

# Solid State Drive

西井琢真, 中尾昌広  
Takuma NISHII, Masahiro NAKAO

## 1 はじめに

近年, HDD(Hard Disk Drive) に代わる新しい装置として SSD(Solid State Drive) が注目を集めている。SSD は従来の磁気ディスクと比べて, データの読み込みが速い, 耐衝撃性に優れる, 消費電力が低いなどのメリットを持つ。価格が高いというデメリットがあるが, SSD の価格は年々下がっているため, これから普及していくと考えられる。本報告では, SSD とは何か, HDD に比べてどのように優れているか, 種類, 価格, 性能, 仕組み, ブレイクスルーとなる技術, これからどのように普及していくかについて述べる。

## 2 Solid State Drive:SSD

### 2.1 SSD の構成

SSD はフラッシュメモリ, メモリコントローラ及び SDRAM で構成される, HDD に代わる装置である。Fig.1 に 4 つのフラッシュメモリを並列動作させる SSD の構成図を示す。

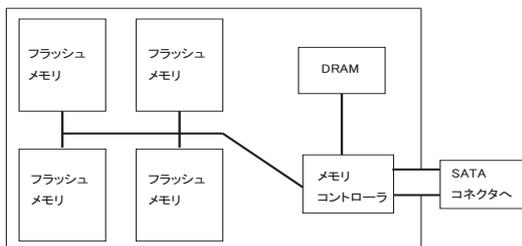


Fig.1 SSD の構成図 (出典: 参考文献<sup>1)</sup> より参照)

### 2.2 フラッシュメモリとは

フラッシュメモリは不揮発性の半導体メモリの種類であり, データの消去・書き込みを自由に行なうことができる。フラッシュメモリには書き換え制限があるので, SSD の寿命が制限されるというデメリットがあるが, それを防ぐための仕組みであるウェアレベリングという技術が開発されている。詳細は 3.3 節で述べる。

### 2.3 NAND 型と NOR 型フラッシュメモリ

フラッシュメモリには, NAND 型フラッシュメモリと NOR 型フラッシュメモリの 2 種類がある。それぞれの特徴を比較し Table1 に示す。NAND 型は書き込み・消去速度が高速で安価なため大容量のデータ記憶に用いられ, NOR 型は読み込み速度が高速で高価なため小容量のプログラム記憶に用いられることが多い。また, NAND 型は回路規模が小さく大容量化が可能なため低価格化,

市場規模の増大が進んでいる。SSD は, どちらのフラッシュメモリを使用することも可能だが, 記憶容量, コストの観点から現在の主流は NAND 型である。

Table1 NAND 型と NOR 型フラッシュメモリの比較

タイプ	コスト	読込速度	書込・消去速度
NAND 型	安い	遅い	速い
NOR 型	高い	速い	遅い

### 2.4 SLC(Single Level Cell) と MLC(Multi Level Cell)

SSD には, 1 つのセルに電荷の有無で 1bit 記憶する SLC と, 電荷の量に応じて 2bit 以上の記憶が可能な MLC の 2 種類がある。電荷は, セルのフローティングゲートと呼ばれる部分に記憶させる。1 つのセルに, 2bit 以上の電荷を記憶させる技術を多値化技術という。MLC はセル単位で記憶できる bit 数が多い分 SLC より容量を大きくすることができる。しかし, SLC は構造が単純なため MLC より高速で, 書き込み上限回数が多いという特長がある。SanDisk 社と東芝社は 4bit/セル技術の開発に成功している<sup>5)</sup>。Fig.2 にフラッシュメモリのセルの構成を示す。

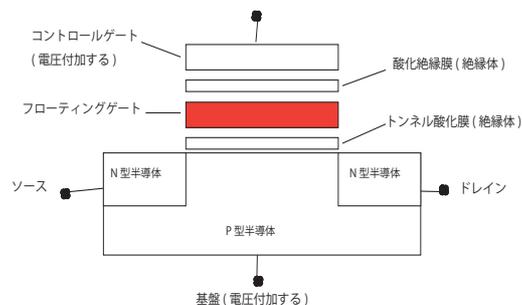


Fig.2 フラッシュメモリのセル (出典: 参考文献<sup>2)</sup> より参照)

### 2.5 SSD のメリット・デメリット

HDD と比較した SSD のメリット, デメリットについて述べる。

#### ● メリット

- ヘッドやモータなどの機械部品がないので, 静音で, 耐衝撃性に優れ, 低消費電力である。
- ヘッドを移動させる時間やディスクの回転を待つ時間がないため, データの読み込み時間が

