CCD のアナログ信号処理回路への応用

東京芝浦電気株式会社総合研究所家電研究所 鍋 島 大 樹

近年、幅広い応用が期待される CCD (Charge Coupled Devices) が脚光を浴びている。本稿では、CCD をアナログ信号処理に应用する場合に必要な、CCD の基本動作、回路構成、特性について簡単に解説した後、代表的な応用例について述べる。

1. ま え が き

CCD は、発表¹⁾以来多くの注目を浴び、また大きな期待がかけられている。その理由として、大別すると2つほどある。

ひとつは動作が簡単であるのに多くの機能を有することである。すなわち、CCD の直接の動作は電荷を蓄積し、転送することであるが、外部電圧によって制御でき、しかも電荷を電気信号の形で、あるいは光信号の形で印加できることである。このため撮像装置、遮延線、記憶装置など多くの応用が考えられている。

CCD の他の特徴は、それが本質的には MOS 集積回路であるので、高安定性、高集積度、低消費電力などである。したがって、CCD の多機能性をより有用な形で具体化することが可能になる。

このようなわけで、CCD の開発は急ピッチで進められている。

まず、CCD の撮像分野での進歩はめざましく、固体撮像における技術的突破口となってより、今日では ITV なみの解像度をもつものが開発されている²⁾。

また、デジタルメモリーとしては大容量メモリーに有利とみて各社で開発が行われている。

一方、本題のアナログ回路への応用は、遅延線、フィルター、アナログメモリーなどについて着実に研究が行われている。

ここでは、まず CCD をアナログ回路に应用するとき必要な基本動作、基本特性について、システム側に視点をおいて簡単に解説した後、代表的なアナログ信号処理への応用例について述べる。

図 1 基本動作回路

2. 基 本 動 作

2.1 動作原理

図 1 は CCD 駆動回路の基本的な一例である。CCD は n 型基板上に酸化膜を形成し、その上に3つの電極を一組とした電極群を構成し、各対応した電極は共通接続した3相駆動方式のものである。

転送電極に図 1 中に示す 120° ずつ位相のずれた台形波電圧を加えると、時刻 a では、 ϕ_1 電極のみ負電圧が印加されるので、 ϕ_1 電極下に電位井戸ができ、電荷が蓄積される。時刻 b では、 ϕ_1 電極下の電位井戸は浅くなり、 ϕ_2 電極下の電位井戸の方が深くなるので電荷は ϕ_2 電極下に流れ込む。時刻 c では、電位井戸は ϕ_2 電極下のみとなり、電荷の 1 転送が終了する。

以上の動作が繰り返されて、電荷は入力部から出力部に転送されていく。

2.2 入出力構成

入力部はゲート電極と pn 接合からなる。信号を印加する簡単な方法として、図 1 のように pn 接合を逆バイアスして信号を加え、ゲート電極に適当な電圧を印加す

"Applications of Charge Coupled Device to Analog Signal Processing" by Daiki Nabeshima (Research and Development Center, Tokyo Shibaura Electric Co., Ltd., Kawasaki)

るものがある。しかしながら、この方法では入力信号に完全に比例した電荷を得ることがむずかしい。

これに対し、電位平衡法とよばれる方法がある³⁾。すなわち、ゲート電極に信号を印加し、 pn 接合は通常、深い逆バイアスをかけておく。そして、サンプル時に短いパルスを印加すると、ゲート電極に隣接した転送電極下の電位井戸は、一度、電荷で満たされるが、ゲートの電位より越えた分は pn 接合に戻るの、信号に比例した電荷量を取り込める。

出力部も図 1 のように入力部と同じようにすると、出力は負荷抵抗の両端電位差として検出される。

出力部の構成例として、他に pn 接合に転送された電荷をたくわえ、バッファ増幅器で電圧出力として検出する一方、 pn 接合に接続された MOS FET で、これを 1 クロックごとにリセットしてやるものがある。

