

通信系LSIファミリー

Family of Telecommunication LSIs

近年の公衆、民需通信網での電話、データ、ファクシミリなど非電話系通信ニーズの増加、及びデジタル通信技術の進展に伴い、これらを支える通信用LSI市場の拡大、技術の高度化が進んでいる。本稿ではLSIの応用分野を、現状のアナログ通信網に適用される端末や交換機加入者回路と次世代ISDN用機器とに分類し、前者については日立製作所のLSI製品化状況、及び代表的製品の特徴について示す。また、ISDN用LSIについては、そのLSI化コンセプト、及び日立製作所の開発状況について述べる。

鈴木俊郎*	Toshirô Suzuki
安成健次郎**	Kenjiro Yasunari
萩原史郎***	Shirô Hagiwara
風間 仁****	Masashi Kazama
高橋 宏*****	Hiroshi Takahashi

1 緒 言

近年のデジタル技術を用いた伝送、交換など通信機器の進歩、及びデータ、ファクシミリなどの非電話系通信トラフィックの急増には目を見張るものがあり、我々を取り巻く通信環境は今大きくさま変わりしつつある。この進展は社会ニーズの高度化と、それに呼応したデジタル通信技術やコンピュータ利用技術の発達によるものであるが、これらを支えているのは高度な通信機器の機能・性能の向上、大幅な小形化・経済化を達成させた通信用LSIであるといっても過言ではない。

本格的な通信用LSIは昭和56年に製品化されたCODEC LSI¹⁾に始まるが、現在ではその種類が多くなり、また適用箇所も飛躍的に広がった。しかし、図1に示した通信用端末や交換機の加入者回路は、その量的規模が大きく、かつ機能やインタフェース条件の標準化が進んでおり、最もLSI導入の実が上がっている。本稿では、この端末や加入者回路に使用されるLSIについて焦点を絞って述べる。

宅内に設置される端末機器と交換機は電話加入者線によって接続され、現状ではこの加入者線に音声やMODEM (Modulator and Demodulator) 信号のようなアナログ信号を伝送するアナログ加入者線方式が一般的である。このアナログ加入者線に接続される端末は、図1に示すように電話機やファクシミリ、通信用パーソナルコンピュータなどであり、これらにはダイヤラ、スピーチネットワーク、MODEMなどのLSIが使用される。一方、交換機の加入者回路は電話機への直流供給を行うSLIC (Subscriber Line Interface Circuit) や音声信号をデジタルPCM (Pulse Code Modulation) 信号に変換するCODECによって構成される。

一方、この同じ加入者線を用いて高速デジタル伝送を実現し、音声・データを複合した高度な通信サービスを提供するISDN (Integrated Services Digital Network) 方式の実用

化が急がれており、昭和63年にも日、米、欧で一斉に商用サービスが開始されようとしている。このISDN実用化のためには、双方向高速デジタル伝送を可能とし、更に高度な通信プロトコル制御を実現する各種のLSIが端末、交換機の双方に必要となる。

本稿では、これらアナログ加入者線方式に使用されるLSI、及び次世代ISDN用LSIについて日立製作所の開発状況、及び代表的LSIの機能・性能について述べるとともに、更に今後の開発展開について示す。

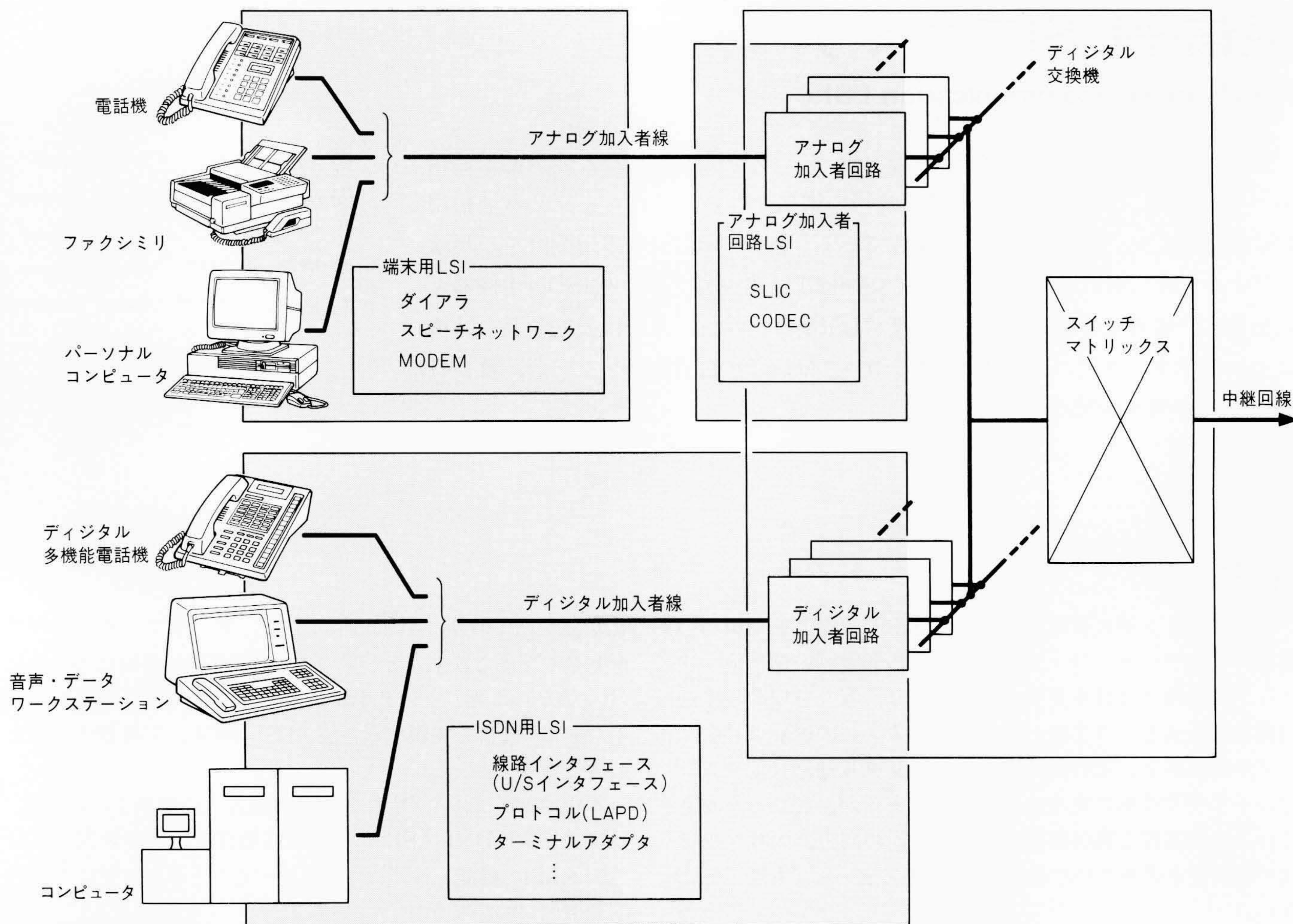
2 通信端末用LSI

2.1 電話機用LSI

ダイヤル信号の送出は電話機の主要機能の一つであるが、ボタン電話機の普及などに伴い短縮ダイヤル、リダイヤルといったダイヤル機能の高度化に対するニーズが高くなっている。日立製作所ではこのニーズに呼応して、表示機能やダイヤル記憶機能を強化した電話機用マイクロコンピュータHD4074608を開発した²⁾。図2は電子化多機能電話機の構成を示すもので、HD4074608は押しボタンで入力されたダイヤル番号をトーン信号に変換するダイアラ部と、LCD (Liquid Crystal Display) を駆動する16けた表示コントローラ、及びこれらを制御する4ビットマイクロコンピュータ部から成っている。本LSIの特徴は、マイクロコンピュータをベースとしてユーザーによるプログラム開発を容易とし、更に精度の良いDTMF (Dual Tone Multi Frequency) 発振器を内蔵した点にある。図3にHD4074608のエバリュエーションチップ写真を示す。

電話機には図1に示すように、送受話器からの音声信号を処理する機能も必要となる。日立製作所では、この送受話器からの4線式信号を2線式信号に変換するスピーチネットワ

* 日立製作所中央研究所 ** 日立製作所デバイス開発センタ *** 日立製作所武蔵工場 工学博士 **** 日立製作所半導体事業部
***** 日立製作所日立工場



注：略語説明 SLIC(Subscriber Line Interface Circuit), MODEM(Modulator and Demodulator)
LAPD(Link Access Procedure on the D-Channel), ISDN(Integrated Services Digital Network)

図1 通信用端末や交換機加入者回路での通信用LSIの適用状況 電話加入者線は、通常の電話線にアナログ信号を送送する現状方式と、デジタルPCM符号を送送する次世代ISDN方式の2種に大別され、それぞれに各種のLSIが適用される。

