

グリーンナノ企画特集<第 21 回>

# 低エネルギー・ユビキタス時代 をもたらすフラッシュメモリー の進歩

スパンション・ジャパンの田口真男社長に聞く



## 1. はじめに

半導体集積回路メモリーのなかで不揮発性の特長を持つフラッシュメモリーの進歩は、最近では微細加工技術の進歩による LSI の集積度増大を象徴している。携帯端末機器がギガバイトを超えるフラッシュメモリーの搭載で目覚ましい変貌を遂げつつあることは日頃実感するところである。フラッシュメモリーは小型、大記憶容量、低電力、高速の特長を持ち、その活躍は家庭、オフィス、車、通信ネットワークのインフラストラクチャーなど、社会全般に亘り、低エネルギー化やユビキタス社会の進展に貢献している。

今回フラッシュメモリー業界の雄の一つスパンション・ジャパンを訪問し、大変ご多忙な社長田口真男氏にフラッシュメモリー技術とその市場での役割について伺った。(取材日：2010年3月3日)

## 2. フラッシュメモリーとは

### 2.1 フラッシュメモリーの素性

フラッシュメモリーは半導体集積回路のなかにあって、不揮発性（電源を切っても情報が消えない）を有するメモリーデバイスという特異な性格を持つものである。過去に DRAM 等他のデバイスの開発の経験の深い田口氏は「フラッシュメモリーは、トランジスターを組み合わせただけの論理回路によって構成される一般の LSI に比べて明確な特徴を持ち、それを活かすアプリケーションに向けて出口のイメージが持てるので、開発・事業推進者として大変面白いデバイスである。同じメモリーでも揮発性の DRAM とは応用の広さから異なる世界を作っている。不揮発性であるために書き換え回数による劣化等の問題があるが、課題がわかっているので、それを克服する策を考えるのもまた面白い。」と語る。

フラッシュメモリーのルーツは古く、フローティング

ゲート（後述）を用いた不揮発性メモリーの構想は 1967 年に米国ベル研究所のカーン (D. Kahng) の発表に端を発しており [1], 1971 年のフロマンベンチコフスキー (D. Frohman-Bentchkowsky) による EPROM (Electrically Programmable ROM) の発表 [2], 1972 年の飯塚、舩岡等の Stacked Gate 構造（現在のフラッシュメモリーセルと同様な構造）の発表 [3] 等多くの研究発表が続いている。

フラッシュメモリーが初めて量産に入ったのは、1993 年スパンションの前身である富士通・AMD 合弁会社（富士通エイ・エム・ディ・セミコンダクタ (株), FASL) の会津工場であり、ほぼ同じ頃インテル社も量産を開始している。ここから、フラッシュメモリーの本格的発展が始まったと田口氏は語る。

### 2.2 フラッシュメモリの基本構造と動作

図 1 に、フラッシュメモリーのセルを構成するフローティングゲート付き MOS トランジスターの基本構造の断面模式図と、情報の書き込み、消去、読み出しの動作例とを示す。ここでセルとは 1 ビットの情報を蓄積する回路構成である。

通常の MOS トランジスターのゲート（コントロールゲート）とチャネル（ソース・ドレイン間電流の流れるゲート直下の部分）との間に電気的に絶縁されたフローティングゲートを挿入した構造であり、フローティングゲートの電荷の有無がデジタル情報の "1","0" に対応する。書き込み、即ち電子の注入は図 1 (a) に示すようにソース、ドレイン間に加える高い電圧で流れる電子によりドレイン近傍で発生するホットエレクトロンが薄い酸化膜を越えてフローティングゲートに跳びこむことで行われる。田口氏は電子の流れを水の流れに譬えドレインに当たった飛沫のようなものと説明した。消去は図 1 (b) に示すようにトンネル酸化膜に高い電界を加えて所謂トンネル現象を利用してフローティングゲートから電子を引き抜く方法がとられる。なお、書き込みにトンネル現象