この方法は、大きな出力信号が得られ、オンチップで構成できるのでよく用いられる。

2.3 転送損失

CCD を評価するうえで、大事な特性は転送損失である。これは、転送前の電荷量に対し、1 回の転送で転送されずに残った電荷の割合を表わしたものである。

この転送損失は、電荷量が大きいと小さくなる。したがって信号電荷とは別に一定のバイアス電荷を加えることにより特性は改善される。このバイアス電荷は一般には、電位井戸容量の 10~50% にとる。

転送損失劣化の要因として、トラップに電荷が捕えられる、あるいは駆動周波数が高くなり転送時間が短くなるなどがあげられる。

転送損失は、素子の構造、駆動方法によって異なるが、現在得られている転送損失の一例をあげると、表面チャンネル CCD (SCCD) では駆動周波数 1 MHz で、埋め込みチャンネル CCD (BCCD) では 100 MHz で、 5×10^{-5} である⁴⁾⁵⁾。

3. アナログ基本特性

3.1 周波数特性

CCD は入力信号を駆動周波数 f_0 でサンプルして転送するので、利用できる周波数範囲はナイキストの定理より $f_0/2$ となる。

CCD の周波数特性は転送損失と密接な関係にあり、次式で示される⁶⁾。

$$R(f) = \exp\{n\epsilon(1 - \cos(2\pi f/f_0))\} \quad (1)$$

ただし n は転送回数である。

$n\epsilon$ をパラメーターとして(1)式を表わしたのが図 2 である。

周波数特性は信号の処理方法によっても劣化する。た

図 2 転送損失と周波数特性の関係

えば、その出力をサンプルホールド回路に印加したとき、周波数特性劣化は次式で示される。

$$S(f) = \sin(\pi f/f_0)/(\pi f/f_0) \quad (2)$$

この場合、 $f = f_0/2$ での低下は約 4 dB である。

CCD の動作周波数範囲は、転送損失と後に述べる暗電流によって決まるが、一般には数十 kHz~数十 MHz である。

3.2 直線性

直線性に影響を及ぼすのは大部分、入出力部である。

図 1 に示す信号印加方法では直線性が悪く、報告された例では最大振幅の基本波に対して 20% 程度の高調波ひずみを起す⁷⁾。

これに対し、電位平衡法では、高調波ひずみを 40 dB 以下に押えることができる⁷⁾。

転送部において定常状態では、電荷の基板への流出はきわめて小さく、またチャンネル内のトラップに捕えられた電荷は適当時間後に放出されるので、低周波信号については、ひずみはほとんどないであろう。

出力部では、出力を電圧の形で取り出すとき、 pn 接合容量が印加電圧によって変化するので、あまり大きな出力信号の場合には直線性が劣化する。これに対し、出力を低入力インピーダンス回路で受け、電流として検出する方法があり、直線性は良くなる⁷⁾。

3.3 雑音

CCD の雑音は、①入力部雑音、②トラップ雑音、③暗電流雑音、④出力部雑音、⑤駆動パルスの飛び込み、に大別される。

①は基本的には電荷を印加するときの熱雑音であるが入力部の構成、駆動方法によって異なる。

②はトラップに電荷が捕獲され、放出されるとき統計的ゆらぎによるものであるが、隣接する電荷群のゆらぎは互いに相関があるため、低周波成分は小さくなる³⁾。

表 1 256 ビット CCD の雑音測定例 (rms 値)
(駆動周波数 1 MHz, 1 ビットの電極=200×30 μm²)

雑 音 源	SCCD の等価雑音(電子数)	BCCD の等価雑音(電子数)
入 力 雑 音	750	750
光注入雑音 (1 pC に対して)	2,800	2,800
トラップ雑音	700~1,000	<200
暗電流雑音	160	320
リセット雑音 ($C_o=0.7$ pF, オンチップ増幅器)	≒330	≒330
駆動パルス飛び込み雑音 (ランダム) (オフチップ増幅器)	440	440
駆動パルス飛び込み雑音 (ランダム) (オンチップ増幅器)	<30	
最大信号 ($V_p=14$ V)	40×10^6	20×10^6

