

ディジタル・オーディオ・シグナル・プロセッサ (DASP)

Digital Audio Signal Processor (DASP)

佐古和也⁽¹⁾
Kazuya Sako

要 旨

この度開発したディジタル・オーディオ・シグナル・プロセッサは、24ビットの浮動小数点演算方式 (IEEE.754準拠) を採用した基本部と、二種類のシリアルデータ転送回路およびミューティング係数レジスタから構成されている。

これにより、2種類のPCMデータの直接転送やヒューマン・インタフェースに必要な外部からの制御が容易に行える。

本LSIを用いることで、周辺回路の少ないシンプルな構成で柔軟性に富んだ高性能ディジタル・オーディオシステムが実現できる。

本論文では、今回開発したLSIの概要、特徴および具体的な応用方法について報告する。

An advanced digital signal processor suitable for use in car audio equipment has been developed.

This LSI consists of a basic part of the floating-point arithmetic system (conforming to IEEE. 754), several serial data transfer circuits and special purpose registers, all of which are integrated into one chip.

This processor makes it possible to design a compact, high-performance audio system.

The following report outlines the features of the LSI and gives specific application examples used this signal processing system.

⁽¹⁾ 第一開発部

1. は じ め に

1979年インテル社の信号処理専用プロセッサの開発に端を発して、各半導体メーカから相次ぎ新しい専用デバイスが発表された。

これに伴い、ディジタル信号処理のアプリケーションにおいても、実時間処理の領域が拡がり、その後のLSI技術の進歩とも相まって、今日まで発達を続けてきた。

一方、オーディオ業界においては、ディジタルオーディオ・ソースが本格的な普及時代に入りつつあり、これらのソースが持つクオリティを最大限に生かせる高品質音声処理（Hi-Fi処理）が求められている。

当社はこのようなニーズに対応すべく、浮動小数点演算方式を採用した音声処理専用プロセッサ（Digital Audio Signal Processor: DASP）の開発を行った。

このプロセッサの特徴を次に示す。

- (1)基本命令サイクル75ns（13.3MIPS）
- (2)24ビット浮動小数点方式の採用
- (3)オーディオ用インタフェースを内蔵
- (4)信号処理系と制御系インタフェースを完全に分離
- (5)大容量外部データメモリ空間（128k $\times$ 24ビット）
- (6)データ更新時のポップノイズ発生を防ぐオーディオ・ミュート・カウンタ内蔵
- (7)28ビット並列入出力ポートを内蔵
- (8)多チャネルのデータ転送が可能

