

本田財団レポート No.174

第39回本田賞授与式 記念講演（2018年11月19日）

「フラッシュメモリの発明に繋がった 大切な出会い」

東北大学 名誉教授

舩岡 富士雄 博士

代理講演：

株式会社 ホンダ・リサーチ・インスティテュート・ジャパン
プリンシパル・サイエンティスト

作井 康司 博士

公益財団法人 **本田財団**



舩岡 富士雄 博士

東北大学 名誉教授

■生まれ

1943年5月8日

■略 歴

- 1966年 東北大学工学部電子工学科を卒業
- 1971年 東北大学大学院工学研究科電子工学専攻博士課程修了、工学博士
- 1971年 東京芝浦電気株式会社（現株式会社東芝）入社
- 1994年 株式会社東芝退職、東北大学大学院情報科学研究科教授就任
- 1996年 東北大学電気通信研究所教授転任
- 2005年 日本ユニサティス エレクトロニクス株式会社取締役・最高技術責任者
- 2007年 東北大学定年退職、同大名誉教授
- 2012年 セミコン コンサルティング株式会社へ社名変更、現在に至る

■主な特許・論文・出版物

(特許 189 件、論文 79 編、国際会議発表 114 編)

- F. Masuoka, U.S. Patent, 4, 437, 174, Mar. 13, 1984 (国内特許出願1981)
- F. Masuoka, U.S. Patent, 5, 245, 566, Sept. 14, 1993 (国内特許出願1987)
- F. Masuoka, et al., IEEE Tech. Digest, IEDM, 1984, p. 464-467.
- F. Masuoka, et al., IEEE Tech. Digest, IEDM, 1987, p. 552-555.
- B. Fulford: "Unsung Hero in Japan", Forbes Global, June 24, p. 24-26 (2002)
- 2010 Computer History Museum (CHM) (殿堂入り)
- 2011 Consumer Electronics of America (CEA) (殿堂入り)
- Special Issue for Dr. Masuoka, IEEE Solid-state Circuits Vol. 5, No. 4 (2013).
- "半導体メモリの変遷と今後の展望", 電気学会誌, 136巻1号, p. 34-37 (2016).

■受賞歴

- 1980年 社団法人発明協会全国発明表彰発明賞
- 1997年 IEEE, The Morris N. Liebmann Memorial Award
- 2000年 財団法人新技術開発財団市村産業賞本賞
- 2002年 International Conference on Solid State Devices and Materials, SSDM Award
- 2005年 The Economist Innovation Awards
- 2007年 紫綬褒章
- 2012年 The Photographic Society of America (PSA), Progress Medal
- 2013年 文化功労者
- 2017年 瑞宝重光章

代理講演：作井 康司 博士

株式会社ホンダ・リサーチ・インスティテュート・ジャパン
プリンシパル・サイエンティスト



■略 歴

- 1981年 株式会社東芝入社 総合研究所 IC 研究所配属
在籍中 1991年8月～1993年2月：スタンフォード大学
電気工学 客員研究員
- 1998年 株式会社東芝 NAND 開発（設計、デバイス、応技）
開発部部長
- 2004年 SONY メモリシステム部 統括部長
高速フラッシュシステム開発
- 2007年 米国インテル株式会社 NAND 製品グループ科学研究員
多ビット NAND の SSD 開発に従事
- 2009年 東北大学 客員教授 縦型トランジスタの研究
- 2010年 マイクロンジャパン株式会社 シニア設計技術者
3D NAND の US Patent を54件登録
- 2017年～株式会社ホンダ・リサーチ・インスティテュート・ジャパン
プリンシパル・サイエンティスト、現在に至る
- 2018年～東京工業大学 Principal Scientist
- 2009年～早稲田大学 先進理工学部 非常勤講師、「集積回路」
講義担当

工学博士、IEEE Fellow、日本特許登録67件、米国特許登録144件、論文25件

2018年 本田賞授賞式 記念講演
2018年11月19日

フラッシュメモリの発明に繋がった大切な出会い

Great Encounters Leading Me to the Inventions of Flash Memories

舛岡富士雄

Semicon Consulting Ltd., CTO

代理講演 作井康司
株式会社 ホンダ・リサーチ・インスティテュート・ジャパン
プリンシパル・サイエンティスト
工学博士、IEEEフェロー

ただ今、舛岡先生にご紹介を受けました作井と申します。このたびは舛岡先生、本当におめでとうございます。私のような者が舛岡先生の代理講演を授かりまして、誠に僭越ではありますが、どうぞご容赦のほどお願い申し上げます。

私は東芝時代、舛岡先生がいらっしゃった 13 年間いろいろなご指導をいただきまして、また不思議なご縁で、今はホンダグループの中で基礎研にあたる研究所、ホンダ・リサーチ・インスティテュート・ジャパンにおりまして、AI の研究をさせていただいております。

それでは、フラッシュメモリのお話を差し上げたいと思います。



図-1

〈図-1〉まず皆さん、スマホをお持ちだと思いますが、一体これは何ギガバイトの容量を持っていますか。このような会話は、今はもう日常で普通に行われています。この何ギガバイトというのが、フラッシュメモリです。そのフラッシュメモリの中に音楽データを入れたり、動画や写真を入れたり、そういうことをしています。

目次	
➤	フラッシュメモリとは
➤	舩岡先生の偉業
➤	舩岡先生の指導を受けた部下達

図-2

〈図-2〉さて、私の話は、まずフラッシュメモリとはどういうものか、先ほど本田財団のビデオでご紹介がありましたが、改めてまたフラッシュメモリについてお話ししたいと思います。それから舩岡先生の偉業についてお話しし、最後は、われわれ弟子たち、部下たちが、舩岡先生に受けた教えについて、エピソードを交えて披露できればと思います。

■ フラッシュメモリとは

まず「フラッシュメモリとは」ということですが、2017年11月23日に舩岡先生の番組が特集で組まれました。ここにご列席の、NHK エデュケーショナルチーフプロデューサーの佐々木さんが作られた番組です。なお、その番組のあと、NHKでは「HUMAN」という3分間のダイジェスト版を作っていますので、それをここでご披露したいと思います。

(動画上映)



図-3

参考 URL : <https://www.facebook.com/NHKhuman/posts/195188218052637/>

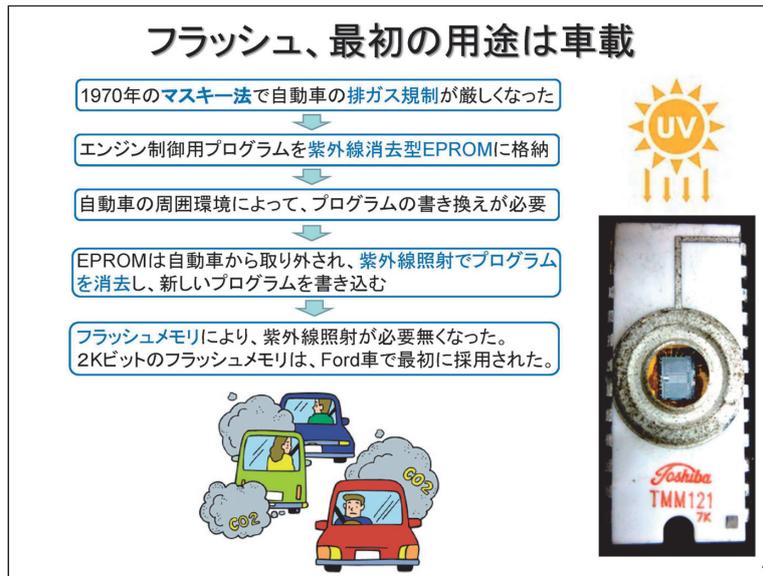


図-4

〈図-4〉皆さん、フラッシュメモリは、今 USB やスマホに使われていますが、最初の用途、最初のアプリケーションは何だったと思われませんか。先ほど八郷社長が ECU のお話をされ、ここには私も含めてホンダ関係者が大勢ご列席ですが、なんと最初の用途は車載なんです。これはちょっとびっくりされるかもしれませんが、ここでちょっと歴史を紐解いてみましょう。

