

小型・軽量・高信頼性のモバイルノートPC用 多値NAND型ソリッドステートドライブ

Solid-State Drive Using Multilevel-Cell NAND Flash Memory for Smaller, Lighter Weight, and Highly Durable Mobile Notebook PC

塚澤 寿夫

■ TSUKAZAWA Hisao

モバイルノートパソコン(PC)には、“True mobility (真の持運びやすさ)”のコンセプトの実現が求められており、その内蔵されるストレージデバイスには高速動作、耐衝撃・振動、高信頼性、軽量、及び低消費電力が必要である。

今回東芝は、これらの要求に応えるため、多値NAND型フラッシュメモリを用いたソリッドステートドライブ(SSD: Solid State Drive)を開発した。またこの開発では開発期間を短縮するため、モバイルノートPC開発の早い段階で各種シミュレーションを実施して、上流工程での設計品質の作込みを行った。

Closing in on the concept of “true mobility” for mobile notebook PCs, Toshiba has developed a Solid-State Drive (SSD) using multilevel-cell (MLC) NAND flash memory. This data storage technology offers high-speed data retrieval, excellent shock and vibration resistance, high durability, lighter weight and lower power consumption than standard Hard Disk Drives (HDDs). Various simulations were carried out in the early stage of development of the SSD in order to shorten the development period and enhance the quality of the design.

1 まえがき

東芝は、多値NAND型フラッシュメモリ(以下、多値NANDと略記)を用いた128 Gバイトの大容量SSDを開発し、“true mobility”をコンセプトに薄さ、軽さ、及び長時間駆動を実現したdynabook SS RX1(図1)に、世界で初めて(注1)搭載した。これにより、モバイルノートPCのユーザーから求められるストレージデバイスとして、高速動作、耐衝撃・振動、高信頼性、低消費電力、軽量、及び低コストを同時に実現した。ここでは、モバイルノートPC用として実現した多値NAND型SSDの性能と、開発期間短縮のため行った各種シミュレーションを中心に述べる。

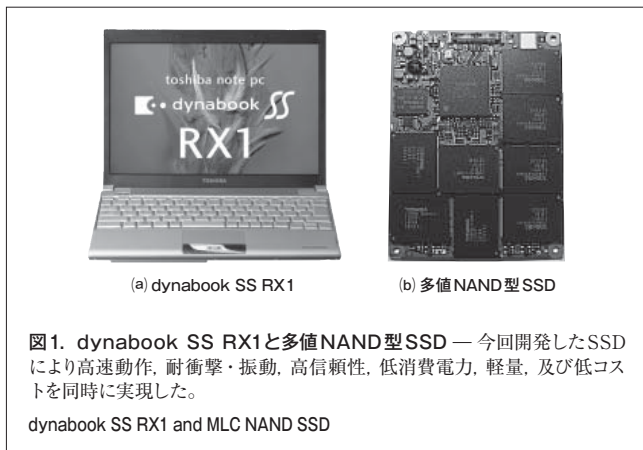


図1. dynabook SS RX1と多値NAND型SSD — 今回開発したSSDにより高速動作、耐衝撃・振動、高信頼性、低消費電力、軽量、及び低コストを同時に実現した。

dynabook SS RX1 and MLC NAND SSD

(注1) 2008年3月現在、ノートPCとして、当社調べ。

2 多値NAND型 SSD

2.1 仕様

今回開発した多値NAND型SSDの基本仕様を表1に示す。ホストインタフェースは、高速データ転送が可能なSerial ATA (3 Gビット/s)規格に準拠しており、最大記録容量は128 Gバイトである。3.3 Vの単一電源で動作し、フットプリント部の外形は1.8型ハードディスク装置(HDD)相当の70.6(長さ)×53.6(幅)×3.0(厚さ)mm、質量は15 g(代表値)であり、業界で最小・最軽量クラスのSSDを実現した。広く採用されている9.5 mm厚の