固定小数点データ16ビット $\times$ 8チャネル、浮動小数点データ24ビット $\times$ 4チャネルの同時転送が可能

2. 基 本 仕 様

今回開発したDASPのチップ写真を図-1に、

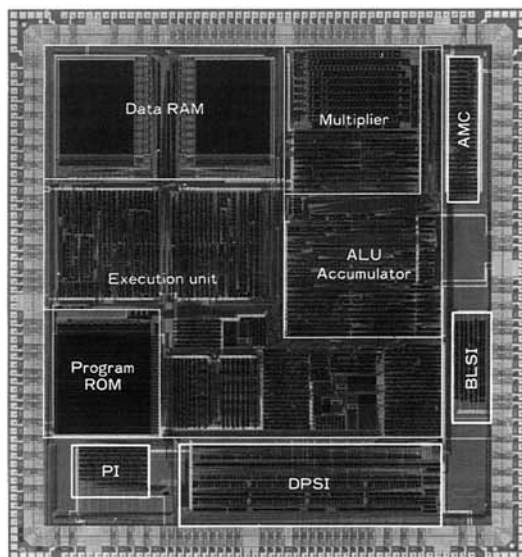


図-1 DASPチップ写真
Fig. 1 DASP chip layout

基本仕様を表-1に示す。

DASPの内部は、演算処理を行うコア部と、データ転送回路を主とする周辺部に分ける事ができる。

コア部は、オーディオ用として十分な精度を確保するために、仮数部18ビット、指数部6ビット

表-1 DASPの仕様

項 目	仕 様
データ形式	24bits (仮数部 18bits + 指数部 6bits $\rightarrow$ 24bits)
演算形式	24bits $\times$ 24bits $\rightarrow$ 30bits
バス	24bits (内部・外部共)
命令実行サイクル	75ns $\times$ 1 (基本命令実行) 75ns $\times$ 2 (浮動小数点演算)
プログラムメモリ	命令ROM 2k $\times$ 30bits (データROMとしても使用可能)
データメモリ	内部RAM 512 $\times$ 24bits 外部 64k $\times$ 24bits $\times$ 2
インタフェース	デュアルポート・シリアルインタフェース バイナリ低速シリアルインタフェース オーディオ・ミュート・カウンタ パラレル・インタフェース

の24ビット (18E6) のデータフォーマットを採用した。また、演算精度を向上させるために、演算結果を保持するアキュムレータ長を30ビット (24E6) にした。一般的に、ディジタル・オーディオの処理品質を決定するのは、データ表現の際に用いる仮数部のビット長や、アキュムレータ長である。当然これらは、大きいほうが望ましいがハードウェア規模と処理品質の兼ね合いから、上記の語長に決定した。

命令実行サイクルは 75ns で基本的な命令のほとんどを1サイクル、浮動小数点演算も2サイクル (除算を除く) で実行することができる。

さらに、DASPはシステム構成をシンプルにするために、周辺回路として、2種類のシリアルインタフェースと、個別入出力が可能なパラレルインタフェース、アルゴリズム切り換え時に発生するポップノイズを防止するためのオーディオ・ミュートカウンタ(Audio Muting Counter: AMC)を内蔵した。

3. 数 値 表 現

DASP内部ではIEEE準拠の浮動小数点表現 (ただし18E6である) と、これを変換して得られる固定小数点表現の二種類の数値表現を用いる。

演算の際には、演算精度確保のために前者を用いる。図-2にこれらの数値表現方法を示す。

浮動小数点形式

29	28	23	22	6	5	0
S	e	f				fd

Value = $(-1)^s \cdot 2^{e-31} \cdot (1.f, fd)$

固定小数点形式

29	28	6	5	0
S	a			b

Value = $(-1)^s \cdot (a, b)$

図-2 DASPの数値表現

Fig. 2 Numeric representation.

同図は、データ長30ビットのアキュムレータに数値がセットされた状態を示すもので、メモリに転送する場合は、MSB側の24ビットを用いる。

浮動小数点データの場合は、MSB側から1ビットの符号と、これに続く6ビットの指数部および、23ビットの仮数部で表現する。

なお、指数部は、31のオフセットが加わったオフセットバイナリで表現されている。

また、仮数部の小数点位置は、BIT23とBIT22の間で、小数点の上側に、常時“1”が存在するものとして扱われる。

従って、表現できる数値は $(2-2^{-23}) \times 2^{31} \sim 1.0 \times 2^{-30} \sim 0$ (負側も同様) の範囲になる。

一方、固定小数点表現は、MSBから1ビットの符号とこれに続く29ビットの固定小数値で表現する。この場合の小数点位置は、BIT6とBIT7の間にあり、表現できる数値の範囲は $2^{23}-1 \sim 0$ (負側も同様) になる。