まず 1970 年、今から 50 年ぐらい前になりますが、アメリカでマスキー法により排ガス規制が厳しくなりました。それでエンジンをコントロールしないとイケない。最初にエンジンをコントロールするメモリというのは、EPROM です。これに関しても舛岡先生はフラッシュメモリのご発明の前に、非常な貢献がございます。皆さん、このメモリの写真中央にガラス窓が付いているのがお分かりかと思いますが、ガラス窓を通して紫外線 (UV) を照射します。そうすると中のプログラムが一気に消えるというのが EPROM でした。ところが自動車の周囲環境というのは、アリゾナ砂漠だったり、アラスカだったりいろいろなところで試験をしないとイケない。そうするとその都度チューニングと申しますか、エンジンを制御しないとイケない。それが非常に大変なワークとなったわけです。

EPROM の場合、例えばエンジンについている基盤を取り出して、それから紫外線を照射して新しいプログラムを書いて、またエンジンに取り付けるという大変な手間がかかったわけです。フラッシュメモリは UV 照射する必要なく電氣的にプログラムが書き換えられるということで、最初にフォードでそれが採用されたと聞いております。

今や自動車だけではなくて、まさにコンピュータ、家電ですね。冷蔵庫、炊飯ジャー、すべてにフラッシュメモリが混載されています。

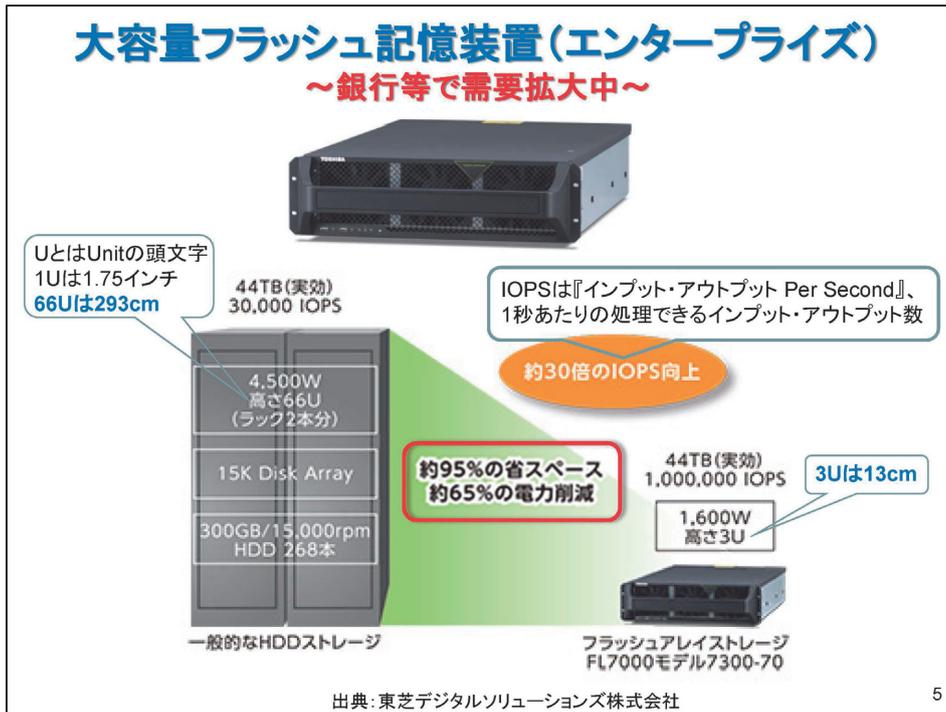


図-5

〈図-5〉最近にはさらに大容量記憶装置（エンタープライズ）、サーバーなどと申しますが、そういうものが銀行などで需要を拡大中です。左手が今までの一般的なハードディスク・ストレージです。一方、右がオールフラッシュエンタープライズです。まずスピード。IOPS というのは「インプット・アウトプット Per Second」の意味で、1秒あたりの処理できるインプット・アウトプット数です。これが30倍向上している。これはすさまじい向上なんです。

それからサイズが、Uという単位はUnitの頭文字で、1.75インチ、すなわち66Uというのは約3m(293cm)あります。これが、SSDというかフラッシュを使ったものは、たったの3U、13cmです。なんと20分の1ぐらいになっている。非常に小さなものになっている。さらに、パワーは4500Wが1600Wになっている。これは今ハードディスクのストレージとフラッシュのストレージの比較であって、これだけダウンサイジングすると、その建屋自体も非常に熱量的に低コスト化できるわけです。非常にフラッシュの恩恵を得ているということになります。このようなエンタープライズが大きな銀行で今、活躍中です。

Googleのホームページには、フィンランド湾にあるデータステーションの写真があります。非常に冷たい氷水「Gulf of Finland」を使って水冷しているんです。ハードディスクというのはレコード盤のように常にモーターで回していますので、相当な発熱量があります。それを「Gulf of Finland」の冷たい水で水冷しているということです。

ですので、ここで注目したいのは、ハードディスクに比べてSSD、フラッシュはスピードが速い、ローパワー。それだけではないです。もちろんダウンサイジングもあります。すなわち、このハードディスクのデータステーションはランニングコストが非常にかかる。ランニングコストは初期投資のハードウェアの約3倍かかるということで、今Google等の大きなデータステーションでは、このフラッシュメモリに非常に注目して置き換えが始まっているということです。

ではそのフラッシュメモリは一体どのぐらいのビジネスかと申し上げると、ワールドワイドで

もう 6 兆円の規模になっています。

皆さんがお持ちのスマートフォン、それから今ご紹介した SSD。SSD というのも 2 種類あり、パソコンやタブレット PC などに入っているわけです。

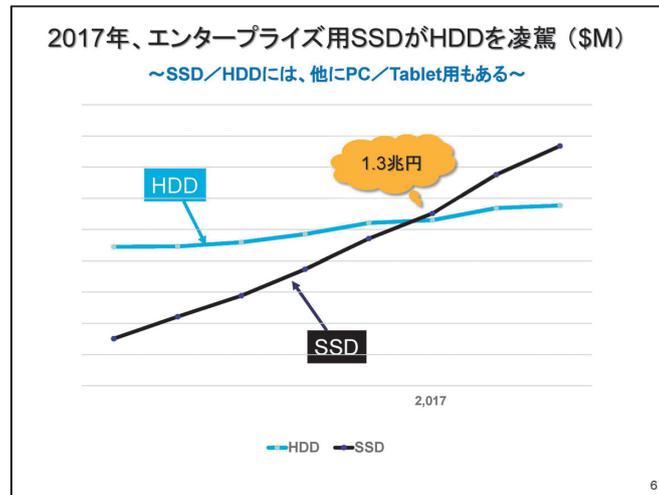


図-6

〈図-6〉大きな銀行で使われているようなエンタープライズで比較すると、SSD はなんと 2017 年 HDD を抜きました。すごく画期的なことですね。抜いたときの規模が 1.3 兆円だったということです。非常に世界的に売上の的にも貢献しているということです。

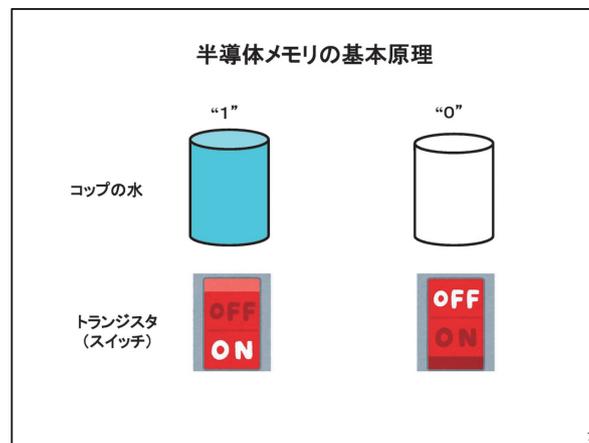


図-7

〈図-7〉さて、それでは半導体メモリって何ですか。ちょっと難しい話で、われわれはエレクトロンだとかホールを使うわけですが、ここではそれをちょっと忘れて、コップの水で考えたい。