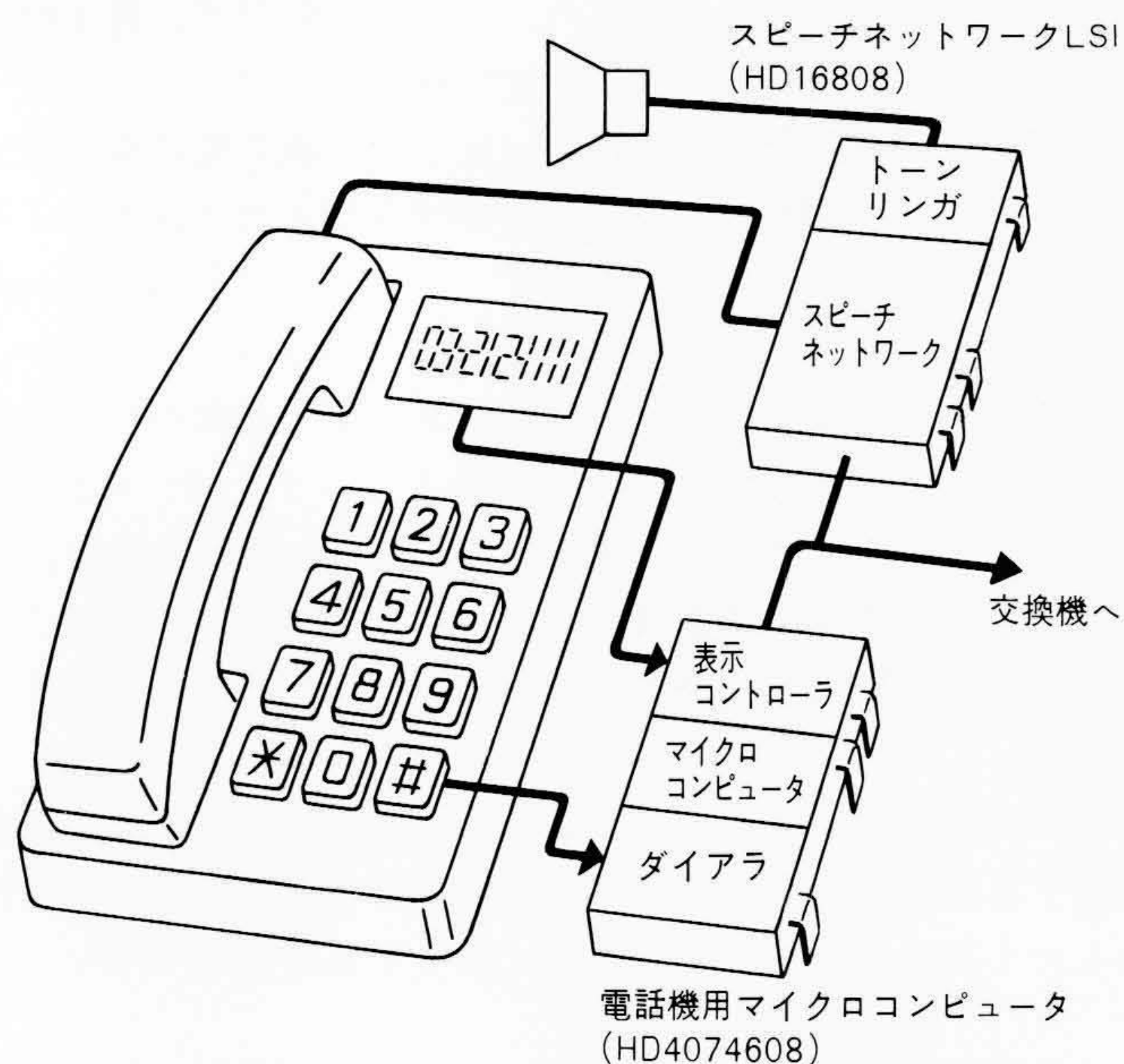


図2 電子化多機能電話機の構成 電子化多機能電話機は、電話機専用マイクロコンピュータとスピーチネットワークLSIによって構成される。

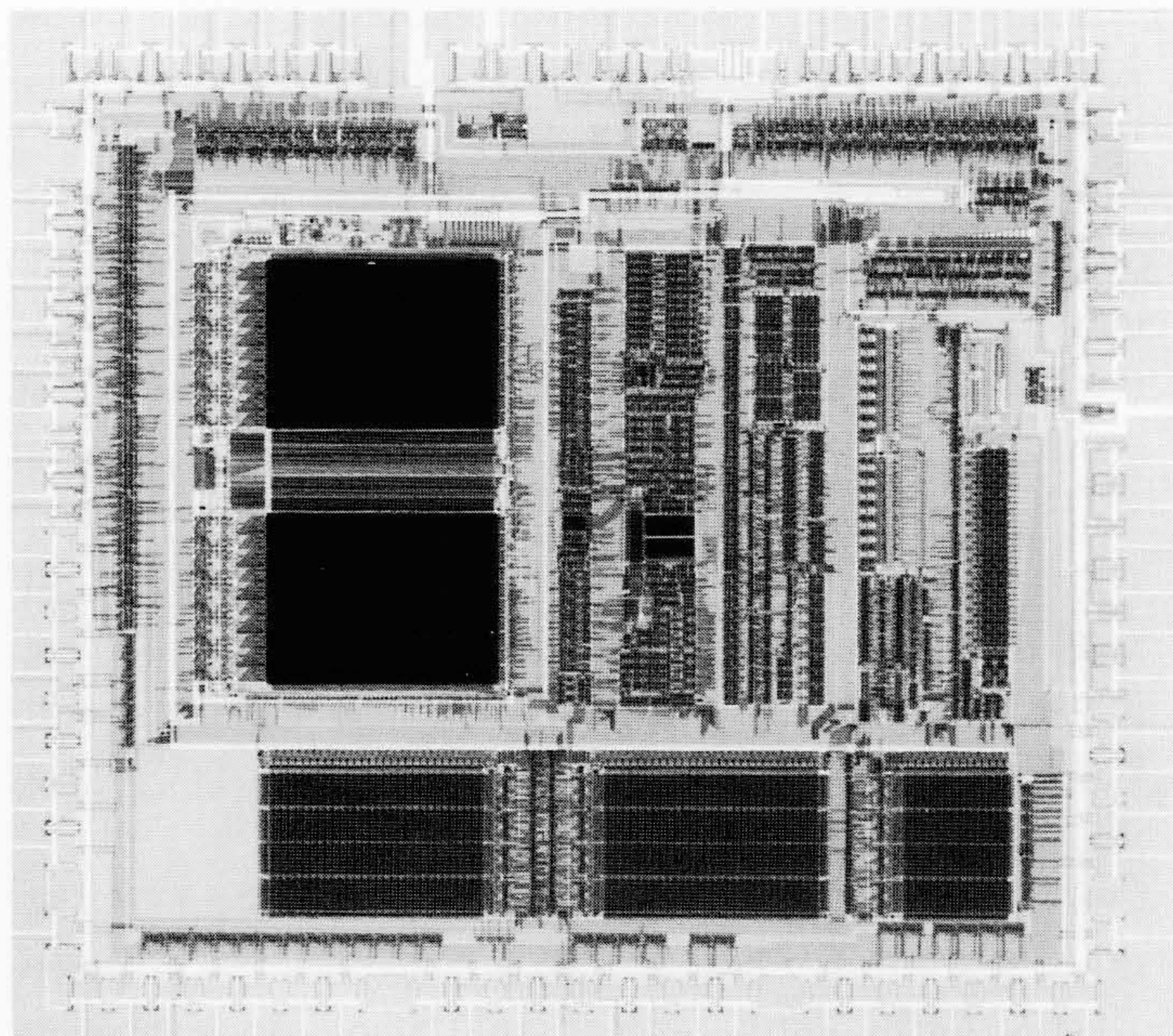


図3 電子化多機能電話機用マイクロコンピュータ(HD4074608) 2μm CMOS(Complementary Metal Oxide Semiconductor)プロセスを用いて、4ビットマイクロコンピュータ、DTMF(Dual Tone Multi Frequency)発振器、LCD(Liquid Crystal Display)ドライバ、ROM(Read Only Memory)、RAM(Random Access Memory)などを集積化している。

ークや、電話機のベル音を電子的に発生させるトーンリングの機能を1チップに集積化したスピーチネットワークLSI HD16808を製品化している。更に、留守番電話機用LSI HA12089NTや音声合成LSI HD61885などの開発も行っており、電話通信に対する広範なニーズにこたえた品ぞろえを行っている。

2.2 MODEM用LSI

ファクシミリや通信用パーソナルコンピュータから出力される信号は、本来はデジタル信号であるが、アナログ回線を介した通信を行うために図4に示したMODEMが必要となる。MODEMは周波数変調、位相変調、直交振幅変調などの高度な変調技術を用いて狭い音声通信帯域(0.3~3.4kHz)での高速デジタル伝送を可能とするもので、高精度のフィルタ、自動等化器、変復調回路などの複雑な信号処理回路から構成される。そのため、ファクシミリ用として最もよく使用されている9,600bps高速MODEMでは、同図に示したように信号処理の大半をDSP(Digital Signal Processor)を用いて実現し、A-D変換器、D-A変換器を介してアナログ加入者線と接続している。

日立製作所では、このMODEM用デジタル信号処理に適したDSPとして図5に示したはん(汎)用DSP(HD81810)を開発している。本LSIは内蔵ROM(Read Only Memory)の命令により1回の四則演算を200nsで実行可能であり、ファクシミリ用MODEM処理を1チップで実現することができる。MODEMの全機能を実現するためには、このほかにA-D変換器、D-A変換器、アナログフィルタなどが外付けとして必要となるが、これらをすべて内蔵したシングルチップMODEMの開発が次の課題となる。