4. 浮動小数点演算のメリット

DASPでは、高品質なオーディオ処理を行うために、高精度で広いダイナミックレンジをもつ浮動小数点演算方式を採用した。

図-3に示す様に、浮動小数点演算方式では、数値が指数部の変化範囲内に存在する限り、仮数部本来の精度を最大限に生かすことができる。

同じデータ長の固定小数点演算と比較しても、最大値近傍を除いて、常に浮動小数点演算の演算精度が優れている事がわかる。

一般のオーディオ信号の大部分は、小振幅領域に分布しており、また、これを処理するディジタルフィルタの係数は、1以下である場合が多い。

従って、演算途中結果も、一般的なアプリケーションにおいては、小さな値に多く分布することになる。この様な、小振幅入力や、稀に存在する

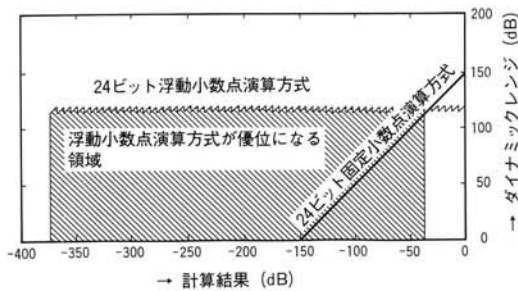


図-3 浮動小数点と固定小数点演算方式の比較

Fig. 3 Comparison between floating-point and fixed-point representation.

大振幅入力の処理に対応するため、固定小数点演算においては、入力値を係数倍して演算を行い、出力時に元に戻すスケール演算によって、精度を確保することがある。

一方、浮動小数点演算の場合、このような煩雑な処理を考慮する必要がなく、アルゴリズムの簡素化と処理信号の品質確保が両立できる。実際のアプリケーションにおいても、特性や聴感評価で、従来の固定小数点演算方式のDSPを用いた場合より良い結果が得られている。

5. 数値変換方法

前項で述べた二種類の表現方法（浮動小数点表現と固定小数点表現）は、簡単なシフト操作で相互変換できる利点がある。

ところが、一般にADコンバータやDAコンバータの多くは2の補数表現(Binary Two's Complement: BTC)を用いている。

DASPは、この様なコンバータとも直接接続できる様に、BTCデータと固定小数点データの間で、相互変換を行う機能を持っている。AD/DAコンバータとDASP間で、データ転送を行う場合、あらかじめモード設定(入力=BTC I、出力=BTC O)しておくことで、自動的にデータが変換される。

図-4に、DASP内で用いられる数値の相互変換の関係を示す。固定小数点と浮動小数点データの変換・逆変換も、変換命令(CIF/CFI)によって容易に行うことができる。これらを用いることで、浮動小数演算に伴う煩雑な数値変換処理が不要であり内部プログラムの負担が軽減でき

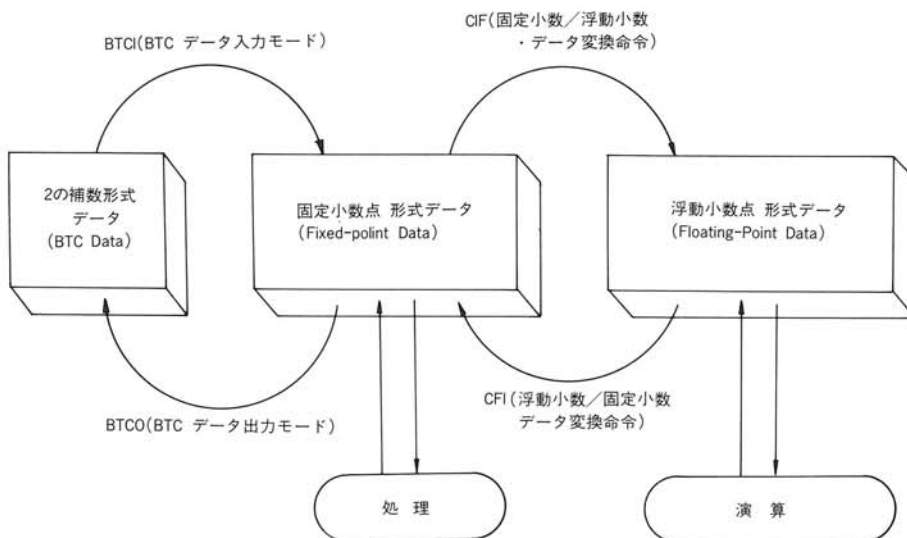


図-4 数値の相互変換

Fig. 4 Relationship between numeric representation and mutual conversion.

