

# ミックスト・シグナルLSI設計に必要な基礎知識

—アナログLSI開発の歴史とCMOSアナログ回路の基本動作

湯川 彰



ここではミックスト・シグナルLSI設計技術の解説の導入部として、アナログLSI開発の歴史について紹介する。また、インバータ回路を例に、CMOSアナログ回路の基本動作を説明する。主流の技術がバイポーラ・アナログからMOSアナログに移り、デジタルLSIの中にアナログ回路を混載することが容易になってきた。ただし、MOSアナログではコストを意識しながら設計することが重要になる。(編集部)

集積回路技術の微細化が進展し、1チップに約1億個のトランジスタが集積化できるようになりました。この1億個のトランジスタを何に使うのかという問題があるのですが、集積回路と外の世界をつなぐ部分については、アナログ回路を組み込むことが避けられなくなっています。

音や光は、装置の中ではデジタル信号として加工・蓄積・伝送されますが、人とのインターフェースを取る部分ではアナログ信号に変換され、アナログ信号で駆動されます。装置の間のインターフェースについても、電話線や電波などの伝送路をもっとも効率的に使用したい場合、通信理論が示すように、信号はアナログの形態にならざるをえません。パルスで通信するときの波形も、伝送の過程で崩れた波形から元のパルスを再生するために、受け取った信号をアナログ信号として処理しなければなりません。

集積回路の規模が小さいうちは、「アナログ部分は別のチップをお使いください」とか、「アナログ部分は標準ICを組み合わせれば実現できます」といって済ませることができました。しかし、微細化によってシリコン・チップの面積に余裕ができ、またMOS(metal oxide semiconductor)アナログ回路技術が進歩してノウハウの蓄積が増えたことにより、LSIの魅力を高めるためにアナログ機能を搭載することがあたりまえになってきました。

例えば、図1はNECのDVD用CODEC(coder-decoder) LSI「μPD61171」のブロック図です。0.15μmルールのCMOSプロセスによって製造されており、約4,000万トランジスタを10mm角のチップ上に集積しています。このチップでは主要なアナログ部品として、6チャンネルのビデオ出力用10ビットD-Aコンバータなどを搭載しています。

6チャンネル分をLSIの外に出すと、データ線だけで60ピンの端子(リード)が必要になります。アナログで出力すれば、これを6ピンに削減できます。また、高速で数の多いデジタル入出力は、消費電力やEMI(electro-magnetic interference)ノイズが増加する原因になりやすいという問題があります。アナログであれば信号振幅が小さくなり、消費電力が下がります。また、扱う周波数も低くなりますから、ノイズが発生する可能性も大幅に低減できます。

これとは別に、デジタル集積回路の内部でも、「アナログ」が一つのキーワードになっています。トランジスタそのものの動作限界速度は向上しましたが、信号を伝える経路の応答速度が逆に低下する状況になっています。そのため、デジタル回路であってもアナログ回路として設計しなければならない場合すら発生しています。今後、さらに集積回路技術が発展すると、スイッチング速度と電磁波の伝搬速度が同程度になり、今はマイクロ波やミリ波の世界だけで議論されている分布定数線路の概念を取り入れた設計が求められるようになるかもしれません。

## ● デジタル処理を前提としたアナログ信号の知識が必要

アナログ・デジタル混載設計(ミックスト・シグナル回路設計)を行ううえで必要な知識として、アナログ設計に必要な知識とデジタル設計に必要な知識に加えて、デジタル処理を行うことを前提としたアナログ信号に関する知