③の暗電流雑音は暗電流が基板上で一様でなく、駆動パルスを間欠的に印加する場合には固定パターン雑音となる。しかし、たとえ一様であっても、その発生に統計的ゆらぎがありショット雑音となる。

④は 2 つに分けられ、ひとつは負荷抵抗、リセット用 MOS FET のチャンネル抵抗等による熱雑音であり、入力部雑音と同じものである。また他のひとつは増幅器の雑音である。

⑤は駆動パルスが浮遊容量を介して入出力部に飛び込むものである。通常のクロック雑音と称される周期性のものは帯域外であるので原則的には除去可能である。しかし、駆動パルスには一般に熱雑音を伴うので、これが信号電荷に影響し、雑音となる。

表 1 は 1 ビットの面積が $200 \times 30 \mu\text{m}^2$ の 3 相 256 ビットの CCD を 1 MHz で駆動したときの雑音の測定例である⁶⁾。

出力部では、増幅器をオンチップするかどうかで駆動パルスによる雑音は大きく変化することがわかる。

表 1 から、オンチップ増幅器を用い、その雑音を無視したとき、ダイナミックレンジは、SCCD では 91 dB、BCCD では 87 dB と概算される。

3.4 遅延特性

p 相の N ビット CCD を駆動周波数 f_0 で駆動したときの遅延時間は次式のようになる。

$$T_d = \frac{N}{f_0} \{1 + p\varepsilon \sin(2\pi f/f_0)/(2\pi f/f_0)\} \quad (3)$$

さて、遅延時間を大きくとろうとすると、信号の周波数帯域が広いときは駆動周波数を低くできないので、転送回数を増やさなければならないが、その限界は先の (1) 式の周波数特性によって決まる。

信号帯域が狭いときは駆動周波数を下げればよいが、このときは暗電流によって決まる。これは暗電流が時間とともに増加し、信号のダイナミックレンジを狭くするからである。

暗電流の発生原因として、基板界面上の再結合電流、構造上、プロセス上の欠陥があげられるが、いずれにしてもプロセス技術の影響が大きい。現在の技術では、暗電流の大きさは 30 nA/cm^2 程度⁹⁾であるので、電位井戸が飽和するまでの時間は数秒と計算されるが、実際の遅延時間としては、信号のダイナミックレンジを考えると数百 ms である。

3.5 消費電力

CCD では電荷 Q を転送するときのみ電力が消費される。駆動パルスの大きさを V_p としたとき、消費電力は概略次式で示される¹⁰⁾。

$$P_w = f_0 V_p Q n \quad (4)$$

いま、 $f_0=10 \text{ MHz}$, $V_p=10 \text{ V}$, $Q=0.25 \text{ pC}$, $n=200$ とすると $P_w=5 \text{ mW}$ となり、通常のアナログ IC にくらべるとかなり小さい。しかし実際には、駆動回路の消費電力、電極抵抗損が加わり、無視できない大きさになる。

4. アナログ信号処理への応用

CCD は機能素子にふさわしく、画像処理 (テレビジョン)、音声処理、通信、統計情報処理などの広い分野に適用され、遅延線、フィルター、アナログメモリー、マルチプレクサーとして用いられる。

以下、各機能に従って簡単に述べる。なお、CCD と同様な機能を持つものに BBD があるが、必要に応じてこの BBD を用いた例についても述べる。

4.1 遅延線としての応用

CCD 遅延線の特徴は、遅延時間を電子的に制御でき、しかも信号帯域に比し、比較的長くとれることである。また、小型かつ軽量にまとめることができる。ここでは映像用、音声用の応用について述べる。