る。

6. デュアル・ボード・シリアル・インタフェース (DPSI)

DASPを使用して、より高速、複雑な信号処理を行う場合には、複数個のDASPを直列または、並列接続したマルチプロセッサ構成を用いる。

この様なシステムでは、AD/DAコンバータとDASP間のBTC（固定小数点）データ転送

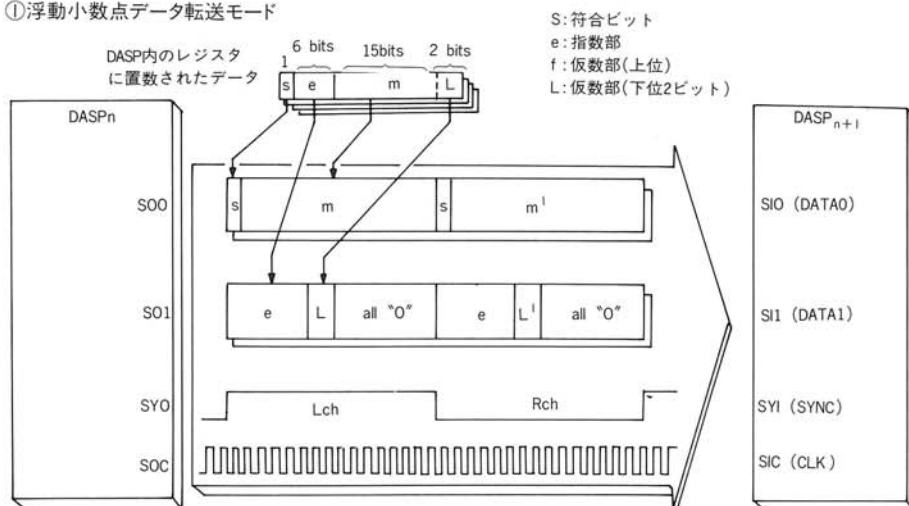
表-2 データ転送モード

クロック・モード 転送モード	×1	×2
浮動小数点 データ転送	24ビット× 2チャンネル	24ビット× 4チャンネル
固定小数点 データ転送	16ビット× 4チャンネル	16ビット× 8チャンネル

と、DASP間の浮動小数点データ転送を共存させる必要がある。

これは、DASP内部で行った浮動小数点形式による高精度な演算結果を、そのままの精度で次

①浮動小数点データ転送モード



②固定小数点データ転送モード

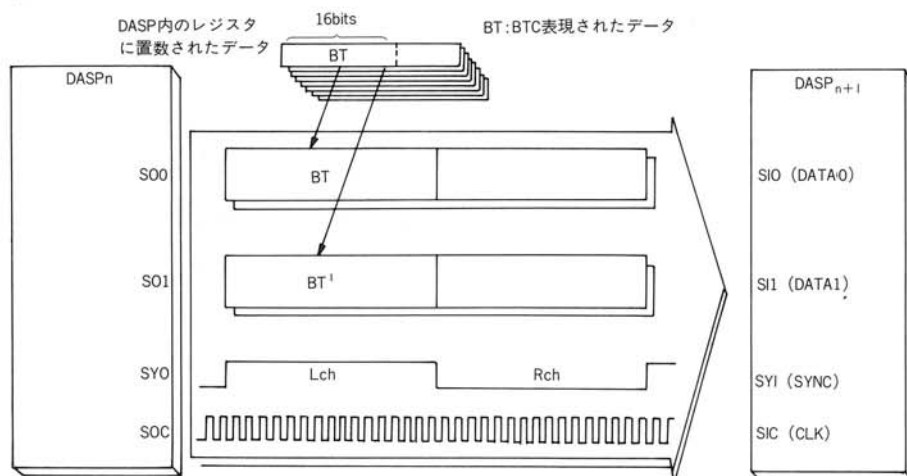


図-5 DPSIを用いたデータ転送

Fig. 5 Data transfer system using DPSI.