まず左側がコップの中に水が満たされている状態、右側が空の状態。これで 1 と 0 が定義できるわけです。コンピュータの世界はバイナリ、2 進数です。だから 1 か 0。入っているか入っていないか、これだけなんです。すなわち、これをトランジスタのオン・オフに割り当てればいいわけで、どちらにしてもロジックなのでいいのですが、例えばこの状態をオンにする、あるいはこの状態をオフにするということでスイッチングができるわけです。

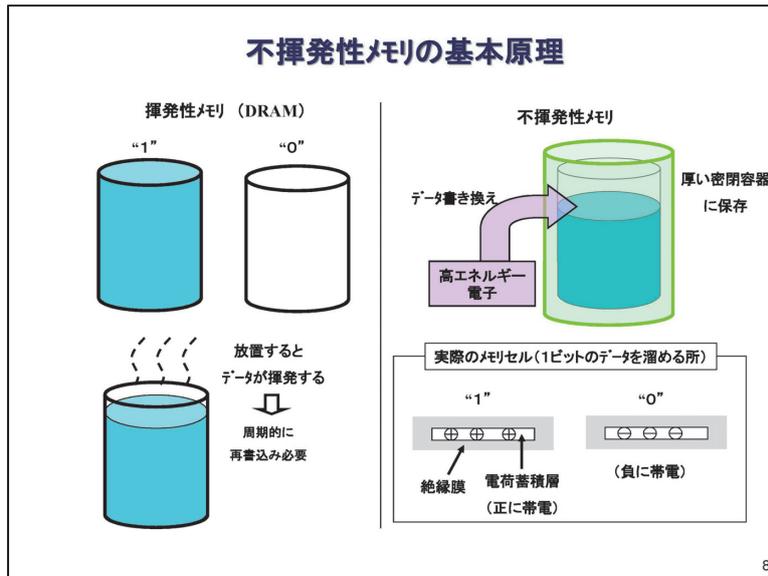


図-8

〈図-8〉さて、これが半導体メモリの基本原理ですが、メモリには 2 種類あるんです。揮発性メモリは一言で言うと、パソコンの中にも入っている DRAM などがありますが、電源を切るとデータが消えてしまうメモリを揮発性メモリと呼んでいます。一方、皆さんがお持ちの USB、スマホなど、取ったデータを電気なしで持ち歩けるのを不揮発性メモリと呼んでいます。

揮発性メモリは先ほどご説明したような、コップに水が入っているか、入っていないかですが、では不揮発性メモリは何が違うのか。これは、コップはコップですが、肉厚のコップなんです。では肉厚のコップは、何が違うか。実は揮発性メモリのほうは上がオープンになっているものですから、せっかく入れた水がしばらくすると蒸発してしまう。なので、専門用語で言うとリフレッシュという、書き込みをしています。周期的にデータを書き直しているんです。ですので、DRAM、あるいはスマホでバッテリーがなくなるというのも、DRAM が入っていますので、ずっと使っていると、リフレッシュをやっているということでバッテリーもなくなる。

一方で不揮発性メモリは非常に肉厚のガラスに囲まれているので、入れるのに非常にエネルギーを使います。ちょっと難しい話ですが、高エネルギー電子。いきなりここで電子が出てきて申し訳ないのですが、実はこの水というのは電子ですが、厚いガラス膜を通してコップ内に水を入れるためには、高いエネルギーが必要です。いったん入ると、なかなか出ていかない。これが不揮発性メモリの原理です。実はもう少し科学的に申しますと、ガラスはガラスですが、SiO₂ という絶縁膜でそのコップが囲まれているということになるわけです。

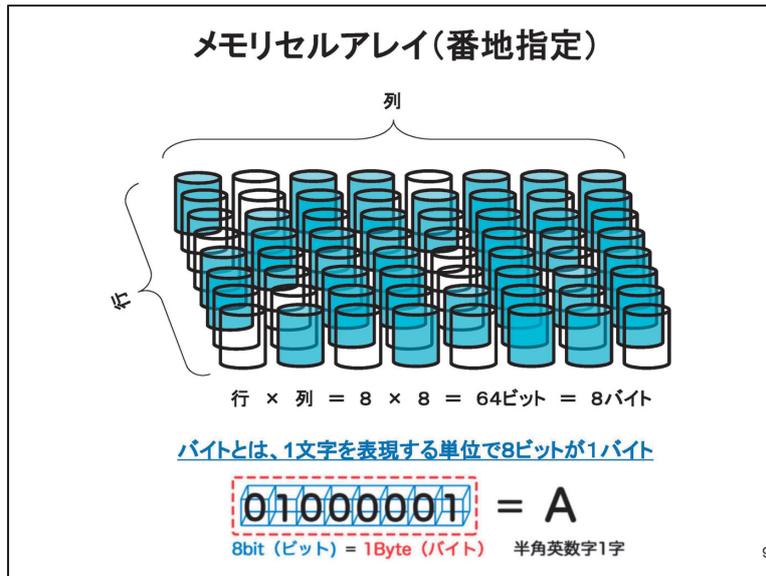


図-9

〈図-9〉さて、番地というものがメモリにありまして、例えば何丁目何番地のデータを持ってこい、あるいは何丁目何番地にデータを書きなさいということをやりますが、ではその何丁目何番地のよう示しているのが行と列です。ここには行が8個、列が8個で計64個のコップがあります。そうすると64個のコップがあると、水が入っているか、入っていないかでいろいろなパターンができるわけです。64個のコップがあるので64ビットで、それを8バイトと呼んでいます。

バイトとは1文字を表現する単位で、8ビットが1バイトになります。例えば半角英数字1字を表すのに8ビットが必要だということで、8ビットを一つの単位でバイトと呼んでいます。

テラビットフラッシュメモリが指先に乗る時代

1Tera bit = 128GB(ギガバイト) = 128 × 10⁹バイト

出典: S. Lee, etc., "A 1Tb 4b/Cell 64-Stacked-WL 3D NAND Flash Memory with 12MB/s Program Throughput," in ISSCC Dig. Tech. Papers, 20.3, Feb. 2018

◆ **新聞 400万ページの情報量**

朝刊は30~40頁なので、300年分

◆ **ハイビジョン動画64時間の情報量**

10

図-10

〈図-10〉一応これが半導体メモリで、「何だ、半導体メモリって簡単ですね」ということになりましたが、では今どのくらいの容量になっているか。今フラッシュメモリはどんどん容量が上がっていますので、今現在は1テラビットの世界に入っています。1テラというのは10の12乗です

が、そういう難しい話はやめておきまして、バイトで言うと 128 ギガバイトです。これのほうがちょっと親しみがありますよね。スマホで使われている方は、64 ギガバイトのスマホだとか言われていると思いますが、指数で言うと 128×10^9 バイトということで、それがどのくらいの情報量が入るか。

われわれが東芝に入ったころ、DRAM の開発に私も携わってしまして、そのころ 1 メガビットの DRAM を開発して、そのときに新聞が 4 ページ分入ると言っていた。でも 1 テラビットだと、とんでもない数が入ってしまうんです。400 万ページ。これは朝刊で計算すると約 300 年分。これはあまりピンとこない。300 年分って何なのかと。もう少しデジタルに申し上げると、これはハイビジョン動画で 64 時間です。びっくりですね。指先に乗るチップで 64 時間です。大変なデータ量になっているというのがフラッシュメモリのご紹介で、あまり難しいお話はしませんでした。