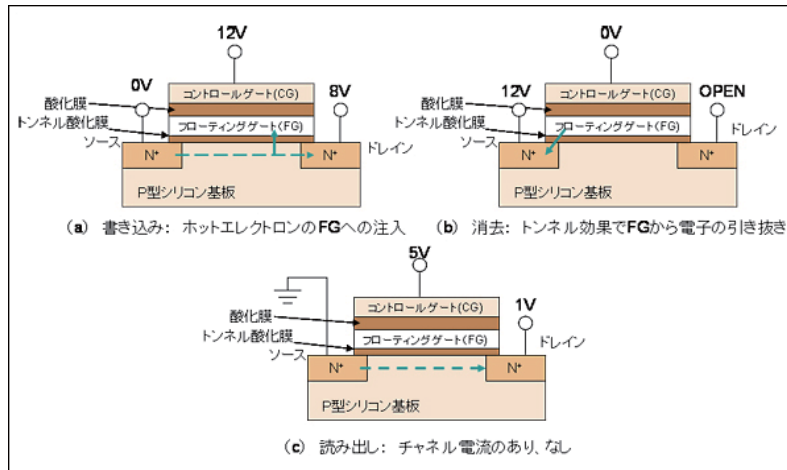


図1 フラッシュメモリの基本構造と記憶メカニズム (スパンション・ジャパン提供資料を元に作成)

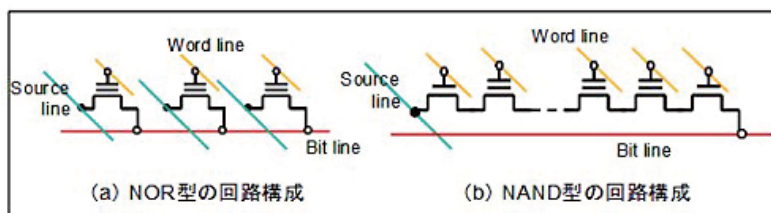


図2 NOR型フラッシュメモリーとNAND型フラッシュメモリーの回路構成

を活用するケースもある。読み出しは図1(c)に示すチャンネル電流で行い、フローティングゲートの電子の有無で電流がオン、オフする。

ところで、この構造のトランジスタのサイズについては、現在最先端技術の65nmプロセスで作った製品でも、ホットエレクトロンを発生させるためにソース、ドレイン間距離だけは100nm近辺である。数年前は200nmであった。当面はこの値は変わらないという。ちなみに、65nmプロセス等のプロセス世代の定義はセル列の繰り返しの半ピッチで定義することが多い。書き込みにもトンネル現象を使う場合はソース・ドレインの間隔を更に詰めることができる。しかしこの場合は信頼性が落ちることへの配慮が必要とのこと。トンネル酸化膜厚はフローティングゲートの記憶電荷を保持するために10nm程度になっている。通常のMOSトランジスタのゲート酸化膜厚とは異なる制約条件である。

### 3. フラッシュメモリの種類と進化

#### 3.1 NOR型とNAND型 その特徴

フラッシュメモリーには、図2(a)に示すようにフローティングゲートをスタックしたMOSトランジスタで構成されるセルをワードラインで選択して個々にビットラインに情報を読み出すNOR型にたいして、図2(b)に示すように複数のセルを直列に接続してビットラインに接続するNAND型フラッシュメモリーがある。これは

1987年に東芝に在籍していた舛岡富士雄氏により発明された。

両者の動作機能の特徴を表1に示す。NAND型はセルに対する配線接続数が少なくコンパクトなレイアウトが可能で集積度を上げられる特徴を有する。現時点での製品の集積度は16G～32Gビットである。これに対してNOR型は最大2G～4Gビットである。しかし、NOR型は、高速な初期読み出し（アドレスを変えてからデータが出るまでの時間）ができる特徴がある。また、信頼性も高い。従って、両者はそれぞれの特徴を活かしてアプリケーション領域での使い分けが行なわれている。例えば、NOR型は信頼度が要求される制御プログラムの記憶用、NAND型はより大容量で低価格が要求されるデータの記憶用に使われることが多い。