(1) 構成

図 3 (a) のように CCD を連続した駆動周波数で駆動すれば遅延線となる。しかし、転送段数を多くすると転

図 3 遅延線の構成

図4 SPS 構成による遅延線

送損失のため周波数特性が劣化する。

図3(b)は、数個の CCD に位相が等しくずれた駆動パルスを印加し、おのおのの出力を加え合わせることで、より実質的に高い周波数で駆動できるようにしたもので、駆動周波数が高いことによる転送損失を避けることができる。

この考えをさらに進めると、図3(c)のように単なる蓄積部を並べた形になる。この方式では転送損失の問題はなくなるが、各蓄積部の暗電流のばらつきにより固定パターン雑音が現われる。

図4は入力レジスターに高速で信号を蓄積し、それを低速で縦方向へ1列ごとに転送し、出力レジスターでは、また高速で読出す、いわゆる Serial-Parallel-Serial (SPS) 構成で、転送損失の影響は小さい。

(2) 映像信号用遅延線

映像信号としては標準テレビ方式の信号が基準となるので、帯域は 4 MHz 必要である。また SN 比は少なくとも 40 dB 要求される。

これに対し、128 ビットの CCD を用いて NTSC 信号の遅延を行い、上記 SN 比の要求を満たし、カラーの再生画像での劣化はほとんどないことが報告されている¹¹⁾¹²⁾。

CCD 遅延線はテレビのゴースト消去にも用いられ、5 μs 程度の遅延をもつゴーストに対して映像段での消去実験が行われた¹³⁾¹⁴⁾。

VTR 等の可動機構をもつ記録・再生装置では、機械的変動が再生信号での時間軸変動となって現われる。すなわち、ジッターあるいはスキューひずみである。これらを補正するには、可変遅延線を用い、時間ひずみに応じて遅延時間を制御してやればよい。

可変遅延線として従来、集中定数 LC 回路、デジタル回路が用いられていたが、簡便な VTR 等には価格、

大きさの点で問題である。CCD 遅延線はこれに対し有望と見られ、実験が進められている¹⁵⁾¹⁶⁾。

テレビ受像機のコンバージェンスのずれは、信号の時間軸変動と解釈できることから CCD が利用できる¹⁷⁾。

固定の遅延線として、PAL 方式のテレビあるいは単管式のカラーカメラにおいて、色信号の分離処理に 1 H 遅延線が使われる。この場合、周波数帯域として 0.5 ~ 1 MHz でよいので、ビット数も 150 程度以下でよく、CCD あるいは BBD を用いて実験されている¹⁸⁾¹⁹⁾。

同じく CCD を 1 H 遅延線として使い、楕円フィルターを構成することにより、輝度信号が偽のカラー信号となるクロスカラーの除去が行える²⁰⁾。

(3) 音声信号用遅延線

帯域としては 20 kHz 程度で、遅延時間は数十 ~ 数百 ms 必要である。SN 比は画像用に比べ要求が厳しく、60 dB は必要である。しかしながら、この領域では現在のところ CCD はあまり使われておらず、もっぱら BBD が使われている。

用途としては、残響装置、ビブラート等の楽器音の装飾、複数スピーカーシステムの遅延時間補正、あるいはタップつき遅延線の出力を擬似ランダムにサンプルして伝送し、受信側で正しい順序で再生することにより秘密保持をはかるスクランブル通信がある。

また、テープレコーダーで再生速度を変えても、明瞭度をあまり落さず、速さだけ変化させることも行われている²¹⁾。さらに、楕円フィルターを構成し、音声の冗長度を利用した音声多重伝送の検討も行われている²²⁾。

4.2 フィルターへの応用

CCD フィルターの特徴は、設計の基本となるインパルス応答を任意に与えることができるので、設計が容易である。また、特性を電子的に制御できることであり、さらに価格低廉の可能性も見逃せない。

