

5. 撮像素子の応用

正会員 藤田 欣裕[†]

1. ま え が き

光学像を電気信号に変える機能をもつ撮像素子は CCD (Charge Coupled Device) を中心として、半導体技術の進展とともに発展し、多分野へ応用されてきた。CCD 開発当初はホームビデオカメラがその主たる応用であった。しかし最近では、CCD カメラなどがメモリー、コンピュータとのマッチングが良いことから、OA 機器を中心とした応用分野が着実に広がっている。固体撮像素子は、構造の面からリニアセンサおよびエリアセンサに分けられる。両者の基本的な光電変換機能に大きな差はないが、応用する機器、分野は大きく異なる。

本文では、両者の素子の種類やその応用例をまとめ、放送用途を中心にその概要を述べる。とくに CCD が応用の多くを占めるなかで、増幅型固体撮像素子 AMI (Amplified MOS Imager) を応用した 6 倍速高速度カメラシステムを、ひとつの特徴的な応用例として紹介する。また、ホームビデオカメラへの応用については別章にて紹介されており、割愛した。

2. 撮像素子と応用分野

撮像素子の応用分野は広く、その種類も画素数 2 万程度を持つドアカメラ用センサから、画素数 200 万を有するハイビジョンカメラ用センサまで、多岐にわたっている。リニアセンサは主に、静止画を撮像する目的で、ファクシミリやコピー機、バーコードリーダ、ワープロ入力用スキャナなどに応用されている。

リニアセンサは、構造上の差から、さらに縮小光学系を必要とするタイプのセンサと、光学系を必要としない密着光学センサに大別される。密着光学系センサは、取り込む光学像と同じ幅を持つセンサが必要であ

るが光学系が不要な分、小型化できる特長がある。リニアセンサの画素数は、現在、最高 10,000 画素¹⁾まで開発されている。

一方のエリアセンサは主に、動画像を扱ういわゆるビデオカメラに使用されている。エリアセンサの画素数は、少ないものでテレビ電話用センサの 2 万画素程度から特殊スチル画像用 1600 万画素²⁾までにわたり、素子サイズについても、1/8 インチから 5 cm × 5 cm 程度の天体観測用の大きなものまでさまざまで、独自の応用分野を持っている。

これらのセンサの画素数やサイズによる応用分野および機器の例をまとめると、図 1 のように示される。

3. 放送分野への応用

図 1 のなかで、放送分野は高画質が要求される応用分野である。各々の撮像性能などは最高クラスのものを使用される場合が多いため、放送用機材の応用例により撮像素子の可能性や性能限界などの開発動向を類推することができる。

3.1 超小型カメラ

CCD が放送分野に最も早く応用された機種といえる。CCD は性能的にはまだ不充分であったが、撮像管カメラに比べて小型である利点が着目され、小型カメラとして応用された。とくに CCD の撮像機能を最小限にして小型化したカメラでは、カメラヘッドを親指ほどの大きさに作ることが可能で、従来設置できなかったカメラポジションから撮像できるようになった³⁾⁴⁾。スキー板の先端に付けたり、狭い管や壺などの中を撮像したり、スポーツ中継、スタジオ番組などに、幅広く利用されている。安価なことから多くのカメラが使用されるケースも多くなっている。

表 1 に最近の超小型カメラの仕様を示す。しかし、超小型カメラは 30 万画素から 40 万画素の CCD を使用した単板方式カメラが多く、解像度や色再現などが放送用標準カメラと比較すると不充分である。また、システマ的にもカメラのアイリスリモードや同期結合

[†] NHK 放送技術研究所 画像研究部
“Recent Applications of Imaging Devices” by Yoshihiro Fujita (NHK Science and Technical Research Laboratories, Tokyo)