短い。

● デメリット

- コストが HDD の数十倍かかる。
- データの書き込み速度は読み込み速度ほど速くない。
- ブチフリーズが発生することがある。ブチフリーズについては、3.3 節で説明する。

## 2.6 SSD と HDD の価格比較

Table2 に記憶媒体の種類とその価格を比較したものを示す。価格.com にて 4 月 10 日の売り上げ上位 3 位の平均データから作成した。HDD(3.5 インチ) は主に家庭用デスクトップパソコンで、HDD(2.5 インチ) はノートパソコンで、HDD(1.8 インチ) は ipod やミニノートで利用されている。SSD(2.5 インチ) はノートパソコンに利用されることが多い。Table2 より、HDD と SSD の価格差は数倍から数十倍あることがわかる。

Table2 記憶媒体の種類とその価格 (出典：参考文献<sup>4)</sup>より参照)

種類	1GB 当たりの価格 (円)
SLC(2.5 インチ)	640
MLC(2.5 インチ)	357
HDD(1.8 インチ)	100
HDD(2.5 インチ)	21
HDD(3.5 インチ)	8

## 2.7 SSD と HDD の性能差

SSD は読み込み速度が HDD に比べて高速であるため、パソコンに SSD を導入することで OS やアプリケーションの起動を高速化できる。特に SSD はヘッドなどの機械部品が不要なため、ランダムリードは HDD の数倍の速度を実現できる。一方、フラッシュメモリのセルの書き換えには高い電圧が必要なため、書き込み速度は読み込み速度ほど速くない。さらにフラッシュメモリには書き換え回数に制限がある。しかしながら、複数のフラッシュメモリを並列に利用することによって書き込み速度は増加し、ウェアレベリング、キャッシュメモリなどの工夫によって、書き込み回数の制限も一般のユーザーは気にする必要がなくなりつつある。

PhotoFast 社は読み込み速度が 750MB/s、書き込み速度が 700MB/s の SSD を発表しており<sup>6)</sup>、今後も読み込み、書き込み速度ともに上昇していくと考えられる。Table3 に製品別の読み込み速度と書き込み速度 (価格.com における製品データ) を示す。

## 3 SSD で用いられる技術

### 3.1 並列処理とメモリコントローラ

SSD のメモリコントローラは、読み書き速度を向上させるため、同時に複数のフラッシュメモリに対して並列処理を行っている。そのため SSD 内部は RAID0(スト

ライビング) の構成を利用した仕組みになっている。理論的には、並列処理するフラッシュメモリを 2 倍にすれば読み書き速度も 2 倍になるが、メモリコントローラによって何個まで並列処理できるかが決まっている。現在の主流は 8 個である。

### 3.2 ウェアレベリング

フラッシュメモリは、書き換えを続けると内部のトンネル酸化膜が劣化して、電荷を保持できなくなる。そのため、書き込みできる回数が制限されてしまう。東芝やサムスンが生産する NAND 型フラッシュメモリの書き換え回数は、MLC が 1 万回程度、SLC は 10 万回程度と言われている。MLC には SLC より精密な電荷量の判定が必要なため、書き換え上限回数が少なくなる。ただし、特定のセルだけに書き換えが集中しないようにすれば、SSD 全体の寿命を延ばすことができる。

データの書き換えを媒体の記憶素子 (セル) に均等に分散させる技術をウェアレベリングと呼ぶ。また、DRAM を搭載して書き込み回数自体を減らすことによっても寿命を延ばすことができる。ウェアレベリングは、メモリコントローラによって行われる。この技術を用いることで SSD 全体の書き換え限度回数をセル単体の書き換え限度回数の数百倍にすることができる。

ウェアレベリングの基本的な方法は、ブロックごとに書き換え回数を管理し、書き換えられた回数の少ないブロックを選び出す方法である。ブロックとは、SSD においてデータを管理するための単位であり、ブロック内には複数のページが存在する。Fig.3 にブロックとページ概念図を示す。1 つのページの容量は 4KB で、1 つのブロックの容量は 256KB である。それぞれのページは論理アドレス空間を持ち、メモリコントローラによるアドレス変換により、異なるメモリセル群に対応する。よって異なるブロック (ページ) を使用することで同じメモリセルの集中使用を避けることができる。なお、フラッシュメモリの特性上、読み込みはページ単位で可能だが、書き込みと消去はブロック単位で行う必要がある。使用中の