3 アナログ加入者回路用LSI

加入者回路は交換機と端末機器のインタフェースを取るものであり、その主な機能は電話機への直流供給(Battery

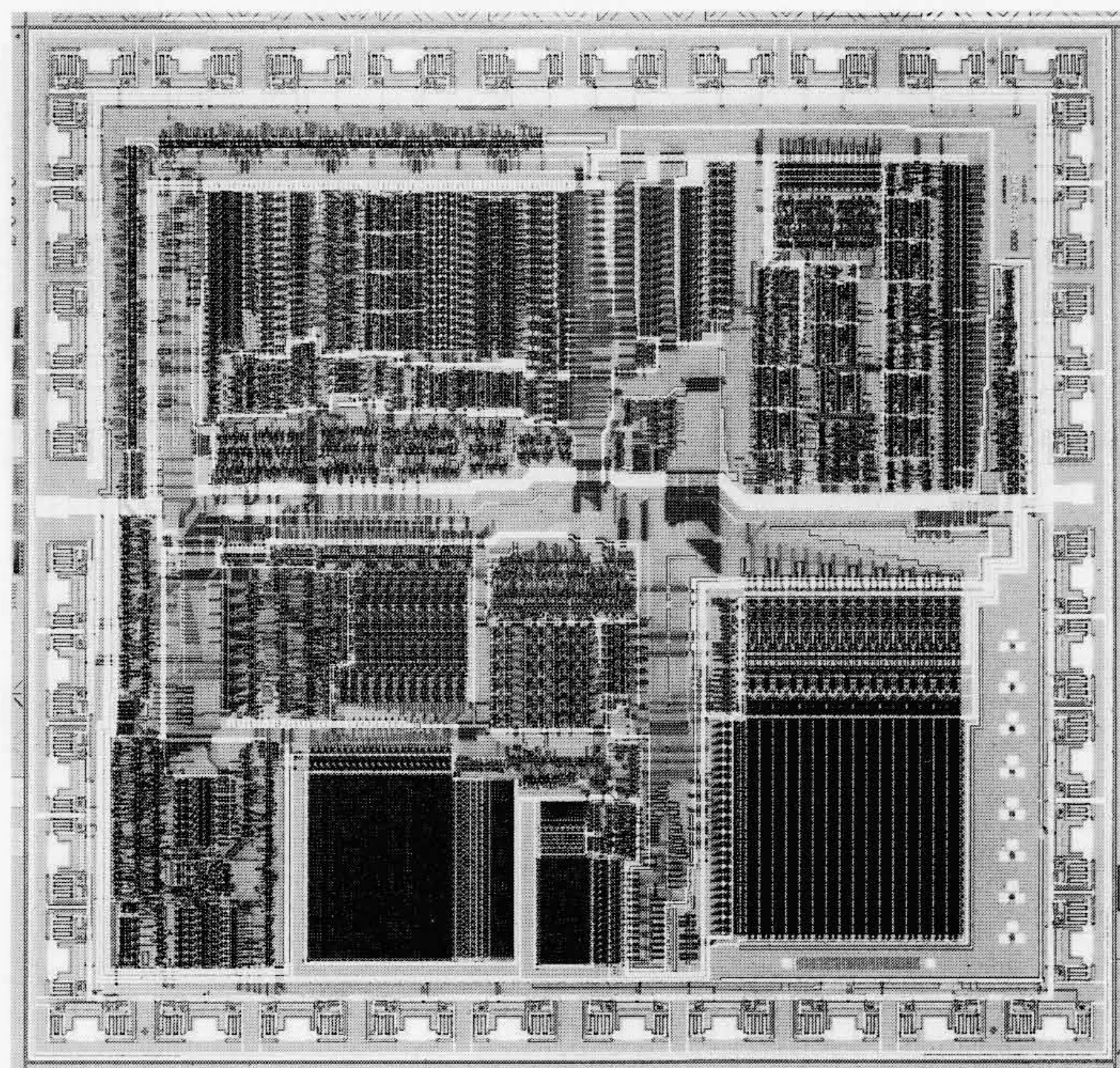


図5 デジタル信号プロセッサ(HD81810)チップ写真 2 μ m CMOSプロセスを使用し、200ns/一積和演算を内蔵ROMの指示により実行する能力を持つ(チップサイズ5.44mm $\times$ 5.77mm)。

feed), 加入者線への誘導雷などからの交換機の保護(Over-voltage protection), 電話機へのベル信号送出(Ringing), 加入者線監視(Supervision), 音声信号-PCM信号変換(CODEC), 2線-4線変換(Hybrid), 線路試験(Test)などで、これらの頭文字を取ってBORSCHTとも呼ばれている。この加入者回路の基本構成は図6に示すようなもので、4種類のLSIで構成される。

