

フラッシュの次を担うのは  
フラッシュかそれとも…

# フラッシュ・メモリの高速化技術と 最新の不揮発性メモリの動向

柴田茂則，太田 豊

現在，プログラムやデータを格納しておく不揮発性メモリとしてフラッシュ・メモリが幅広く使われており，大容量化が進んでいる。ここでは最近のフラッシュ・メモリの高速化技術について解説する。また，書き換え回数などフラッシュ・メモリでは実現できないような性能を備えた，さまざまな次世代の不揮発性メモリを紹介する。  
(編集部)

## 1. フラッシュ・メモリの現状と 高速化・小型化の必要性

### ● フラッシュ・メモリとは

フラッシュ・メモリは，1980年代後半に東芝の舩岡富士雄氏(現東北大学教授)らが最初に発明し，命名した，書き換え可能な不揮発性メモリです。フラッシュ・メモリが発明される以前の不揮発性メモリとしてはEPROM(Erasable and Programmable Read Only Memory)やEEPROM(Electrically Erasable and Programmable Read Only Memory)が存在しました。これらはビット単価が高く，書き換えに高い電圧や消去に紫外線が必要でした。

フラッシュ・メモリは，1ビット当たり1トランジスタの構成になっており，EEPROMよりビット単価が安くなっています。また電氣的に消去可能なため，紫外線消去型のEPROMに比べて使い勝手が格段に良くなっています。生産高は全世界で2兆円(2007年現在)を超えており，市場規模としてDRAM(Dynamic Random Access Memory)と比較できるようになりました。今後も成長する市場として，

参入メーカーも多くなってきています。

フラッシュ・メモリには発明当初より，システムのソフトウェア格納を目的としたNOR型と，ストレージ(ディスク・ドライブ)の置き換えを目的としたNAND型がありました。最初に市場に受け入れられたのはNOR型です。

NOR型フラッシュ・メモリは，マスクROMや紫外線消去型のEPROMの置き換えとして普及しました。1990年代の後半は，携帯電話のソフトウェア格納用として急速に数量が伸びました。マスクROMはデータのマスクからROMを作成します。フラッシュ・メモリよりも安くなりますが，マスクROM化する時点でソフトウェアが確定している必要があります。しかし多くの場合，開発初期には格納されるソフトウェアが確定できていません。製品出荷初期にフラッシュ・メモリを使い，その後マスクROMに置き換えていくことが一般的です。最近の製品はモデル・チェンジまでのサイクルが短くなっています。コストを削減するため，マスクROM化しないことも多くなっています。

一方，NAND型フラッシュ・メモリはNOR型よりも集積度が高く，メモリ・カードやUSBフラッシュ・メモリなどで大量に使われています。NAND型フラッシュ・メモリが開発された当初は，ハード・ディスク・ドライブ(HDD)の技術進歩が速く，ストレージ市場の置き換えがあまり進みませんでした。2000年代に入ってからNAND型フラッシュ・メモリのビット・コストが下がり，HDDからの置き換えが進んでいます。

NAND型とNOR型はビット単価や性能に一長一短があ

### Keyword

NAND型，NOR型，スタック・ゲート，スプリット・ゲート，FNトンネル電流，フローティング・ゲート，ホットキャリア，FeRAM，MRAM，PRAM，ReRAM，SONOS，ナノ・クリスタル・メモリ

ります。所望のシステムを低コストで実現するためには、実現しようとしているシステムのハードウェア構成を考えて、最適な不揮発性メモリを選択する必要があります。

## ● フラッシュ・メモリの基本的な使い方

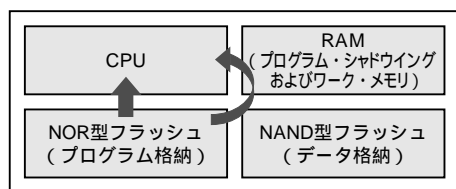
システムにおけるフラッシュ・メモリの使い方は2種類あります。一つはプログラム・コード格納用(主にNOR型)で、もう一つはデータ格納用(主にNAND型)です。以下にシステム構成例を挙げ、それぞれの特徴を述べます。