表1 NOR型フラッシュメモリーとNAND型フラッシュメモリーの動作の比較

項目	NOR型	NAND型
記憶読み出し	ランダムアクセスは高速 (例)100ns	ランダムアクセスは低速 (例)25 μs 連続アクセスは高速 (例)50ns
書き込み動作	数バイト単位で行う (例)バイトあたり2～10 μs	数Kバイト単位で行う (例)2Kバイト当り300 μs
消去動作	ブロック単位で行なう。 (例)64Kバイト当り0.5～3.5s 消去動作時において、一般的には事前に書き込みを併用することになるため、その分低速となる	ブロック単位で行なう。 (例)128Kバイト当り2ms

### 3.2 フラッシュメモリーの大容量化とそれを実現する高信頼度化技術

#### (1) フラッシュメモリーの容量増大の動向

フラッシュメモリーは1990年代にはNOR型が量産されていたが、2000年に入ってNAND型が次の(2)で述べるチップ内のインテリジェントな制御システム技術の確立により量産されるようになり、集積記憶容量が著しく増大するようになった。図3はITRS (International Technology Roadmap for Semiconductors: 国際半導体技術ロードマップ委員会で作成) 2008年Update版に掲載のLSI集積度のトレンド予測である。縦軸はメモリーLSIの場合は記憶容量(ビット数)を表している。

集積回路出現の初期の時代から微細加工技術の進化と共に集積度は継続的に増大し、21世紀の初頭には加工寸法(セル配列の1/2ピッチ)が90nmの世代に入り、搭載記憶容量がGビットを超えるレベルに達したが、引き続き65nm世代、45nm世代と微細化が続いている。また、NAND型が大量生産されるようになった2000年を境にしてそれまでDRAMがLSI集積度の最先端を走っていた地位をフラッシュメモリーに譲ることになったことが分かる。微細化による集積密度の向上はメモリーのビット当たりコストを低減させることになる。これは、商品普及の条件であり、メーカー間の競争の主要テーマでもあった。更に、素子の微細化は動作エネルギーの低減にもなる。フラッシュメモリーは100nmを割るデバイスサイズ領域に入って、より広くユーザーニーズに応えられるようになり、後述の普及に繋がっている。ビット当たり価

格ではまだハードディスクには及ばないが、高速・低電力、装置の小型化、そしてモータで動作するハードディスクのような機構部分はなく振動のある環境でも問題ないという特長を持つ。携帯機器用の記憶装置市場に極めて適合している。

そのフラッシュメモリーでは、図3に示すように、1セルに"1","0"二つの状態を作り1ビット情報を蓄える方式から、1セルに4つの状態を作り2ビットを蓄える方式に進んだ一段と記憶容量を高めた製品も出だしている。その手段として、フローティングゲート中の蓄積電荷の量をレベル分けして信号として識別することで状態数を増やすMulti-Level-Cell方式と次に紹介するスパンションのMirrorBit型のように、フローティングゲートに相当する電荷蓄積場所を分けて別の状態として識別する方式がある。更に3ビットや4ビット/セルの方式も現われつつある。図3に見るフラッシュメモリーの進歩はLSIの新しい時代への貢献を予想させるものである。

#### (2) 大容量化を可能とする高信頼度化技術

こうしたフラッシュメモリーの商品化のためには乗り越えなければならない壁があった。書き込んだ情報保持時間(データ・リテンション)と情報の書き換え可能数(エンデュランス)とである。課題を乗り越えた鍵はどこにあったかについて田口氏は次のように語った。「鍵は二つであろう。一つはLSI製造技術そのものの総合的進化であり、もう一つはフラッシュメモリーのデバイスの技術の中身をよく理解して用途に対して問題がでないようにシステムの的に制御する技術を身につけたことである。」