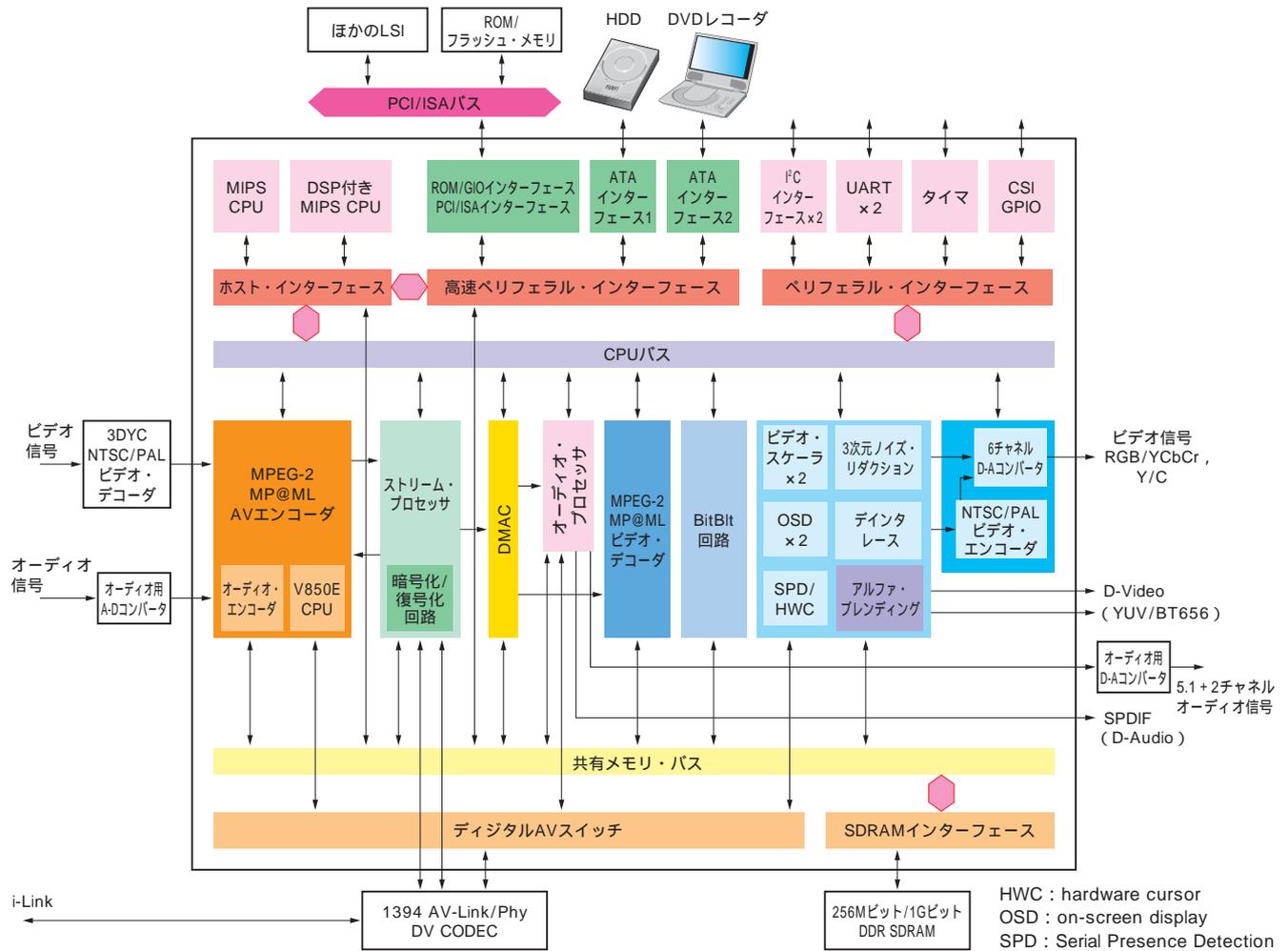


図1 DVD用CODEC LSI「μPD61171」のブロック図

約4,000万トランジスタを10mm角のチップに搭載している。このチップは、主要なアナログ部品として、ビデオ出力用の10ビットD-Aコンバータを6チャンネル搭載している。2004年3月に発表された後継製品の「μPD61181」では、ビデオ入力用の10ビットA-Dコンバータも集積化されている。

識があります。これについて、順番に説明していきます。

まず、A-D変換する信号をサンプリングしたとき、サンプリング周波数の半分を超える周波数成分の信号が低い周波数成分に変換されてしまう折り返しノイズや、D-A変換に伴って生じる周波数特性の劣化、デジタル表現したことに伴うノイズなどの知識が必要です。

デジタル回路設計では、すでにサンプリングされた信号をクロック信号に合わせて処理するので、時系列の応答に注目して設計するのが普通でしょう。一方、純粋なアナログ信号処理では、例えばフィルタ設計のように、信号をフーリエ変換した周波数領域と動作点や信号振幅を決める電圧値を中心に設計することが多いでしょう。アナログ・デジタル混載回路は両者の橋渡しとなるので、両方の領域に対する注意が必要となります。図2のように、時間軸

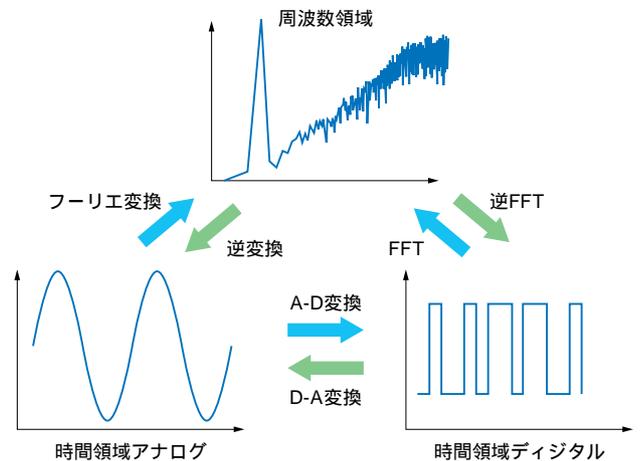


図2 アナログ・デジタル混載の領域

アナログ・デジタル混載(ミックスド・シグナル)設計では、時間領域のアナログ、デジタルとともに、周波数領域の信号も考慮しながら設計を進める必要がある。図の周波数スペクトラムは、2次変調器に正弦波を入力したときに得られる1ビット・データ列をFFT(fast Fourier transform)したものである。

1