### (1) CPU + RAM + NOR + NAND

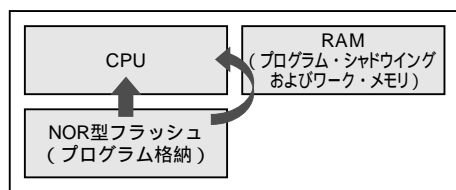
携帯電話やデジタル・スチル・カメラ、高性能のゲーム機などのマルチメディア機器では、内部にデータ格納用のNAND型フラッシュ・メモリを持っています。プログラムはNOR型フラッシュ・メモリから直接実行するか、電源投入時にRAMに転送(シャドウイング)してから実行されます。システムの構成例を図1(a)に示します。

### (2) CPU + RAM + NOR

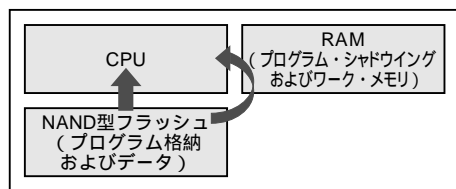
ディスク・ドライブや、一部のプリンタ、電話機など、



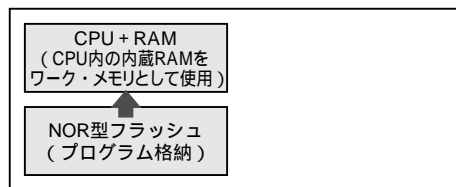
(a) CPU + RAM + NOR + NAND



(b) CPU + RAM + NOR



(c) CPU + RAM + NAND



(d) CPU + 内蔵RAM + NOR

図1  
フラッシュ・メモリを用いた組み込みシステムの構成例

単機能の機器はNAND型フラッシュ・メモリを持っていません。プログラムは、NOR型フラッシュ・メモリから直接実行するか、RAMにシャドウイングしてから実行されます。NOR型フラッシュ・メモリはマスクROMに変わることもあります。システムの構成例を図1(b)に示します。

### (3) CPU + RAM + NAND

大容量のNAND型はビット・コストが安いので、携帯電話などマルチメディア機器では(1)の代わりにCPU + RAM + NANDの構成が用いられるようになってきました。プログラムは、NAND型フラッシュ・メモリからRAMにシャドウイングして実行されます。システムの構成例を図1(c)に示します。

### (4) CPU + NOR

大きなワーク・メモリを必要としないシステムにおいては、さらに外付けのRAMを省略することも考えられます。この場合、システム構成としては図1(d)のようになります。NOR型フラッシュ・メモリのデータ転送速度がシステム性能に直接影響します。できるだけ高速なNOR型フラッシュ・メモリを使いたいところです。

携帯電話やデジタル・スチル・カメラなどのマルチメディア機器では、ビット単価の安い大容量のNAND型フラッシュ・メモリの搭載が適しています。これらの用途ではもともと大容量のRAMを搭載しています。シャドウイングに必要な大容量DRAMによるコスト増加はほとんどありません。このため大容量のデータを扱うシステムでは、(3)の構成に集約されていくものと考えられます。

一方、各種モジュールや家電製品、ディスク・ドライブなどでは、フラッシュ・メモリに格納する内容の大半がプログラムです。容量は1Mビットから16Mビットのものが中心となります。市販されているNAND型フラッシュ・メモリの多くは、容量が数百Mビット~数Gビットであり、しかもコントローラやシャドウイング用のRAMの領域が必須になります。大容量のデータを扱わないシステムではNAND型を使うコスト・メリットはありません。このため今後も(2)CPU + RAM + NORおよび(4)CPU + NORの構成が使われ続けることになると予想されます。

また、NOR型フラッシュ・メモリにはパラレル・タイプ(以下NOR型パラレル・フラッシュ・メモリ)とシリアル・タイプ(以下NOR型シリアル・フラッシュ・メモリ)があります。

NOR型シリアル・フラッシュ・メモリはピン数が少ない