

サブ 100nm 時代のシステム LSI と ビジネスモデル

Sub-100nm System LSI and Its Business Model

牧本次生

Abstract

半導体の微細化は今は 100nm を切るレベルに達しており、SoC (System on Chip)の時代に入っている。このような技術革新によって、電子産業は PC 中心からデジタルコンシューマ中心へとパラダイム転換が進んでいる。

SoC はコンシューマ製品に不可欠な高性能・ローパワー、小型化を実現する手段として最適であるが、一方で設計生産性の遅れ、開発費の高騰など基本的な問題を抱えている。その解決のためには新しいビジネスモデルが必要である。

また、将来の半導体の能力を最大限活用できる分野として広義のロボットが注目される。

キーワード：ナノテクノロジー、PC、デジタルコンシューマ、デジタル第二波、SoC、SiP、設計生産性、開発費、Jisso 技術、Makimoto's Wave、IDM、ファンドリー、ロボット

1. はじめに

集積回路が世に出て以来、その加工技術は微細化の方向をたどり、チップ内に集積できる素子数は年ごとに増大してきた。これは「ムーアの法則」として知られ、半導体の進歩を端的な形で表現している。昨今微細化のレベルはついに 100nm を切るところに達しており、半導体も「ナノテクノロジー」の時代に入った。これによって、新しい応用分野が広がり、市場構造は大きく転換し、新しいビジネスモデルの構築が必要となっている。本稿においてはこのようなマクロ的な動向を概観し、将来の方向について考察を加える。

2. 市場構造の転換

半導体の技術革新は新しい市場を生み、そしてその市場は半導体の技術革新を促す。半導体産業と電子産業はこのような相乗作用を伴いながら過去半世紀にわたって発展を続けてきた。

最近まで電子産業の発展を支えてきたのはコンピュータ分野であり、PC (パーソナルコンピュータ) はその中

核となってきた。図 1 は PC 産業の推移を示している。1981 年の IBM PC の市場導入以来、その市場規模は順調に拡大し、台数では年間 1 億台を超えてから既に久しい。しかし、金額ベースで見ると 2000 年ごろに変曲点があり、それ以来ほぼ横ばいで推移しており、PC 市場は既に成熟化しつつあることを示している。このような状況を背景として、PC の元祖ともいえる IBM 社が PC から撤退したことは記憶に新しい。PC になる新しい分野として立ち上がりつつあるのがデジタルコンシューマの分野である。図 2 は我が国における市場構造の転換の状況を示している。今世紀に入ってから我が国の PC 市場は漸減の傾向を示しているが、これに対していわゆる「新三種の神器」と呼ばれる DVD、デジタルスチルカメラ、薄型 TV が勢いを増しており、両者の市場規模は逆転するまでに至っている。

さて、図 3 には世界の半導体市場構造の変化を示している。コンピュータ分野は 1980 年代半ばから急速に立ち上がり、1990 年代半ばには 50% 強のレベルに達したが、このトレンドをけん引したのは PC である。一方、コンシューマ・通信・自動車を合算したシェアは 1990 年代半ばに底を打ち、以来漸増の傾向に転じている。このトレンドをけん引しているのはデジタルコンシューマ製品群であり、二つのシェア曲線の交点は市場のパラダイム転換を象徴しているといえよう。

