



\*\*\*\*\*

# 半導体は現代文明のエンジン

SSIS 理事 牧本次生



## はじめに:ご挨拶

昨年 11 月、アルメニア共和国大統領より「グローバル IT 賞」をいただきました。この賞は IT 立国を目指すアルメニアにおいて、2010 年から発足した制度であり、IT 分野においてグローバルな貢献をした個人一人を表彰するものです。これまでの受賞者はクレイグ・バレット(元インテル会長)、スティーブ・ウォズニアック(アップル共同創設者)、フェデリコ・ファジン(世界初のマイコン開発リーダー)など錚々たる顔ぶれであり、私は 4 人目となりました。

身にあまる光栄であります。これは私一人に与えられたものではなく、共に働いた半導体分野の皆様方と分かち合うべきものと考えております。皆様のご支援に対し深く感謝申し上げます。

去る 7 月 10 日に SSIS 主催の受賞記念講演会が開かれましたが、本稿はその時の講演内容をベースにしたものであります。

## アルメニアはどんな国？

まず簡単にアルメニアの紹介から始めたい。下の地図でわかるように、アルメニアは黒海とカスピ海に挟まれたコーカサス地域にある小さな国。



図 1 アルメニア周辺の地図

人口は 300 万人ですが、海外にはディアスポラと呼ばれるアルメニア人が 700 万人もいて、これが人口構成上の大きな特徴になっている。宗教はほとんどがキリスト教徒ですが、アルメニアは世界で初めてキリスト教を国教化した国として知られている。民族の歴史は古く、今から 6000 年も前に作られたワイン醸造施設が発見されている。統一国家が形成されたのは紀元前 10 世紀頃であるが、東西の交通の要衝にあたるため、周辺の諸勢力の侵略が繰り返され、その支配下にはいることも多く、苦難の歴史を潜り抜けてきた民族である。まさに「不死鳥の民族」ということができよう。

ソ連邦の崩壊に伴って独立したのは 1991 年であり、今年で 23 歳の若い国。この国が将来の方向として選択したのが「IT 立国」の道なのである。

## 何故、IT 立国を目指すのか？

1991 年以前にはソ連邦の構成国の一つとして、計画経済の輪の中にあつた。独立と共に、その歯車は回らなくなったので、経済は極度の落ち込みとなる。そのような苦難の中で将来方向についての模索が行われ、IT 分野を国の重点戦略として進めることにしたのである。その背景は何であろうか？

- 1) IT は 20 世紀文明の機関車役であり、アルメニアにとっても最も有望な分野である。
- 2) アルメニアはエネルギーなどの天然資源が乏しく、人材のみが国の資源である。古来、知的レベルが高いと言われており、次のような噂がある。「ユダヤ人は頭がよくて商売上手、普通の人 が 3 人束になっても叶わない。しかし、ユダヤ人が 3 人束になっても 1 人のアルメニア人に叶わない」。このような知的レベルの高さは IT 分野においては最大の強みとなる。

- 3) ソ連邦の時代にハイテク分野のセンターはアルメニアであり、当時は「ソ連のシリコンバレー」の異名をとるほどであった。この時の技術資産を生かすことができる。
- 4) 前述のように国内人口 300 万人に対し海外在住のディアスポラは 700 万人である。IT 先進国に住むディアスポラは市場に近く、居ながらにしてグローバル環境が整っている。これは「IT 立国」を進めるにあたって大きな強みとなる。
- 5) IT 製品の大部分はソフトウェアであり、これは重量がないため輸送コストは殆どなく、市場から遠いアルメニアにとっても不利とならない。
- 6) 国内の大学からは毎年多くの優秀な若者が世に送り出される。彼らのためにハイレベルの働き口を確保することは喫緊の課題である。この点からも「IT 立国」を目指すことは大きな意義があると言えよう。

#### グローバル IT 賞の制定

アルメニアにおいては国を挙げて「IT 立国」を目指しており、大統領や首相が先頭に立って諸施策を推進中である。そのような施策の一環として 2010 年に開始されたのが「グローバル IT 賞」の制度であり、次のように定められている：

『この賞は IT の進歩を通じて人類に多大な貢献をした個人一人を毎年表彰するものである。受賞者の IT 分野における貢献は革新的なものでなければならず、それが人類に対し大きなインパクトを与え、かつそのことが広く世界的に認められたものでなければならない。以下、省略』

