

HDD, ODD, 及びSSDの技術動向

Trends in Technologies for HDDs, ODDs, and SSDs, and Toshiba's Approach

服部 正勝

鈴木 博

菅谷 誠一

■ HATTORI Masakatsu

■ SUZUKI Hiroshi

■ SUGAYA Seiichi

インターネットやクラウドコンピューティングの普及で需要が指数的に増大しているストレージ装置において、東芝は、HDD（ハードディスクドライブ）、ODD（光ディスクドライブ）、及びNANDフラッシュメモリを用いたSSD（ソリッドステートドライブ）の全ての主要なストレージ装置を提供している。これらのストレージ装置では、個人用途からデータセンターまで今後の多様化するストレージ需要に応えるため、現在も速い速度で技術革新が行われ、進化が続いている。

Demand for data storage devices has been exponentially increasing with the widespread dissemination of the Internet and cloud computing.

In response to this situation, Toshiba has been developing and supplying all of the main types of storage devices, including hard disk drives (HDDs), optical disc drives (ODDs), and solid-state drives (SSDs) using NAND flash memories. With the ongoing diversification of storage device market needs ranging from personal use to data centers, we are making efforts to accelerate several new technical innovations to meet a wide variety of storage requirements.

HDDの技術動向

インターネット及びクラウドコンピューティングの普及により、ストレージ装置の需要は近年ますます増大している。世界で生み出される情報量とその情報を記録するストレージ装置の容量の推移を図1に示す。世界で生み出されている情報量は年率約40%で増大しているが、その主なストレージ装置は依然としてHDD（ハードディスクドライブ）である。

HDDがストレージ装置の主役として生き残ってきたのは、過去40年以上にわたる記録密度の向上により、他のストレージ装置に対して優位性を保ってきたからにほかならない。記録密度向上の歴史を図2に示すが、磁気ヘッドや磁気ディスクにとどまらず、様々な分野での技術革新が記録密度の伸びを支えてきたことがわかる。

■ HDDを支えてきた技術革新

1997年以降、GMR (Giant Magnetic Resistance) ヘッドの登場により、年率100%で記録密度の向上を維持した。2001年以降は成長のスピードが鈍化して年率30%にまで落ち込んだが、

