

SSD アーキテクチャと未来

土屋憲司[†]

小容量 HDD の置換えからスタートした SSD マーケットは、パソコンへの搭載、MLC SSD の登場、エンタープライズ市場への展開と、その活動範囲を着実に広げつつある。その一方で、様々な課題が議論され始め、今回、代表的な SSD のアーキテクチャを用い、基本的な性能と信頼性の考え方を紹介するとともに、今後の更なる SSD 発展に向けた取り組みについても触れる。

SSD Architecture and its Future

Kenji Tsuchiya[†]

SSD market has started to replace very small capacity and form factor HDDs, but, recently began to expand its area gradually into PC and enterprise market by using MLC NAND. On the other hand, it's true to be closed up some issues. Based on popular SSD architecture, try to introduce a trade off between SSD performance and reliability and new activities toward its future.

1. はじめに

簡単に SSD の歴史を振り返ると、創世記は、耐環境性能（温度、衝撃、振動等）の制約が大きい HDD に対して、耐環境性能の高い SSD は、航空、軍需を中心とした高性能、高信頼性が求められる分野で、シリコンディスク（又はフラッシュメモリドライブ）と呼ばれ使用され始めたが、容量単価が HDD に比べ遥かに高かったため、非常に限られた市場規模でのスタートであった。

1990 年代、2000 年代に入り、半導体プロセス技術の進歩、及び、ポータブルオーディオプレイヤーでの HDD 置き換え等による市場拡大によって、SSD の記憶素子である NAND フラッシュメモリの低価格、大容量化が進み、NAND をベースとした SSD の容量、価格帯も汎用 PC のメインストレージとして用いることが可能な領域に近づいていった。

そして現在、多値 NAND 技術の SSD への適用技術の進歩により、従来の 2 値 NAND でしか確保できないと考えられていた、PC 用途で要求される性能、信頼性に加え、低価格、大容量化を実現するに至り、HDD 以上のパフォーマンスと高い耐環境性能を維持しながら、Note-PC 向けにより適した SSD の開発が可能となった。

更には、エンタープライズ用途での検討も始まり、エンタープライズ HDD 比較で、その単位処理能力あたりの電力量削減が期待できることもあり、今後、更なる飛躍が期待できる市場分野である。

2. SSD 市場

2008 年のリーマンショックにより落ち込んだ世界全半導体市場における、SSD 及び SSD のメインデバイスである NAND 市場を考察する。

(1) NAND 市場

リーマンショック以前に予想されていた 2009 年 NAND 市場は 2 兆円を超える規模であったが、最終的には、1 兆 5000 億円前後と予想されている。金額市場規模回復とはならないが、2009 年から 2013 年の CAGR は、+15% が期待され、他の半導体デバイスを大きく上回り、今後最も期待できる市場であることには変わりない。また、メモリ市場評価で用いられる指標の、ビット成長率は、HDD や光ディスクのストレージデバイスやメインメモリである DRAM を上回ると予想されており、大容量化が、今後も引き続き市場を牽引すると考えられている。

[†] 株式会社 東芝 セミコンダクター社
TOSHIBA Corporation, Semiconductor Company

(2) SSD 市場

構成部品の大半を NAND が占める SSD は、NAND 市場にカウントされているが、今回 SSD だけを切り出して眺めてみると、ビット成長率は NAND 平均よりも高く、且つ、金額市場規模に至っては、2013 年には 5000 億円を超える規模になると予想されている。(図 1)