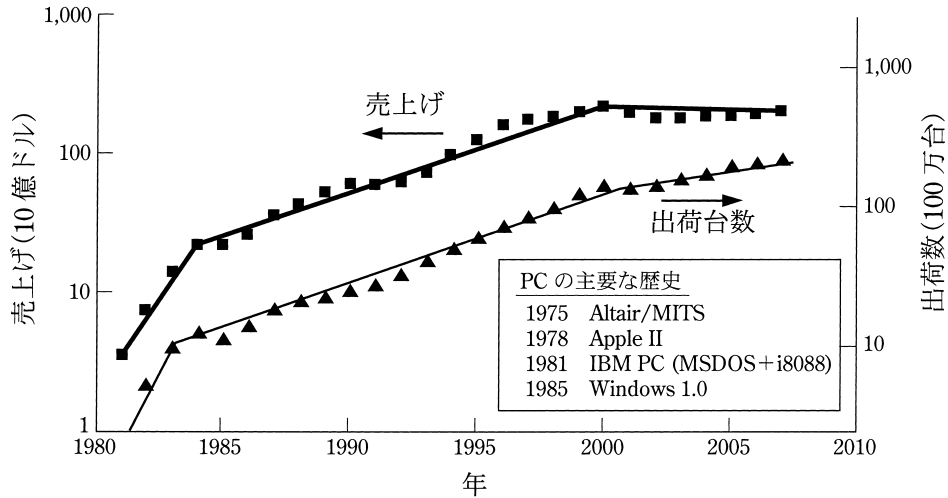


図1 PC市場の推移 2000年ごろからPC市場は飽和傾向にあり、けん引力は失われている。(出典：IDC)

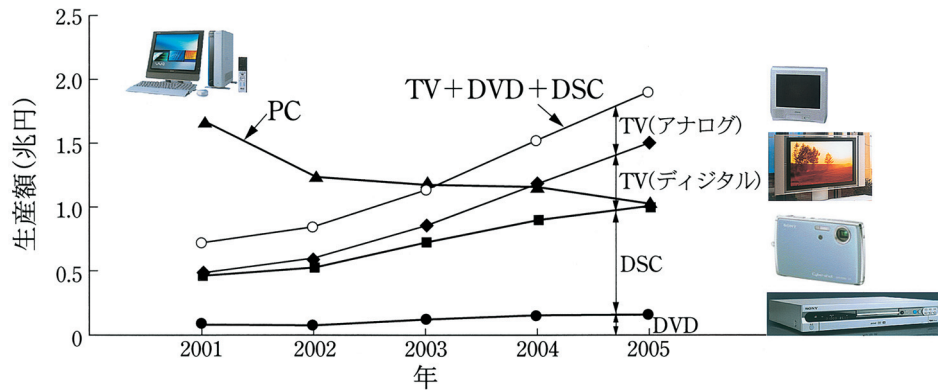


図2 国内における主要機器の動向 PCは漸減傾向にあり、デジタル民生機器がリード役を果たしている(図中DSCはデジタルスチルカメラ)。(出典：JEITA)

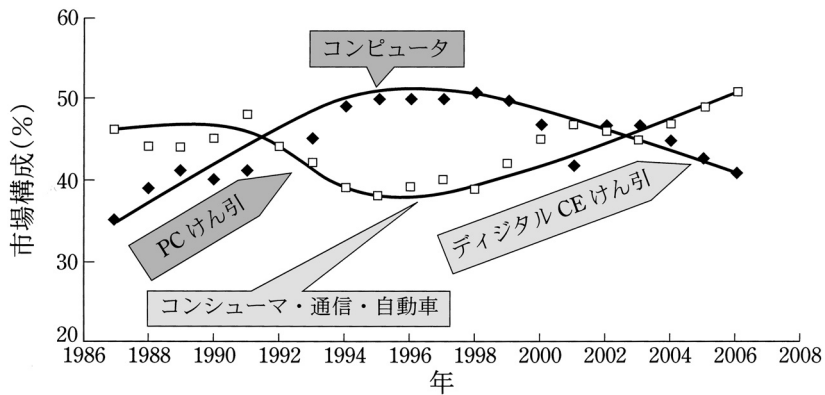


図3 半導体市場動向(WW)の転換 PCけん引の構造からデジタルCE(コンシューマエレクトロニクス)けん引の構造へ転換しつつある。(出典：ソニー, WSTS)

以上のような電子産業のマクロトレンドを波の形で表現したのが図4である。1970年代にはカラーTV、VTRなどの民生機器がアナログ技術をベースに立ち上がった。日本が世界に躍進した「アナログの波」の時代である。1980年代初頭にPCが立ち上がり、電子産業の強力なけん引車となった。米国が圧倒的な強さを発揮し、我が国が後じんを拝する形となった「デジタル第