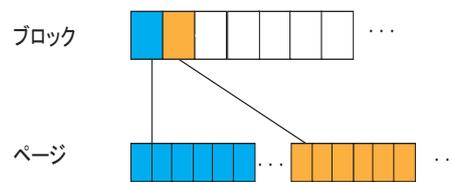


Fig.3 ブロックとページ概念図 (出典：自作)

ブロックにあるデータを空きのあるブロックにコピーし、その後ブロックのデータを消去することで空きブロックを増やす技術をブロックコピーという。ブロックコピーによって有効なデータを新たなブロックにまとめることで、空きブロックを増やすことができる。ただし、ブロックコピーはブロック内のデータの退避、消去を行うための時間を要する。Fig.4 は、ブロックコピーの様子を表したものである。ブロックコピーでは、使用中ブロック

Table3 製品別のランダムアクセスでの読み込み速度と書き込み速度 (出典：参考文献<sup>7)</sup> より参照)

製品名	読み込み速度 (MB/s)	書き込み速度 (MB/s)
SSD(SLC) インテル X25-E Extreme SATA	250	170
SSD(MLC) インテル X25-M Mainstream SATA	250	70
SSD(SLC)PhotoFast GM- IE256GSSDM PCI-express	750	700
HDD WD Raptor WD740ADFD 10000rpm SATA	79	89

から空きブロックにデータが移動するが、空きブロックの選択はメモリコントローラが行う。使用中ブロックは、データの移動後に空きブロックとなる。ブロックがすべて使用中になると空きブロックが無くなり、コピーができなくなるので、SSD には予備ブロックが余分に用意されている。

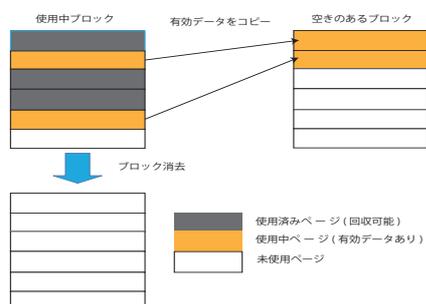


Fig.4 ブロックコピーの様子 (出典：参考文献<sup>8)</sup> より参照)

### 3.3 ブチフリーズ問題

小さなデータを多数書き込もうとすると、ブロックコピーが増加し、SSD のパフォーマンスが低下して OS がフリーズしたような状態になる。この現象はブチフリーズ問題と呼ばれ、OS からの応答が一時的になくなり、フリーズしたような状態になる。JMicron 社製の JMF602 コントローラを搭載した SSD で発生が確認されている。ブチフリーズ問題の発生しない Intel 社やサムスン社の SSD は、メモリコントローラとフラッシュメモリの間に DRAM キャッシュを搭載している。この DRAM をブロックコピーのキャッシュとして利用することで、ブロックコピーにかかる時間がユーザに見えなくなっているのではないかと考えられる。

### 3.4 Fe-NAND フラッシュメモリ

フラッシュメモリの書き換え回数自体を増やそうとする研究も進んでいる。産業技術総合研究所エレクトロニクス研究部門は、強誘電体ゲート電界効果トランジスタ (FeFET) をメモリセルとして用いると NAND フラッシュメモリの性能が著しく向上することを実証した<sup>10)</sup>。これは Fe-NAND フラッシュメモリという。このメモリセルの書き換え回数は 1 億回以上、従来 20V 必要だった書き込み電圧は 6V 以下である。

フローティングゲートによってフラッシュメモリは、

電荷の有無を記憶している (Fig.2 を参照)。従来型のフラッシュメモリは微細化を進めると隣接メモリセル間でフローティングゲートが容量結合のノイズを発生させるため、30nm 以降で微細化の限界を迎えると言われている。しかし、Fe-NAND フラッシュメモリはフローティングゲートが存在しないため、10nm まで微細化可能であるので、次世代高密度大容量不揮発メモリとして期待されている。Fig.5 に Fe-NAND フラッシュメモリのセルの構成を示す。

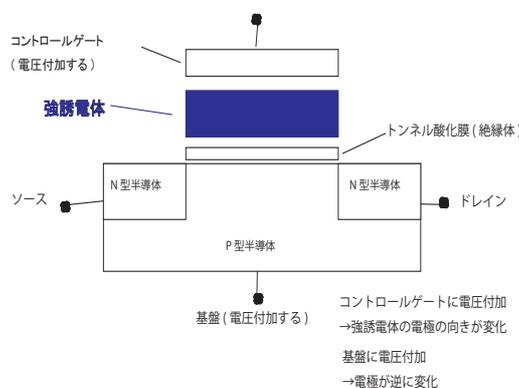


Fig.5 Fe-NAND フラッシュメモリのセル (出典：自作)