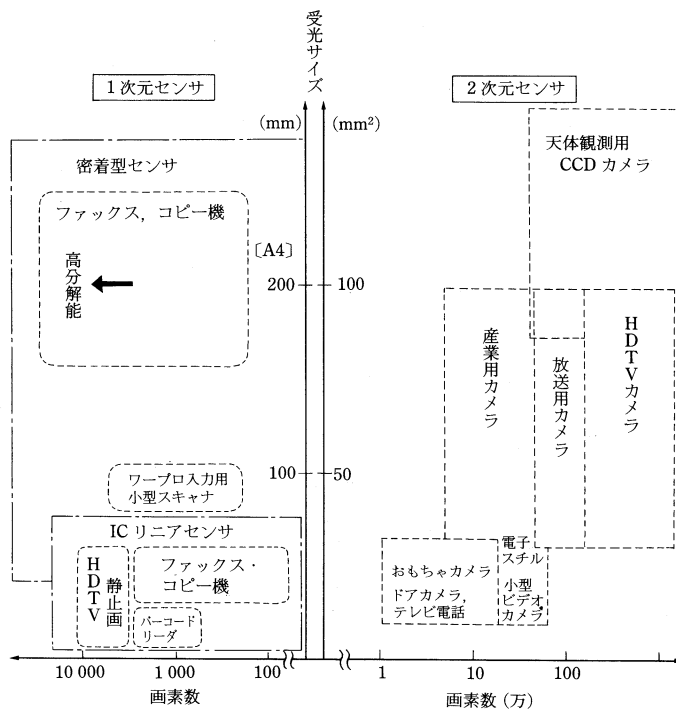


図1 センサの画素数、サイズと応用分野

表 1 超小型カメラの諸元の一例

CCD	画素数 42 万 768×494
解像度	1/2 インチ 水平 460 TV 本以上 垂直 350 TV 本
最低被写体照度	10 lx
カメラヘッド	寸法 17.0×38.9 mm 重さ 16 g

表 2 ENG カメラの例

撮像素子	2/3 インチ IL CCD 3 板式
感 度	2000 lx, F 5.6
解像度	670 TV 本以上(カメラ出力 Y 信号)
S/N	ランダムノイズ -62 dB(rms)以下
記録方式	ベータカム方式 20 分
簡易試写機能	あり
ヘッド部重量	6.7 kg
消費電力	21 W

の機能のないカメラが多く、カメラ自体は小型ながら、後処理装置としてフレームシンクロナイザやカラーコレクタなどを必要とし、カメラの後処理が複雑になるなどの問題もある。

3.2 ENG(Electric News Gathering)カメラ

ニュース取材用のカメラには、CCDのメンテナンスフリー(長寿命、優れた耐環境性)の特長が生かされてきた。画質についてはスミアなどの問題点があったもののメリットの方が大きく、放送現場に普及していた。現在ではスミアも実用上ほとんど問題はなくな

っている。現在使用されている ENG カメラの例を表 2 に示す。

これらのカメラは、軽量化のため VTR とカメラの一体化によって共通な回路や機構部を省略している。さらに、VTR 部はヘッドドラムの直径を 3/4 に小型化し、総重量を 6.8 kg まで軽量化している。

3.3 スタジオ用 CCD カメラ

放送用として画質が最も要求されるスタジオカメラにおいても、CCD が使用され始めている。

写真 1 は、撮像管標準カメラに匹敵する画質を目指して開発された 40 万画素の FIT-CCD を使用した 3 板式のスタジオ用カメラである。光学ローパスフィルタの最適化を行い、CCD 特有の折り返し信号の少な