のDASPに転送するため、一つのチップで処理した場合と同じ精度を確保する狙いがある。また、この時の信号処理の分割を容易にすると共に、カーオーディオのマルチスピーカに対応するためには、多チャンネルデータの同時転送も必要である。

DPSIは2つのシリアルポートを内蔵し、表-2に示す2種類のデータ転送モードと、2つのクロックモードで、これらを実現している。

クロックモードには、クロックの立ち下がりでデータを出力し、立ち上がりで取り込む1倍クロックモードと、立ち上がり、立ち下がり両エッジでデータを入出力する2倍クロックモードの2つがある。これにより、同一クロックで2倍の量のデータ転送が可能になる。

DPSIを用いれば、多チャンネル入出力やマルチプロセッサ・システムが容易に実現できる。

図-5にDPSIを用いたデータ転送を示す。

7. バイナリ低速シリアル・インタフェース (BLSI)

効率的なオーディオシステムを構成するためには、ヒューマン・インタフェースに伴う煩雑な処理と高速性が要求される信号処理を分離し、マイクロプロセッサ (μ PC) とDSPで、それぞれ分担して処理することが望ましい。

DASPは、これを実現するため、 μ PCとDASP間データ転送を行うバイナリ低速シリアルインタフェース (Binary Low-speed Serial Interface: BLSI) を内蔵している。

BLSIは、コマンドとアドレス受信レジスタ (RXR)、データ送受信レジスタ (TXR)、制御線3本で構成した双方向インタフェースであり、主にDASP内部データメモリ・アクセスを行うためのものである。

図-6にBLSIの構成と動作タイミングを示

す。

以下、BLSIを用いたヒューマン・インタフェースの一例を示す。

システム操作者が、音量や音質を変化させようとする場合、(μ PCからDASPへのデータ転送)

① システム操作者が、 μ PCに接続された制御用キーSWを操作する。

② μ PCはこの情報を処理し、DASPに書き込みコマンドとアドレス (16ビット) を送出する。

③ DASP側の準備ができるのを待って、さらに内部メモリに書き込むべきデータ (24ビット) を送出する。

④ DASP側では、コマンドおよびアドレスをデコードし、データをサイクルスチルにより内部メモリに書き込む。

DASP内では、信号処理プログラムを繰り返し実行しているが、処理に使用する係数や処理アルゴリズムそのものが変更されるので、操作者の希望の特性が得られることになる。