2013 年 11 月 15 日の夕刻、大統領官邸において授賞式が行われた。式場には大統領ご夫妻、首相ご夫妻などを含め、100 名近くの招待客が見えている。定刻になって、司会者が開会を告げ、順次スピーチが始まる。最初は「グローバル IT 賞」についての説明であるが、二人目の受賞者、スティーブ・ウォズニアックの次の言葉を引用して、この賞への期待が極めて大きなものであることを紹介した。『ノーベル賞には IT 分野は含まれていない。私にとってこの賞は IT 分野におけるノーベル賞と同じだ』。

続いて今回の受賞者となる私の経歴や業績などの紹介が行われた。過分の褒め言葉もあり、聞いている本人にとっては照れくさく、気恥ずかしい面もあるのだが、晴れやかな席での紹介ということで割り切って拝聴したのであった。以下はその要旨。

『牧本氏は日本におけるもっともすぐれたビジョナリーの一人であり、1970 年代からの半導体技術転換で大きな役割を果たした。当時主流になっていた NMOS 技術に変わって、より消費電力の少ない CMOS 技術への転換を先導したのである。その技術転換によって IT 機器の性能は飛躍的に向上し、われわれの世界を大きく変えた。今日のすべての IT 機器は彼が先導した半導体技術 (CMOS) がベースになっている』。

この後、セルジ・サルグシアン大統領からのメダル、トロフィー、表彰状の授与式があった。



図 2 セルジ・サルグシアン大統領より表彰状、メダル、トロフィーの授与

授与式に続いて大統領から、次のような趣旨の祝辞が述べられた。

『牧本氏は時代のはるか先を読むビジョンで世界をリードしてきた。過去 15 年間で振り返ってみると、スマート・カード、スマートホン、電子書籍など次々に新しいモバイル機器が現れ、我々の社会生活は一変した。このような変化はすべて同氏の先見性によって啓発され、実現されたものである』

続いて司会者の指名によって私のスピーチの順番となる。まず、大統領はじめ出席の皆様への謝辞を述べた後、半導体の進展によって世の中がどのように変わってきたかをわかり易い事例をもとにして紹介した。そして、中核のメッセージとして選んだのは次の言葉である。

『IT は現代文明の機関車である。そして、半導体はその機関車のエンジンである』。

#### 半導体は現代文明のエンジン

授賞式のスピーチで述べたように現代文明の根幹を支えているのは半導体の技術革新であると言えよう。下の図 3 はそのことを象徴的に示している。

1976年に市場導入されたクレイ社のスパコンは160MFLOPSの性能であり、今日の電子機器でいえばiPod並の性能であった。しかも、価格は600万ドルで、重量は5.5トン。そのような巨大な物が何故、掌に載るほどになったのだろうか？

その答えは半導体の技術革新である。クレイのスパコンには5 $\mu$ 技術のバイポーラ・デバイス(ECL)が使われていたのに対し、iPodには90nm技術のCMOSデバイスが使われている。微細化の進展とデバイス革新の二つによってこのようなことが可能になったのである。

● 最初のスパコン(米国クレイ社、1976)

● 性能: 160MFLOPS

● 価格: 600万ドル

● 重量: 5.5トン

● 半導体: 5 $\mu$ 加工のバイポーラ技術

半導体革新

クレイ社のスパコンの性能は iPod の性能とほぼ同等

半導体: 90nm加工の CMOS技術

図3 何故、スパコンが掌に？

加工技術の微細化によって集積度は向上し、その結果は「ムーアの法則」として知られている。下の図4は、この法則が単一デバイスで成り立っているのではなく、様々なデバイスが、あたかもバトンタッチ・リレーのような形で成り立っていることを示している。1980年代以降、中心になっているデバイスはCMOSであるが、CMOSが半導体産業の主流と認められるまでには紆余曲折があった。その経過について述べよう。

CMOS革新のスタート

3D-LSI

Multi Core

Single Core

CMOS

NMOS

PMOS

Bipolar

ゴードンムーア

図4 ムーアの法則とCMOS革新

1970年代まで、CMOSは「ローパワーではあるがスピードが遅く、ニッチ・デバイスである」というのが業界の常識となっていた。当時の主流はNMOSであるというのがコンセンサスだったのである。この常識を破るためにはローパワーの特性を保持したままで、高速化を達成しなければならないが、それを可能したのが日立・中央研究所の酒井芳男と増原利明によって発明された「ツインウェルCMOS」であった。

そして1978年、その技術を使った4KビットSRAMが開発され、CMOSが当時主流のNMOSを凌駕できることが初めて実証されたのである。続いてマイコンやDRAMでもCMOSがNMOSに対し優位であることが示され、CMOS革新が順次広がっていった。