(1) 構成

フィルター類は、次に示すコンボリユーション演算を行うものである。入力信号を $f(t)$ 、 $h(t)$ をフィルターのインパルス応答 (重み係数) とすると、出力 $g(t)$ は、

$$g(t) = \int_0^{\infty} h(\tau) f(t - \tau) d\tau \sim \sum_{n=0}^N h(nT) f(t - nT) \quad (5)$$

図5 フィルターの原理構成

図 6 電極分割法によるフィルタ構成

となる。

この演算は図 5 のように T ごとの遅延信号にフィルタの重み係数 $h(nT)$ を乗算し、おのおのを加算してやればよい。CCD を用いたひとつの構成法は図 6 に示す電極分割法である²³⁾。

ひとつの電極にパルスを加えると、電極下に電位井戸ができ隣接した電極下の電位井戸から電荷 Q が流れ込むが、このとき同時にパルス源からも電極に同量の電荷が流れ込む。そこで電極を面積比 $(1+h_n)/2$, $(1-h_n)/2$ に分割すると、電極下に流入した電荷量はこの面積比に分けられる。したがって、パルス源を 2 つに分け、各パルス源の出力電流の差をとると $h_n \cdot Q$ なる乗算が得られる。

各ビットの電極も同様の構成にすることによりフィルタが構成される。このフィルタ構成は簡単であり、

図 7 MOS FET を用いて重みづけをするフィルタ構成

図 8 電荷スロッシング法によるフィルタ構成

製作も比較的容易であるが、フィルタ特性を可変にできない欠点がある。

図 7 は CCD の電極下に拡散層をもうけ、電荷量に比例した電圧を MOS FET で受け、他の MOS FET で電流に変換して、増幅器で加算するものである²⁴⁾。

電流変換用 FET を 3 極管領域で動作させると、ゲート電圧に比例した g_m が得られるので、ゲート電圧に応じた任意の重みづけができ、プログラム可能なフィルタができる。

図 8 は電荷スロッシング法と呼ばれるもので²⁵⁾、1 つのエレメントは 3 つの蓄積部に分けられており、共通線より信号電荷が蓄積部 B にサンプルされる。蓄積部 A, C の上には共通電極が配置されており、この電極に電圧を印加することにより、先の B の電荷を取り込むことができるが、B と A, C 間にはゲートがあり外部の 2 値参照信号により流れる方向が制御されるので、前に述べたと同様にして共通電極に出力が現われる。

この場合、重み係数は参照信号の 1, 0 列である。しかしながら、この構成を複数個並列に用い、おのおのの出力に 2 進の重みをつけて加算すれば、結果としてアナログ的な重みづけができる。

次に、このように構成されたフィルタの応用について述べる。

(2) マッチドフィルタ

白色雑音中の信号を最良の SN 比で検出するためには、信号と波形が等しく、時間軸の逆転した波形をインパルス応答とするフィルタに印加すればよいことが知られている。レーダー通信のように、信号の有無を検出するような通信には、このマッチドフィルタにより SN 比が改善される。

信号としては簡単な 2 値の PN 列 (+1, -1 の列) から、次式に示すように周波数が時間とともに変動する複雑なチャープ信号にいたるまで

図 9 500 ビット CCD を用いた帯域通過フィルター

種々あり、実験が行われている。

$$h(t) = \cos \mu t^2 \quad |t| < \frac{T}{2} \quad (6)$$

一例として 13 ビットのバーカーコード* PN 列を信号としたとき SN 比は約 11 dB 向上した報告がある²³⁾。

(3) 低域、帯域通過フィルター

希望の周波数特性をフーリエ変換してインパルス応答を得ることにより、任意のフィルターをつくることができる。図 9 は 500 ビットの CCD を用いた帯域通過フィルターの特性例で、帯域外除去比は -38 dB、駆動周波数 f_0 は 1 MHz であり、 $f_0/4$ のところが中心周波数である²⁶⁾。