一波」である。前述のように1990年代に入ってから民生機器のデジタル化が勢いを得てきて、PCをしのぐまでになっており、これは「デジタル第二波」と呼ぶことができよう。電子産業の主流は今まさに「デジタル第一波」から「デジタル第二波」への転換が進みつつあるが、その技術基盤となっているのがシステムLSIである。

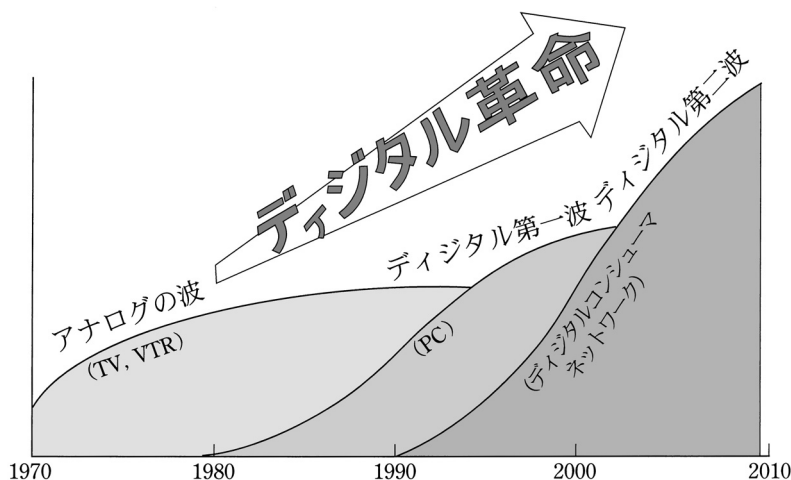


図4 エレクトロニクスの三つの波 民生機器がけん引したアナログの波からPCけん引のデジタル第一波へ、更にデジタルコンシューマけん引のデジタル第二波へと変りつつある。

3. システムLSIの進展とそのインパクト

図5はデジタルコンシューマ製品の基本構成を示している。外見上はそれぞれに異なる形をしているが、システム的には「入力IF (A-D変換)」、「デジタル情報処理」、「出力IF (D-A変換)」、「ストレージ」、「伝送」から構成されており、共通性が高い。システムLSIはその中核にあつて、デジタル情報処理のみならず、その他の機能も取り込む方向にある。

LSIの集積度の向上によって、今日ではほとんどのシステム機能がワンチップに集積されるレベルに到達し、SoC (System on Chip) と呼ばれるようになっていく。例えば、これまで別チップで構成していた演算機能 (マイクロプロセッサやデジタルシグナルプロセッサ) とDRAMとをワンチップに搭載することも可能になって

きた。図6は三次元画像処理LSIの例であるが、SoB (System on Board)からSoCに移ることによって、性能は4倍改善され、消費電力は1/5に低減され、チップ数は1/4に減少したことを示している。このような改善はコンシューマ製品には最も好ましい方向であることから、SoCは新しいトレンドを生み出す強力なエンジンの役割を果たしており、サブ100nm時代の到来とともにその傾向は加速されつつある。