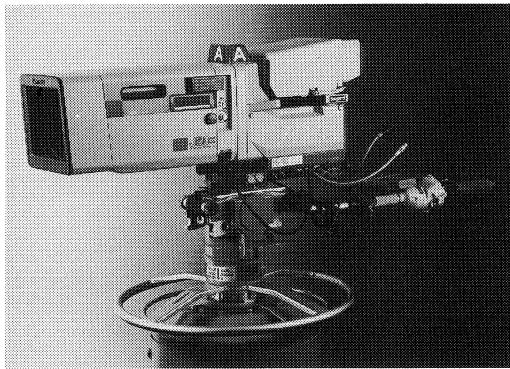


写真1 HS-100 カメラの外観

い画質を得ている⁹⁾。また、3輪郭補償により自然な解像感などの高画質を実現している。

3.4 高感度カメラ

ここでは、CCDを応用した放送用の高感度カメラについて触れる。標準的な放送用CCDカメラの最低被写体照度は約30 lx、そのときのS/Nは40 dB程度である。したがって、10 lx以下の照度においては高感度カメラが必要となる。

近接型I.I(Image Intensifier)と通常のCCDをファイバガラスによって結合した素子が試作開発され⁶⁾、これを3枚使用した高感度なハンディカメラが安藤らにより報告されている。このカメラはI.Iやファイバガラスの使用により解像度や残像などの画質劣化を少なくするよう配慮して設計されており、1 lx程度の明るさでも撮像が可能である。カメラ部は、4 kgと軽量で消費電力も13 Wと少なくなっており、VTRと組合せた運用が可能で、機動性にも優れている。

もうひとつの例として、近接型I.Iよりもさらに高感度なMCP(Micro Channel Plate)を内蔵したカメラが、実用化されている⁷⁾。従来、高感度カメラとして使用されていたSIT管(Silicon Intensifier Target)を使ったカメラよりもさらに高感度で、0.1 lxの照度でカラー撮像が可能である。これらの高感度カメラは、すでに夜間でのニュース取材、天体観測、夜間の動物の生態など多くの番組で使用されている。

4. 増幅型固体素子を利用した 6倍速高速度カメラ⁸⁾

4.1 固体撮像素子を用いた高速度カメラ

固体撮像素子は小型で長寿命、図形歪みがない、高感度、残像・焼付きが少ないなど、長所は数多い。そのなかで、走査に柔軟性があることも見逃せない。撮像管ではわずかしい偏向周波数の変更が、クロック周

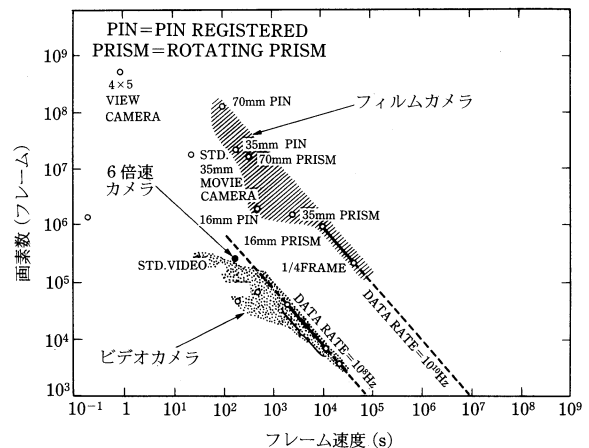


図2 各種高速度カメラのフレーム速度対フレーム当たりの画素数⁹⁾

波数を変えることにより可能である。また、操作性の良い電子シャッタを利用できることから、固体撮像素子は開発の当初から高速度走査カメラへの応用が考えられてきた。高速度カメラは非常に早い動きを解析するためのカメラで、なかには1秒間に数万コマまで撮影可能なものがある。

用途としては、爆発現象、飛行運動、分子生物学、流体の解析などをはじめ、工場ラインの故障診断の解析にも利用されている。高速度カメラの多くはフィルムカメラであるが、最近では現像処理が不要なメリットのあるビデオ化も多くなされてきている。

各種の高速度カメラを図2に示す⁹⁾。縦軸は画素数すなわち画質を、横軸は撮影スピードを表している。依然、フィルムカメラが、性能としてはビデオカメラよりスピードの点ではかたに上であるが、時間的にも経済的にもメリットのあるビデオカメラも要望されている。放送番組においても、スポーツ、科学番組などで、高速度カメラのニーズは大きい。

