

はじめに

半導体デバイスによるユビキタス社会の実現



株式会社ルネサステクノロジ
生産本部技術開発統括部
MCU デバイス開発部 主管技師
おくやま こうすけ
奥山 幸祐

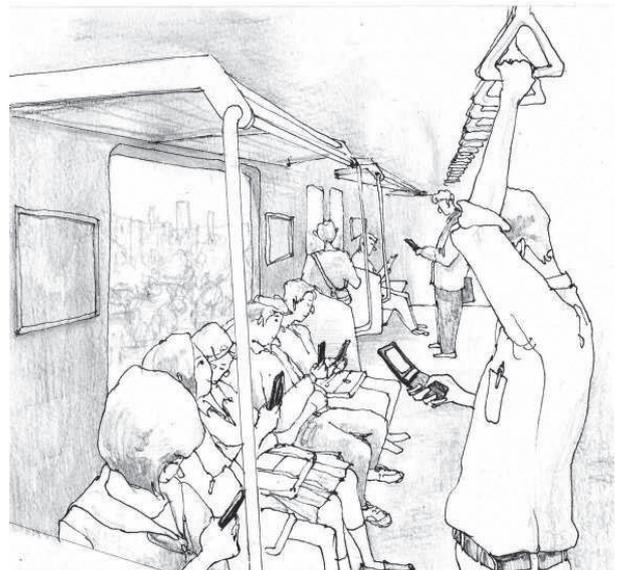
通勤ラッシュの車内を見回すと、混雑の中で多くの人々が携帯電話を片手に小さな画面に見入っている様子が見られる。今日では何気ないこの光景は、さほど昔でない、20年前に目にすればなんと不思議な光景と思えたであろう。携帯電話の出現により、いつでもどこでも電話やメールで連絡を取り合う事ができるようになり、かつては街角のあちらこちらに見られた電話ボックスも殆ど姿を消している。

この携帯電話の進歩は目覚しく、最新のものでは数ミリメートルの薄型で手に乗るサイズでありながら比較的大きなカラーディスプレイ画面を備え、メール、インターネット、ゲーム、カメラ、TV、電子決済機能等を完備し利便性が一段と高まっている。この携帯電話一個をポケットに入れておけば、電話が可能なのはもとより、天気やニュース、音楽、乗り物情報など様々な情報を一瞬にして手に入れられ、財布にあるお金を出し入れすることなしに電車やバスなどに自動改札を通して乗り、街の店で買い物や飲食ができ、家庭や街角、車内などでTV、ゲームに耽り、気に入った景色があれば写真に収め、道に迷ったら人工衛星から位置情報までもらえる。まるでドラえもののポケットを手に入れた様なものである。このポケットに比べてできないことは未来と過去へのタイムトラベルと物質を生み出すことであるが、情報のやり取りなら十分にできる。

ドラえものの漫画を視ている子供たちは、ポケットの中身はどうなっているのだろうか興味津々であるが、漫画の作者はついぞ見せてくれなかった。携帯電話では実物のケースを分解して中身を覗き込んで見ることができる。マイクやキーボードの入力部品、スピーカ、ディスプレイ、着信を知らせる振動子などの出力部品、アンテナの入出力部品があり、中央に電子回路基板がある。基本的な機能は入力部品を通して入力したアナログ信号（音声や電波）の情報を電子回路基板上の回路部品でデジタル信号に変換(A/D)し、一部はメモリに保存、または演算処理し、その結果得

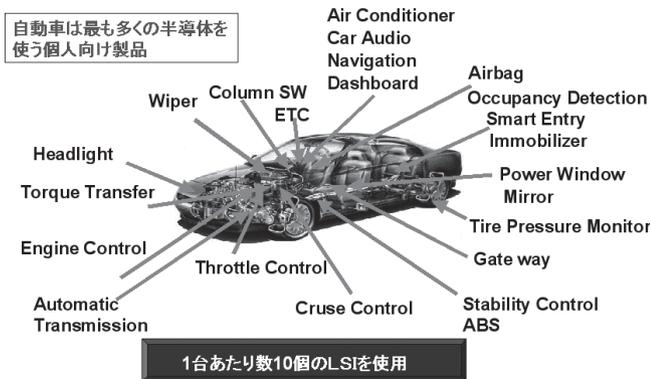
られたデジタル信号をアナログ信号に変換(D/A)し出力部品を通して出力（電波、音声、画像）することである。入力、出力、入出力装置以外の機能構成をしている部分が電子回路基板であり、受信アンプ、送信パワーアンプ、アンテナスイッチ、送信ミキサ、受信ミキサ、音声A/D・D/A変換器、復調回路、変調回路、周波数制御回路、受信信号強度検出回路、送信波形生成回路、送受信信号処理回路、通信制御用CPU、音声処理用DSP、各種メモリ（SRAM、Flash、ROM、EEPROM、LCDドライバ）などで構成される。これらの回路のほとんどが電子回路基板上に装着されている5～6個の数～十数ミリメートル角の黒いレジンパッケージ内にある。パッケージ内には数ミリメートル角の半導体チップ（板）が封止されており、そのチップ上には電子顕微鏡でのぞいてようやく見られる大きさの半導体デバイスで形成された電子回路がある。半導体チップ上に搭載されるデバイスの数を全て合わせると1千万個を超える数になる。これらの驚愕すべき数のデバイスで構成した電子回路（大規模集積回路：LSI）が、前に述べた小さくても格段の利便性を持つ携帯電話の機能を可能にしている。