下の図からも読み取れるように、CMOSへの収斂は一挙に進んだわけではなく、10年単位の年月で徐々に各種のデバイスやシステムに広がっていったのである。今日のIT関連機器を見ると、大はスパコンやサーバーから小はスマホ、ウェアラブルに至るまであらゆる機器にCMOSが使われている。

	1960s	1970s	1980s	1990s	2000s
Watch Chip		CMOS(LP)		1963年 WanlassがCMOS発明 1968年 RCAが商用化	
Calculator Chip	PMOS	CMOS(LP)			
Static RAM		NMOS	CMOS		
Microprocessor		NMOS	CMOS		
DRAM	PMOS	NMOS	CMOS		
Server/Mainframe		Bipolar / Bi-CMOS		CMOS	
RF Device			Bipolar / Bi-CMOS		CMOS

図5 CMOS革新の広がり

CMOS革新の広がりによって、電子機器の消費電力は大幅に減少した。そして、そのような技術革新の結果として、我々の社会生活は劇的に変化したのだ。人々は活動の場所や時間の制約を受けることがなく、電車の中においてもスマホに見入るような「ノマドスタイル」が普通に見られるようになった。

私は 90 年代の半ばから、このような時代が遠からず訪れることを予想し、友人のデビッド・マナーズと共に「デジタル・ノマド」と題する本を出版した(97 年、英国)。

続いて翌年には台湾で中国語版が出され、日本語版もそれに続いた。出版から 10 年を過ぎた 2007 年にアップルから iPhone が出荷され、新しいライフスタイルが順次広がって行った。まさに、CMOS 革新が生み出したモバイル社会の到来といえることができるだろう。



図 6 半導体 (CMOS) 革新が拓いたモバイル社会

将来展望

半導体の技術革新は今なおとどまるところを知らない。今後、どのような方向に技術が進み、それは文明にどのような変化をもたらすのだろうか？これから起こり得る「ビッグトレンド」を見てみよう。

これまでのところ半導体の技術革新によって人間の頭脳にあたる部分が大いに進歩した。この方向の進歩はさらに進むと共に、これに加えて「五感」にあたる部分の進歩が一層加速されるだろう。その代表的な例がロボットである。ロボットの情報処理能力はパソコンをはるかに凌駕するレベルであり、今後とも能力アップの要求は尽きることなく続くだろう。その結果、ロボットの知能は限りなく人のレベルに近づいていく。一方、五感にあたる部分でも光センサー、MEMS センサー、化学センサーなど多岐のものができて人間の持つ五感に近づいていく。即ち、半導体技術は今後ますます多様化しながら高度化することになる。

ロボットはこれからの半導体分野のテクノロジー・ドライバーになるとともに、マーケット・ドライバーになって行くものと思われる。そのようなことを 2002 年の IEDM で予測したのが図 7 であるが、この予測は 10 年以上経過した今日でも変更の必要はない。

半導体の進化と共に、エレクトロニクス分野では次から次へと新しい波が押し寄せた。70 年代-80 年代にテレビや VTR を中心にして立ちあがった「アナログの波」、80 年代-90 年代に立ちあがった PC を中心とする「デジタル第 1 波」、さらには 90 年代から今日までの、デジタル・コンシューマ製品がネットワークでつながる「デジタル第 2 波」である。

これらの波に続くのが「ロボットの波」であるが、これは息の長い波になるだろうと予測している。半導体が進歩すればするほどロボットも進化を続け、両者の相乗的な関係が飽和点に達するのは、はるか先のことになるからである。