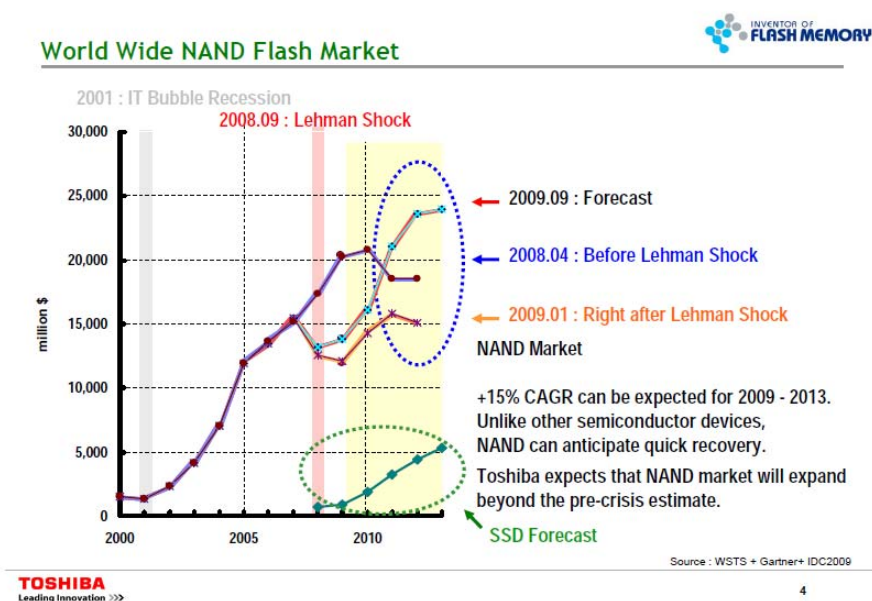


図 1 NAND 市場と SSD 市場規模予測

3. SSD の信頼性とアーキテクチャ

しかしながら、急激に立ち上がり始めた SSD 市場では、参入ベンダーの数が多く、様々

なアーキテクチャが存在するため、一部で信頼性及び性能が不安定であるとの報告がある。結果、SSD 全体に数々の誤解が生じているのが現状である。以降、代表的な SSD アーキテクチャをベースに、信頼性の考え方、性能の考え方を解説する

3.1 Myth

NAND に書き換えによる製品寿命があり、多値 NAND は二値 NAND に比べ、書き換え寿命が短いことは事実である。しかしながら、搭載 NAND の書き換え寿命が来た SSD はすべて壊れてしまう、というのは神話 (Myth) である。NAND を含む半導体デバイスの故障は確率論であり、SSD の故障もやはり確率の問題である。

(1) NAND の故障モード

NAND のデータシートには代表的な故障モードが説明されており、SSD メーカーはその故障を救済する対策を SSD 内に設け対策をとる。ビット誤り、ページ誤り、消去単位であるブロック誤り、ディスクリクト故障並びにチップ全体故障と、各故障の確率は、書き換え回数に依存するため、書き換えが多いほど故障する確率が增大する。

(2) SSD の故障モード

上記 NAND の故障モードを SSD コントローラで救済した前提で、SSD のデータシートに SSD の故障確率が記載されている。多くの場合、HDD と互換性のある表記となっており、信頼性は HDD 以上であるのが一般的である。SSD アーキテクチャにもよるが、搭載された NAND が書き換え寿命を迎えると、一般的には、容量が減る、書き込みデータが一部消失する、等の症状となる。全く SSD を認識しない、全データが失われる等の故障に関しては、SSD に搭載されている様々な半導体デバイスそのものが破壊された場合と考えられ、NAND 特有の故障モードではなく、半導体一般のチップ故障率に従うと考える。

3.2 SSD の寿命を理解する

SSD の故障は NAND の故障確率に依存し、NAND の故障は書き換え回数に依存することは前述のとおりである。従って、一般的には、書き換えの多いユーザほど故障の可能性が高くなると言い換えられる。SSD の寿命を理解するうえで、実際のユーザの使い方は重要なファクターであると言える。

(1) 書き換え回数を見積もる

SSD 内の NAND の書き換え回数は、①ドライブの容量、②ユーザの保存容量 (使い方) ③SSD 書込み効率 (アーキテクチャ) によって求められる。(図 2)

書き換え回数が二値に及ばない多値 NAND 搭載 SSD が実使用上、信頼性に問題ないかどうかは、この書き換え回数を正しく理解することで判断の一助となる。

(2) 書き込み効率とは

ユーザがデータ量 “1” を書き込んだ際の、SSD 内部での実際に NAND に書かれるデータ量で表される。これは、NAND の書き込みサイズと消去サイズが異なることによるもので、HDD にはない概念である。