表1. SSDの仕様

Specifications of SSD

| 項目 | 仕様 | |
|---------|--|--------------|
| 記録容量 | 64 Gバイト/128 Gバイト | |
| データ転送速度 | シーケンシャルリード | 100 Mバイト/s最大 |
| | シーケンシャルライト | 40 Mバイト/s最大 |
| インタフェース | Serial ATA (Rev.2.6) SATA-II (3 Gビット/s) | |
| 供給電圧 | 3.3 V ± 5 % | |
| 温度 | 動作時 | 0 ~ 70 °C |
| | 非動作時 | - 40 ~ 85 °C |
| サイズ | 70.6 (長さ) × 53.6 (幅) × 3.0 (厚さ) mm | |
| 質量 | 15 g (代表値) | |
| MTTF | 1,000,000 h | |

MTTF: 平均故障間隔

2.5型HDDに比べると、体積、質量ともに約1/6であり、モバイルノートPCの小型・軽量化に大きく貢献している。

SSDのシーケンシャルリード（順次読出し）性能は100 Mバイト/s、シーケンシャルライト（順次書込み）性能は40 Mバイト/sである。モバイルノートPCで、一般的な2.5型HDD/5,400 rpmの場合、上記性能は、それぞれ45 Mバイト/s、44 Mバイト/sであり、書込み性能では10%ほど劣るものの、読出し性能は約2倍高速である。また、SSDの優位性としてHDD固有のヘッドシーク（データ読取り・書込み時のHDDヘッドの移動）や回転待ち時間がないため、ランダムアクセス性能ではHDDを大きく上回っている。

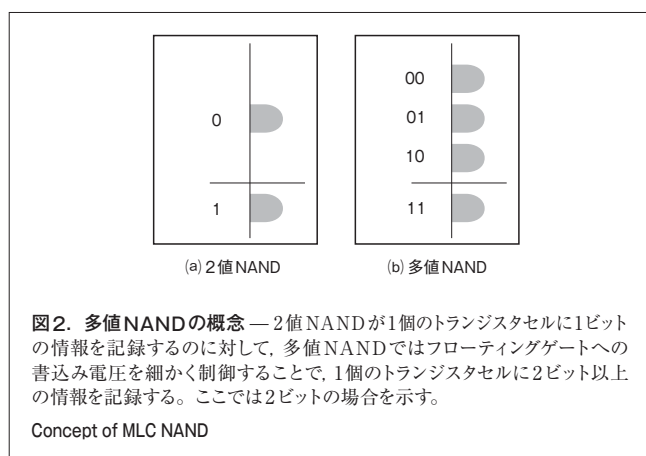
モバイルノートPCに重要な消費電力は、一般的な2.5型HDD/5,400 rpmの場合とデータ転送量で比較すると、アクティブ状態で1/3～1/4、電池駆動時に重要なアイドル状態で約1/3であり、モバイルノートPCの長時間動作に大きく貢献している。

また、MTTF（平均故障間隔）は100万時間であり、一般的な2.5型HDDの3倍以上の信頼性を実現し、従来以上に安心して使用することができる。

2.2 記録技術

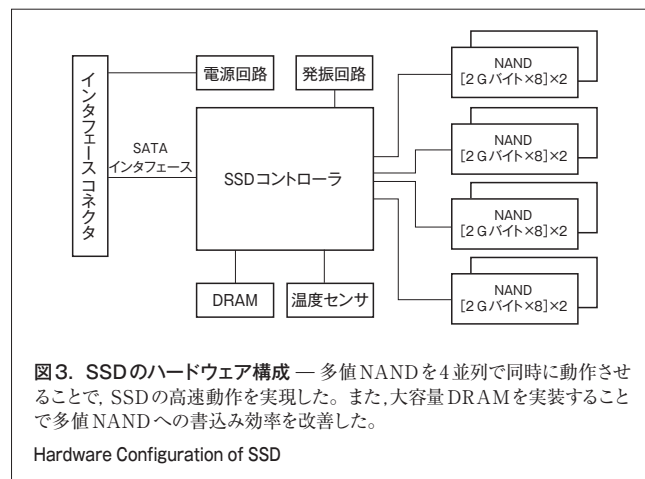
多値NAND技術は、SDメモ리카ードやUSB（Universal Serial Bus）メモリに広く使われている技術である。2値NANDが1個のトランジスタセルに1ビットの情報を記録するのに対して、多値NANDではフローティングゲートへの書込み電圧を細かく制御することで、1個のトランジスタセルに2ビット以上の情報を記録する。これにより、従来の2値NANDに対して、より多くの情報を記録し再生できる（図2）。