日立製作所では、表1に示すような公衆通信用の加入者回路の全LSI化を日本電信電話株式会社の指導により世界に先

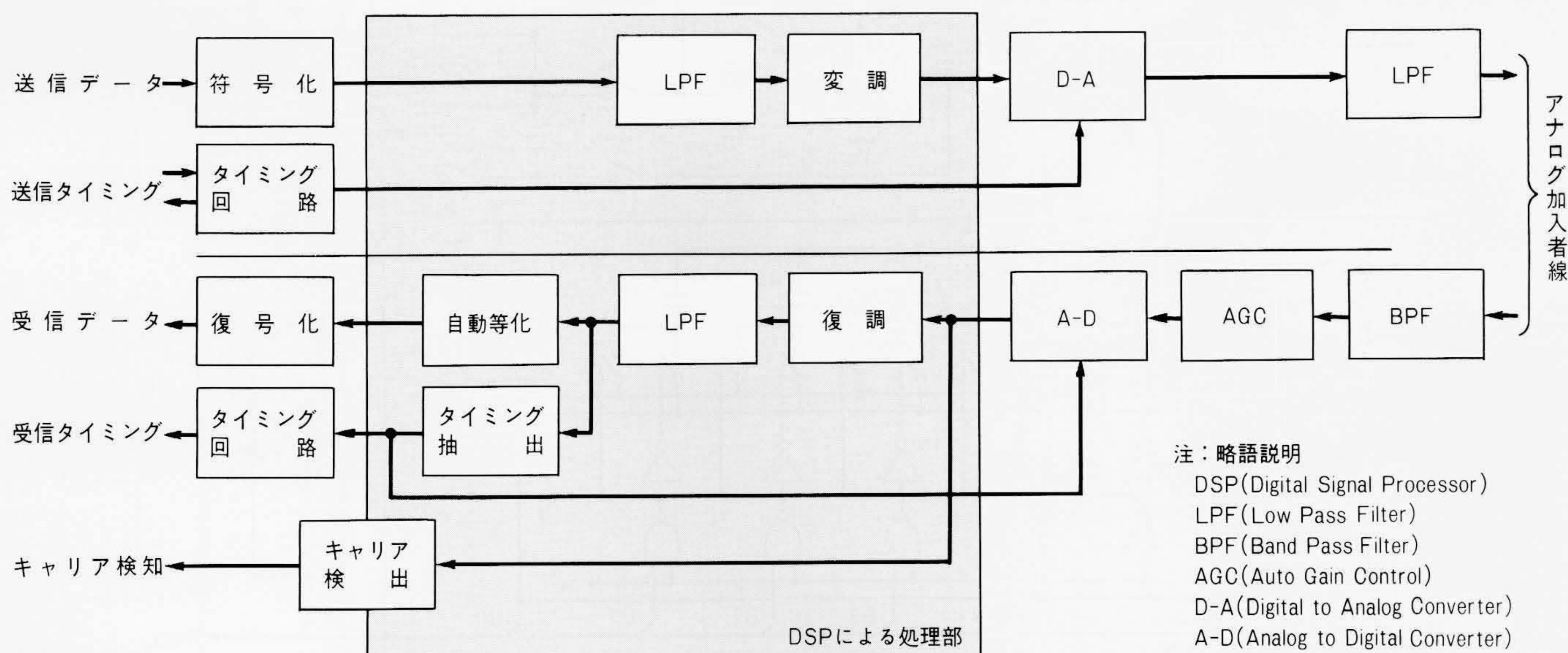


図4 高速ファクシミリ用MODEMの構成例 電話回線上のアナログ信号はデジタル変換され、DSPによりフィルタリングなどの処理が行われる。

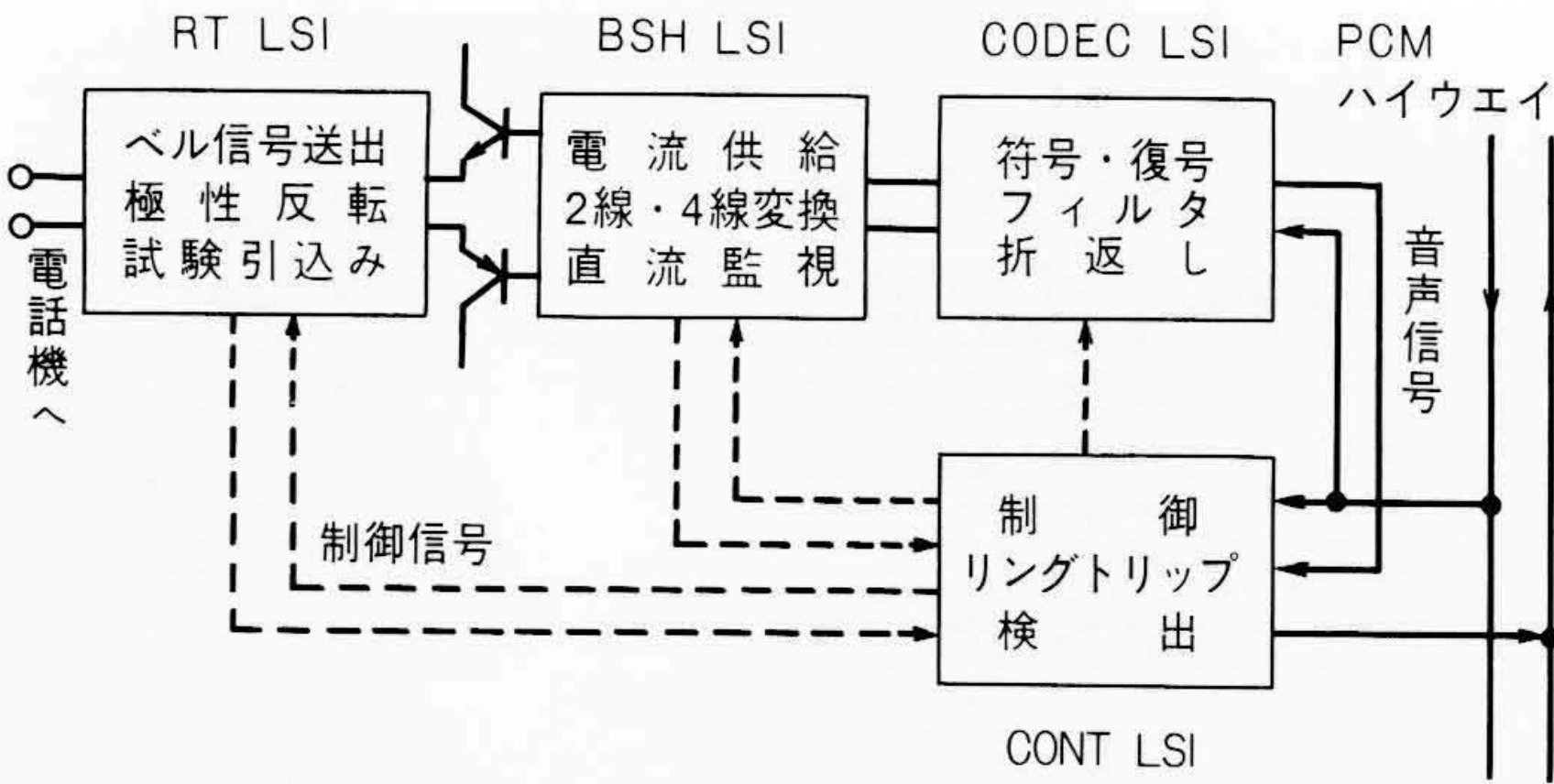


図6 公衆通信用加入者回路 加入者回路はチャンネル対応にRT, BSH, CODEC, CONTのLSIで構成される。

駆けて完了している³⁾。表示するようにRT LSIは非常に高い耐圧を必要とし、またCODEC, CONTはアナログーデジタル混在の高度な信号処理が必要となるため、究極の加入者回路実現にはなお改善すべき余地がある。ここでは、この加入者回路に関する日立製作所の最近の開発状況について述べる。

3.1 構内交換機向け加入者回路LSI

構内交換機は公衆用と比較して加入者線の長さが短く、また誘導雷などの危険性も少ないので、加入者回路の簡略化による経済化が可能となる。日立製作所では、公衆用では48Vが必要となる電話機供給用直流電圧を24Vに低減した構内交換機専用のBSH LSI(HA16811NT)を開発した。本LSIは経済的な40V耐圧のバイポーラプロセスを用いており、またパワートランジスタやリングトリップ回路を内蔵している。このため、加入者回路の部品点数が大幅に削減され、更に低電圧化によって回路の発熱も少なくなるため、従来方式の2倍の実装密度を実現することが可能となった。

表1 公衆通信用加入者回路LSI諸元 RT, BSH, CODEC, CONTは、各々必要な素子分離耐圧によりデバイスプロセス仕様を使い分けている。

品名		ECN010G3	HD16809G	HD44222	HD44280
機能		RT	BSH	CODEC	CONT
項目	素子構造	誘電体素子分離 バイポーラ	P N接合素子分離 バイポーラ	局部酸化膜素子分離 CMOS	左に同じ
	加工寸法	~10μm	~10μm	~5 μm	左に同じ
	耐 圧	>350V	>60V	>10V	左に同じ
素 子 数		サイリスタ トランジスタ ほか 約230個	トランジスタ ダイオード ほか 約500個	1,000ゲート 増幅器19個 スイッチトキャパシタほか	600ゲート 増幅器5個、 スイッチトキャパシタほか
チップサイズ (mm)		3.0×3.05	4.7×5.75	3.62×7.26	3.6×4.1
消 費 電 力 (mW)		40typ	100typ	40typ	8 typ
パ ャ ケ ー ジ		22ピンDIP	24ピンDIP	16ピンDIP	24ピンDIP

注：略語説明 DIP(Dual in Line Package)

3.2 デジタルCODEC

表1に示したCODECはスイッチトキャパシタ回路によるMOS(Metal Oxide Semiconductor)アナログ技術を中心に実現されていた。しかし、MOSアナログ回路は製造プロセスの微細化によるサイズ縮小効果が少なく、またプログラマビリティにも欠けることから、大幅にデジタル技術を導入したデジタルCODECの開発が重要となってきた。

デジタルCODEC実現のかぎはオーバーサンプリング形と呼ばれる高精度なA-D変換, D-A変換回路技術にある。本技術開発のため、図7に示すような多値帰還補間形A-D変換回

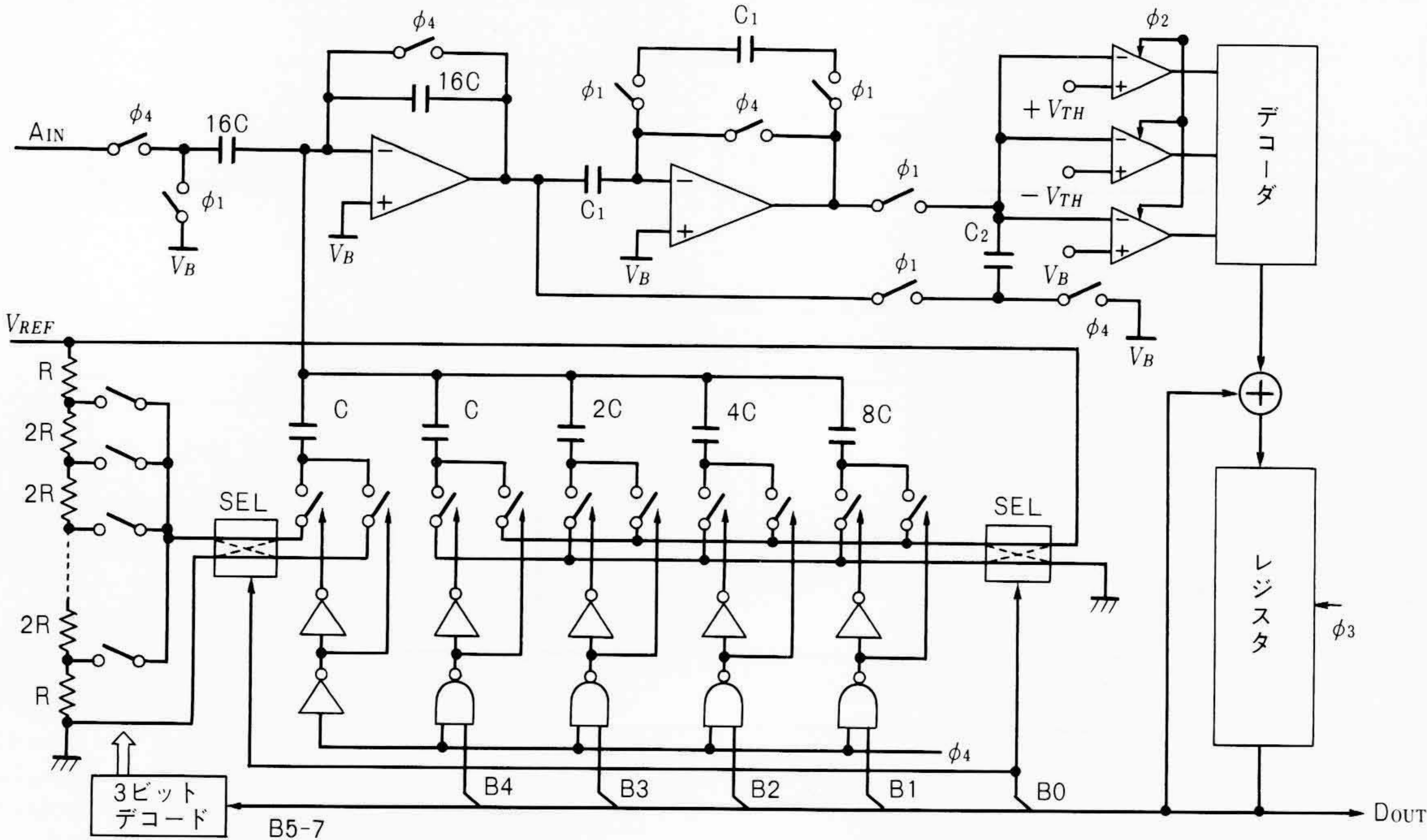


図7 多値帰還補間形A-D変換器 本A-D変換回路はオーバーサンプリング形と呼ばれ、7ビットのローカルD-A変換器を用いて15ビットのA-D変換精度の実現が可能となる。

