

ロボットと LSI

－アナログ回路設計、集積システム設計－

知能情報学科 田中義人

私たちは、五感（視覚、聴覚、味覚、臭覚、触覚）で外部からの刺激を感じながら生きています。光は視覚を、音は聴覚を刺激するもので、特に情報機器では積極的に利用されています。実は、私たちはこれらの刺激をアナログ的に感じているのです。つまり、数字で認識しているわけではなく、感覚という何とも言い表しがたい量で感じています。その他に、携帯電話で利用されている電波などもアナログ信号です。正確に言えば、アナログ信号にデジタル情報を乗せて通信をしています。最近の情報機器はアナログからデジタルに代わっていると思っていたのに、自然界はみんなアナログなのです。

ちょっと脱線しますが、第六感とは何でしょう？ 仏教の世界では大昔から、「法」という六感について述べています。これによると、どうやら人間の脳の活動による感覚を「法」と言っているようです。確かに、どの感覚器も刺激を感じていないのに夢を見ますね。「法」を情報機器で説明するなら、コンピュータすなわちマイクロプロセッサで計算したことを感じることに、と書いていいでしょう。人間の脳はアナログですが、コンピュータで使用しているマイクロプロセッサはすべてデジタルです。そういう意味では、第六感とは、情報機器の中での唯一のデジタル感覚器になるのかもしれませんが。五感のうち、味覚、臭覚、触覚については、まだ情報化はそんなに進んでいません。特に、味覚と臭覚については、多種多様な分子の種類を検出する必要があり、これからの研究分野です。

電波で受け取った音楽や映像は、みなさんの携帯電話で、簡単に観たり聴いたりすることができます。電波中の 0 と 1 に符号化された信号を、携帯電話の中にあるマイクロプロセッサ（MPU）やデジタルシグナルプロセッサ（DSP）で音や光に対応する信号に変換（計算）します。たとえば、映像に対応する信号であれば、デジタルの映像データが液晶ディスプレイの駆動 LSI に送られ、アナログ信号に変換された後、画面に表示されます。音に対応する信号であれば、デジタルの音楽データが音源 LSI に送られ、アナログ信号に変換された後、スピーカから音が出ます。また、カメラで写真を撮った場合はどうでしょう？ カメラから入ってくる光は、イメージセンサ LSI でアナログの電気信号に変換されます。変換するときの最小単位を画素（ピクセル）と呼び、最近の携帯電話では 200 万（2 M）画素ぐらいあります。イメージセンサは人間の目でいえば網膜に相当し、画素は円錐細胞や棒細胞に相当します。イメージセンサで取

った信号は、アナログ→デジタル変換器でデジタルデータに変換されプロセッサに送られ、さらに信号処理（計算）が施され、メモリーに保存されます。

みなさんも聞いたことがあると思いますが、マイクロプロセッサの代表選手はインテル社のペンティアムです。ほとんどのコンピュータの頭脳として活躍しています。最近の MPU は、5000 万個ぐらいのトランジスタ素子より構成されています。1センチ角のシリコンの板の上に、何と 5000 万個もの素子がぎっしりと詰まっているのです。トランジスタ素子を人にたとえるなら、日本の人口の半分ぐらいに相当し、一人ひとりが間違わずに手をつないでおり、一人も死んでいない状態です。一つでも素子が壊れるとプロセッサは動きません。一つの素子の大きさは、1 万分の 1 ミリ（100 ナノメートル）で程度です。LSI の中は、まるでミクロの都市のようです（図 1）。ナノの世界のミクロ都市を 0 と 1 に相当する電気信号（デジタル信号）が飛び交い、計算を行っているのです。このように、0 と 1 に相当する信号だけを取り扱う回路をデジタル回路と呼びます。また、集積化が進むにつれ、音や光の信号などを取り扱うアナログの回路も一緒に LSI に入れるようになってきました。このようにアナログとデジタルを混載するような LSI をミックストシグナル LSI と呼びます。また、何でもかんでも取り込んだ LSI をシステム LSI と呼ぶこともあります。

電子回路を設計するとき、アナログとデジタルとは全く違う考え方をしなければなりません。最近では、デジタル回路はハードウェア記述言語という C 言語と同じような言語でプログラムすることができるようになりました。一方、アナログ回路は、未だに回路図を用いて設計を行っています。アナログ回路は、デジタル回路と組み合わせて動かすことがほとんどです。そういう意味でも同じ LSI の中に入れて動かす方が回路の占める面積を小さくすることができます。しかし、一旦、LSI の中に入れてしまうとあまり