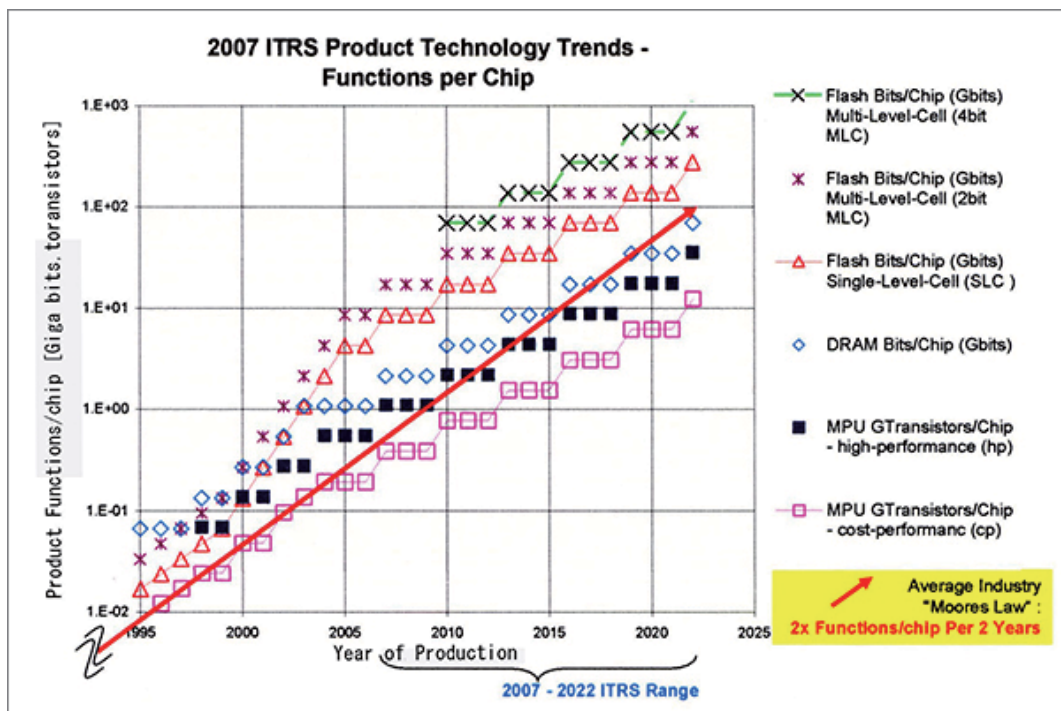


図3 ITRSが予測する半導体製品の集積度のトレンド (出典: ITRS 2008 Update, page 6, Figure ORTC2)

前者については、特に酸化絶縁膜の欠陥の改善についてその評価技術を含めて既に LSI 発展の過程で議論し尽くされ、均一性など量産のための製造技術の改良も行われてきた。現在情報保持時間は 10 年と言われている。フラッシュメモリ商品化の前提条件であると言える。一方、後者については、フラッシュメモリでは書き込み・消去に電子のトンネル現象やホットエレクトロン注入を行うなどの動作があり、素子は高電圧によるストレスを受けるので、書き替え回数には限界がある。1～10 万回が限界と言われている。さらに、劣化の進行に伴い情報保持時間は短縮されることになる。特に書き込み読み出しにトンネル現象を使う NAND 型では、酸化膜の劣化も起りやすいので情報保持時間を重視すると書替え可能回数が極端に減ってしまうという二律背反関係になってしまう。

そのためフラッシュメモリ内では劣化してきた記憶セルを自動的に検出して他のセルに置き換える、また、チップ内でのセルの書き換えが特定セルに集中しないように負荷の分散を図る、更にまた情報読み出しに当たっては ECC (誤り訂正コード) を使って誤り率の大幅改善を行う等、チップ内に搭載のマイクロコントローラでシステム的な制御を行なっている。これにより、使用上の問題がなくなり、大容量化も可能となっている。ちなみに、USB メモリーをパソコンから外す際に注意を要するのは、このインテリジェントな機能故のデータの授受が終わらない内に切り離すとデータが壊れてしまうことがあるからとのこと。USB メモリーそのものは国内の環境では電氣的ショックで壊れることはないという。