上記とは逆に、DASP内部のオーディオデータを用いて、スペクトラム・アナライザやレベルインジケータを実現することもできる。

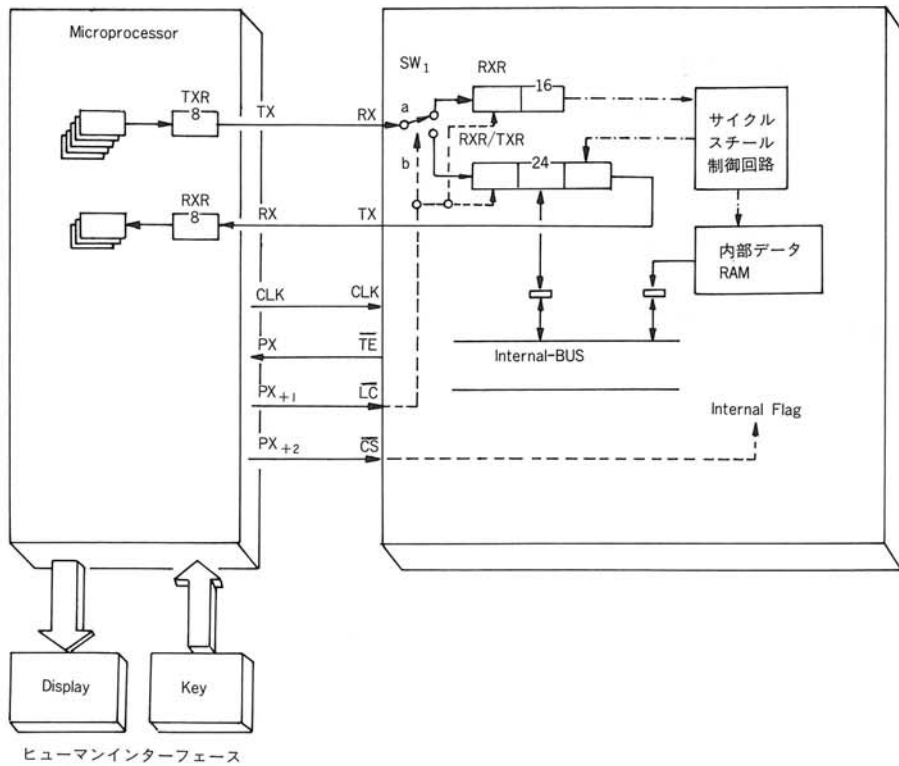
この様にして、DASPの内部プログラムで煩雑な処理を行うことなく、理想的なヒューマン・インタフェースと、効率的な信号処理の実現が可能になる。

8. オーディオ・ミュートینگ・カウンタ (AMC)

オーディオ信号の処理中にアルゴリズムを切り換えたり、係数を大量に書き換えた時には、出力データに不連続点が発生し、これがポップノイズとなって現れる。

DASPでは、これを防止するためにオーディオ・ミュートینگ・カウンタ (Audio Muting

②BSLIの構成



②動作タイミング

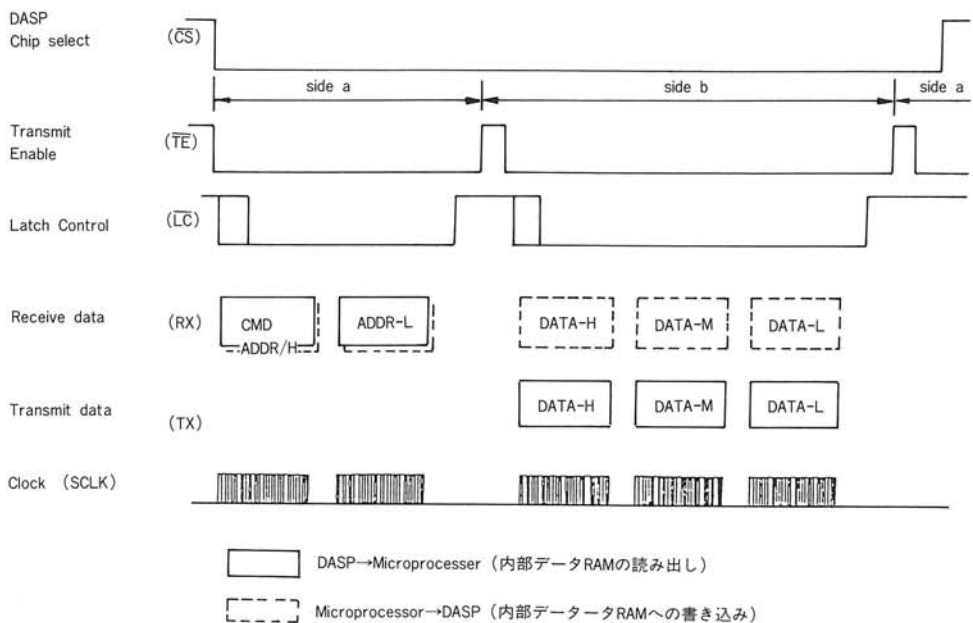


図-6 BLSIの構成と動作タイミング
Fig. 6 BLSI Configuration and operation timing chart.