■ 舛岡先生の偉業

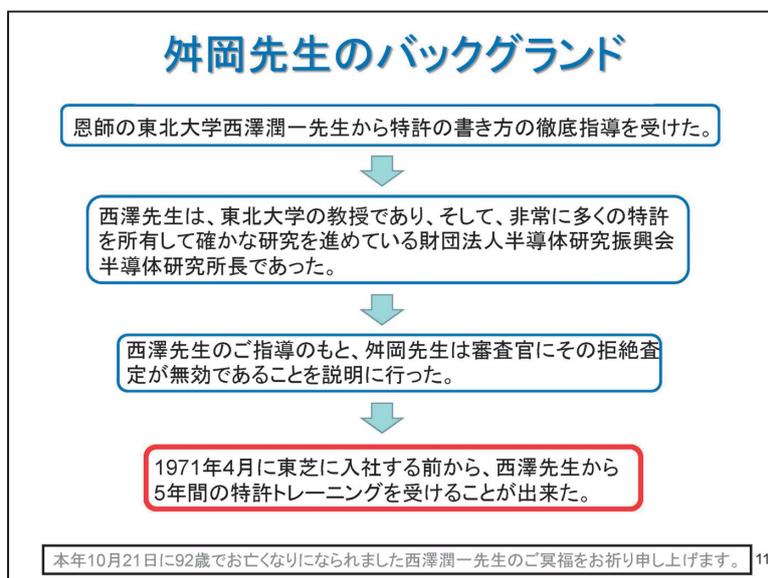


図-11

〈図-11〉さて、舛岡先生の偉業についてご紹介したいと思います。まず舛岡先生のバックグラウンドですが、本田財団のビデオにもございましたが、東北大恩師の西澤潤一先生から特許の書き方の徹底指導を受けたということです。西澤先生は東北大の教授で、かつ非常に多くの特許を所有して確かな研究を進めていらっしゃる、財団法人半導体研究振興会半導体研究所長というお立場でもありました。ですので、舛岡先生に研究を指導されるだけではなく、特許の書き方も指導されたと伺っております。

西澤先生のご指導の下、舛岡先生は東京の特許事務所、あるいは場合によっては特許庁の審査官と拒絶査定が無効であるご説明に行ったと伺っています。舛岡先生は西澤先生の研究室にマスター、ドクターと 5 年いらっしゃるわけで、1971 年 4 月に東芝に入社されたときにはもう特許のベテランになられているわけです。徹底指導を 5 年間、西澤先生に受けていますので、特許トレーニングを既に終えている。その当時の東芝の現役エンジニアよりも、特許に関してはよくご存じだったと伺っています。

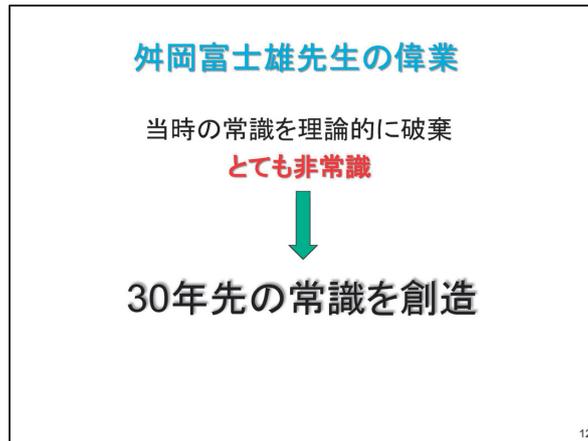


図-12

〈図-12〉舛岡先生の偉業はたくさんあるのですが、ここで話してできる限りお話ししたいと思います。まず当時の常識を理論的に破棄するわけです。これはすごいことなんです。どういうことかという、とても非常識なんです。普通の人理解できない、「えっ？」というようなことを提案されるわけです。すなわち、30年先の常識を想像する。よく25年先が見える人をビジョナーと呼ぶそうですが、例えばスティーブ・ジョブスさんなど、あまり世界にいない方々ですが、そのようなビジョナーの1人ではないかなと。

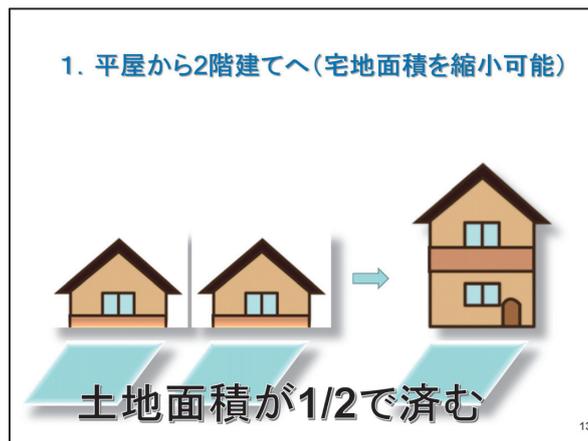


図-13

〈図-13〉まずされたことは、平屋から2階建てへ。要するに、平屋が二つあり、これを宅地面積の縮小可能のために2階建てにしてしまう。そうすると、結果的に土地面積が2分の1で済む。すなわちわれわれメモリ開発者というのは、例えば1cm角のチップに、次の年に2倍の容量を入れなさい、またその翌年にはもう2倍の容量、すなわち1メガだったのを2メガにしなさい。2メガだったのを4メガにしなさいと。だから、いかに縮小していくかということが非常に大事なことです。

例えば紫外線消去型の EPROM は、先ほど写真でお見せしたような、非常に高価なガラス窓がセラミックパッケージに封入されています。あるいはこれはご紹介していませんが、電氣的に書き換え可能な EEPROM というメモリセルがありましたが、これは 2 個のトランジスタ、非常にメモリセルのサイズとしては大きなものがあり、これも高価です。

舛岡先生はそういう機能をよく考えて、1 個のトランジスタですべてのデータを一括で消去しようと。これがフラッシュメモリということにつながったわけです。すなわち、ガラス窓付きの EPROM は高い。2 個のトランジスタで構成される EEPROM も高い。フラッシュメモリは 1 個のトランジスタでできる、これは安い。ただ、フラッシュメモリは安いだけではなかったんです。

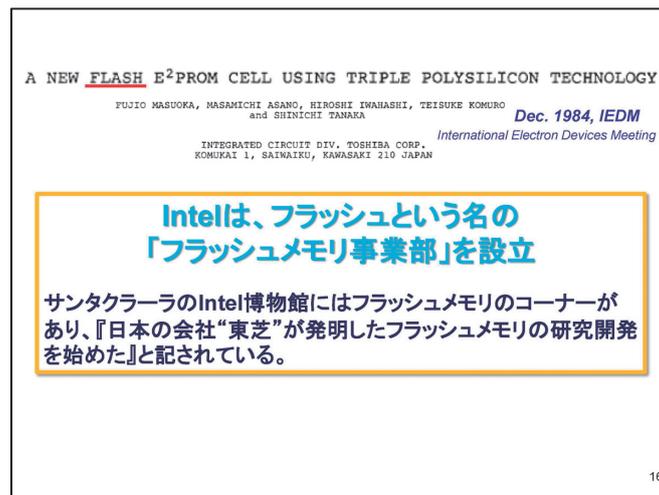


図-16

〈図-16〉1984年に舛岡先生が IEDM (IEEE 国際電子デバイス会議) で発表された最初のフラッシュメモリのペーパーのタイトルの「FLASH」と書いてあるんです。

私はそのとき会社に入って4年目でした。私の後ろのほうで、舛岡先生および数人が話されていました。ちょうどこの IEDM は12月にサンフランシスコ等ですが、ちょうど投稿の時期です。何と名前を付けようかなと。1984年の6月だったと思います。この論文を投稿する際に、舛岡先生は名前に悩まれた。

そのとき SRAM の主任で、有泉さんという方が「舛岡先生、フラッシュってどうでしょうか」「いいねえ」ということで、フラッシュという名前を付けたんですね。そのときに舛岡先生ご自身がおっしゃるには「これって、写真のストロボみたいにパッとデータが消えて、フラッシュ(という名前は)いいよね」ということでタイトルに「FLASH」という名前を付けたわけです。これは私の後ろで話されていたのでよく覚えています。

そのとき東芝はトレードマーク登録、商標登録なんか考えないで、これをタイトルにあげて何もせず発表したものですから、このフラッシュというのはとてもファミリーな名前なので、まず Intel がその数年後にフラッシュメモリ事業部を作ったのです。Intel は猛烈にこのフラッシュメモリを開発しました。