そこで筆者らは、放送用途として1フレームの画素数を25万画素とし、解像度を低下させずにコマ数を上げた高速度カメラの実現を目指した⁸⁾。固体撮像素子の場合は駆動周波数の上限があるため、高速度走査には、信号出力線を並列構造としたり、画面の一部分だけを読み出し、解像度を犠牲にしてコマ数を多くするなどの工夫が必要となる。

これを実現するには、電荷を転送するCCDよりもアルミニウム配線にて信号線を形成し、並列読み出し構造が容易なMOS型撮像素子が有利である。高速度カメラ用MOS型撮像素子がLeeらにより開発されている¹⁰⁾。アルミニウム線を複数配置可能で、並列読み

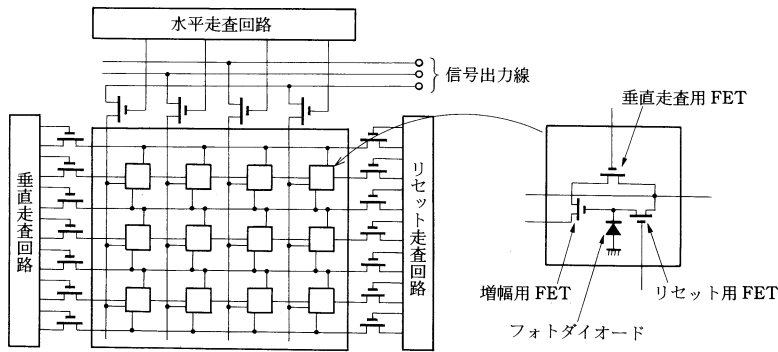


図3 撮像素子 AMI の構造

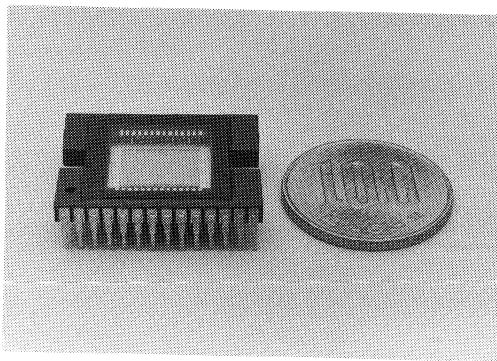


写真2 撮像素子 AMI の外観

しが容易に構成できる特長を持っている。32 並列構造により、また画面の一部を読み出すことにより、毎秒 2000 フレームの読み出しが可能となっている。また CCD でも 64 並列構造で、画面の一部については 2000 フレームの読み出しが可能な CCD も Wadsworth らから発表されている¹¹⁾。いずれもかなり高速な被写体の撮像が目的であり、工業用の白黒カメラとして実用化されている。

4.2 6 倍速カメラ用撮像素子 (AMI)¹²⁾

標準テレビ方式のフレーム周波数の 6 倍の周波数を有する 6 倍速高速度カメラ用の撮像素子として、2/3 インチの増幅型固体撮像素子 AMI が開発された。撮像素子 AMI の外観を写真 2 に、高速度カメラ用に新たに開発した撮像素子 AMI の構造を図 3 に示す。AMI は画素毎に増幅器を持ち、直接アルミニウム線の信号線により読み出しができ、また、複数配置可能で並列読み出しが容易に構成できる特長をもつ。CCD を用いて並列構造とするには転送路を複数用意するか、あるいは素子を面分割し読み出す方法がある。前者では 2 並列は容易であるが、3 以上では転送路を電荷が横