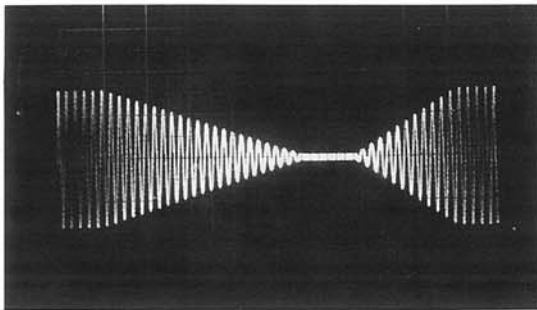


図-7 オーディオ・ミュート・カウンタの動作例
(正弦波入力時のミュート動作と解除動作)

Fig. 7 Audio muting counter operation.

Counter: AMC) を備えている。AMCの初期設定は、係数変化範囲、変化量、増減方向の3つのパラメータを設定し、カウントモードにするだけで良い。

図-7は、入力信号(正弦波)を、AMCから読み出した係数で処理した場合の出力信号の例である。

AMCはアクセスするたびに自動的に更新され、その変化範囲も意識する必要がないので、従来、ソフトウェアで行っていたミュート係数算出が不要になり、アルゴリズムの簡素化がはかれる。

9. システム構成例

図-8はA/D、CD、DATとDASPの接続例で、アナログ・オーディオソースの場合、アナログ信号をADCを用いてPCMデータに変換し、DPSIで直接入力することができる。また、CDやDATに代表されるデジタル・オーディオソースの場合も、ソースから出力されるPCM信号の直接入力が可能である。

図-9は多数のDACに対する出力例を示したもので立ち上がり・立ち下がり両クロックエッジを用いることで最大8chの異なるデータの出力が可能であり、多チャンネル出力が要求される用途に対しても容易に対応できる。

10. DASPチップ

今回開発したDASPの外観を図-10に示す。左側がチップの評価やアルゴリズム開発に用いる評価用チップである。右側は量産に使用するチップである。

11. アプリケーション

DASPは前述した様に一般的なオーディオ処

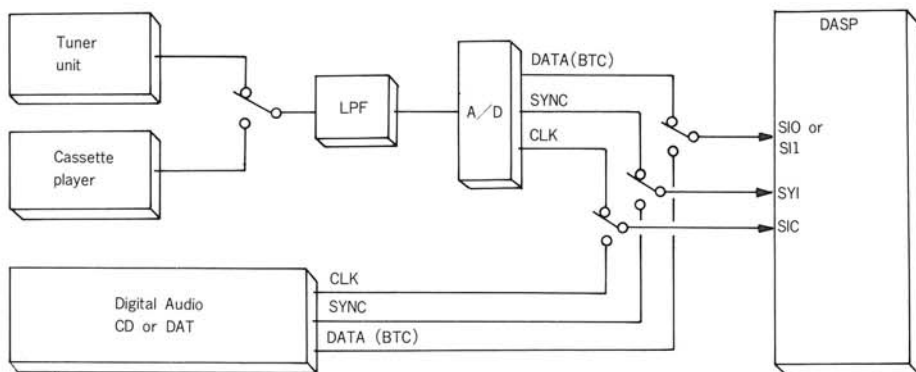


図-8 A/D、CD、DATとDASPの接続例

Fig. 8 Connection for A/D, CD, or DAT (data input).