4. サブ100nm時代のビジネスモデル

4.1 SoC対SiP

前述のごとく、SoCはエレクトロニクスの新しいトレンドの中核として不可欠になっているが、一方で次のような大きな課題を抱えている：

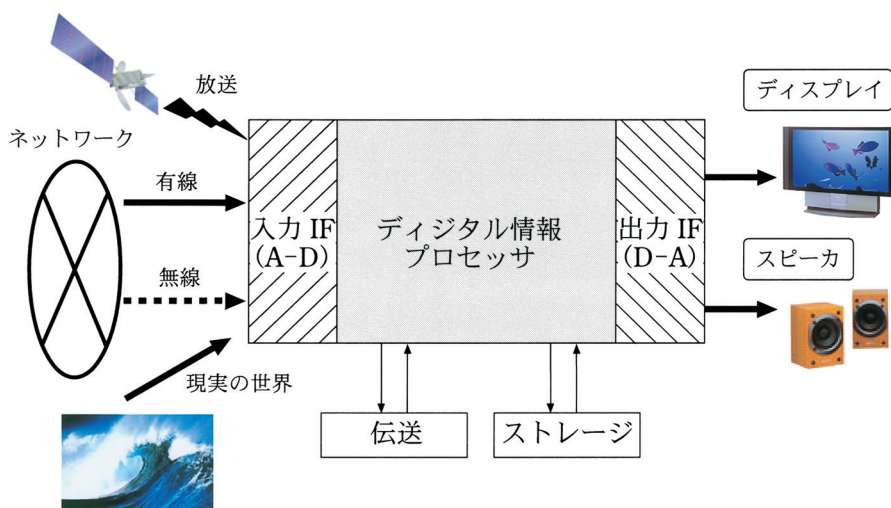


図5 デジタルコンシューマ製品の基本構成 機器の外観はそれぞれに異なるがシステム的な基本構成は共通性が高い。

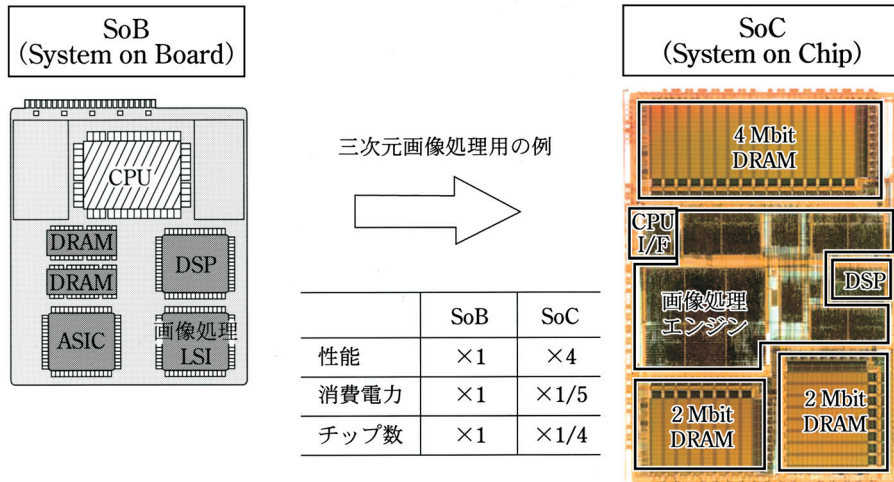


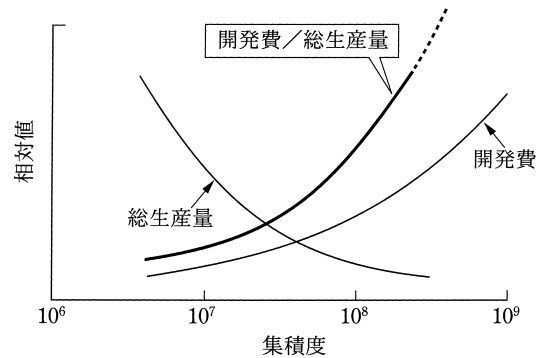
図6 SoB から SoC へ この事例では SoC にするとチップ数は 4 個から 1 個となり、性能は 4 倍、消費電力は 1/5 になることを示す。

- ① 設計生産性の遅れ
- ② 開発費の高騰
- ③ 製造装置の高騰（特にリソグラフィー装置）
- ④ テスティングが複雑・高価など

中でも、集積度の向上に伴う開発費の高騰は深刻な問題であり、先端的な SoC の例では開発費が 10 億円を超えることも珍しくない。しかも、集積度が高くなるにつれて特定の応用分野に指向せざるを得ず、汎用性が失われるため、「大量に作って大量に売る」という作戦は取りにくくなる。図7はこのような状況を概念的に示している。同図に示すように開発費を総生産量で割った値、つまり 1 個の SoC が負担しなければならない開発費は集積度の向上とともに急増し、SoC の経済性は著しく損なわれることになる。これは SoC が抱える基本的な課題であり、内在する矛盾であるといえる。