路を2 μ m CMOS (Complementary MOS) 技術を用いて試作し、音声帯域で15ビットの変換精度を実現することに成功した⁴⁾。この値は従来のアナログCODEC(13ビット)を上回り、本回路とデジタル信号処理回路を組み合わせることでCODECの全機能実現の可能なことを確認した。更に、デジタル信号処

理のメリットを活用し、ソフトウェアによるゲインの設定や自動調整形2線-4線変換などの新機能を搭載することが可能となる。

3.3 高・中耐压LSIの新技术

加入者回路は電話通信が続く限り欠くことのできないものであり、特に高・中耐压LSIのいっそうの経済化、高機能化が重要となる。日立製作所では、この目的を果たすべく以下の開発を行っている。

加入者回路の難点は、高耐压と高精度の2極化した要求が同居するところにあるが、これらを1チップ上に集積化できるBi-CMOS(Bipolar CMOS)技術の検討が進んでいる⁵⁾。この技術は、80V程度のバイポーラトランジスタと微細なCMOSデバイスを同一基板上に形成するもので、将来、加入者回路の大幅な小形化が可能となる。

RT LSIは、現在は誘電体分離形バイポーラプロセスを用いて実現しているが、日立製作所では更にMOS FET(MOS電界効果トランジスタ)による高耐压双方向スイッチの検討を進めている⁶⁾。この技術の適用によって、電力線からの交流誘導耐量を更に増加させることが可能となる。図8に試作したチップの写真を示す。

4 ISDN対応LSIセット

4.1 ISDN標準インターフェース

ISDNは音声、データ、画像などのすべての情報をデジタル化して統合する通信網であり、デジタル伝送技術の高度化のほかに、すべての端末や通信機器が交信できるような通信制御手順(プロトコル)の標準化が重要となる。ISDNを構築する機器は図9に示すように、ISDN交換機、回線終端装置

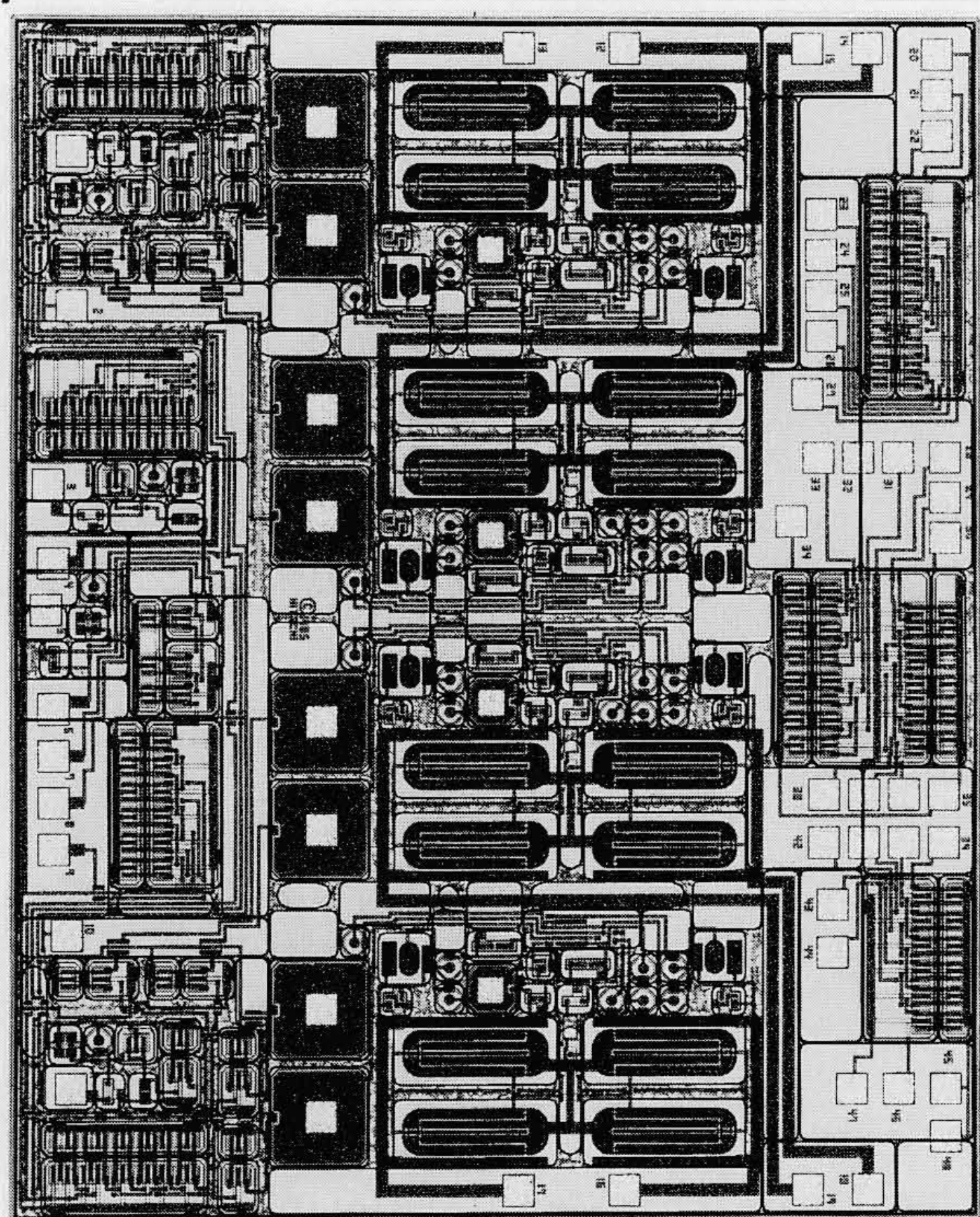


図8 MOS FET(MOS電界効果トランジスタ)スイッチ試作チップ写真 チップ上には、4個の双方向性スイッチとキャパシタによるフローティング制御機能が集積されている。

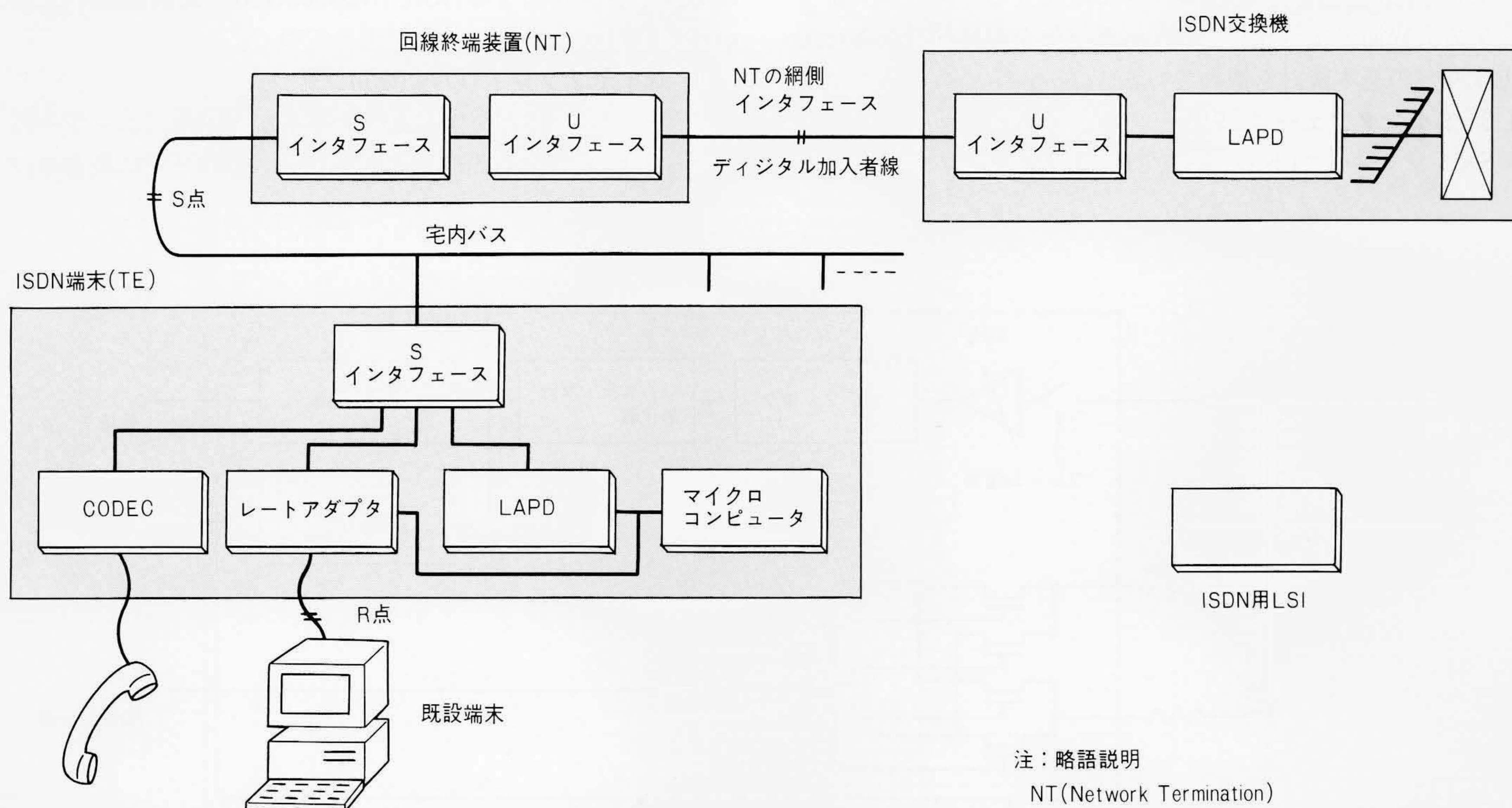


図9 ISDN網構成 ISDNの加入者系は、交換機、回線終端装置及び、端末から構成され、既設の端末にRインターフェースを介して接続される。これらのインターフェースは、各種のLSIによって実現される。