### 3.3 フラッシュメモリーの進化 ---MirrorBit 型セル

スパンションはフラッシュメモリーの集積度向上の手段として 1 セルに 2 ビットを記憶できる MirrorBit 型と

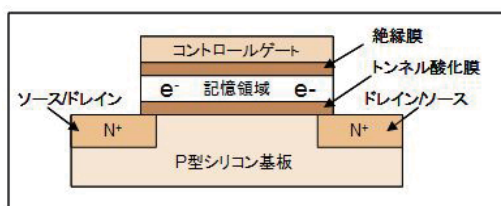


図 4 MirrorBit 型フラッシュメモリのセル構造断面模式図 (提供: スパンション・ジャパン)

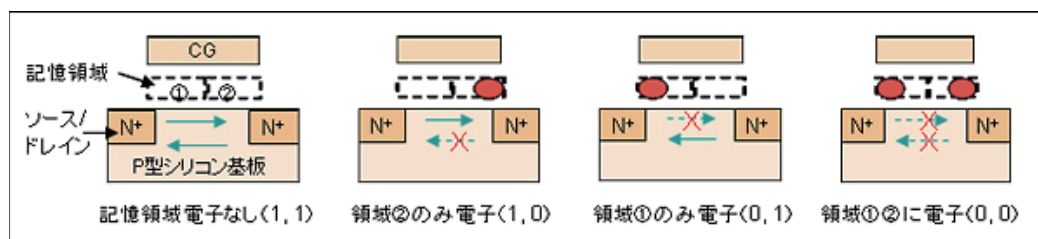


図 5 MirrorBit セルにおける 4 つの状態の読み出し (スパンション・ジャパン提供資料より作成)

名付けた新しいセル構造のフラッシュメモリーを開発・商品化している。

図 4 はその構造の断面を模式的に表現したものである。従来のフラッシュメモリーのフローティングゲートに相当する記憶領域は絶縁物のシリコン窒化膜で形成される。シリコン窒化膜は絶縁物であるが膜内に電子を捕まえ保持する所謂トラップが無数に存在する特徴を持つ素材である。シリコン窒化膜に電荷を蓄えて MOS の閾値を制御する考えは古くは 1970 年代に日立や、H.A.R. ワグナー (Wegener) の MNOS (Metal Nitride Oxide Silicon) [4]、その後 SONOS (Silicon Oxide Nitride Oxide Silicon)、MONOS (Metal Oxide Nitride Oxide Silicon) 等シリコン窒化膜を記憶領域とするセル構造が数多く研究されている。こうした中でイスラエルの Sifun 社が NROM と称してシリコン窒化膜の記憶領域の 2 箇所に分けて電荷を蓄えるセル構造で 2 ビット / セルのメモリーを開発した。スパンションの前身の富士通 AMD の合弁会社 (FASL) はライセンスを受けてその技術を導入・改良して MirrorBit と名付けたフラッシュメモリーを実用化した。

図 4 に示すように、左右の  $N^+$  領域の一方をソース他方をドレインとし、両  $N^+$  領域間に高電圧を加えてドレイン近傍でホットエレクトロンを発生させシリコン窒化膜の  $e^-$  の部分に電子を注入する。左右のソースとドレインを入れ替えることで記憶領域の左右対称の  $e^-$  の部分に分けて電子を蓄積させることができる。シリコン窒化膜は絶縁体であり、そのなかにトラップされた電子は動かずに固定している。

図 5 に電子が存在する 4 つの状態の読み出し方を説明する。ソースからドレインに向かうチャネル電流はソース近傍のシリコン窒化膜に電子がある場合 (赤い円) に阻止される。ソースとドレインを入れ替えてチャネル電流を読むことで、4 状態を読み出すことができる。なお、この 2 箇所の電子蓄積の状態は 10 年間は保たれるとのこと。このように 1 セルで 2 ビットを蓄積できることで、集積度を 2 倍に高めることができる。

現在集積度を高める手段として、フローティングゲートに蓄積する電子の量を 4 段階に分けて 2 ビット化する MLC (マルチレベルセル) のフラッシュメモリーは商品化されているが、上述のように電子の蓄積位置を利用したセルのマルチビット化を商品化できているのはスパンションだけである。MirrorBit はフローティングゲート型セルの MLC 方式に比べて読み出し動作が 1 度だけで済む

