俊宣氏 (元三洋電機株式会社)
豊田秀樹氏 (元三洋電機株式会社)
渡辺恭志氏 (元シャープ株式会社)
草野靖夫氏 (元シャープ株式会社)
峰間育美氏 (元日本ビクター株式会社)
田中大通氏 (元パナソニック株式会社)
永井 正氏 (パナソニック株式会社)
藤井俊哉氏 (パナソニック株式会社)
ソニー株式会社広報センター

さらに、所在確認で下記の方々にお世話になった。感謝の意を表する。

茨城県立歴史館 大里正樹氏、野口陽子氏
副館長 池田幾夫氏、資料学芸部長 大津忠男氏、
東芝科学館 金 甫榮氏
シャープミュージアム 藤原百合子氏
パナソニック株式会社 AVC ネットワーク社 宮井勇氏
VHS 記念館 株式会社JVC ケンウッド 日野久男氏
平岡大幸氏、豊野雅晴氏 田辺一則氏

【略語集】

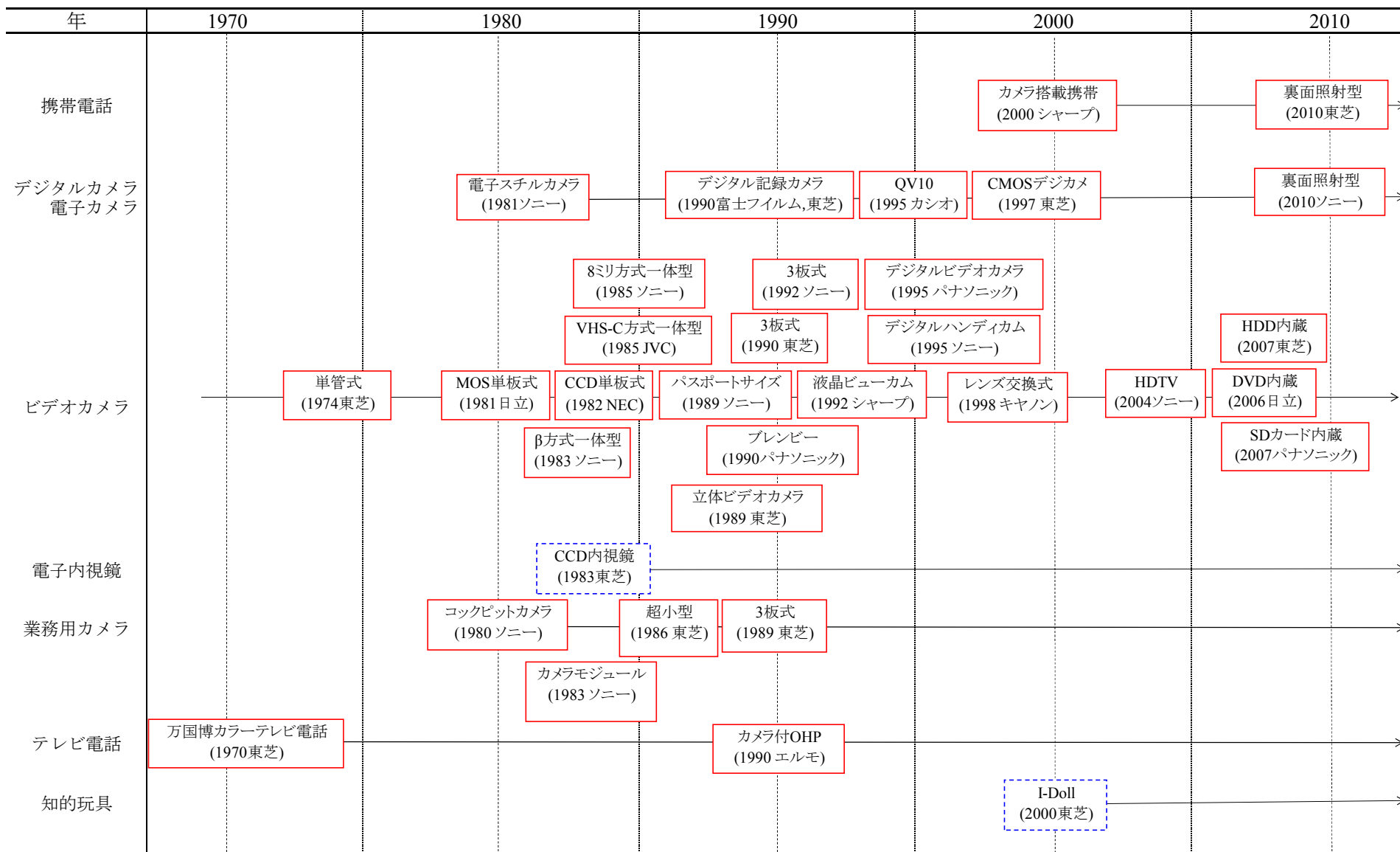
- ACPI 方式：Adaptive Color Plane Interpolation デモザイキングの一方式
- ADC：Analog Digital Converter AD 変換回路
- AE：Auto Exposure 自動光量調節 AI：Auto Iris 自動絞りとともいわれる。
- AF：Auto Focus 自動焦点
- AFE：Analog Front End CCD の前処理回路
- AGC：Automatic Gain Control 自動利得調整
- AMI：Amplified MOS Intelligent Imager 増幅型 MOS イメージセンサ
- APD：Avalanche Photodiode Device
- AS：Auto Stabilization 自動安定装置、手振れ補正
- AWB：Auto White Balance 自動白調整
- BASIS：Base Stored Image Sensor
- Bayer 方式：Bayer によって発明された色フィルタの配列。原色方式
- BBD：Bucket Brigade Device バケツリレー素子
- CCD：Charge Coupled Device 電荷結合素子
- CDS：Correlated Double Sampling Circuits 相関二重サブリング回路
- CFA：Color Filter Array 色フィルタアレイ
- CHBI：Constant Hue Based Interpolation デモザイキングの一方式
- CID：Charge Injection Device 電荷注入素子
- CTD：Charge Transfer Device 電荷転送素子
- CMD：Charge Modulation Device
- CMOS イメージセンサ：Complementary Metal Oxide Semiconductor イメージセンサ、相補性金属酸化膜半導体イメージセンサ
- CPD：Charge Priming Device 電荷呼び水転送素子
- DSC：Digital Still Camera
- CSD：Charge Sweep Device 電荷掃引素子
- DSP：Digital Signal Processor デジタル信号処理
- DV 方式：Digital Video System デジタル VTR の方式