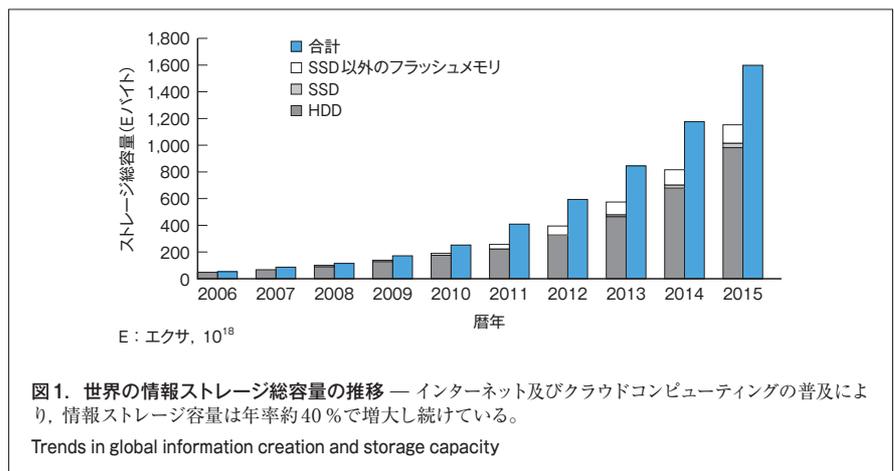


図1. 世界の情報ストレージ総容量の推移 — インターネット及びクラウドコンピューティングの普及により、情報ストレージ容量は年率約40%で増大し続けている。

Trends in global information creation and storage capacity

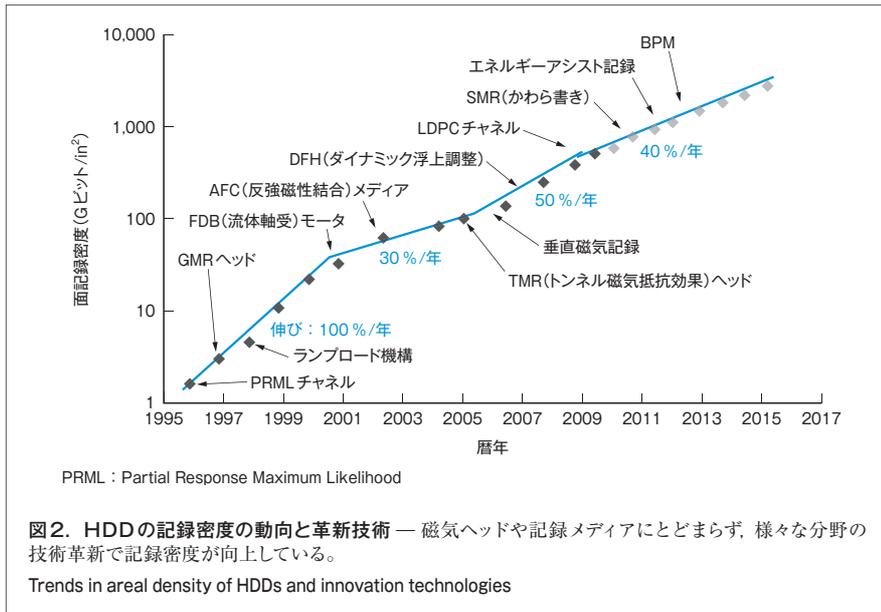
2007年の垂直磁気記録の実用化により、その成長は年率50%のレベルに回復した。

このように、記録密度の向上に対して磁気ヘッドや磁気ディスクの技術革新が大きく貢献しているが、それ以外にも、チャネル技術、エラー訂正技術、及びサーボ制御技術などが記録密度の向上を支えてきた。例えば最近の装置では、LDPC (Low Density Parity Check) コードという新しいエラー訂正方式が登場し、従来のRS-ECC (Reed-Solomon Error Correction Code) に比べSNR (Signal-to-Noise Ratio) が2 dB以上向

上するため、各社とも採用を加速している（この特集のp.36 - 39参照）。

■ 今後注目される新技術

今後に向けた記録密度の更なる向上のために、熱アシスト磁気記録 (TAMR: Thermal Assisted Magnetic Recording, 又はHAMR: Heat Assisted Magnetic Recording) 技術の開発が進められている。磁気ディスクの熱安定性と書込みの困難さというトレードオフを解決するために、レーザーの熱エネルギーによって磁化反転を誘起するものである。レーザーを微小なスポットに絞って照射するこ



とで、磁気ディスクの微小な領域だけを加熱しデータを書き込む。原理的には、3 T (テラ、 10^{12}) ビット/in²の磁気記録密度を達成できる技術として注目されている。

もう一つの補助手段として考えられているのがマイクロ波で、マイクロ波アシスト磁気記録 (MAMR: Microwave Assisted Magnetic Recording) 技術と呼ばれている。スピントルク発振器という超小型マイクロ波発生器によってマイクロ波を磁気ディスクの微小な領域に照射し、書込みに必要な磁気エネルギーを下げる。この技術も原理的には、3 Tビット/in²の磁気記録密度を達成できるとされている。

また磁気ディスクの技術として、微小なビットのパターンを物理加工する、ビットパターンメディア (BPM: Bit Patterned Media) と呼ばれる技術も研究されている。東芝は、これらの将来技術を、部品サプライヤーや当社の研究開発部門と連携して開発している。

従来とは異なる記録密度向上へのアプローチとしては、かわら書き磁気記録 (SMR: Shingled Write Magnetic Recording) と呼ばれる技術がある。既存の垂直磁気記録技術を流用しながら、磁気ディスクへの記録のアルゴリズム