この数10年間でデバイスの大きさが驚くべき速さで縮小されてきた。例えば、デバイスを作成する際の加工最小寸法は35年前は12.5ミクロンメートルであったが、今日は最新のもので45ナノメートルの寸法のデバイスが製品化され

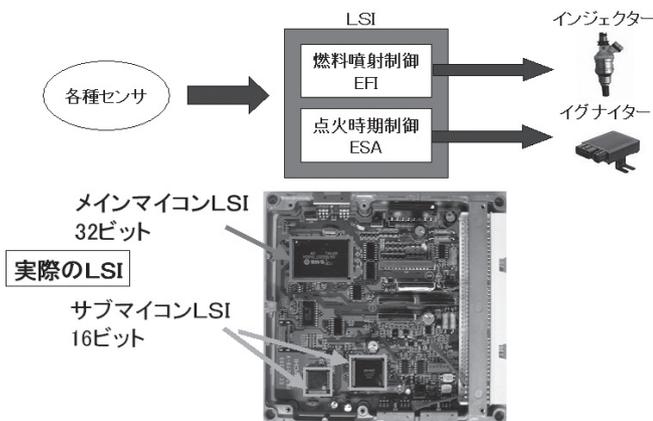


ている。デバイスの一辺がほぼ1/300に、1デバイスの面積は1/90000に縮小されていることになる。この驚異的なデバイス縮小が、限られた数ミリメートルの面積の半導体チップ上の電子回路大集積化を可能にすることで、携帯電話の機能を格段に向上させ、我々に利便性を与えてくれている。

自動車用LSIの応用例



自動車エンジン制御の概要



一方、街を走っている車に目を向けると一昔前と比べ、排気ガスも減り、クリーンな乗り物になっている事に気づく。昔は黒々とした煙を吐き出しながら走る車が多く、道端を歩く人には苦痛で耐えがたいものであった。このクリーン化はフィルター技術革新もあるが、エンジン制御部に設けたLSIがエンジン室内への燃料注入量、点火タイミングを調整する事で格段に効率を上げている。これが燃料の大幅な節約と排気ガスの削減を果たしている。最近では燃料電池を積んだ車も出現し、この制御には更に多くのLSIが欠かせなくなっている。また、車内に目をやると、ナビゲー

タ、TVなどの電子機器が取り付けられ、車は乗るだけのものから楽しむ物になって来ている。エアバッグや自動車間距離保持機能（これは近々装備される）、バックする際の後方映像確認機能などが装備され安全性が一段と高められて来っており、これらは全てLSIで制御される。近い将来、完全自動運転も可能になることが容易に推測できるレベルまで発達している。車に装備されているLSIは数10個以上となる。

半導体デバイスを適用した製品例



更に、家庭の中ではパーソナルコンピュータ、電気炊飯器、電子レンジ、オーブン、エアコン、冷蔵庫、洗濯機、掃除機、TV、DVD、お風呂の自動湯沸し、セキュリティ設備などなど、その他多くの家電があり、それぞれの家電がとても知能的な物になっていることが判る。例えば電気炊飯器では、昔の人が竈で炊いたご飯と同等かそれ以上の旨味を出すプログラムが組み込まれている。これらも全てLSIが可能にしている事である。工場で働いている産業用ロボットやその他の機器も入るとLSIの活躍場所は枚挙にいとまがない。私達の身の回りには多くのLSIを積み込んだ機器が溢れており、その恩恵に与っているのである。LSIはそれらの機器の内部に組み込まれている為に姿が見えない。この為、恩恵を受けている私達がLSIの活躍を常日頃認識できず、残念なことである。