ので、高速性の点で優れていると田口氏は胸を張る。ちなみに、電子が固定して動かないシリコン窒化膜の場合トンネル酸化膜に局所的欠陥があってもそこに接している電子だけが影響を受けるだけであり、セルとして致命的な欠陥とならないという利点もある。

スパンションは MirrorBit 型セルによる NOR 型フラッシュメモリーで事業展開をしているが、その技術を元に新しいアーキテクチャーにより MirrorBit ORNAND フラッシュメモリーを 2007 年 1 月に発表している [5]。MirrorBit ORNAND は、インターフェースに NAND 型と互換性を持たせ、内部セルは NOR 型となっている。NAND 型に比べて大容量化では劣るが、NOR 型の持つ高い信頼性と高速読み出しの特徴を持ってデータ蓄積用途に対応できる。65nm プロセスで 512M ビット、1G ビット、2G ビットの製品を用意している。この NAND フラッシュメモリーは 2008 年には携帯電話機用に爆発的に売れたとのこと。

## 4. アプリケーションの拡がり

### 4.1 フラッシュメモリーの用途と要求条件

現在フラッシュメモリーは表 2 に示すように、多様なアプリケーションに使われており、社会的に重要なインフラストラクチャーから、人々の日常生活に溶け込む適用分野までの進化に貢献している。また NOR 型と NAND 型がそれぞれの特徴を活かして役割を果たしている。

カーエレクトロニクスでは、エンジンルーム内やボディー用電子機器の制御プログラム搭載用に多用されている。例えば、アンチスキッド、レーダ衝突防止、等々の色々な制御プログラム、また、マイクロコントローラのチップに搭載したのもも多く使われる。エンジンコントロールから自動窓にいたるまでフラッシュメモリーが使われ、安全・安心・快適、そしてエネルギーの効率的使用に貢献している。この用途では、特に信頼性が重要

表 2 フラッシュメモリーのアプリケーション対象と市場要求条件 (提供：スパンション・ジャパン)

用途の領域	アプリケーション	要求内容
カーエレクトロニクス	●エンジンルーム内およびボディー用電子機器	<ul style="list-style-type: none"> <li>・大容量化 (4M ~ 32M ビット)</li> <li>・動作温度範囲の拡大 (-40 ~ +125°C)</li> <li>・高性能化</li> <li>・製品サポートの長期化 (10 年以上)</li> </ul>
	●インダッシュ、ナビゲーションシステムおよびテレマティックス	<ul style="list-style-type: none"> <li>・大容量化 (4M ~ 1G ビット)</li> <li>・動作温度範囲の拡大 (-40 ~ +85°C)</li> </ul>
デジタルオーディオ	●DVD プレーヤー/レコーダ、デジタルテレビ、セットトップボックス	<ul style="list-style-type: none"> <li>・大容量化 (512M ~ 1G ビット)</li> <li>・セキュリティ機能の搭載および強化</li> </ul>
	●家庭用ゲーム機器、電子辞書、ポータブル音楽プレーヤー	<ul style="list-style-type: none"> <li>・大容量化 (8M ~ 1G ビット)</li> <li>・ターンキーソリューション化</li> <li>・セキュリティ機能の搭載および強化</li> <li>・小型パッケージ化</li> </ul>
通信 / ネットワーク	●ネットワークインフラワイヤレスベースステーション	<ul style="list-style-type: none"> <li>・大容量化 (~ 1G ビット)</li> <li>・高信頼性</li> <li>・製品ライフサイクルの長期化</li> </ul>
	●ケーブルモデム、xDSL モデム、VoIP インタフェース	<ul style="list-style-type: none"> <li>・大容量化 (4M ~ 32M ビット)</li> <li>・低コスト化</li> </ul>
	●携帯電話、PDA	<ul style="list-style-type: none"> <li>・大容量化 (~ 8G ビット)</li> <li>・高速化</li> <li>・低コスト化</li> </ul>
パソコン・周辺機器	●レーザープリンタ、インクジェットプリンタ	<ul style="list-style-type: none"> <li>・大容量化 (8M ~ 256M ビット)</li> <li>・低コスト化</li> <li>・シリアルインタフェース化</li> </ul>
	●ストレージ用ドライバ (ハードディスク・CD/DVD)、LCD モニタ、PC BIOS	<ul style="list-style-type: none"> <li>・大容量化 (4M ~ 16M ビット)</li> <li>・シリアルインタフェース化</li> <li>・低コスト化</li> </ul>