サンタクララに Intel の本社があり、ロバート・ノイス・ビルディングの横に Intel ミュージア

ムがあります。そこにフラッシュメモリのブースがあります。私はそのフラッシュメモリのブースで背筋がぞっとしました。日本の会社、東芝がフラッシュメモリを発明した。それを Intel が開発をやっていると書いてあるんです。Intel ってすごいなと私は思いました。それほどアメリカというのは、すごい仕事をした人に対して正当に評価する。もちろん Intel は自信があってそれを書いている。Intel ミュージアムは小学生も中学生も行く、一般者が入れるミュージアムでそのように書いてある。これは私には非常なインパクトがありました。



図-17

〈図-17〉これは舛岡先生が 2012 年にアメリカの写真協会から表彰を受けたものです。フラッシュを考えられたときに、舛岡先生がこのようなことになるということまで見通してフラッシュという名前にされたかどうかは分かりませんが、とにかく写真学会から表彰を受けて、「キヤノンフィルムカメラ販売終了 80 年超の歴史に幕」という記事もございました。このフラッシュで銀塩写真がほとんどなくなってしまうということですね。ではフラッシュメモリって、銀塩フィルムからフラッシュに置き換わっただけなのかというと、そうではないんです。

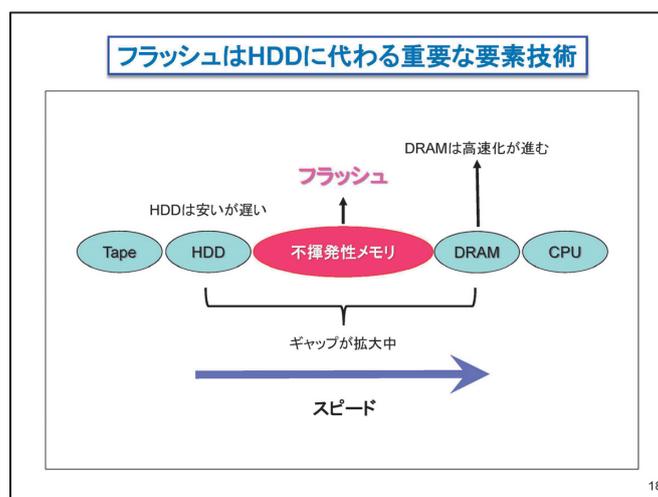


図-18

〈図-18〉フラッシュメモリは、HDD に変わる重要な要素技術になっています。例えばコンピ

ユータのアーキテクチャが変わる、そういうところまできている。すなわち、ここに DRAM があり、これは揮発性メモリです。左側に HDD があります。CPU や DRAM が高速になってきますので、HDD とのギャップがどんどん広がっている。これが問題だったのですが、ここを埋めるのがフラッシュメモリです。ですので、単に写真が置き換わったとかそういう話ではなくて、新しいアーキテクチャがここで生まれつつある。

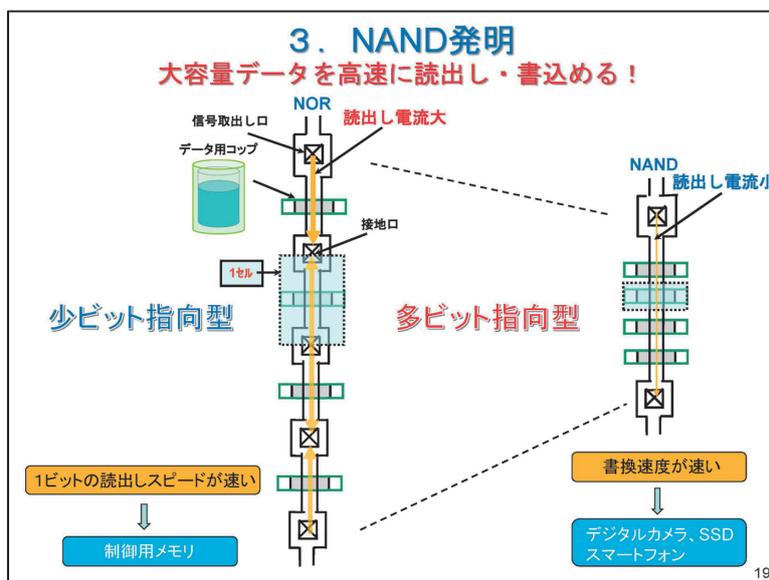


図-19

〈図-19〉さて、NAND の発明についてお話を申し上げますと、こちらに示しているのが NOR ですが、コップがあって、水が入っているかないかで電流が流れるかどうか決まる。NOR はトランジスタ 1 個ですから、電流としては非常に大きい。

一方、舛岡先生は NOR の発明以降、NAND を発明されて、これは非常に直列接続というか縦列接続してしまっていて、今、最高に縦列接続しているのは、128 個もメモリセルが直列につながっています。ですので、当然その読み出し電流は NOR よりも小さくなるわけです。しかし回路的な、あるいはデバイスの工夫を得て、NOR のほうが少ビット指向型であれば、NAND に関しては多ビット指向型ということで、いろいろな工夫をして大容量データを高速に読み出したり書き込めるわけです。これが NAND です。



図-20

〈図-20〉では、その大容量データのアクセスが可能な NAND フラッシュメモリのおかげでどうなりましたか。まずデジタルカメラが出ましたね。プリクラは今でもあるかもしれませんが、みんな高校生がデジカメを持って歩いている。今はスマホかもしれませんが。あるいは USB メモリ。私もきょう、プレゼンテーションがちゃんに行えるかどうか、USB メモリで自分のデータを持ってきています。それからスマートフォンですね。すなわち、NAND のおかげで新しい文化が生まれたということです。カルチャーが変わったわけです。



図-21

〈図-21〉こちらは 1987 年に舂岡先生が NAND の論文発表をされたときのものです。3 年前に NOR をプレゼンされた時と同じ IDEM で発表されました。

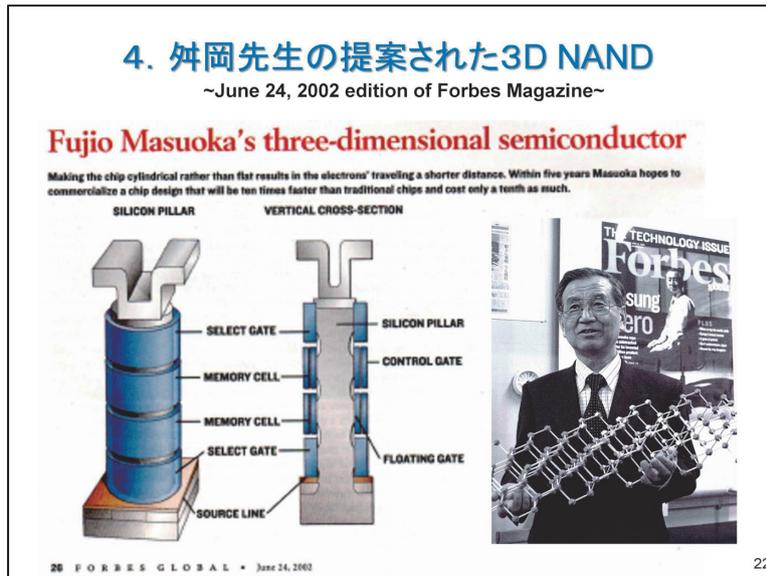


図-22

〈図-22〉さて、4番目としては、舩岡先生は「Forbes」で2002年に特集を組まれたわけですが、その中に、将来はNANDもこのようになると、3DのNANDをここで描かれています。

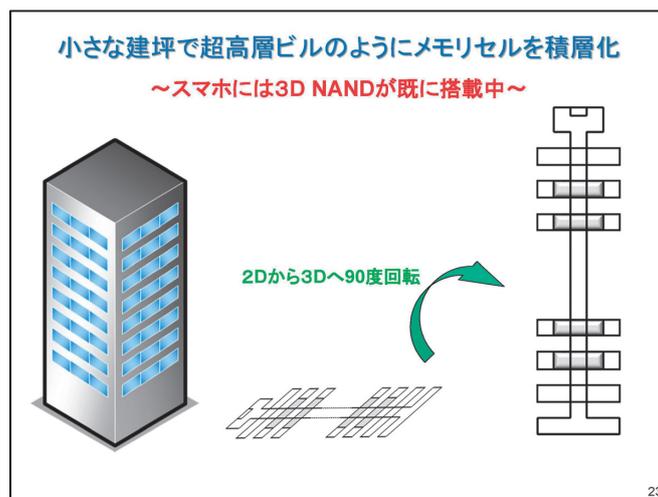


図-23

〈図-23〉3DのNANDって何？ということでご説明しますと、先ほど平屋が2階になりましたという話を申し上げましたが、NANDはメモリセルを高層ビルにしているんです。高層ビルです。すごいです。まず平屋というか長屋といったらいいのか、NANDがあります。これが従来のNANDでした。それをちょっと変えて90°ローテート、起こして縦積みにしてしまったというのが3DのNANDです。