128GB の SSD を用いて、一日 4GB のデータ保存を行う使い方を想定した場合、書き込み効率を標準的と考えられる 6 と見積もり計算した場合、5 年間毎日使用で、1000 回を下回る書き換え回数が計算で導かれる。

(1) ドライブへのコマンドを理解する

多値 SSD のメイン市場と想定されている PC の動きを様々な方法でモニターした。結果、4KB のアクセスが全体の 66%を占めること、アクセスには時間的空間的な局在性があることが分かり、SSD 開発においてもキャッシュシステムが有効であることが分かった。(図 3)

SSDの寿命を理解する (2)



■ SSDの故障確率は、以下の変数による関数

- ① Drive全体の容量
現状は、128GBが売れ筋
- ② ユーザ保存容量
1日に保存するGB数
ユーザーにより異なる
- ③ SSD書き込み効率
ユーザーが“1”書いたときの
SSD内部での実書き込み量
(係数)

■ SSDへの実書き換え回数(書き込み回数)を求める

$$\text{書き換え回数} = \frac{\text{② } 4\text{GB} * \text{③ } 6(\text{書き込み効率}) * 1825\text{日}(5\text{年})}{\text{① } 128\text{GB}}$$

1日4GB、書き込み効率6を仮定

■ SSDの故障確率は、ユーザーによって異なってくる

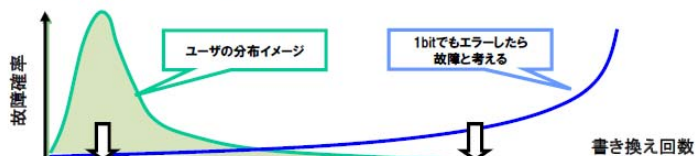


図 2 書き換え回数と故障率の関係

3.3 SSD アーキテクチャ

SSD の寿命を理解するに当たって、使い方と同様に重要なファクターとなるのが書き込み効率である。SSD 開発メーカー各社はこの書き込み効率を低減しつつ、コスト削減および性能追及にしのぎを削っている。以降、代表的な SSD のアーキテクチャをその開発の経緯から紹介し、今後の SSD 開発における要素技術を纏め、半導体メモリ以外の新たな技術分野からの参画を促したい。

SSDを開発する (1)



■ PCからのアクセスを把握する (PCのアクセスはランダム?)

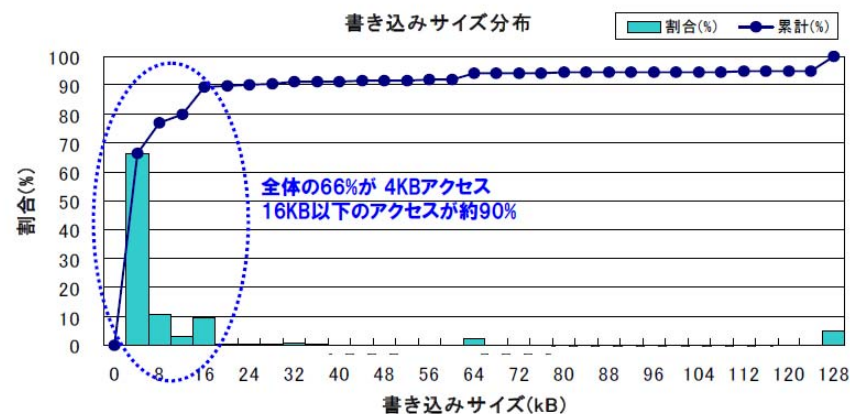


図 3 アクセスサイズモニター結果 1

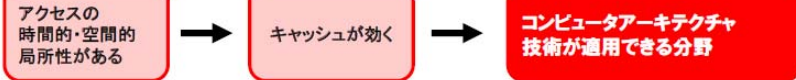
(2) キャッシュシステムの選択

一般的に DRAM で構成されるキャッシュシステムだが、アクセスモニターの結果、日を跨いでローカリティがあることが分かり、NAND キャッシュの必要性が分かった。また、NAND キャッシュ、DRAM キャッシュを取り持つファイルシステムの重要性もあわせて見えてきた。(図 4)

SSDを開発する (2)



■ PCからのアクセスを把握する (PCのアクセスはランダム?)