サブ 100nm 時代のビジネスモデルはこのような矛盾点を吸収し、市場からのいろいろなニーズにこたえるものでなければならない。

SiP (System in Package) はこのような SoC の持つ矛盾点を吸収する可能性を持つ方式の一つであり、今日既にデジタルカメラや携帯電話など、いろいろな機器に応用されるケースが増えている。SiP の考え方の基本はすべての機能を無理にワンチップに搭載することなく、それぞれ得意とする機能を持つチップを複数個集めて一つのパッケージ内に收容する方法である。例えば CPU 機能、フラッシュメモリ、DRAM、無線機能などはそれぞれ異なる技術をベースとしているため、ワンチップ化することは必ずしも得策でない。これらの複数チップを縦や横に並べてワンパッケージ内に收容するのが SiP である。このような SiP 技術は実装技術の一つであり、その重要性は近年ますます高まっている。この分野は我が国が長年にわたって技術開発をリードしてきた分



プロセス	マスクコスト/セット
130 nm	75 万ドル
90 nm	160 万ドル
65 nm	300 万ドル

図7 SoC 開発費の高騰 集積度の向上に伴い開発費は高くなり、総生産量は減少の傾向となる。マスク代のみでも億円の単位となる。(出典：EETimes)

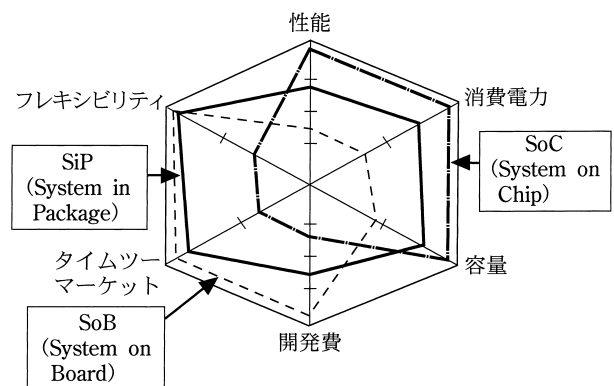


図8 JISSO 技術の比較 SoC, SiP, SoB の利害得失を比較する。今後、SoC と SiP とは車の両輪となってエレクトロニクスの進歩を支えるだろう。

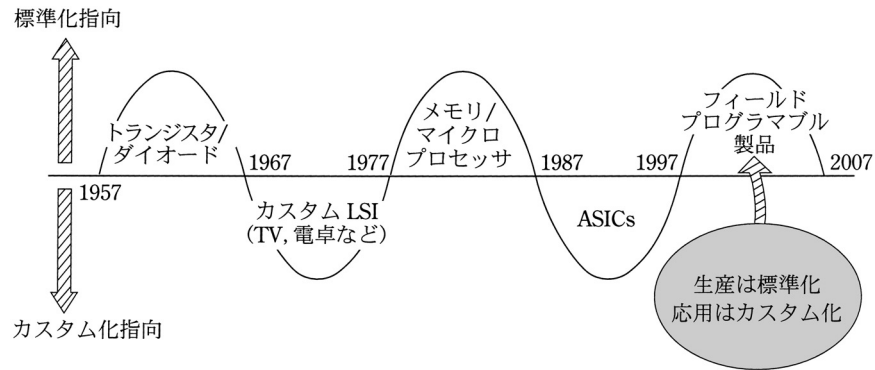


図9 Makimoto's Wave 半導体産業においては標準化指向とカスタム化指向がほぼ10年のサイクルで入れ換わることを示す。(出典: Electronics Weekly, Jan. 1991)