であり、また動作温度範囲も広く厳しい検査が課せられる。このため主として NOR 型フラッシュメモリーが使われる。一方、ダッシュボード内使用、あるいはカーナビ用など、大量のデータを扱うものには NAND 型が用いられている。不揮発性メモリーとしてはハードディスクもあり容量の大きさでは優っているものの機械的振動には弱い傾向があるため、車にはフラッシュメモリーはなくてはならない存在である。

デジタル画像・オーディオ用では、最近デジタル TV で超解像等と称してより綺麗にみせるための画像に細工するプログラム格納用に使われる例もある。ゲーム機や電子辞書、iPod など、容量の大きいものは NAND 型を使う。デジタルオーディオではコンテンツが簡単にコピーされるので、それを防ぐコピーマネージメントなどのセキュリティに関するプログラムもチップに搭載している。

通信ネットワークでも多くの場所で使われている。例えば、インターネット・ネットワークで送信先を振り分けるルータでは振り分けのプログラムのフラッシュメモリーに搭載している。電源が切れても情報は保持され、一方書き換えもあるがそう頻繁ではないので、フラッシュメモリーに打って付けの用途であるとのこと。

携帯電話はフラッシュメモリーの重要市場である。二つの用途があり、一つは OS (オペレーティング・システム) のプログラムの格納用で信頼性の高い NOR 型が好まれ、もう一つはデータ用でここは主に NAND 型が用いられる。写した写真、メールのアドレス、ダウンロードした音楽や着メロ等、すべてフラッシュメモリーに記憶され、リチウム電池が放電し切ってもこれら情報は保持される。このようにフラッシュメモリー無しには今日の携帯電話は成り立たない。

パソコン・周辺機器でもハードディスクやプリンターの制御プログラムに使われている。ノート型パソコンでは最近ハードディスクの代わりにモータ駆動不要のフラッシュメモリーによる SSD (Solid State Drive) を用いるものが出現している、まだ記憶容量は少ないが、バッテリーの保ちがよく省エネルギーに貢献している。携帯用としての今後の伸びが期待されている。

#### 4.2 フラッシュメモリーの分野別市場規模

表 3 は現在のフラッシュメモリーの主なアプリケーションでどれくらい使われているかを大雑把に示している。ここに挙げた市場以外にも多くの適用領域があり、また市場規模と社会的影響度は必ずしも整合しない。例えば、医療用機器用とか道路の信号機の制御 (昼と夜、交通量による) 用などは、量は少ないが、社会的に重要な役割を果たしている。

#### 4.3 EcoRAM の提案

フラッシュメモリー製品は当初から ROM や DRAM 市場の一部を置き換えることで使われだしていたが、スパンションは DRAM 機能を補完することを狙いとした EcoRAM と称する新しいアーキテクチャーの MirrorBit 型フラッシュメモリーサブシステムを 2008 年 11 月に発表している [6]。サブシステムとして DRAM と消費電力を同じにしたときに 8 倍のメモリー容量を搭載でき、サーバーのメインメモリーとして DRAM を補完することで、容量の大幅増加が実現し、サーバー能力が増強されている。結果的に、増大するサーバニーズに対してサーバーの増設数を減らすことができる。フラッシュメモリーは書き込み速度が遅いが、読み取り主体の作業でデータ更新の頻度が低いアプリケーションに適している。そうした用途は、インターネットの検索、政府機関でのインテリジェント分析やメモリー内データベース、バイオ情報科学での遺伝子照合やゲノムなど多く存在する。特にインターネットの各種サービスや Yahoo, Microsoft, Google 等のインターネット関連企業の増大するサーバー群でデータセンターの消費電力は急増し、各地で発電所の増設が必要な状況にあるという。