国際固体素子回路会議（ISSCC）では3ビット/セルが報告されているが、今回のSSDは2ビット/セルのNANDフラッシュメモリを使用した。



2.3 ハードウェア構成

今回開発したSSDのハードウェア構成を図3に示す。多値NANDでは、単一メモリセルへの記録容量が2倍となる半面、



フローティングゲートへの書込み電圧を細かく制御するために書込み速度は1/2となる。したがって、SSDとして必要な性能を引き出すために、多値NANDへのアクセスは4並列動作とした。

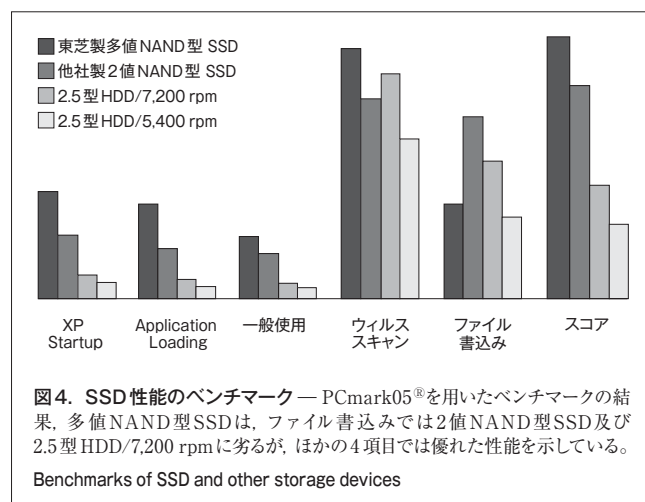
多値NANDは56 nmプロセスの16 Gビット品を採用した。大容量128 Gバイトに必要な64個のNAND型フラッシュメモリは、高密度実装と高信頼を実現するため18×14 mmのBGA（Ball Grid Array）パッケージに8段積み重ねた。

また、SSD動作時の応答性の改善及び多値NANDへの書込み効率を向上させるため、SSD内部に大容量DRAMを搭載した。その他、動作中のSSDの温度をモニタできるように温度センサを搭載した。

2.4 ベンチマーク

ストレージデバイスとしての性能比較のため、PCで一般的に使用されているPCmark05^{®(注2)}でベンチマークを実施した（図4）。比較には他社製2値NAND型SSD、2.5型HDD/7,200rpm、及び2.5型HDD/5,400rpmを用いた。

多値NAND型SSDは、ファイル書込みでは2値NAND型



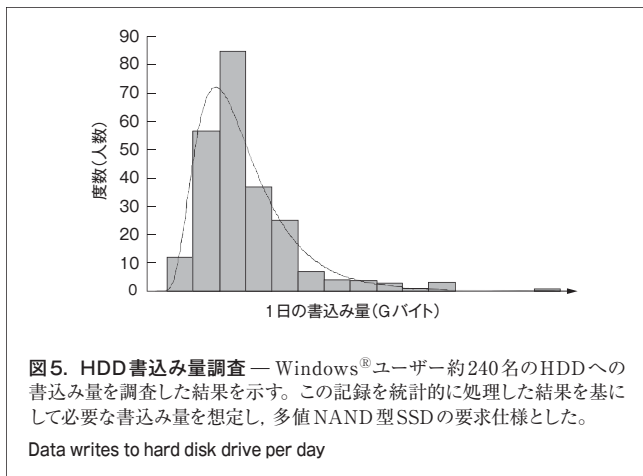
(注2) 米国Futuremark社の総合ベンチマークソフトウェアで、PCmark05は、米国Futuremark社の商標。

SSD及び2.5型HDD/7,200 rpmに劣るものの、Windows[®](注3) XP起動時間(XP startup)、アプリケーションソフトウェア起動時間(Application Loading)、一般使用、ウイルススキャンの4項目では優れた性能を示している。総合性能でも、2.5型HDDの2～3倍以上になる。2値NAND型SSDに比べても20%以上高速であり、非常に優れた性能を示した。