野であり、「Jisso」という言葉が国際共通語として定着しつつある。

図8は三つのJisso技術、すなわちSoC、SiP、SoBについてその利害得失を示したものである。それぞれに有利、不利があり、応用分野、タイムツーマーケット、総生産量などの総合的な判断のもとに選択がなされなければならない。サブ100nmの時代においてはSoCとSiPとは車の両輪のような形になってエレクトロニクスの発展を支えていくことになるだろう。

4.2 標準化とカスタム化

あるシステムを作るときに、専用に設計されたカスタムLSIを使うか、あるいはマイクロプロセッサやメモリなどのはん用品を組み合わせて使うかは、いつの時代でも重要な課題としてとらえられてきた。筆者は1987年にこの問題について歴史的な考察を行い、一つのモデルを編み出した⁽¹⁾。図9に示すように、半導体産業をマクロ的にとらえると、標準化指向の時代とカスタム化指向の時代とがほぼ10年ごとに入れ換わるというモデルである。このモデルは1991年に英国の“Electronics Weekly”誌に取り上げられ、同時に“Makimoto's Wave”という名前が与えられた。

簡単に歴史を振り返ると、半導体が産業として立ち上がり始めたのは、トランジスタ発明の10年後のころからであり、1957～1967年は標準品が中心となっていた。1967年ごろからIC/LSIが立ち上がってカスタム化指向が強くなり、次の1977年ごろからのマイクロプロセッサ、メモリの立ち上がりとともに標準化指向へ大きく転換した。一方、CAD技術の進展とカスタム化による差別化のニーズが強くなった1987年ごろから“ASIC”が商品化され、カスタム化への指向が強まった。このウェーブでは1997年ごろからの10年間を“フィールドプログラマブル製品”の時代としてとらえており、標準化への回帰を予測していた。現実には1990年代の後半からFPGAの立ち上がりなどで標準化指向の傾向が強くな

り、このモデルの予測を裏付ける形となった。サブ100nmの時代においてはチップの開発費を最小に抑えることが重要であり、プログラマブルデバイスは今後更に大きな広がりを見せるだろう。

4.3 垂直統合対水平分業

半導体の事業を行う場合の流れは、「製品企画」、「設計開発」、「ウェーハ製造」、「組立て・テスト」、「マーケティング・販売」など幾つかの異なるステップに分かれる。すべてのステップを自社内で行うのが垂直統合モデルであり、得意なステップのみに特化するのが水平分業モデルである。例えば、日本の大手半導体メーカーや、海外のインテル、サムスン、TI、STマイクロなどは垂直統合モデルに近い形となっており、IDM (Integrated Device Manufacturer) と呼ばれている。一方、台湾のTSMCやUMC、シンガポールのチャータードなどはウェーハ製造のみに特化しており、シリコンファクトリーと呼ばれる。また、米国のザイリンクス、アルテラ、ブロードコム、クアルコムなどは製造プロセスを持たず、製品企画・設計開発とマーケティング・販売が中心となっており、ファブレスと呼ばれてファクトリーとの水平分業を構成している。

歴史的に見ると、1980年代まではおおむね垂直統合モデルが支配的であったが、1990年代に入って水平分業モデルが急速に広がった。この背景にはPCにけん引された電子産業のデジタル化の流れがある。

さて、サブ100nmのLSIの時代においては垂直モデルと水平モデルのいずれが主流になるのであろうか？これは大きく議論の分かれるところである。IDMを支持する側は「100nm以下の微細化デバイスでは設計されたとおりに物ができるとは限らない。早期に歩留りを改善するには設計と製造とが一体となって仕事をしなければならない」と主張する。一方でファクトリー側は「サブ100nm時代の製造ラインの投資金額は数千億円と巨額であり、すべてのIDMがこれだけの投資をすること