不揮発性のフラッシュメモリと揮発性の DRAM の違いは、フローティングゲートの有無である。フローティングゲートに注入された電荷は保存され、それが不揮発性メモリとなる。フローティングゲートにある電荷の状態によって電流が流れるときの電圧は変化する。電荷がある場合は、1V を超えると電流が流れ始めるが、ない場合は 5V 以上の電圧をかけないと電流は流れない。これにより、メモリセルの bit 情報を取得できる。

FeFET では、コントロールゲートに電圧をかけて強誘電体の電気分極の向きを変えることで導通または非導通状態を制御することができる。そのため、強誘電体に電圧が加わったときに、分極が反転するかどうかを読み出して記憶状態を取得することが可能である。

## 4 今後、SSD はどのように普及していくか

SSD の性能向上、価格低下により SSD 市場は急成長しており、ノート、デスクトップパソコン用 HDD に今後取って代わっていきと予測される。HDD は小さくなればなるほど性能が低下するので、まずノートパソコン用の SSD、次にデスクトップパソコン用の SSD が普及

していくと考えられる．2015 年にはノートパソコン全体の 32 % に SSD は搭載されると予測されている．Fig.6 に 2015 年までの SSD 搭載パソコンの数，割合を推測したグラフを示す．

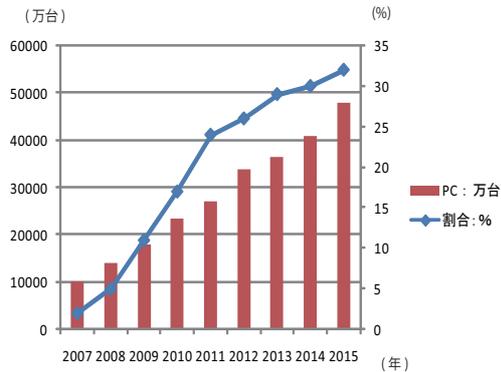


Fig.6 2015 年までの SSD 搭載パソコンの数，割合の推測グラフ（出典：参考文献<sup>11)</sup>より参照）

## 5 まとめ

本報告では，SSD の概要，メリット，価格，性能，現在使われている技術やブレイクスルーとなる技術，これからの普及について述べた．SSD を構成するフラッシュメモリは，多値化技術，高集積化，Fe-NAND フラッシュメモリなど新技術によって大容量化が進められ，SSD の容量は将来ますます大きくなると予測できる．また，SSD のメモリコントローラはウェアレベリングや並列処理の技術によって SSD の寿命や，読み書き性能を増加している．以上のことから SSD が HDD に取って代わる日も近いと考えられる．

## 参考文献

- 1) SILICON POWER 製 SSD を分解.  
<http://materialistica.livedoor.biz/archives/51427438.html>
- 2) 大容量かつ高速化で普及が進む，「フラッシュメモリ」の原理を探る.  
<http://pc.nikkeibp.co.jp/article/NPC/20061129/255245/>
- 3) MemCon Tokyo 2007 レポート メモリ市場編.  
<http://pc.watch.impress.co.jp/docs/2007/1120/mct.htm>
- 4) 価格.com(4月10日の売り上げ上位3位の平均データ).  
<http://kakaku.com/pc/ssd/>
- 5) 米 SanDisk と東芝が世界最大容量の NAND フラッシュを共同開発.  
<http://pc.watch.impress.co.jp/docs/2009/0212/isscc02.htm>
- 6) PhotoFast からリード 750MB/s・ライト 700MB/s の PCIe SSD.  
<http://japanese.engadget.com/2009/03/26/photofast-750mb-s-700mb-s-pcie-ssd/>

- 7) 価格.comにおける製品データ.  
<http://kakaku.com/item/>
- 8) プチフリーズ現象を解析する.  
<http://www.dosv.jp/other/0903/16.htm>
- 9) SSD の現状とチャンス.  
[http://pc.watch.impress.co.jp/docs/column/hot/20090427\\_153772.html](http://pc.watch.impress.co.jp/docs/column/hot/20090427_153772.html)
- 10) 強誘電体 NAND フラッシュメモリで書き換え回数従来比 1 万倍を実証.  
[http://www.aist.go.jp/aist\\_j/press\\_release/pr2008/pr20080519/pr20080519.html](http://www.aist.go.jp/aist_j/press_release/pr2008/pr20080519/pr20080519.html)
- 11) SSD，2015 年には 30 % 以上のノート PC に搭載.  
<http://japan.internet.com/wmnews/20080626/2.html>