低域フィルターについても 24 ビットの CCD を用いた構成例があり、-40 dB の帯域外除去比を得ている²⁷⁾。

(4) フーリエ変換

フーリエ変換は従来、デジタルコンピューターでもっぱら計算されていた。しかしチャープ Z 変換法を CCD で行うことにより、実時間でより高速な演算が可能になる。

フーリエ変換は次の離散値フーリエ変換 (DFT) で近似される。

$$G_n = \sum_{k=0}^{N-1} g_k e^{-j(2\pi kn/N)} \quad (7)$$

$2kn = k^2 + n^2 - (n-k)^2$ を利用すると、

図 10 CCD を用いた DFT の構成

* (-1, -1, -1, -1, -1, +1, +1, -1, -1, +1, -1, +1, -1) なる信号列

図 11 相関器の原理構成

図 12 CCD を用いての SSB 信号発生

$$G_n = e^{-j(\pi n^2/N)} \left[\sum_{k=0}^{N-1} e^{j\{\pi(n-k)^2/N\}} \cdot e^{-j(\pi k^2/N)} \cdot g_k \right] \quad (8)$$

ここで

$$e^{-j\pi x^2} = \cos \pi x^2 - j \sin \pi x^2 \quad (9)$$

であり、これは先に述べたチャープ信号である。

したがって、(7)式は複素演算を考慮して図 10 のように、チャープ信号と乗算された出力とチャープ信号とのコンボリューションをとる回路で表わされる。実際に 500 ビットの CCD を用いて実験されている²⁶⁾。

(5) その他

相関器は、入力信号 $f(t), e(t)$ に対し、数式的には次のような演算を行うものである。

$$A(t) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t)e(t)dt \sim \sum_{n=-N}^0 f(nT)e(nT) \quad (10)$$

(10)式は図 11 のようにタップつき遅延線、乗算器、加算器によって構成される。したがって図 7、図 8 のような構成で、入力信号のひとつに比例した重みづけを行うことにより相関器ができる。

なお、相関器の入力のひとつは必要に応じて適当に遅延された後、印加される。図 8 のような構成で 32 ビットのものが実験されている²⁸⁾

t^{-1} とのコンボリューション演算であるヒ

図 13 CCD を用いたマルチプレクサー

ルベルト変換は、広い周波数帯域にわたって入力信号の位相を 90° ずらすことができるので、図 12 のような構成により SSB 信号を発生させることができる²⁹⁾。このようにすると不要側波帯を充分抑圧できる。

レーダー応用では、CCD を楕円形フィルタとして用いることにより、固定物からの反射を除去し、動体のみ検出することができる³⁰⁾。

またフィルタの特性を外部から制御できるため、アダプティブフィルタとして、たとえば伝送系の特性補正を適宜行うことができる。

4.3 マルチプレクサー、アナログメモリーへの応用

(1) マルチプレクサー

CCD を用いたマルチプレクサーの構成は図 13 のように、複数の並列に入ってきた信号を直列の時系列信号に直すものである。また逆も可能である。

CCD マルチプレクサーの問題として 2 つある。

ひとつは転送損失がチャンネル間のクロストークになることである。これを避けるには、たとえば図 13 で S_2, S_4 には信号を加えないようにし、出力信号にすきまを与えてやればよい。他のひとつはチャンネル間のばらつきで、小信号のときは影響が大きくなる。

(2) アナログメモリー

入力信号を適当な駆動周波数で書き込み、これとは異なった周波数で読出すことにより、時間圧縮、伸長といった時間軸の変換ができる。

この場合、変換比が大きいと転送損失が駆動周波数によって異なるために、変換時間軸内で局所的な周波数特性劣化などのひずみを伴う。また暗電流によるシェーディングが現われる。