しかしながら、それでこそ神秘的な魔法の道具なのかも知れない。LSIの開発に技術者が日夜励んでいるのは、この魔法の力を強力にすることで、電子機器を使用する人々が驚嘆する顔を見たいからに他ならない。先に挙げたパーソナルコンピュータの性能を現す動作速度（動作周波数）は1ギガHzを越す性能までになってきているが、20年前には大型コンピュータで漸く達成できた性能である。この時の外形は数メートル四方に達するもので、大部屋によく収まる大きさであった。これが今ではA4判×厚さ2センチメートル以下の大きさ（ノートブックパソコン）に

収まっている。これによって、当時の大型コンピュータ並の性能を持つ小箱が、簡単に持ち運びができ、且つ安価で、一般家庭で数台所有されるまでになり、メールやインターネットによる情報交換が誰でも可能になった。駆動に必要な電力も桁違いに減少しており、内部電池で数時間連続的に使用できるまでになっている。しかも見やすいディスプレイ大画面が付きながらも軽量であり、20年前の大型コンピュータに比べると隔世の感である。これらの縮小、性能向上、消費電力低減が低コスト化につながり、先に挙げた携帯電話と合わせ20世紀後半からの情報革命の主役を果たして来ている。

これらのLSIを構成している半導体デバイスは1947年12月にトランジスタという名前でゲルマニウムの点接触トランジスタがベル研究所で生みだされ、翌年6月に公開された。それから60年が過ぎようとしている。この間に人類は石油、天然ガスなどの化石燃料と種類の鉱物資源を駆使する事で地下資源文明とも言える大きな発展を謳歌している。この発展の中で育てられた半導体デバイスは地下資源から作られた機械に知能を与え、その知能を持つ機械を利用して更に高度な技術を作る事で、この文明の発展を大きく加速させている。また、知能を与えられた機械は知能の飛躍的な進歩により、単なる機械から知能ロボットへと変化させつつある。

近い将来、人型の知能ロボットが一家に数台の割合で活躍している光景が見られるかも知れない。私自身、少年時代に漫画を読むのが好きで、漫画に出てくるロボットが出現してくる未来の世界に心を躍らせたものである。特に故手塚治虫氏の漫画「鉄腕アトム」は面白く、多くの夢を頂いたと思っている。半導体デバイスの発達により、近い未来にアトムの世界も夢でなくなるように思われる。

一方では先に述べた携帯電話やパーソナルコンピュータなどの通信機能の進歩が情報のグローバル化による情報革命を引き起こし、今後、益々大きな変革をもたらすであろう。社会や生活空間の至る所にコンピュータやICタグが存在し、コンピュータの恩恵を何時どこに居ても受けられる社

会や生活環境の概念を「ユビキタス社会」として1989年に米ゼロックス社のパロアルト研究所が提唱した。今日、その概念が前述のごとく急速に達成されようとしており、今後更に予想を上回る進歩を遂げるであろう。更に、半導体の恩恵は半導体そのものばかりでなく、半導体の進歩を可能にした製造技術の革新が基幹産業の発展に大きな影響を与え続けている。半導体デバイスの微細化を可能にした製造技術、例えばナノレベルの加工技術、薄膜形成技術、不純物制御技術、計測技術などは多くの他の産業にも広く応用されることで副次的な効果をもたらしている。

このように、日常生活や産業に影響を与え続けている半導体とは何者であろうか。本稿では60年前にトランジスタが誕生した経緯やその後半導体デバイスの進化がどのような経過であったのかをたどり、その後一般的に分かり難いと思われる半導体とは何ものなのか、半導体デバイスの種類、機能などについて触れてみたい。

できる限り専門用語の使用を避けながら解説することで半導体デバイスの開発や製造に直接関係しない方々にご理解いただけるように挑戦することで、本稿の執筆を依頼して頂いたSEAJ事務局のご意向に沿いたいと考えている。電子と正孔またはエネルギー準位などの概念を判り易く説明しきれぬかは全く自信のない所ではあるが、興味を持って頂き、一助として頂ければ幸いである。

また、半導体は化合物も含めると数々あるが、本稿では主にシリコン(Si)に絞った内容を考えている。この60年間の発展の主役をSiが担うところが大きかった為である。一方、GaAsなどの化合物半導体素子の発展も目覚しく、文量の許す限りにおいて触れてみたい。

次回

第2回 半導体の歴史 トランジスタの誕生に至る時代背景