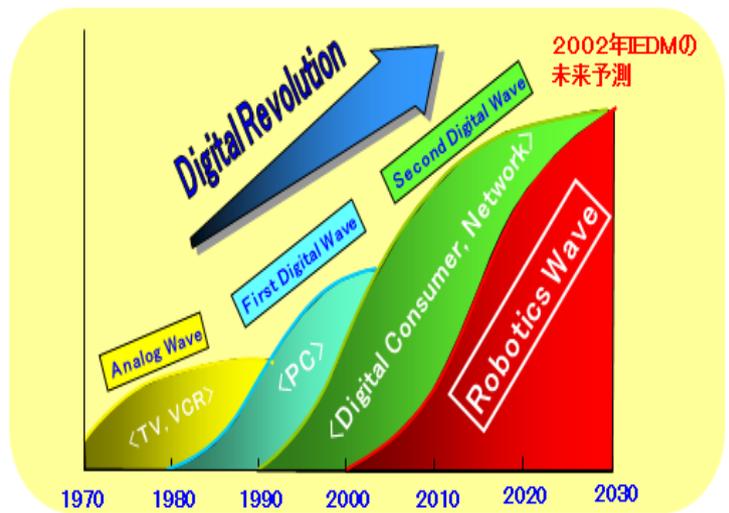


図 7 立ち上がるロボットの波

このような新しい時代を支えるもう一つの重要な技術展望について触れたい。それは図 8 に示す「牧本ウェーブ」から見た未来予測である。

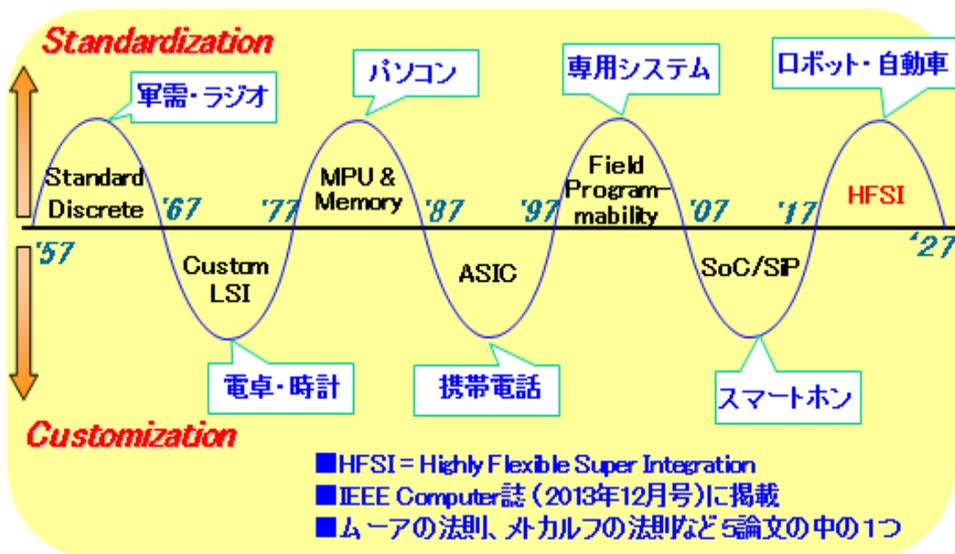


図 8 牧本ウエーブから見た未来予測

「牧本ウエーブ」が世に出たのは 1991 年、英国の Electronics Weekly 誌に紹介されてからである。同誌のデビッド・マナーズ記者がこのコンセプトに大きな興味を示し、「Makimoto's Wave」と命名した上で、その記事を掲載したのである。このウエーブは半導体産業において標準化を指向する傾向とカスタム化を指向する傾向とがおおよそ 10 年ごとに入れ替わることを示している。オリジナル版は 2007 年が最終年度になっていたが、図8に示すのは IEEE Computer の 2013 年 12 月号に掲載された改訂版である。この図においては標準化とカスタム化が入れ替わると同時に、それぞれの傾向に適合した、新しい応用分野が開けることをも示している。

現在の時点は SoC/SiP が主導するカスタム化指向の時期としてとらえられており、そこで生み出されたビッグ・マーケットは言うまでもなくスマホである。過去においてもカスタム化を指向する時期には「性能が高く、ローパワー」を要する応用分野が開かれてきたが、標準化指向の時期には、「性能が高く、フレキシブル」な特徴がみられる。

このような過去のトレンドを踏まえて将来を展望するならば、上図に示すように、2017 年に始まる 10 年は、標準化指向になるであろうと予想される。その時点のデバイスは極めて高性能であり、かつフレキシビリティが伴わなければならない。

このトレンドを HFSI(Highly Flexible Super Integration)と命名した。そしてこの時代が生み出す大きな市場はロボット・自動車であろう。現在、自動車分野においては IT を駆使した高度化が進められているが、自動運転が実現した時点でロボットとの境界は消滅する。ロボットはさらに多様化・高度化を続けて日常生活において身近な存在となって行くだろう。

2050 年にはロボットのサッカー・チームが人間のチームを破ることを目標としたプロジェクト (RoboCuP) が進められている。

このような時代が現実となった時人間はどのようにしてロボットと共存するのかを改めて問い直さなければならぬ。まさにこれから、半導体によって新しい文明が作られるのである。

### むすび

次の言葉をもって結びとしたい。

『半導体は現代文明のエンジンである。  
エンジンを失って国の将来はない。  
よって、一国の盛衰は半導体にあり！』

SSIS の会員の中には、半導体が日本にとって如何にかけがえのない、大事な産業であるかを知る方が大勢おられると思う。しかし、広く国内を見渡すと、残念ながらそのような認識は広まっていない。半導体の重要性についての認識を上げていくのが SSIS にとっての一つの大きな役割であると思う。

SSIS に期待する所以もここにある。

以上  
2014 年 8 月 17 日