スパンションの発表資料によれば、世界のデータセンターで使用される電力は図 6 の様に増加している。EcoRAM によるサブシステムの適用は、このなかで特に大きい汎用の x86 サーバーの消費電力を数分の 1 に減少させ、これに対応して冷却用電力も減少するのでその効果は極めて大きいとしている。

表 3 2009 年のフラッシュメモリーの市場規模 (iSuppli より)

	NOR型	NAND型
市場全体	4,100億円	11,000億円
携帯電話市場	2,100億円	1,647億円
コンシューマ市場	540億円	(MP3用)3,296億円
		(USBメモリー用)2,746億円
		(デジカメ用)549億円
自動車市場	261億円	

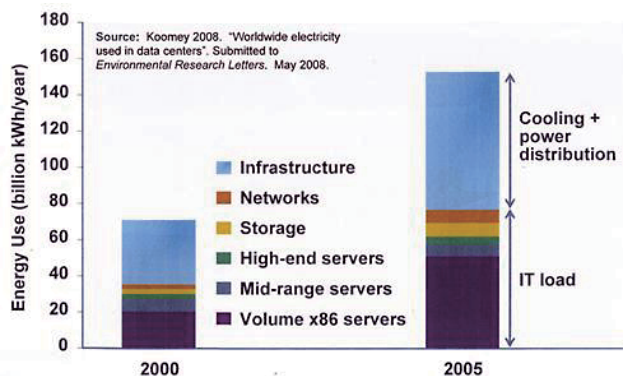


図 6 全世界のデータセンターで使用される消費電力 (出典: 参考資料 [7])

## 5. おわりに

フラッシュメモリーは、超小型、低電力、高速、大容量、振動にも強く信頼性の高いメモリーデバイスであり、「デジタルカメラはメモリーカードなどフラッシュメモリーにより小型、高機能が可能となり、iPodのような携帯プレーヤーはカルチャーを変え、携帯電話の利用法の拡大などと共にライフスタイルの変化もたらしている。今後色々なエンドプロダクトが現われて更にライフスタイルを変えることは間違いない。例えば、よく取りあげられる電子ブックも将来普及することは間違いなく、本はインターネットからダウンロードするようになる。」と田口氏は期待を込めて語る。

20世紀後半、半導体半集積回路は加工技術の微細化と共に長足の進歩を遂げ、コンピュータを中心とする情報化社会を高度に発展させた。その100nm以下にまで進化した微細加工技術の真髄を基にしたフラッシュメモリーは更なる進化を続けており、低エネルギー大容量不揮発性メモリーデバイスとしてますます存在意義が高まり、21世紀のコビキタスなネットワーク化社会、そしてコンテツの時代の展開に大きく関わるものであることを肌で感じる取材であった。

## 参考文献

- [1] D. Kahng, et al., "A Floating Gate and its Application to Memory Devices", Bell Systems Technical Journal, 46 1288 (1967)
- [2] D. Frohman-Bentchkowsky, "A Fully Decoded 2048-bit Electrically Programmable MOS-ROM", Tech. Dig. of ISSCC, 80 (1971)
- [3] Iizuka, et al., "Stacked Gate Avalanche Injection Type MOS (SAMOS) Memory", Tech. Dig. of 4th Conf. Solid. St. Dev., Tokyo (1972)
- [4] Host A.R. Wegener, et al., "The variable Threshold Transistor. A New Electrically Alterable Non-Destructive Read-Only Storage Device", Tech. Dig. of IEDM, pp.70-70. (1967)
- [5] Spansion, "Spansion Announces 65nm MirrorBit(R) ORNAND Flash Memory Solutions for Wireless Handsets" プレスリリース (2007.1.18)
- [6] Spansion, "Spansion(R) EcoRAM(TM) Architecture Unveiled, Projecting Breakthroughs in Main Memory Capacity" プレスリリース (2008.11.19)
- [7] Spansion, "メインメモリ容量のブレークスルーを提供する Spansion EcoRAMTM アーキテクチャーを公開" プレスリリース (2008.11.19)

(向井久和)