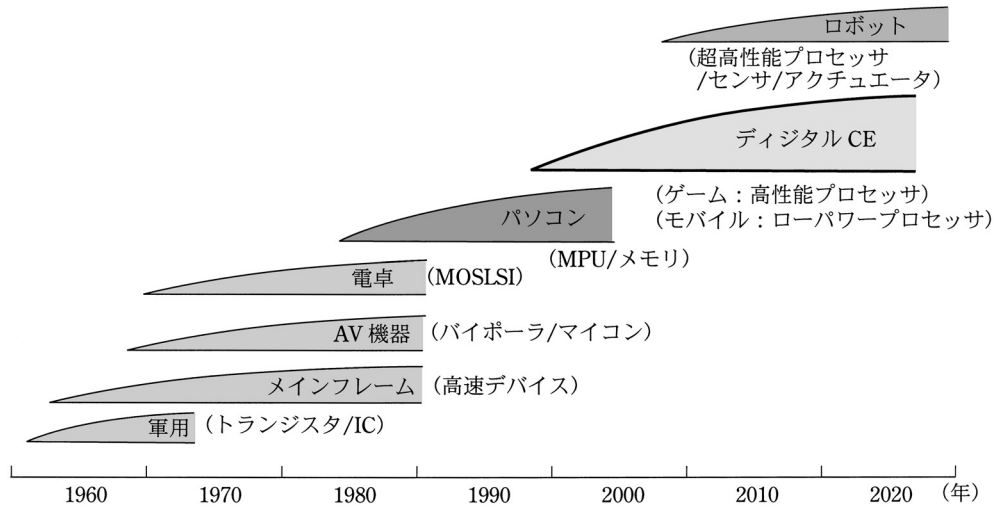


図10 半導体産業のテクノロジードライバ これまで各種の機器がテクノロジードライバの役割を果たした。これからはデジタルコンシューマ製品、更には広義のロボットが重要な役割を果たすだろう。

はできない。微細化に伴う歩留りの問題はDFM (Design for Manufacturing)の確立によって解決が可能である」と主張する。今後二つのモデルの比率がどのような変化を見せるか、注目に値するところである。

5. 新しいテクノロジードライバ

半導体の技術革新は新しい応用製品を生み、それはまた半導体のテクノロジードライバとなって相乗的な発展が進められてきた。図10は半導体産業の初期からのドライバの変遷の様子を示している。サブ100nmの時代の前後から、テクノロジードライバはPCからデジタルコンシューマに移り変わり、高性能化(ゲーム機がけん引)とともにローパワー化(モバイル機器がけん引)が進展しつつある。

さて、次の世代のドライバは何であろうか？

ITRS (International Technology Roadmap in Semiconductors)によれば2018年には約50億個の素子の集積が予想されている。このような驚異的能力を吸収できるような応用分野は何であろうか？これは半導体技術者のみならず、あらゆる分野の研究者・技術者への挑戦である。筆者は日常生活のあらゆる側面で人を支えし快適にするような広義のロボットが一つの鍵を握っているように思う⁽²⁾。ロボットはPCのような単なる情報処理マシ

ンではなく、多くのセンサとアクチュエータを必要とする。このようなデバイスのためにも半導体が多用されることになるが、それらの加工技術は必ずしも超微細であることを要しない。むしろ材料の持ついろいろな性質——電氣的、機械的、光学的、熱的など——をいかにうまく組み合わせるかの知恵こそが重要な鍵である。そのような時代に向けて半導体技術は多様化し、ナノデバイスとミクロンデバイスとが共存する形で新しい応用分野が開かれるだろう。半導体の新しい時代の始まりといえる。

文 献

- (1) 牧本次生, D. Manners, デジタル革命, pp.136, 日経BP社, 東京, 1996.
- (2) T. Makimoto and T.T. Doi, "Chip Technologies for Entertainment Robots: Present and Future," Technical Digest, IEDM 2002, San Francisco, USA, p.9, 2002.



牧本 次生 (正員)

昭34東大・工・応用物理卒。昭41スタンフォード大・電気・修士課程了。昭46工博。昭34日立製作所入社。以来、半導体の技術開発・経営に従事。平3取締役、平5常務、平9専務。平12ソニー入社、専務、平17テクノビジョン代表。平9 IEEE フェロー。平15 Bell-wether Award. 著書「デジタル遊牧民」など。