3 ユーザー書き込み量調査

多値NANDを使いこなすにはいくつかの重要な課題がある。プログラムディスターブ(注4)、リードディスターブ(注5)、データリテンション(注6)、及び電源瞬断対策についてはSSDとして設計的に回避可能である。残る課題としてSSDに要求すべき書き込み量があり、比較的PCの使用量が多いと思われる技術者を中心にストレージデバイスへの書き込み量を調査した。

Windows[®]専用に用意したドライバソフトウェアを組み込むため、社内技術者を中心に約240名のWindows[®]使用者の協力を得て、1週間から1か月間にわたり、各個人のHDDへの全書き込み量を記録した。この記録を統計的に処理した結果から、一般的なWindows[®]ユーザーに必要な書き込み量を想定し、多値NAND型SSDの要求仕様とした(図5)。



4 各種シミュレーションによる開発期間短縮

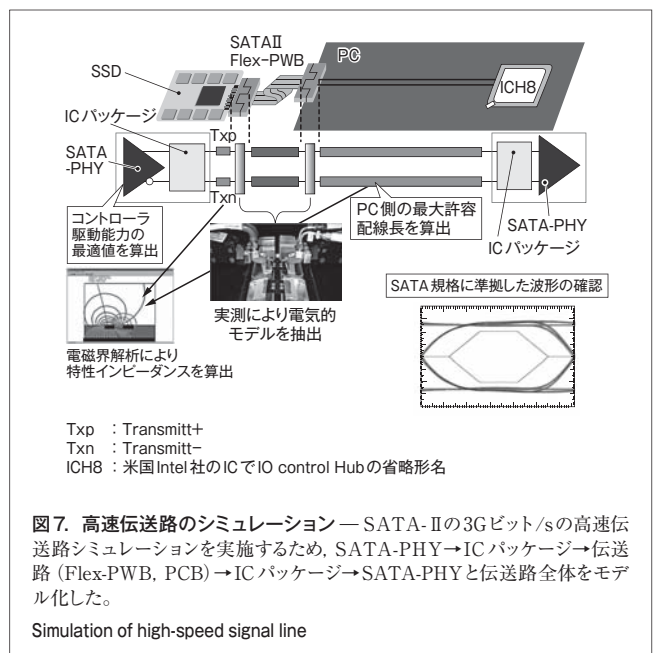
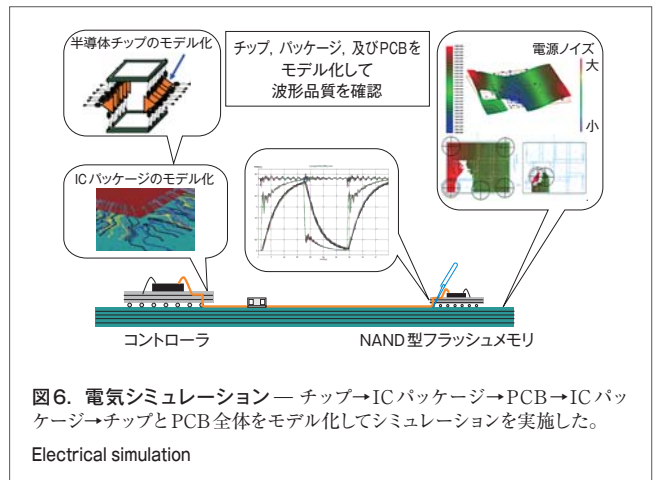
設計段階での後戻り工程をなくすため、開発の初期段階で実施した各種シミュレーションの一部について述べる。

- (注3) Windowsは、米国Microsoft Corporationの米国及びその他の国における商標又は登録商標。
- (注4) プログラム書き込み時に、プログラム対象セル以外のセルに影響が与ること。
- (注5) 任意のページを数多くリードすると、同一ブロック内のほかのページのデータに影響が与ること。
- (注6) NANDに書き込まれたデータを正しく読み出せる期間のこと。

4.1 電気シミュレーション

SSD内部の電気シミュレーションの実施例を図6に示す。高負荷容量のNANDバスを4チャンネル同時駆動するASIC(Application Specific Integrated Circuit)及びNAND内部の入出力バッファ、パッケージ内部配線、PCB(Printed Circuit Board)配線をそれぞれモデル化して信号波形シミュレーションを実施し、信号品位の作込みを行った。また、PCBレイアウト情報から、電源プレーン変動のシミュレーションを行い、バイパスコンデンサの最適配置を行った。