応用としてはテレビのフレームメモリー、音声の多重伝送、画像の低速度伝送、低速度現象の高速表示などがある。

信号を時間圧縮して伝送する一例として、テレビ信号の色信号を水平帰線内に入れる方法が実験されている³¹⁾。

なお書き込み、読出しの周波数を同じにしタイミングのみ変えてやることにより、同期調整が行える。

5. む す び

CCD はアナログ応用に限っても幅広い用途が期待で

き、現在は可能性の検討から、いかに実用に近づけるかという段階に入っている。

このような状況で、転送損失、暗電流といった素子としての特性が、まだまだ満足されず、CCD の可能性を押えており、また、フィルタに例をみるように、IC パターンの精度によって特性の限界が決まってしまうので、CCD というよりは半導体プロセス技術の広汎な技術向上が望まれる。さらに CCD は駆動周波数、駆動電圧等の外部の影響が大きく、これらによる雑音、スプリアス等も無視できない。

したがって、信号印加方法等の駆動方式、回路に工夫が必要であり、また駆動回路をオンチップ化し、システムとして、合理的なそして取り扱いの容易な形にするなど、開発すべき点がある。

CCD 遅延線は、比較の実用化が近く、また可変遅延線として、対応するものがないことから、非常に有用なものとなろう。

フィルタについては、設計の自由度が増すので理想フィルタに近いものができる。また設計値どおりの特性が得られるので、フィルタは素子として工場で作られ、各種の特性を持つファミリーが可能になる。

DFT 等の演算処理への応用は、ディジタル式に対し、AD、DA 変換が不要であるなど、大きさ、価格、処理時間、消費電力の点で有利であるが、精度、機能の汎用性等では一步譲ることになるので、最終的には個々のシステムの要求に応じて決められる。

CCD はシステム指向の傾向が強く、IC 技術を背景に持つため、将来は 1 チップに 1 機能でなく、複数機能を持つ大きなシステムを組み込ませることが考えられよう。

(昭和 50 年 11 月 6 日受付)

〔参 考 文 献〕

- 1) W. S. Boyle, G. E. Smith: Charge-Coupled Semiconductor Devices, Bell System Tech. J., **49**(1970) 587-593
- 2) CCD imager achieves full TV resolution for the first time, Electronics, March 21 (1970) 29
- 3) M. F. Tompsett, E. J. Zimmern: Use of Charge-Coupled Devices for Delaying Analog Signals, IEEE J., **SC-8**, 2 (1973) 151-157
- 4) W. J. Bertrum, et al: A Three-level Metalization Three-Phase CCD, IEEE Trans., **ED-21**, 12 (1974) 758-767
- 5) L. J. M. Desser, et al: The Peristaltic Charge-Coupled Devices, IEEE JEDM Tech. Digest (1973) 17-20
- 6) W. B. Joyce, W. J. Bertrum: Linearized Dispersion Relation and Green's Function for Discret-Charge-Transfer Devices with Incomplete Transfer, Bell System Tech. J., **50** (1971) 1741-1759
- 7) C. H. Sequin, A. H. Mohsen: Linearity of Electrical Charge Injection into Charge-Coupled Devices, IEEE J., **SC-10**, 2 (1975) 81-91