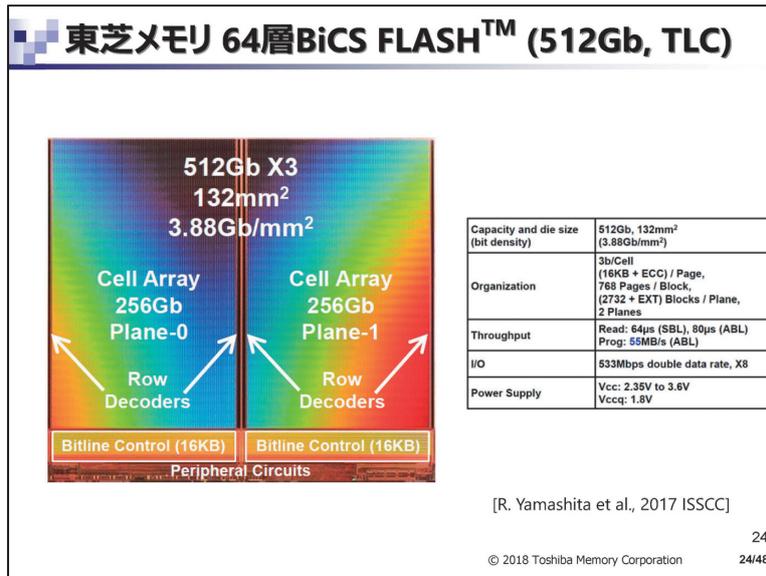


図-24

〈図-24〉ここにご列席の東芝メモリの百富所長から2枚のスライドをお借りしました。これが、東芝が2年前に発表した64階建ての3DNANDです。これはもう実際に皆さまのスマホに入っています。毎年2月にISSCC（国際固体回路会議）というのがサンフランシスコで開かれるのですが、東芝メモリは96層の3DNANDを発表しました。こちらも製品化されています。すごいですね。高層ビルです。

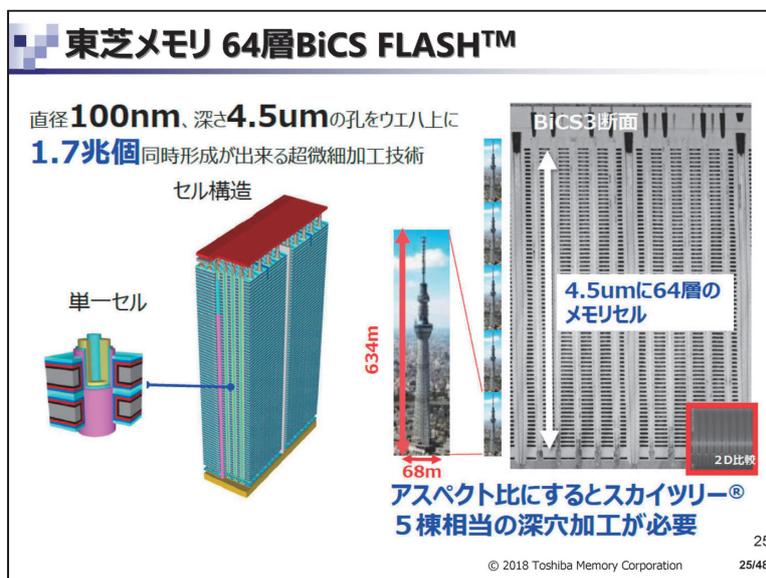


図-25

〈図-25〉どれだけ高層なのかと。これは64層の例ですが、例えば、われわれはピラーと呼んでいる。円柱という意味ですが、ピラーの直径は100nm（ナノメートル）。これはまた難しい数字ですが、1ミクロンの10分の1です。1ミクロンって何？というのがありますが。深さは4.5μm（ミクロン）。

これは実際に百富さんがうまく表現されていますが、スカイツリーに例えるとどうなってるの？スカイツリーは底面の直径が68m、高さ634mなので、スカイツリー5個分の高アスペクトの穴

を掘らないと、これが実現できない。これができているわけです。皆さんのスマホで動いているわけです。こういうのが今の現状です。

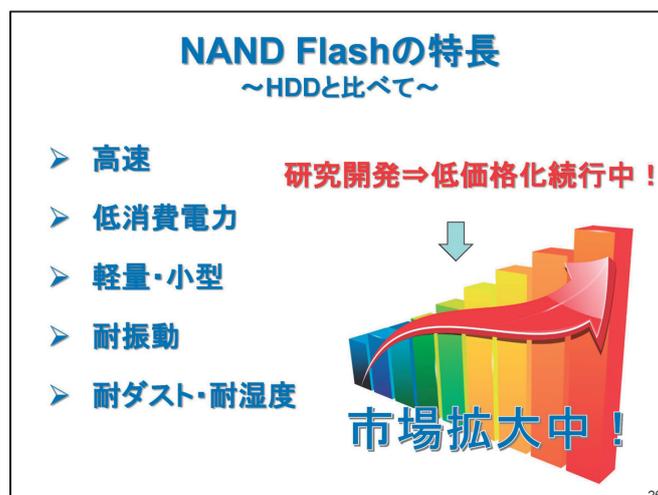


図-26

〈図-26〉まとめますと、NAND Flash の特徴として、まず HDD と比べて非常に高速です。それから低消費電力です。そして軽い。小さい。耐振動、バイブレーションに強い。HDD はレコードですから、針が飛んでしまいますので。それからゴミやダスト、湿度に強い。それで今現在、研究開発で努力されている百富さんをはじめ、東芝メモリ以外にもみんな切磋琢磨、研究開発していますので、低コスト化続行中ということで、どんどん市場が拡大しています。先ほど 6 兆円と申し上げましたが、それは一気にもうすぐ 10 兆円ぐらいになると考えております。

■ 部下達から見た舛岡先生

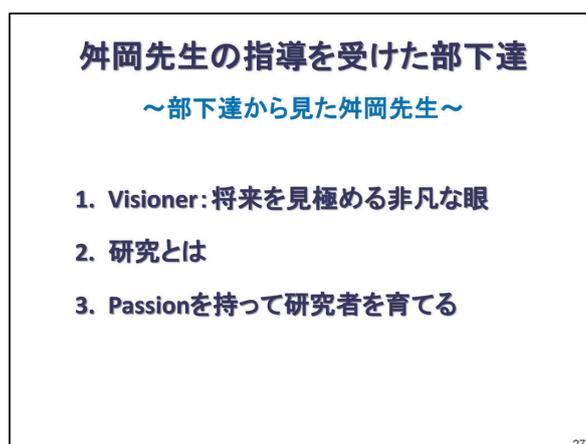


図-27

〈図-27〉さて、今度はちょっとわれわれの話をさせていただきますが、舛岡先生の指導を受けた部下たち。ここに何人も舛岡先生の指導を受けたわれわれの仲間がおります。ここで、部下の視点から見た舛岡先生ということで披露させていただきますと、まず先ほど述べたように、30 年先が見えてしまうんです。私には全然見えないのですが、見えるんですね。将来を見極める非凡な眼。