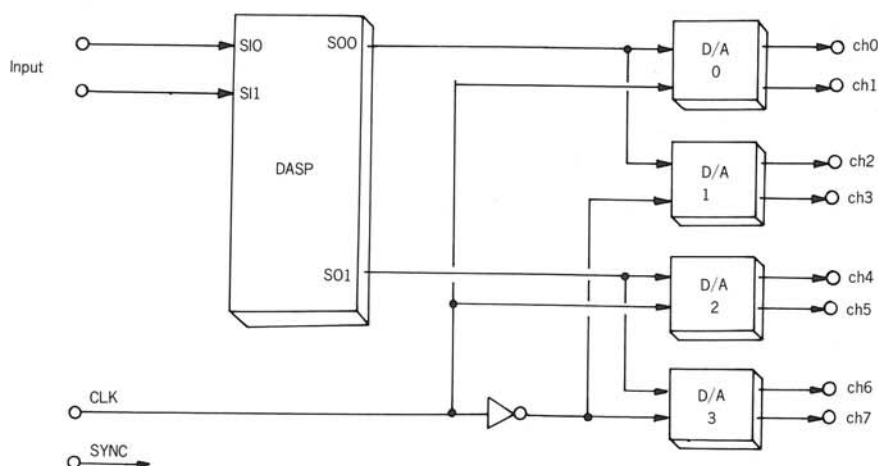


図-9 D/Aとの接続例

Fig. 9 D/A connection.

理を始め、音場制御や騒音のアクティブ・コントロール³⁾等の高度な処理にも応用できる。
 ロール⁴⁾等の高度な処理にも応用できる。

また、ハンズフリー（自動車用電話）等、処理帯域の狭い用途においては、シングルチップで多量の演算処理が可能である。

さらに、オーディオ用途ばかりではなく、多数の平行入出力（外部データメモリ用ポートと兼用になっている）を有しているので、ダイアグノーシス（Diagnostic System）等の信号解析や制御への適応も可能である。

12. 結 論

DASPの概要、特徴、応用方法について述べた。

DASPを用いたシステムはコンバータやDASP間のインタフェース回路が不要であり、構成がシンプルである。

また浮動小数点演算方式を採用しているため高精度処理が可能であり、信号処理による特性劣化が少ない。

さらに温度変化、経年変化に対して安定性を確保でき、同一のハードウェアをソフトウェア次第で多様に活用できる利点がある。

従って、DASPは小型・軽量・高信頼性・耐環境性の要求されるカーオーディオ用途に非常に適している。

この様に、DASPは多くの可能性を含んだチップである。しかし、アルゴリズムの開発なくしてはどのようなシステムの実現も不可能である。

当社では、現在、DASPのアプリケーション

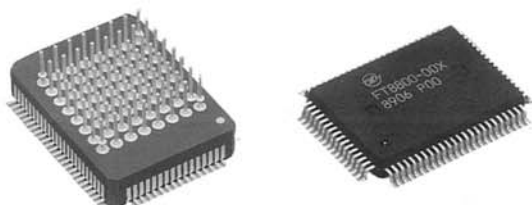


図-10 DASPの外観

Fig. 10 Package of DASP.

開発の一環として、オーディオ一般制御アルゴリズムを始め、自動車内で拡がり感のある自然な音楽再生を可能にする音場制御や音像制御アルゴリズムの開発も行っている。これらが具現化すれば、従来のオーディオの枠を越えた新しい効果が得られるものと確信する。

DASPを用いたオーディオシステムが、カーオーディオの品質をより一層高め、多くのユーザーに広く受け入れられる事を切望して止まない。

参考文献

- 1) C. Ashton: Designer's Guide to Floating-point processing, EDN 1986, 1/9, Vol. 31, No. 1, 115-121.
- 2) 佐古、平野他; 『マルチDSPによる高速デジタル信号処理の実現』, CAS 85-178
- 3) 本島、長野他; 『デジタル信号処理を用いた車室内音場制御の検討』 電子情報学会 1989 A-175
- 4) Maurice JESSEL; "Active noise and vibration control (ANVC): current trends, permanent aims and future possibilities", ARCHIVES OF ACOUSTICS 10, 4, 345-356 (1985).