切るため構造上複雑となる。後者では面分割による特性差のばらつきがきびしく、特にカラーの撮像装置としては適さない。したがって、図 3 のように AMI を 3 線出力構造とし、面分割方式を避けた。また、素子を駆動するクロック周波数は標準方式で駆動する場合の 2 倍の 19 MHz 程度とした。このため、高集積化や比較的低い消費電力での駆動が可能となった。この周波数であれば、出力信号をデジタル処理する場合、10 ビットの高性能な A/D 変換器が利用できる。固定パターン減算後の階調特性に優れる長所もある¹³⁾。開発した AMI は、電荷のリセットが $1H$ 期間で充分とれるため、高速動作においても残像がない特長も有している。さらに、図 3 のようにリセットのためのシフトレジスタを別に設け、高速ビデオカメラとして初めて素子内蔵の電子シャッター動作を実現することができた。

4.3 6 倍速カメラシステム

図 4(a) に 6 倍速の高速度カメラシステムの構成を、図 4(b) に撮像例を示す。このシステムは、高速度で被写体を撮像してその出力信号をデジタル的に処理するカメラ部、高速度の映像信号を並列の NTSC 信号に変換するための方式変換部、および、半導体メモリーを用いた映像記録部のあわせて 3 つの部分から成り立っている。カメラ部から出力された高速デジタル信号は、高速バッファメモリーにより速度変換され、6 系統の NTSC 信号に変換される。各々の NTSC 信号は、6 入力機能を持つ標準方式用の大容量半導体メモリーに入力し記録される。記録された映像信号は、付属のコントローラの制御により順次 NTSC 信号として再生される。

5. 電子スチルカメラへの応用

電子スチルカメラが 1981 年に発表された当初、写

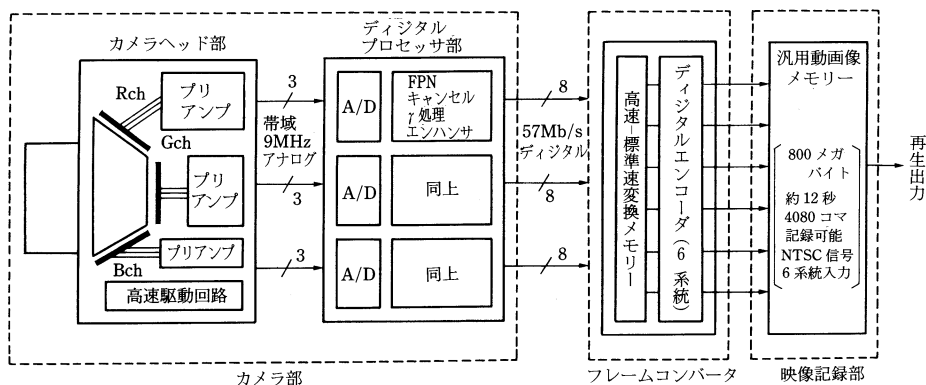


図4(a) 6倍速高速度カメラシステムの構成

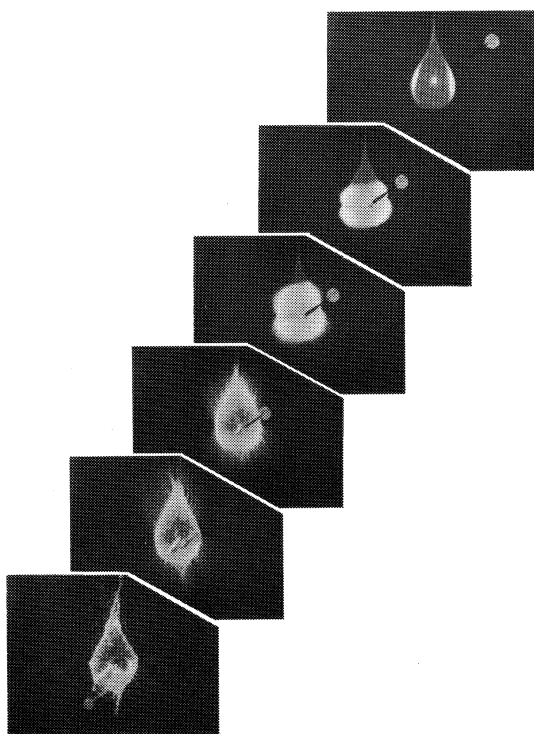


図4(b) 6倍速高速度カメラシステムによる撮像例
(ダーツで水風船を割ったところ)