SSD-PC間的高速伝送路シミュレーションの実施例を図7に示す。今回開発したSSDは3GHzのSATA-IIに準拠しており、高速シリアル伝送における信号品位の確認が重要な課題であった。SSD内部のSATA-PHY(注7)からPC内部の



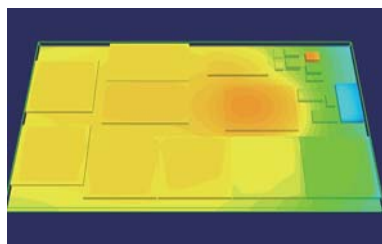
- (注7) SATAインタフェースの物理層を実現するためのASIC内部のアナログフロント。

SATA-PHYまでの全伝送路を、PCB部分は電磁界解析による特性インピーダンス算出を行い、Flex-PWB (Printed Wiring Board) 部分は実測による電気モデルの抽出を行う。これで、より正確なシミュレーションモデルを作成し、3 GHzの高速伝送路における波形の減衰を確認し、デザインルールに落とし込むことで、実機での波形品位を確保した。

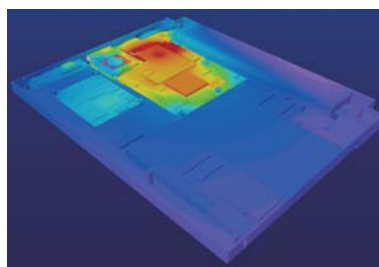
4.2 熱シミュレーション

SSD単体での温度上昇を示すシミュレーション結果を図8(a)に示す。SSDを最高速度で動作させた場合の発熱を与え、モバイルノートPCでの一般的な冷却条件における温度上昇をシミュレーションした。これにより、設計の初期段階でSSDの構成部品であるASIC、多値NAND、電源ICの温度上昇を把握することが可能となり、各ICパッケージの熱抵抗の妥当性を検証した。

モバイルノートPCに、SSDを実装した状態での熱シミュレーション結果を図8(b)に示す。PC内部のCPU、チップセットなどの発熱が、SSDに影響しないように設計されていることを確認できた。また、SSDの発熱による筐体(きょうたい)表面温度への影響も問題ないレベルであることを、開発の初期段階で確認した。



(a) SSD



(b) ノートPC

図8. SSDの熱シミュレーション— SSD単体では局所的に大きな発熱がないことを、また、SSDをノートPCに実装した状態では、互いに熱的な影響を受けないことを確認した。

Thermal simulation

5 高信頼性の確認

モバイルノートPCのストレージデバイスとして期待されている耐衝撃・振動及び堅牢(けんろう)性を確認するため、通常

の振動、衝撃、及び熱サイクル試験のほかに、dynabook SS RX1にSSDを実装した状態で、HALT (High Accelerated Life Test) 試験を行った。試験機の外観を図9に示す。

HALTとは、急激な温度変化と6自由度のランダム振動を同時に加えることで、製品の使用環境よりも高いレベルのストレスを与え、製品に内在する品質改善点を短時間で抽出する手法であり、モバイルノートPCの開発に活用している。HALT試験の結果は良好で、モバイルノートPCに必要な耐久性を十分に満足することを確認した。



図9. HALT 試験機 — この試験機は、急激な温度変化とランダム振動を同時に製品に加え、製品に内在する品質改善点を短時間に抽出できる。

Equipment for highly accelerated life test (HALT)

6 あとがき

当社のNAND型フラッシュメモリ設計技術、ストレージデバイス設計技術、及びノートPC設計技術を結集し、既存の組織の枠にとらわれず、プロジェクトチームとして編成された必要な人材で活動を行うことで、他社に先駆けて多値NANDを用いたSSDを開発し、モバイルノートPCに搭載することができた。

モバイルノートPCに求められる、高速動作、高信頼性、低消費電力、及び小型・軽量化を実現するには多値NANDを用いたSSDが非常に効果的であり、更なるSSDの大容量化と低コスト化のため、次世代プロセスをすばやくキャッチアップしていく。



塚澤 寿夫 TSUKAZAWA Hisao

PC & ネットワーク社 PC開発センター PCコア技術開発部長。ノートPCのハードウェア開発業務に従事。
PC Development Center