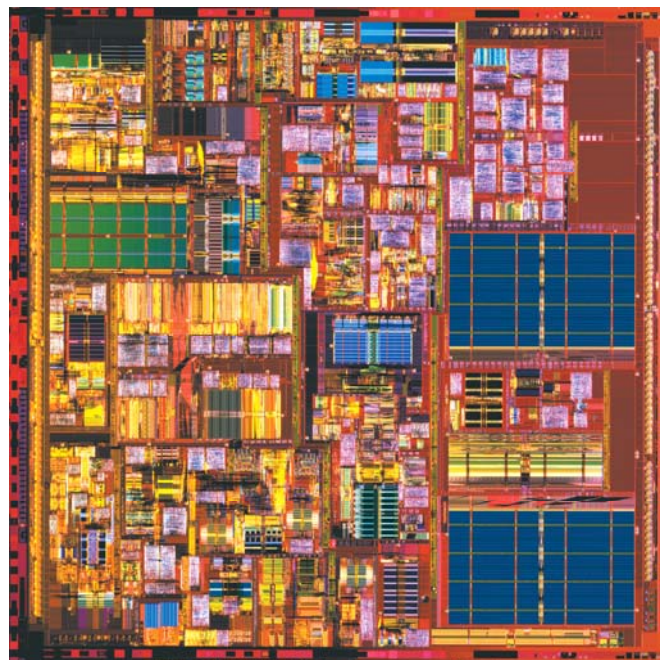


図 1 ペンティアム MPU の内部
（インテルホームページより）

にも小さいので、でき上がった後に LSI 内部の信号を見ることは不可能です。そのためアナログ回路もデジタル回路も、LSI を作る前にコンピュータ上でシミュレーションを行います。そのため、設計も検証もすべてコンピュータ上で終わってしまいます。LSI 設計は、ほとんどがコンピュータ上の作業で終わり、コンピュータが使えないと話にもなりません。

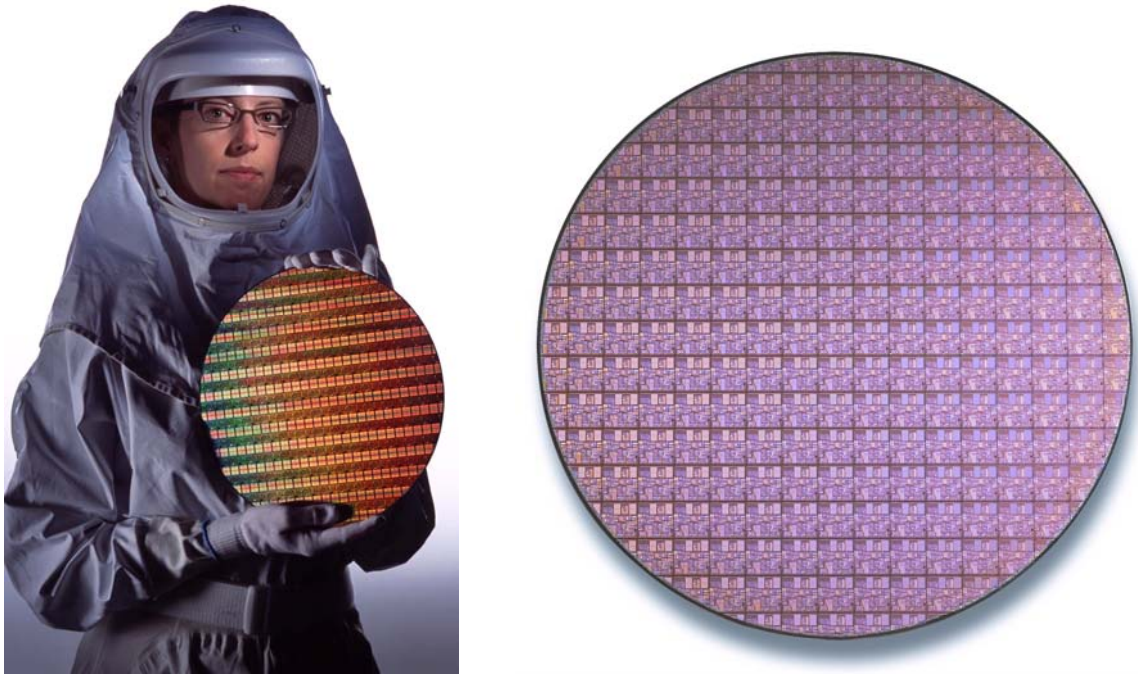


図 2 シリコンウェーハ（インテルホームページより）

設計が終わると設計データが LSI 工場（ファブと呼ぶことが多い）へ送られ、シリコンウェーハ上の LSI チップになります。図 2 で小さい正方形の形をしているものがチップです。チップはダイシングという方法で切り出され、1 枚のウェーハからたくさんの LSI チップを得ることができます。ファブでは、きらきらとしたシリコンウェーハの上に印刷と同じような方法でマスクを用いて回路パターンが焼き付けられ、イオンを打ち込んだり、化学的・熱的な処理をしたり、削ったり（研磨）しながら一月ぐらいの長い工程を経て LSI を作ります。

現在、網膜 LSI を作って、目の見えない人に埋め込んだりする技術が研究されてきています。私の研究室でも、心臓の動きを見る埋め込み型心電計 LSI の開発をしています。今後、体の不自由なところに LSI を埋め込み、機能を回復させるといった技術がどんどん出てくると思います。もしかすると、将来、補助記憶装置として脳

に LSI を埋め込むことも考えられるかもしれませんが。人間には倫理的な問題が付きまといますから、このような技術はすぐには進まないかもしれません。しかし、このような技術でロボットが人間に近づくことはありえます。そして、このような人間と同じ動きをする LSI はロボットの中でどんどん利用されていくかもしれません。20 年後には、今の車と同じような感じで、一家に 1 台のロボットがあるのが普通の家庭になっているかもしれません。そして、ロボットが、家事を手伝ったり、介護をしたりしていることでしょう。私は、今作られている 2 足歩行ロボットが、このようなことがすぐにできるようになるとは考えていません。デジタルのプロセッサだけで動くロボットでは、運動能力として限界があると思うからです。人間も体を動かすとき、頭で考えると返って動きがギクシャクしてきます。野球などスポーツをやっているとき、考えずに体で覚えなさいとよく言います。これは、大変意味が深いと思っています。そういう意味でも、人間というものをもう少し研究して、ロボット専用の LSI を開発する必要があるのではないかと考えています。長崎総合科学大学では、ロボットに利用できる LSI を開発することを夢見て、研究を行っています。