- DVD：Digital Versatile Disc, Digital Video Disc
- EFP カメラ：Electronic Field Production Camera
- ENG カメラ：Electronic News Gathering Camera
- FD：Floating Diffusion フローティングディフュージョン
- FGA：Floating Gate Amplifier
- FF-CCD：Full Frame CCD フルフレーム CCD
- FIT-CCD：Frame Interline Transfer CCD フレームインターライン転送 CCD
- FT-CCD：Frame Transfer CCD フレーム転送 CCD
- HCCD：Horizontal Transfer CCD 水平転送 CCD
- HDD：Hard Disc Drive
- HDTV：High Definition Television 高画質テレビジョン
- I-Doll：Intelligent Doll 知的人形
- IEEE：The Institute of Electrical and Electronics Engineers 30 万人の会員を有する世界最大の電気電子学会
- IT-CCD：Interline Transfer CCD インターライン転送 CCD IL-CCD と呼ぶこともある
- ITO：ネサコーティング
- LPF：Low Pass Filter 低域通過濾波器
- LSI：Large Scale Integrated Circuits 大規模集積回路
- NL-means：Non-Local Means 画像処理の一方式
- PD：Photo Diode フォトダイオード
- PbO：酸化鉛
- Sb₂S₃：3 硫化アンチモン
- SD：Secure Digital Memory
- SIT：Static Induction Transistor
- S/N：Signal to Noise Ratio SN 比
- TCL：Through the Camera Lens 自動フォーカスの一方式
- TSL：Transversal Signal Line 水平信号線
- VCCD：Vertical Transfer CCD 垂直転送 CCD
- VHS：Video Home System
- VOD 構造：Vertical Overflow Drain 構造 縦型オーバーフローレイン構造
- VTR：Video Tape Recorder

正誤表(第18集2編 ビデオカメラ技術の系統化)

年月日	箇所	誤	正
2013年5月31日	p.125 左欄 下から4行目訂正	130万画素	33万画素
	p.200 表10.2 2行目追記	デジタル記録カメラ	デジタル記録カメラ (1990富士フィルム、東芝)
	2行目追記	QV10	QV10 (1995 カシオ)
	4行目追記	3板式	3板式 (1990 東芝)
	5行目追記	液晶ビューカム	液晶ビューカム (1992 シャープ)
	9行目追記	コックピットカメラ	コックピットカメラ (1980 ソニー)

(次ページに訂正後の表10.2の全体を表示してあります。)

表10.2 世界初・日本初のビデオカメラ及び応用製品



□ 世界 □ 日本