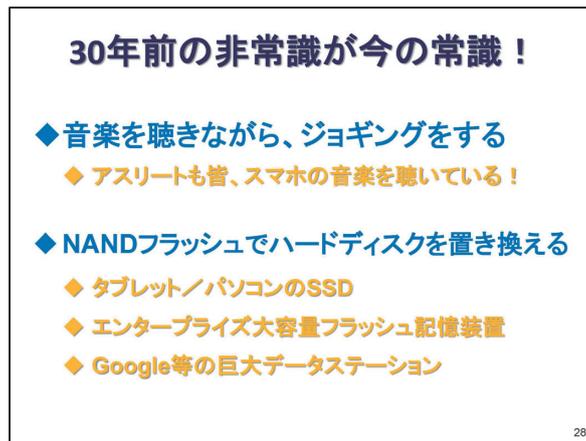


図-28

〈図-28〉 そのエピソードを申し上げますと、1990年ぐらいだったと思います。東芝に入りたいという学生さんが、舛岡先生の袖机でインタビューをするわけです。舛岡先生はそのとき、「君、ジョギングをしながら音楽を聴きたいと思うか」「はい」というわけです。

その当時は、非常に重い、バルキーな大きなソニーのウォークマンがありました。あるいはそれからCDウォークマンということで、円盤を回していますので、ジョギングしながらでは針が飛んでしまうので、とてもそんなことはできない。でも今、テニスの錦織君にしても、プレー前にアスリートがみんな耳掛けイヤホンで音楽を聴いていますね。まさにその時代になっているんですね。

さらに、舛岡先生の後ろのところに4メガビットのわれわれのNANDのテストチップが飾ってありまして、「これを使うとハードディスクを置き換えられるんだ」。いや、私はそれ何度も聞いていますが、学生のインタビューのたびにそうおっしゃっていて、それを聞くたびに、また舛岡先生はそんなことをおっしゃったのかと。

なぜかという、そのときの4メガビットは、音楽にすると1曲入るか入らないかぐらい。しかもHDDとNANDの当時の1ビットあたりのコストは、NANDのほうが4桁も5桁も高かったんです。それをもって置き換えるのは「えっ？」と、もう学生もびっくりするわけですね。誰も信じないわけではないのですが、理解するのがなかなか難しかった。

でも今、先ほど述べたようにGoogleのハードディスクのデータステーションがフラッシュメモリに変わります、あるいはエンタープライズは銀行で動いていて、まさにその時代に皆さんはスマホを持っていらっしゃる。もうその時代になっているわけですね。こういった将来を見極める目を持っていらっしゃる。

それから研究に関しては、舛岡先生は研究とはどういうものかというのを非常にわれわれに教えてくださいました。そしてPassionを持って研究者を育てるんです。私もその恩恵を得た1人で、非常に感謝しています。今ご紹介したような、こういうことが今現実になっているということです。

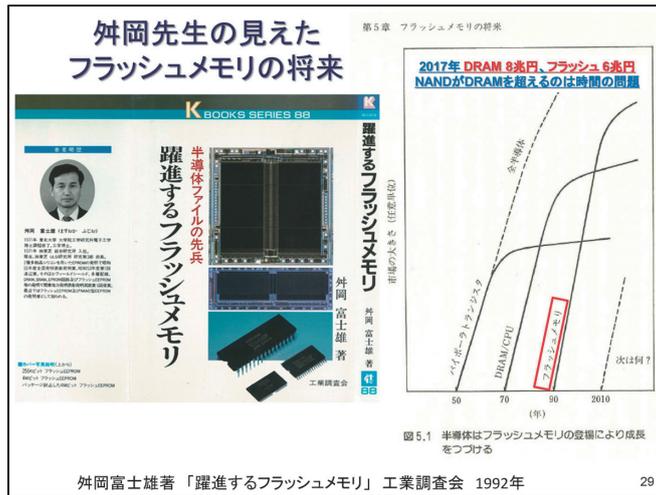


図-29

〈図-29〉そういったことを本当にわれわれは聞いたわけですが、ちゃんと証拠というか、エビデンスがございます。舛岡先生の宣伝ではないですが、今でも本屋さんに行くと『躍進するフラッシュメモリ』が売っていますが、1992年に発刊されて、その第5章に「フラッシュメモリの将来」という章があります。

この中でビジネスの大きさ、これは年、バイポーラ、DRAM、フラッシュメモリ、次は何？と。次は何？というのは、縦型のトランジスタで今フラッシュメモリは3D化もしていますし、あるいはロジックのシステムで縦型トランジスタに変わっていくだろうということ、舛岡先生はここで予測されています。

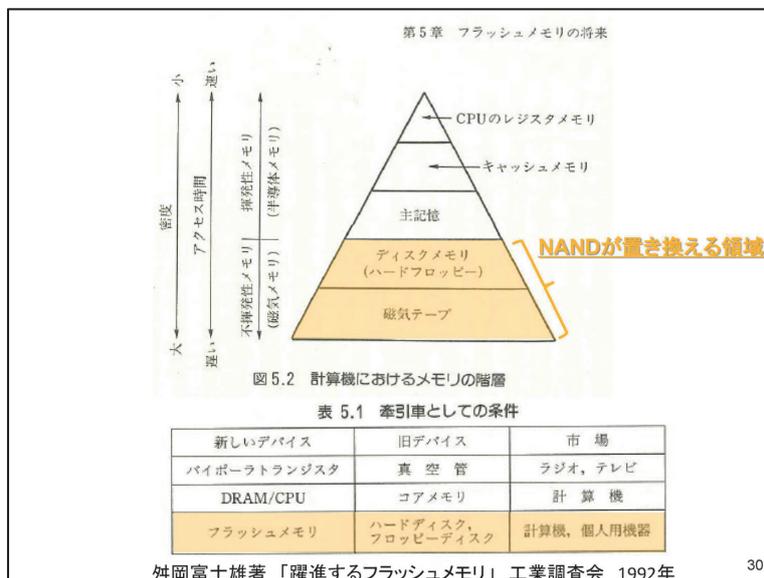


図-30

〈図-30〉そしてまたこういう図があります。これも同じ章「フラッシュメモリの将来」です。この中で、色のついた部分が NAND が置き換わるころだと。これは実際その通りになっています。30年前に言ったことがその通りになっている。これが非常に非凡な眼を持たれているということです。

舛岡 研究者育成 スクール

- ▶ 新人一年目の研究実践の成果を世界一流の国際会議で発表することを目標とする。ISSCC、IEDM、VLSI Symposium。
- ▶ 学会発表後、世界一流の論文誌に掲載されることが目標である。その論文誌とは、TED、EDL、JSSC。
- ▶ 特許とか論文とかは自宅で土日と夜中に進めるように教育。そうやって、会社に居る時だけ仕事するサラリーマンではなく、プロフェッショナルな世界一流の研究者になるため、鍛えられる。
- ▶ ドクターを持たずに会社に入った者に対しては、論文ドクターを取得させることを指導。

31

図-31

〈図-31〉それから、舛岡先生は非常に Passion を持って研究者を育成されています。まず舛岡先生の部に、あるとき 10 名とか 12 名の学卒のフレッシュマンが入るわけです。そうするとその人たちに課題が出るわけです。世界一流の国際会議で発表することを目標にする。1 年目の新人です。だから一緒につくメンターも大変なわけですが、例えば ISSCC、IEDM、VLSI Symposium、こういう学会が一流の国際会議だと言われるわけです。これだけではないんです。実はその 12 名は輪講というのをやります。輪講は厚さ 600 ページぐらいの英語の教科書で、毎週やるわけですが、では 50 ページ読んできなさいと。

ただ、普通の輪講というのは、例えば A さんがこの章を、B さんがこの章をと。そうすると 1 週間で 50 ページ進むといっても、A さんはその数ページしか読まない。こういうスタイルはよくないと。だから 50 ページ進むと言ったら、アトランダムに 12 名に対して、あなた説明しなさいと。逐語訳は駄目。この章に何が書いてあるか、あなた説明しなさい。それをやるわけです。非常に教育に関しては厳しい。

それと、学会発表をしても、それは駄目だと。一流の論文誌に掲載されることが目標で、そうでないと論文と言えない。ですので、われわれは学会発表させてもらって、ほっとする間もなく、今度はペーパーを出しなさいと言われるわけです。「Transactions on Electron Devices」「Electron Device Letters」など、一流の雑誌に論文を出しなさいと。