(NT: Network Termination), ISDN端末(TE: Terminal Equipment)及び既設端末に分類される。各機器間のインタフェースはCCITT(国際電信電話諮問委員会)や各国の公的機関によって標準化作業が精力的に進められており⁷⁾, それぞれNTの網側インタフェース, S点, R点と呼ばれている。NTの網側インタフェースはISDN交換機と加入者を結ぶ切り口で, ベーシックレート(2B+D: Bは64kbpsのユーザー情報, Dは16kbpsの制御情報及びユーザー情報)のデジタル信号を5~7kmの加入者線を介して伝送する。S点は宅内バス(192kbpsの4線方式)であり, 最大8個の端末を接続することが可能である。R点は既存のパーソナルコンピュータやファクシミリを収容する切り口で, 9.6kbps程度の比較的低速のインタフェースとなる。

これらのインタフェースは, 図示(図9)するような各種のLSIで実現される。以下, 代表的LSIの必要機能及び日立製作所の開発状況について概要を示す。

4.2 デジタル加入者線伝送用LSI(UインタフェースLSI)

NTの網側インタフェースでは, 高周波特性の貧弱な電話用加入者線を用いて高速のデジタル伝送を実現しなければならず, 経済的なLSIの開発がISDN構築の最大の技術課題となっている。このNTの網側インタフェースの実現法は, 大きく時分割方向制御方式(ピンポン方式)⁸⁾とエコーキャンセラ方式⁹⁾に分かれる。日立製作所では, 図10に示すようなピンポン方式LSIを開発した¹⁰⁾。LSIには高精度のスイッチトキャパシタ形自動等化器や波形差分形タイミング抽出回路が搭載され, 線路の周波数特性や分岐による波形劣化を高精度に補償し, また外付けの同調素子を不要化した。図11に2.5 μ m CMOSを用いてB+D方式用に開発されたLSIを示す。

エコーキャンセラ方式は標準化の作業が遅れているが, 日立製作所では海外市場でのニーズに呼応するため, ハードウェアの大幅簡素化可能なベクトル量子化方式やDSP形等化器方式などの基本検討を進めている¹¹⁾。

4.3 SインタフェースLSI

SインタフェースLSIは, S点での物理レイヤ(レイヤ1)の機

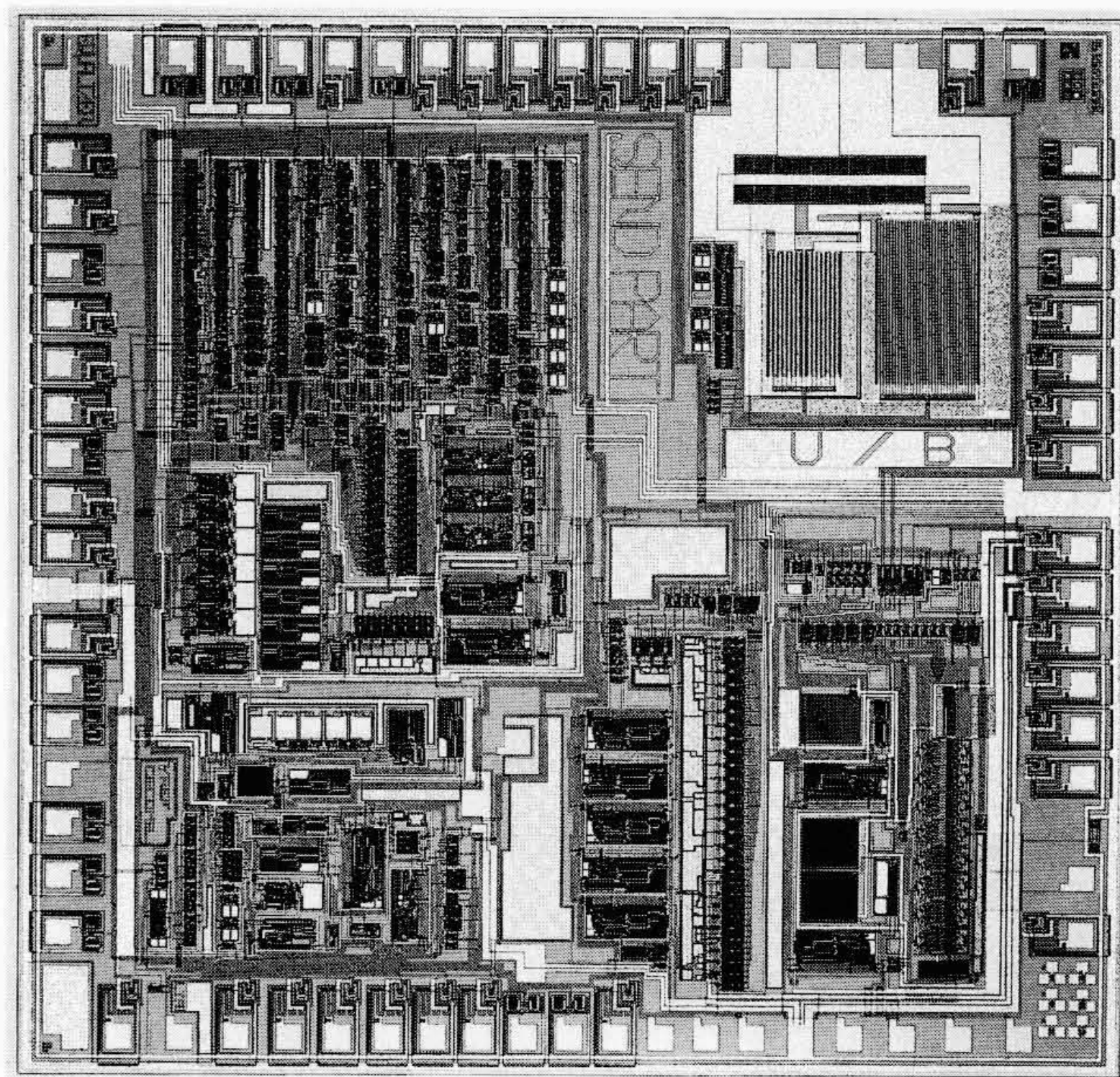


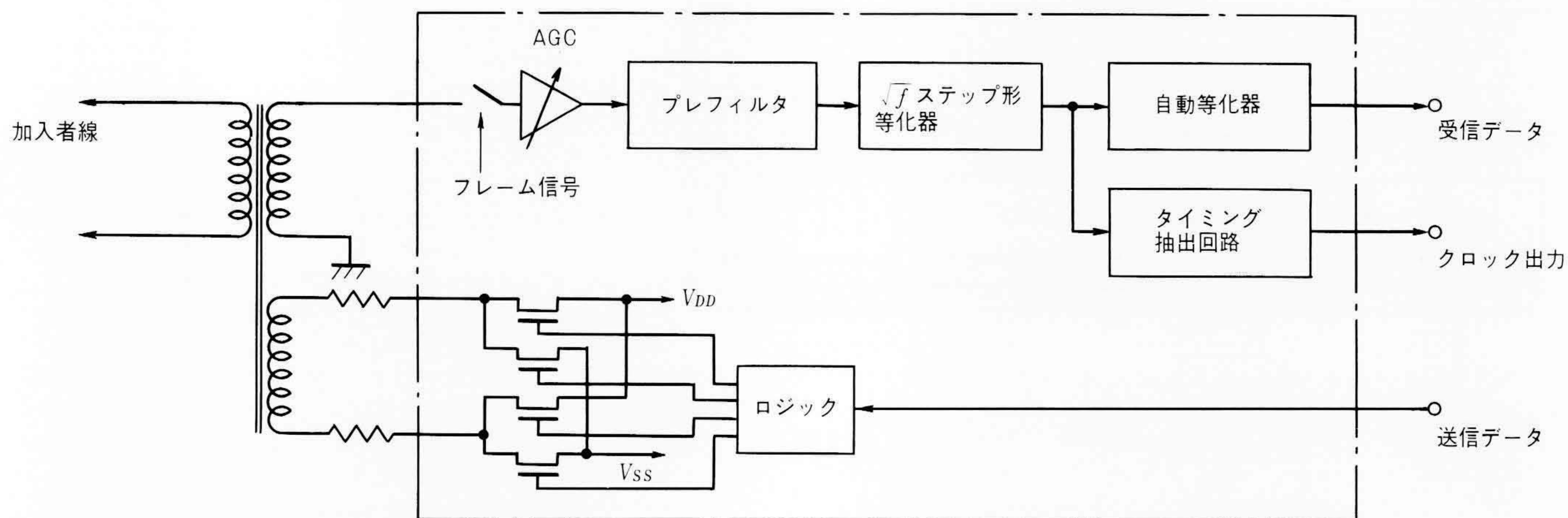
図11 時分割方式デジタル加入者線伝送LSI B+D(88kbps)伝送用, 6.3×6.3mm², 70mW, 2.5 μ m CMOSプロセスを使用している。