- 8) A.H. Mohsen, et al: Noise Measurements in Charge-Coupled Devices, IEEE Trans., **ED-22**, 5 (1975) 209-217
- 9) G.F. Amelio, et al: Charge-Coupled Imaging Devices; Design Consideration, IEEE Trans., **ED-18**, 11 (1971) 986-992
- 10) M.F. Tompsett: Charge Transfer Devices, J. Vac. Sci. Technol., **9**, 4 (1972) 1166-1181
- 11) I. Takemoto, et al: A Wide-Band Low Noise Charge Transfer Video Delay Lines, IEEE J., **SC-9**, 6 (1974) 415-422
- 12) 岩沢ほか: CCD アナログ遅延線の特性評価, テレビ全大, 2-9 (1975)
- 13) W.T. Butler, et al: An Experimental TV Ghost-Suppressor Circuit Using Charge Transfer Devices, IEEE J. of Solid State Circuits, Aug.(1975)247-249
- 14) 宮代ほか: 遅延線を用いたテレビ受像機ゴースト除去の一方法, テレビ全大, 11-8 (1975)
- 15) 高橋ほか: 可変遅延線としての電荷移送素子の動作, テレビ全大, 2-10 (1975)
- 16) 安次嶺, 海老原: CCD による VTR 用 TBC, テレビ全大, 6-2 (1975)
- 17) 笠原ほか: CCD を用いたコンバージェンス簡易化の方式, テレビ学会電子装置研資 (1974)
- 18) 岩沢ほか: 周波数分離方式単管カラーカメラの画質改善実験, テレビ学会電子装置研資 ED-75-15 (1975)
- 19) F.L.J. Sangster: Integrated MOS and Bipolar Analog Delay Lines Using Bucket-Brigade Capacitor Storage, IEEE Solid State Circuits Conf., Dig. Tech. Papers, (1970) 140-141
- 20) 鷲島ほか: テレビ用半導体遅延素子の駆動方式, テレビ全大, 2-8 (1975)
- 21) M. Schiffman: Electronics, Aug. 22 (1974) 87-94
- 22) 小町, 平田: 電荷移送素子を用いたクシ形フィルタ, 信学会, 電気音響研資 EA 73-25 (1973)
- 23) D.D. Buss, et al: Transversal Filtering Using Charge-Transfer Devices, IEEE J., **SC-8**, 2 (1972) 138-146
- 24) D.R. Lampe, et al: CCD's for Discrete Analog Signal Processing, IEEE Intercon Technical Papers, Session 9-2 (1974)
- 25) J.J. Tiemann, et al: A Programmable Transversal Filter Using Charge Transfer Devices, IEEE Intercon Technical Papers, Session 9-3 (1974)
- 26) D.D. Buss, et al: Signal Processing Applications of Charge-Coupled Devices, Int. Conf. on Tech. and Appl. of Charge-Coupled Devices (1974) 179-197
- 27) A. Ibrahim, L. Sellars: CCD's For Transversal Applications, IEEE IEDM Tech. Digest (1974) 240-243
- 28) J.J. Tiemann, et al: A Surface-Charge Correlator, IEEE J., **SC-9**, 6 (1974) 403-410
- 29) A. Chowanec, G.S. Hobson: The Use of Charge-Coupled Devices for Single Sideband Modulation, Int. Conf. on Tech. and Appl. of Charge-Coupled Devices (1974) 237-244
- 30) J.E. Bounden, et al: MTI Filtering for Radar with Charge Transfer Devices, Int. Conf. on Tech. and Appl. of Charge-Coupled Devices (1974) 206-213
- 31) 三田ほか: 電荷移送素子を用いた輝度, 色度ライン時分割カラー信号記録, テレビ学会録画研資, 6-1 (1974)

テレビジョン6月号予定目次

【ふぉーかす】	テレビジョンのこれから	NHK 遠山寛一郎
【技術解説】	ハンディカメラの番組制作への応用 高精細度フライングスポット装置とその偏向技術	NHK 唐原 久 東京特殊電線 上原優四郎
【研究動向】	弾性表面波の応用	東北大 柴山 乾夫
【技術の話題】	騒音の評価	NHK 西宮 元
【論文】	磁気シートバックによる小型スロービデオ装置 CATV受信回路の一設計法	日本ビクター 金城 寿雄・岡野 啓吾 松下電器 佐藤 毅・橋間 明生・佐々木玲一
【資料】	集中定数型方向性結合器の設計図表	名工大 池田 哲夫・木田 弘幸
【講座】	レーザーとその応用 (第5回) 3. レーザー装置 3-1 固体レーザー 3-2 半導体レーザー	日電 吉川 省吾 日立 中島 尚男
【新技術のページ】	画像伝送の研究	日電公社 森永 隆広
【現場だより】	ニッポン放送中波大電力送信所	ニッポン放送 高橋 琢二
【国際会議レポート】	第3回国際デジタル衛星通信会議	国際電電 山本 英雄