TOSHIBA
Leading Innovation >>>

24

図4 アクセスサイズモニター結果 2

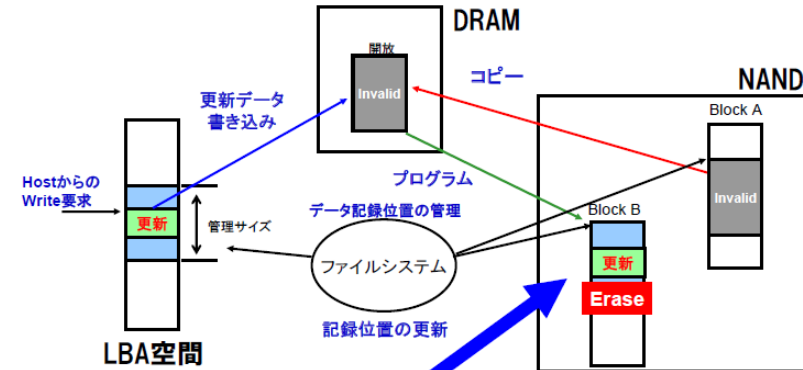
(3) 代表的な書き込みの方法

一般的な SSD におけるデータの更新方法を示す。更新すべき情報を含む NAND のブロック情報が DRAM 上に展開された後、更新情報のみ更新され、再度、最適な書き込み効率で NAND の新しいブロックに格納される。その後古い情報を持ったブロックは消去され空きブロックとなり、最後にデータ記憶位置情報が NAND ファイルシステム上で更新されデータ更新が終了する。(図5)

SSDを開発する (5)



■ 代表的なデータ更新方法



更新したいデータ量と管理サイズが書き込み効率へ影響
例. 管理サイズ8KBに対して4KBの書き込みを行った場合には書き込み量は2倍

TOSHIBA
Leading Innovation >>>

27

図5 代表的な書き込みの方法

(4) 管理サイズの選択

NAND の書き込み、及び、読み出し単位はページと呼ばれ、2009 年現在、4KB 又は 8KB となっている。また、消去単位はブロックと呼ばれ、512KB、1MB、2MB となっており、NAND の管理方法はこれらサイズの違うページ、ブロックの性能や特徴をよく理解するとともに、SSD としてどのような性能、特徴を出すかによって各社各様のアーキテクチャ、アルゴリズムによって選択されている。

(5) SSD 開発の要素技術

今後 SSD が更なる発展を遂げるには、微細化を続ける NAND への対応の他、様々な市場からの要求に応じていく必要がある。図6に示すように、6Gbps への対応はもとより、セキュリティ技術、検索技術、デュアル CPU の制御等、従来の半導体メモリの技術分野を超えた技術の融合が必要となる。