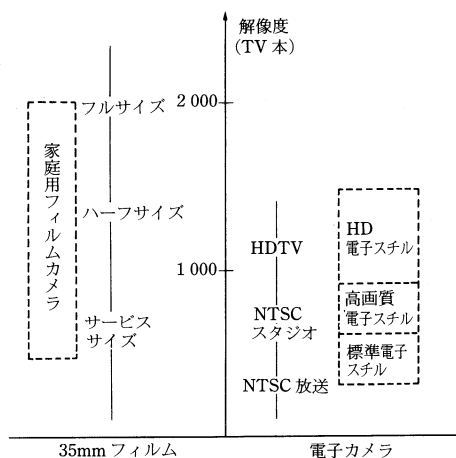


図5 写真と電子スチルカメラの解像度比較

表3 高解像度電子スチルカメラの例

撮像素子	2/3インチ 80万画素 IL-CCD 766(H)×980(V)
アスペクト比	4:3
色分解光学系	ダイクロイックプリズム
S/N	55dB以上
解像度	水平 800 TV本 垂直 900 TV本

真の原材料となる銀塩資源が有限であることから、電子スチルカメラは写真にかわるものとして注目された。しかし、画質が若干良くなかったことや周辺の機器が未発達段階であったため、大きな普及には至らなかった。最近になって商品化の例も多くなり、また伝送機器やパソコン、ワープロなども普及し、写真の代用ではなく、電子スチルカメラの即時性、伝送性の長所から、新しいニーズを生み出している。また、電子スチルカメラのデジタル化¹⁴⁾が進むとともに、画像処理の入力用、OA機器のひとつとして注目され

ている。

電子スチルカメラの開発傾向としては、高画質化およびデジタル化があげられる。電子スチルカメラは動画に比べてS/Nの劣化が目立ち、銀塩フィルムと比較して見ると解像度がいまひとつ及ばない。図5は写真と電子スチルカメラの解像度を比較したものである。銀塩フィルムの解像度は高く、35mmのフィルムでも2000TV本に及ぶ。広く使われているサービスサイズのプリントでも600TV本程度の解像度を有する。したがって、高画質な解像度を有するカメラの

開発が多く見られる。

記録媒体についても電子スチルカメラ懇談会によりハイバンドの規格が制定され、システムとして高画質化が進んでいる。電子スチルカメラの最近の開発例の主な諸を表3に示す。80万画素3板式の高画質スチルカメラで解像度800TV本を有する。また他の例として、60万画素の2板式の試作、40万画素2板式の製品開発がある。

一方のデジタル化の傾向はメモリー技術の進歩とともに進展し、カメラの低消費電力化、小型化も達成されてきている。デジタル化のメリットとしては、半導体記録による高信頼、ダビング劣化がない、コンピュータとのマッチングが良いなど、数多くあげられる。しかしながら、記録媒体として有望なメモリーカードのフォーマットの規格化、データ圧縮方式やIC化および、当面メモリーの低価格化など、課題も多い。

6. リニアセンサの応用

リニアセンサは、ファクシミリや複写機用のセンサとして多く用いられる。密着光学系センサは光学系が不要な分、小型化に向いているが、センサとしては大型となり価格高をまねき、また、特別な製造技術が必要となる。

一方の光学系を必要とするセンサとしては、エリアセンサと共通するCCDが多く使われている。特に最近では、従来の照明源に代えLEDを使った低消費電力照明が必要とされるため、センサの高感度化の要求が強い。また、ファクシミリなどでは大きな原稿をできるだけ速いスピードで伝送するニーズがあり、センサの高速化が求められている。さらに、クロックドライバ内蔵のセンサや信号処理機能の一部を含んだセンサが開発されている。また、なかにはダイナミックレンジの大きいShilgらが開発したTDI(Time Delay and Integration)センサ¹⁵⁾などユニークなものが多い。このセンサは、垂直方向にも加算するためCCDセルを数10段設けてあり、水平1ラインの信号電荷は原稿の走査方向に同期して垂直転送され、垂直段数分だけ蓄積時間を長くとれる。したがって出力信号は大きくなる。