また、ここがすごいところですが、特許や論文は自宅で土日や夜中に進めるように教育。こう言うと、舛岡先生は鬼ですよと言っているように捉えられると困るのですが、そうではなくて、会社にいるときだけ仕事をするサラリーマンではなく、プロフェッショナルな世界一流の研究者になるために鍛えられる。その恩恵を被って私も今日があるのかなと、ここに集まっている舛岡先生の弟子たちはみんなそう思っていると思います。

私も東芝にはマスターで入りました。ところがドクターを持っていない人は、論文ドクターを取らせるといことです。舛岡先生がすばらしいのは、特許を書きなさいとか、論文書きなさいとか。それがパブリッシュされるとファーストページをコピーされて額縁に入れて、部屋のところに飾ってくださるんです。そうすると壁がいっぱいになって、飾るところがなくなってしまう。それはその人のためにやっているのではなくて、そうやってみんなを刺激してモチベーションをアップするというでやられているんです。

研究とは

- 研究とは新しくなくてはならない。
- 研究者はその証(あかし)を残さなくてはならない。
- 証とは:
 1. 特許
 2. 論文
 3. 製品
- そして我々は教科書を塗り替える仕事をする。

32

図－32

〈図－32〉「研究とは」。これは舛岡先生の語録のように毎日聞かされた、「研究とは新しくないといけない」。そして、「研究者はその証（あかし）を残さなくてはならない」。では、そのエビデンス、証とは何か。それは三つで、特許であり、論文であり、そして製品だど。そして「我々は教科書を塗り替える」、それが仕事だというように。私は、1万回はちょっと大げさかもしれませんが、1000回ぐらいは聞いています。

1988 IEDM (International Electron Devices Meeting)

論文採択率30%の厳しい学会であるが、舛岡先生Grからは80%以上が採択された！

1. Shirota, Riichiroh ; Endoh, Tetsuo ; Momodomi, Masaki ; Nakayama, Ryoza ; Inoue, Satoshi ; Kirisawa, Ryouhei ; Masuoka, Fujio, "An accurate model of subbreakdown due to band-to-band tunneling and its application," Page(s): 26 – 29.
2. Sakui, Koji ; Hasegawa, Takehiro ; Fuse, Tsuneaki ; Watanabe, Shigeyoshi ; Ohuchi, Kazunori ; Masuoka, Fujio, "A new static memory cell based on reverse base current (RBC) effect of bipolar transistor," Page(s): 44 – 47.
3. Takato, Hiroshi ; Sunouch, K. ; Okabe, Naoko ; Nitayama, Akihiro ; Hieda, Katsuhiko ; Horiguch, F. ; Masuoka, Fujio, "High performance CMOS surrounding gate transistor (SGT) for ultra high density LSIs," Page(s): 222 – 225.
4. Sunouchi, Kazumasa ; Takato, Hiroshi ; Nitayama, Akihiro ; Hieda, Katsuhiko ; Horiguchi, Fumio ; Masuoka, Fujio, "Double LDD concave (DLC) structure for sub-half micron MOSFET," Page(s): 226 – 229.
5. Momodomi, Masaki ; Kirisawa, Ryouhei ; Nakayama, Ryoza ; Aritome, Seiichi ; Endoh, Tetsuo ; Itoh, Yasuo ; Iwata, Yoshihisa ; Oodaira, Hideko ; Tanaka, Tomoharu ; Chiba, Masahiko ; Shirota, Riichiro ; Masuoka, Fujio, "New device technologies for 5 V-only 4 Mb EEPROM with NAND structure cell," Page(s): 412 – 415.

33

図－33

〈図－33〉 その中の一つの例を申し上げますと、IEDM は非常に厳しい学会で採択率 30%、すなわち 10 件申請しても、3 件ぐらいしかアクセプタンスにならない厳しい学会ですが、なんと舛岡先生の研究所から 6 件出して 5 件も通っている。

申請する前は徹夜を許してもらって、会社で書いているわけです。舛岡先生は 12 時ぐらいに

終電で帰られる。われわれ論文を書いている連中は会社にて、そうすると舛岡先生から夜中の2時ぐらいに「おい、ちょっと前半読んでみる」。5行ぐらい読むと「ちょっとよくなったかもしれないけど、それでは落ちるな。もっとがんばれ」。その日締め切りなのですが、そのような形で通させていただいたということです。

舛岡先生の教えを受けた弟子たち

- ◆博士取得 5名(渡辺、作井、有留、丹沢、竹内)
- ◆IEEE Fellow 4名(白田、作井、有留、丹沢)
- ◆大学教授 5名(堀口、白田、渡辺、丹沢、竹内)

34

図-34

〈図-34〉その結果、ここにみんなお集まりですが、私を含めて5人が博士号を取らせていただきました。また4名はIEEE Fellowにもならせていただきました。大学の先生になられた方も5名いらっしゃいます。

フラッシュメモリ教科書

NAND Flash Memory Technologies WILEY	Advances in Non-volatile Memory and Storage Technology WIP	Nonvolatile Memory Technologies with Emphasis on Flash WILEY	On-chip High- Voltage Generator Design Springer
有留誠一 著	白田理一郎 他 著	作井康司 他 著	丹沢徹 著

舛岡先生のお陰で、我々は教科書を塗り替える仕事が出来た！

35

図-35

〈図-35〉舛岡先生の「フラッシュメモリの教科書を書き換える」という言葉通り、有留さんは教科書をIEEEから出されています。これはすべて英語です。白田さんもやはり英語の本を書かれています。私もNANDのチャプターを100ページぐらい書きました。丹沢さんが回路の教科書を書いています。



図-36

〈図-36〉舂岡先生のおかげで、われわれは教科書を書くことができた。これはもう 30 年以上前の写真です。こうやって厳しい研究開発の中でも、このような飲み会で楽しくさせていただきました。スナップ写真ですが、白田さんもおります。私なんかはもっとひどい。この真ん中にいるのが私ですから。30 年以上前の研究開発は、今考えるととても充実した毎日で、よく学び、よく遊べ。これですね。

舩岡先生、本田賞受賞、おめでとうございます！

舩岡先生が30年以上前に教えて下さった通りの**フラッシュの時代**になっています。

舩岡先生と僅かなエンジニアが開発してきた**フラッシュメモリは6兆円のビジネス**となりました。

そして、フラッシュ開発を通して、非常に多くの特許、論文を出し、教科書を塗り替えることが出来ました。

我々弟子たちは、舩岡先生にとっても感謝しております！

37

図-37

〈図-37〉舩岡先生、本当に本田賞の受賞おめでとうございます。舩岡先生が30年以上前に教えてくださったとおりのフラッシュの時代になっている。私は NAND に入ったのがちょっと遅いですが、4メガビットを開発するとき、舩岡先生とわずかなエンジニア、10名ぐらいしかいなかったですね。そのフラッシュメモリが今、6兆円のビジネスになっています。そして、そのフラッシュメモリ開発を通して非常に多くの特許。われわれは舩岡先生にパテントということで教えられたので、非常に多くの US パテントを登録させていただきました。そして論文も書き、教科書も書くことができました。われわれ弟子たちは本当に舩岡先生に感謝しています。

<謝辞>

本代理記念講演に至るまで、

多大なるご支援とご助言を賜りました

東北大学名誉教授の犬竹 正明先生に

感謝の意を申し上げます。

38

図-38

〈図-38〉最後になりましたが、本代理記念講演をさせていただくにあたり、舩岡先生はもちろん、舩岡先生のご友人でもいらっしゃいます東北大学名誉教授の犬竹 正明先生に、多大なるご支援、ご指導を賜りました。この場をお借りして感謝申し上げます。

以上、私からの代理講演とさせていただきます。ご清聴ありがとうございました。

■ このレポートは本田財団のホームページに掲載されております。
講演録を私的以外に使用される場合は、事前に当財団の許可を得てください。

発行所 公益財団法人 **本田財団**
104-0028 東京都中央区八重洲2-6-20ホンダ八重洲ビル
Tel.03-3274-5125 Fax.03-3274-5103
<https://www.hondafoundation.jp>
発行者 山本雅貴