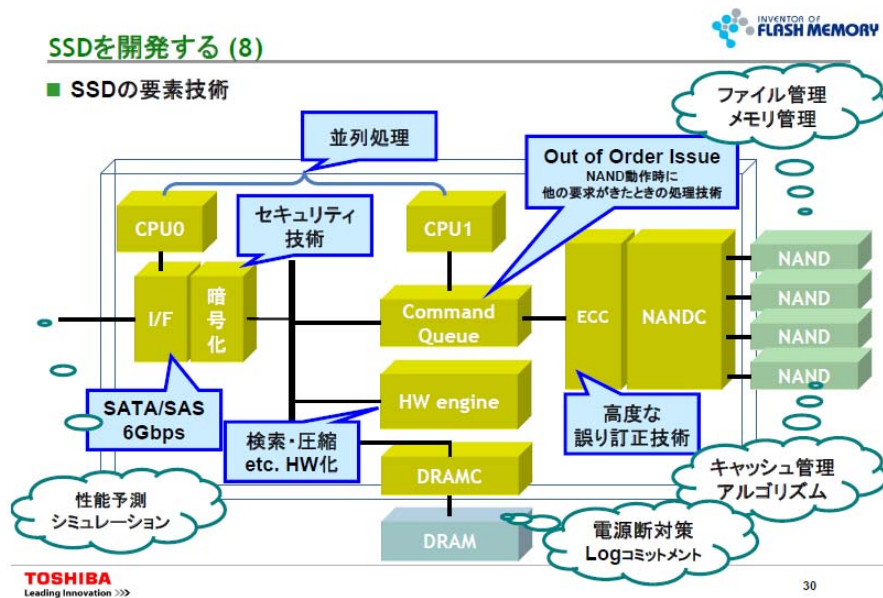


図6 SSDの要素技術

4. SSDの未来

様々な期待がかかる一方で、開発の難易度がある SSD であるが、今一度、ユーザーの立場から、その本当の価値は何か、再度考えてみる。

4.1 性能競争

6Gbps に代表される次期高速インターフェース対応であるが、SSD のメイン市場と考えられるノート PC で今すぐ本当に必要なのだろうか？実使用を模した代表的なベンチマークテストである PCMark05 においてスコアの向上は確かに期待できるが、では実際の体感は、となると非常に疑問な点が多い。高速化の波は何れ対応する時が自ずと来るとして、現時点では、市場拡大のためには、やはり、低価格化を追及すべきであり、コストアップに繋がる 6Gbps 対応は一部のアプリケーションに限定されると考える。

4.2 SSD形状の自由度

HDD の置換えとしてスタートした SSD であるが、大容量化、低ビットコスト化という点では、依然として数倍から数十倍の開きがある。今後も HDD の大容量化は継続すると考えられ、SSD の容量、価格に近い将来の内に HDD に追いつくことは難しいと考える。SSD の本来のメリットは半導体が故の形状の自由度にあると考え、今後、HDD では成しえない、小型 SSD の開発が期待される。将来的には、切身サイズ以下の 1 パッケージ SSD が出てくると予想される。(図 7)

4.3 NANDの次へ

物理限界が近づいてきたと言われる NAND であるが、NAND の次を担うフラッシュメモリ、所謂、次世代メモリの開発が進んでいる。当然の事ながら、記憶素子であるところの半導体メモリが変わるのであれば、それに最適な SSD アーキテクチャも変わる。これから先、SSD に関する技術は、メモリの発展とともに常に変化していくであろう。

SSDの今後 (5)

■ 小型化への挑戦

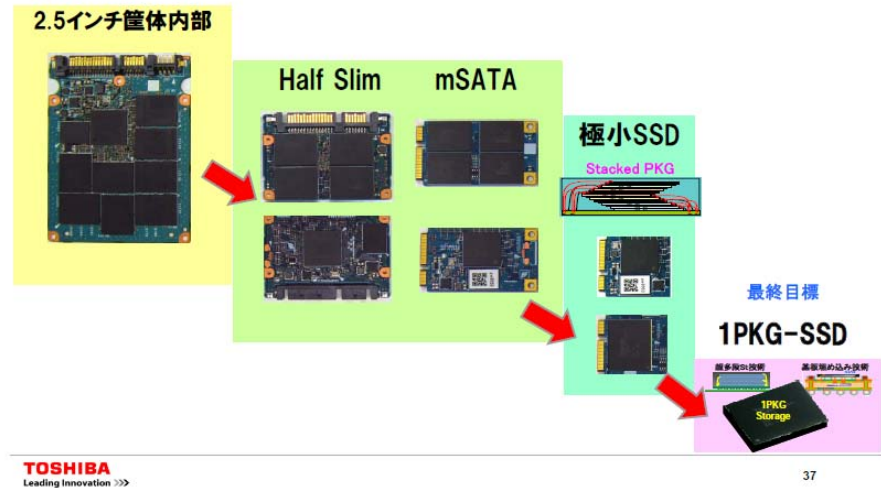


図7 SSD形状の自由度

5. おわりに

市場の拡大が期待される SSD ではあるが、その開発及び発展には、今までの半導体メモリ製品開発とは異なる分野の技術開発が必須であり、メモリメーカー単独ではなく NAND フラッシュ又はそれに続くメモリ製品の技術を核に、要素技術を適切に選択し、適確に使いこなし融合させていく必要があると考える。そのためにも、各技術分野からの SSD 開発への参画、協力を切に望んでいる。

謝辞 今回、このような紹介の場を与えて頂いた、東京大学 竹内 健先生に、謹んで感謝の意を表する