リニアセンサでは構造上の制約がエリアセンサと比べると少ないため、いろいろな機能をIC上に組込むことが容易である。また、リニアセンサで実現可能なこれらの機能は将来、エリアセンサにも応用可能であり、期待される。

7. む す び

撮像素子の応用についてリニアセンサ、エリアセンサを中心に応用事例の紹介や技術開発の傾向についてまとめを行った。各々の応用分野で撮像素子の性能を最大限、引き出すように努力が払われている。しかしどの分野においても撮像素子の感度、解像度、高速操作性などの基本性能の向上が求められている。今後は、帯域圧縮技術を含め、装置全体での高感度化、広帯域化の検討が必要となってくるものと思われる。センサ自体でも加算機能によりS/Nを向上させるものなど、すでに基礎検討が始められているが、さらなる高機能化が期待される。

(1991年5月14日受付)

【参 考 文 献】

- 1) 松下電子工業製品カタログ, MN 3665
- 2) J. R. Janesick, et al.: "New Advancements in Charge-Coupled Device Technology: subelectron noise and 4096 × 4096 pixel CCDs", SPIE Convention Proceedings, Vol. 1242, pp. 217-222 (Feb. 1990)
- 3) 田沼ほか: "超小型 CCD カラーカメラ", テレビ誌, **41**, 11, pp. 1026-1032 (Nov. 1987)
- 4) 藤田ほか: "狭暗部撮影用超小型カラーカメラ", NHK 技研月報, **30**, 4, pp. 126-132 (Apr. 1987)
- 5) 西田ほか: "三板式光学ローパスフィルタの検討", テレビ全大, 3-8 (1988)
- 6) 藤田ほか: "超高感度ハンディカメラ用撮像素子とその構成", テレビ全大, 2-1 (1987)
- 7) 安藤, 藤田ほか: "高感度ハンディカラーカメラ", テレビ学技報, **113**, 26, pp. 31-36, OPT 89-6 (May 1988)
- 8) Y. Fujita, et al.: "A New High-Speed Camera System for Broadcast Use", SMPTE J., pp. 820-823 (Oct. 1990)
- 9) W. C. Sweatt, et al.: "Comparison of mechanical and Electronic High-speed Recording systems", SPIE High-speed Photography and Photonics (1981)
- 10) T. H. Lee, et al.: "A Novel Solid-State Image Sensor for Image Recording at 2000 frames per second", IEDM Tech. Dig. (1981)
- 11) M. Wadsworth, et al.: "A 640 Megapixel/sec 512 × 512 Interline Transfer Virtual Phase CCD", IEDM Tech. Dig. (1986)
- 12) 安藤ほか: "増幅型撮像素子AMI", テレビ誌, **41**, 11, pp. 95-99 (Nov. 1987)
- 13) 藤田ほか: "増幅型固体撮像素子AMIの固定パターン除去方式", テレビ全大, 3-5 (1988)
- 14) 大地ほか: "カードカメラ FUJIX DS-1P", テレビ学技報, **89**, 30 (1989)
- 15) E. Shilg: "A TDI Charge Coupled Imaging Device for Page Scanning", IEEE J. Solid State Circuit, **SC-21**, pp. 182-186 (Feb. 1986)



ふじた よしひろ
藤田 欣裕 昭和51年、東京大学工学部電気工学科卒業。同年、NHKに入局。大阪放送局を経て、56年より、同放送技術研究所に勤務し、現在に至る。固体撮像素子の評価、固体カメラの研究開発に従事。正会員。