能を実現するもので, 図12に示すような構成となる。S点の特徴は宅内バスに同時に複数の端末がアクセスしたときの競合制御機能であり, エコーチェック方式と呼ばれる使用権確認方式が標準化されている。バスは送受独立のハイインピーダンス方式であり, 192kbpsのAMI(Alternative Mark Inversion)符号によって伝送される。

このSインタフェースLSIは搭載機能やチップ分割に対する市場ニーズが多様であるため, 当面のゲートアレーを用いた対応と同時に, 上位レイヤ用マイクロコンピュータも含めた標準マクロセルによるASIC(Application Specified Integrated Circuit)体制の確立を進めてゆく。

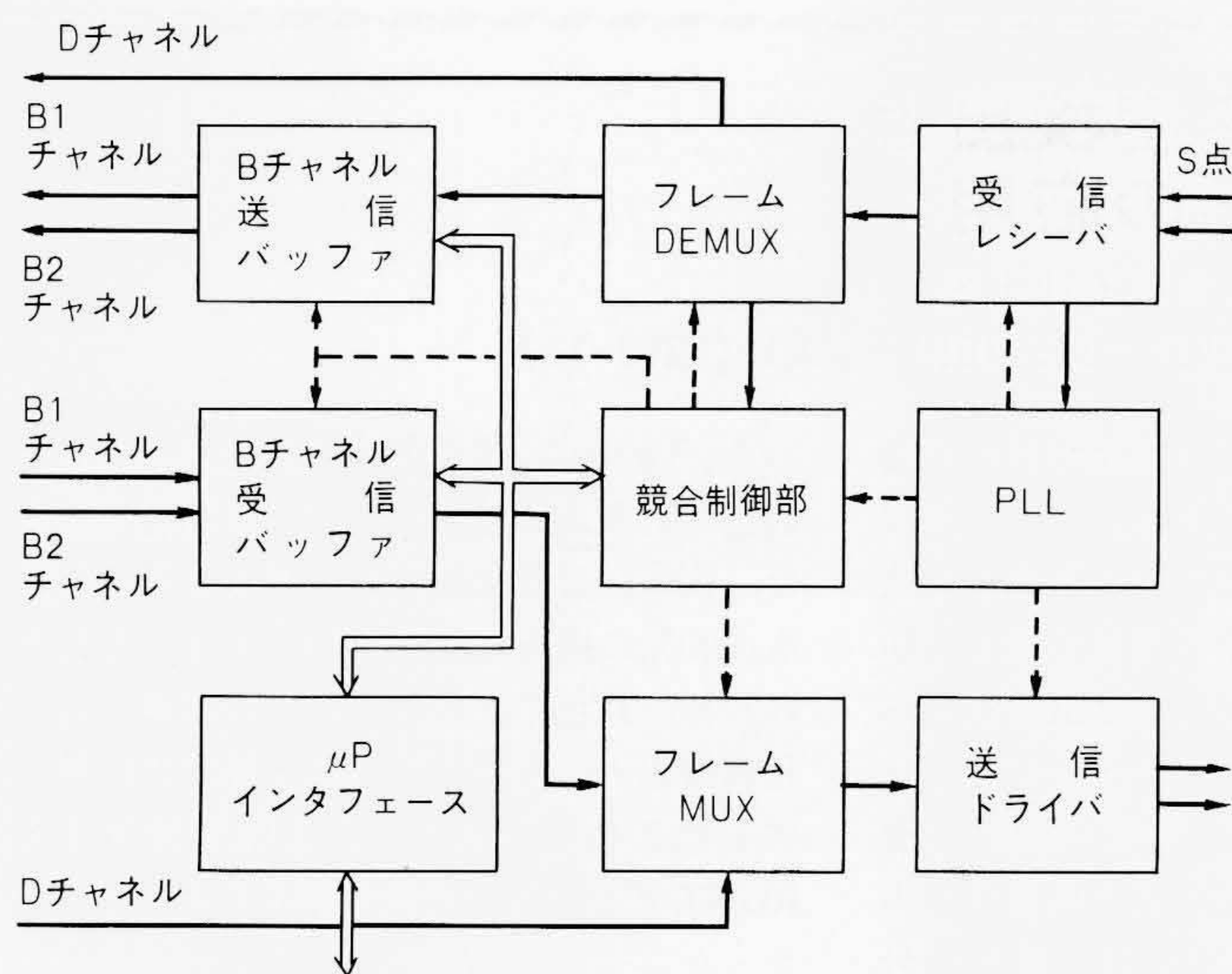
4.4 レイヤ2プロトコル制御用LSI

レイヤ2は端末と交換機間のダイヤル情報や, ユーザーの packets 形データの制御を行うもので, CCITTでは既存のパ



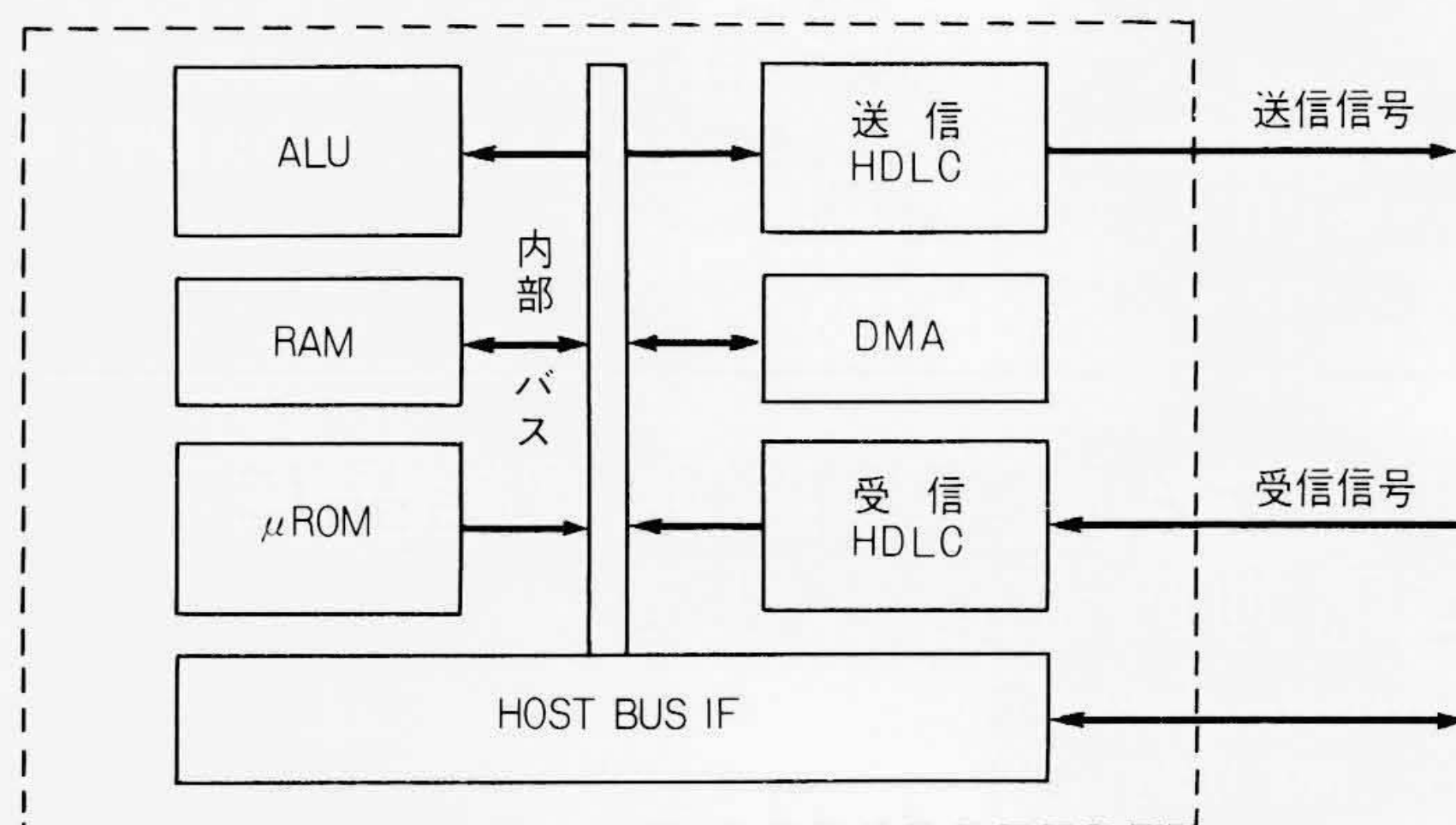
注: 略語説明 AGC(Automatic Gain Control)

図10 ピンポン方式デジタル加入者線伝送LSIの構成 LSIは線路の高周波特性を補償する等化器, タイミング抽出回路などから構成される。



注：略語説明 DEMUX(Demultiplexer)
MUX(Multiplexer)
PLL(Phase Locked Loop)

図12 SインタフェースLSI構成例 Sインタフェースは、2B+Dチャンネルの多重分離、クロック同期、端末競合制御などの機能を持つ。



注：略語説明 ALU(Arithmetic Logic Unit)
HDLC(High level Data Link Control)
DMA(Direct Memory Access)

図13 レイヤ2プロトコル処理LSI プロトコル(レイヤ2)処理LSIは、送受信のHDLC部、DMA部、ALU、RAM、ROM及びホストとのインタフェース部から成る。

ケット交換プロトコル(X.25)をベースとしたLAPD(Link Access Procedure on the D channel)方式を標準化している。このレイヤ2は交換機と端末の双方に必要となるが、交換機側では64kbps、複数チャンネルのサポートが必要であるのに対し、端末側では16kbps、単一チャンネルでよい。そのため、端末側では汎用の8ビットマイクロコンピュータをベースに、LAPDを実現することが可能となるが、交換機用としては専用の高速アーキテクチャを実現しなければならない。

図13にLAPD専用LSIの構成を示す。図示するように、送受信HDLC(High level Data Link Control)、DMA(Direct Memory Access)などの専用ハードウェアとプロトコル手順を格納するマイクロROMを持つ専用マイクロコンピュータ構成となる。本構成は搭載ファームウェアの一部を変更するこ

とによって、通常のLAPB(Link Access Procedure, Balanced)にも展開が可能である。

4.5 今後の展開

ISDNはこれから本格的運用が始まるシステムで、今後通信網の高度利用が進むにつれLSI必要機能の多様化が急速に進展するものと考えられる。これに対応するため、日立製作所はDSP、マイクロコンピュータをコアとするカスタム指向製品の開発体制のいっそうの充実を図ってゆく。更に画像通信、高速パケット通信などの次期広帯域ISDNの進展に呼応して、より高速、高機能なLSI群の開発を進めてゆく。

5 結 言

以上に示したように、日立製作所の通信用LSIは各種端末、公衆及び構内交換機に広く使用されており、また今後急速な発展が期待されるISDNに対してもチップセットとしてLSI群の開発を進めている。

通信用LSIは高耐圧、高精度といったデバイス面での技術課題、高度信号処理、高速プロトコル処理といったシステム面での技術課題を併せ持っており、幅の広い開発体制の確立が必要となる。日立製作所は、この多様なニーズに対し高耐圧プロセス技術、微細化加工技術、A-D混在回路設計技術、音声・画像信号処理技術、LAN(Local Area Network)・パケット通信プロトコル処理技術など広範な分野での研究開発を更に推進し、より使いやすい通信用LSIの品ぞろえを充実させてゆく考えである。

参考文献

- 1) 山木戸, 外: PCM・CODEC LSIの開発, 日立評論, 64, 3, 189~194(昭57-3)
- 2) 原, 外: 電話機用4ビットマイクロコンピュータ“HD61827”, 日立評論, 67, 8, 603~606(昭60-8)
- 3) 安成, 外: D60・D70デジタル交換機のLSI, 日立評論, 67, 10, 765~769(昭60-10)
- 4) K. Yamakido, et al.: A Voiceband 15b Interpolative Converter Chip Set, ISSCC86, pp. 180~181(1986)
- 5) 保谷, 外: アナログ・デジタル共存デバイス技術とその応用, 日立評論, 68, 7, 546~550(昭61-7)
- 6) 荻谷, 外: 370V, ±50mAリニアスイッチIC, 61年度電子情報通信学会通信部門全国大会, 63(昭61-9)
- 7) CCITT Red Book '85 Vol. III Fascicle III, 5
- 8) 山野, 外: ISDN基本アクセス用320kb/s時分割方向制御伝送方式, 電子情報通信学会技術研究報告, CS86-56(昭61-9)
- 9) Standard for ISDN Basic Access Interface for Application at the Network Side of NT1, Layer 1 Specification, T1D1 Technic Subcommittee WG, 3(1987)
- 10) H. Takatori, et al.: A CMOS Line Equalizer for a Digital Subscriber Loop, IEEE J. of Solid-State Circuits, Vol. SC-19, pp. 906~912, 12(1984)
- 11) 鷹取, 外: ISDN用エコーキャンセラーLSIの方式検討, 61年度電子情報通信学会通信部門全国大会, 63(昭61-9)

色差信号による色度検出と カラー画像認識への応用

日立製作所 浅野敏郎・秦 清治・他1名

電子情報通信学会論文誌 J69D—11, 1654～1661 (昭61-11)

画像認識技術は、工場での高度な生産自動化を図る際に大きな役割を果たしつつある。機械的な位置決めが困難な場合や、混在した異種の部品を分類したりする場合、テレビジョンカメラを用いた画像認識システムにより、位置ずれ量や種別が自動的に検出・判定される。

このような工業応用には、従来、白黒テレビジョンカメラにより得られる輝度情報だけを利用する方法が多く行われており、認識対象の持つカラー情報を利用する試みは少なかった。この理由は、従来のカラー画像認識は色彩データとして原色信号(赤、緑、青)を用いており、このため、画像メモリや処理量が白黒濃淡処理の3倍になるためである。そこで筆者らは、人間が色を認識する際には、色相・彩度・明度という心理量で行っていることに着目し、カラー画像データが最初から色相・彩度といった解析しやすい形で与えられていれば、認識も簡単になると考えた。すなわち、工業応用

に限れば、場合によっては色相だけの判断で十分なことも多いのである。

本論文では、工業応用という目標を常に念頭に置きながら、カラー情報で最も大切な色相検出に重点を置いた色認識方法について検討した。まず、カラーテレビジョンカメラからの信号を色度(色相・彩度)に変換する方法として、RGB方式と色差信号方式とを示した。RGB方式とは、原色信号(R, G, B)から色度を算出する方法であり、色差信号方式とは、2種の色差信号(R-Y, B-Y)から色度を求める方法である。色差信号とは、カラーテレビジョンでの伝送で色情報の基本的な信号であり、R-Y信号は赤や緑の色成分の量を表し、B-Y信号は青や黄の色成分の量を表す。ここでYは輝度信号である。無彩色(白・灰・黒)は色度を持たないため、 $R-Y=B-Y=0$ となる。

次に、マンセル色票を用いて、両方式による色相検出精度の評価実験を行った。その結果、RGB方式では、色相検出値のばら

つき(3σ)から、色識別可能数を算出すると20色であり、色差信号方式では23色であった。次に、実用化時に起り得ると考えられる $\pm 20\%$ の明るさ変動に対しては、それぞれ13色、12色であった。以上の結果から、色度検出という観点からは2信号だけ使用する色差信号方式でも、3信号使用するRGB方式と同等の性能が得られることが分かった。

さて、画像認識を工業に応用する場合、通常0.5秒以下の高速な認識が必要となる。このため、上記色度変換をハードウェアで行う方法を検討し、色差信号方式では、2次元のルックアップテーブルを用いて実時間での変換が可能であり、RGB方式よりも優位であることを示した。

最後に、高速色度変換が可能な色差信号方式で、カラー電線(6色)と抵抗カラーコードで色抽出実験を行い、その有効性を確認した。

仮想転位分布によるせん断不適合型双結晶に 生ずる弾性不適合応力の近似評価法

北海道大学 半澤 宏・日立製作所 大橋鉄也

日本金属学会誌 50—11, 956～960 (昭61-11)

弾性異方性の効果によって、多結晶体内の結晶粒界などの近傍に発生する局所的な弾性応力(いわゆる弾性不適合応力)は、粒内の結晶欠陥の運動などに影響を及ぼすため、これまで有限要素法、差分法、応力関数法などによって解析が行われてきた。しかし、いずれの解析方法も、結晶欠陥の受ける影響がどのようなものかを評価するには、複雑な手順を経て実際に数値計算を行わなければならない。

本論文は粒界の近傍に発生するこの局所的な弾性応力を評価するうえで、離散化が不要で物理的な洞察に有利であるなど幾つかの利点のある解析方法について述べたものである。

本方法では、局所応力は、粒界面上での適合条件を満たすために仮想的に導入された、粒界転位群の自己応力場の和として得

られる。いま簡単のために、2個の結晶粒AとBが粒界面で結合した状態で外力を受ける場合を考える。この状態での弾性場は、弾性変形が線形であることにより、結晶粒AとBが分離した状態で外力を受けている仮想的状態での弾性場と、界面での変位場が連続でなければならないために生ずる変形の相互拘束作用による弾性場の和に等しい。2個の結晶粒が分離し、単に隣接している仮想的状態では、2個の結晶粒に生じている変位場の間に不連続的な跳躍があるが、この跳躍は跳躍の生じている面上に大きさが同じで向きが反対の跳躍量を持つ変位場を重ね合わせることによって相殺することができる。一方、跳躍のある変位場は、連続体中のボルテラ転位によって作ることができる。よって、界面上に適当なボルテラ転位の並びを仮想的に導入することによ

り、変位の跳躍のない適合な変形状態が得られる。結晶粒相互の変形拘束によって生ずる局所弾性応力は、導入したボルテラ転位群の自己応力場を重ね合わせたものにほかならない。

解析例では種々の縦横寸法比を持つせん断不適合型双結晶中の応力分布を求め、その結果から、この型式の双結晶の粒界面の端部に $\log r$ のオーダーの特異性を持つ応力場が形成されること、本手法で得られる結果が定量的にも満足できるものであることなどが分かった。また、粒界近傍での結晶欠陥の運動に対する局所弾性応力の効果は、結晶欠陥と粒界面上の仮想ボルテラ転位群との相互作用に置き換えることによって、容易に推定できることを明らかにした。