を変更することで記録密度を高める技術である。この技術では書き込むときに、従来のようにデータトラックを分離するのではなく、トラックの片側を前のトラックに重ねながら記録する。データを書き込む方法が屋根がわらを敷く方法に似ていることから“かわら書き”とも言われる。原理的には、現状の垂直磁気記録の1.5倍前後の記録密度を達成できると考えられている。垂直磁気記録の限界にも依存するが、1.5 T ~ 2 T ビット/in²程度になるであろう。

サーボ技術 (位置決め技術) もHDDの記録密度向上を支える重要な技術である。最新の装置では、トラックピッチは100 nm以下であり、目標のトラックに10 nm以下の精度で正確に位置決めすることが求められている。原理的には、磁気ディスクにあらかじめ書き込まれた位置情報を基にフィードバック制御によって位置決めするが、機構系の振動特性や発振対策、ピエゾ素子を用いた2段アクチュエータ、及び偏心の精度補正など、様々な技術が開発されている。

■ ICT (情報通信技術) 社会の情報セキュリティ

HDDの応用範囲が拡大するにつれて、HDDには、耐振動、耐衝撃、省電

力といった基本的な性能に加え、様々な付加機能が求められるようになった。その中で重要な技術が暗号化技術である。特に近年、クラウドコンピューティングの普及や、個人情報保護及び機密保持の意識の高まりから、HDDに書き込まれるデータを暗号化技術で保護するケースが増えている。当社は、自社の持つ暗号化技術を応用し、Wipe Technology HDD (忘れ去るHDD、この特集のp.44 - 46参照) のような独自の技術に基づく製品の提案も行っている。

ODDの技術動向

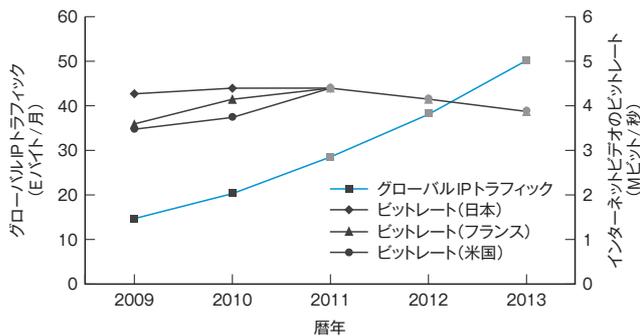
■ コモディティ化の加速と普及

ODD (光ディスクドライブ) として、DVDドライブはローコスト化が進んだため、PC (パソコン) の世界では標準ユニットとして扱われるようになった。現在急速に普及しつつあるタブレット端末では一般的に内蔵されていないが、こうしたDVDドライブ非内蔵タイプのPCの伸びに対応して、外付けのDVDドライブの需要が伸びている。AV市場では、インターネット配信は伸びているものの、AVコンテンツの配布メディアとしてはDVDが依然として支配的な役割を果たしている。

DVDの後継となる大容量光ディスクとして登場したブルーレイディスク^(注1)は、先進国では、高精細 (HD) 映像対応の薄型デジタルテレビとHD放送の普及に伴って市場が徐々に伸張してきている。インターネットの実効的な通信速度は、インターネットのトラフィック量の爆発的な増加に追いつけず、ブルーレイディスクの普及を後押しするものと予想される (図3)。

一方、圧倒的な人口を抱え、急速に経済発展が進む新興国では、高度なイ

(注1)、(注3) Blu-ray Disc™ (ブルーレイディスク)、Blu-ray™ (ブルーレイ)、BDXL™ は、ブルーレイディスクアソシエーションの商標。



IP: Internet Protocol
 *「Cisco Visual Networking Index: Forecast and Methodology, 2009-2014」⁽¹⁾のデータに基づき作成

図3. インターネットの通信量と通信速度の推移 — 先進国でも、インターネットの通信速度がデータ量の増加に追いついていない。

Trends in global Internet Protocol (IP) traffic and Internet speed

インターネットインフラが整備される前に、扱いやすく安価な光ディスクによるコンテンツの配布が普及していくものと期待される。

■DVDドライブ

年間3億台規模に成長したPC用途では、記録機が80%を占め、また、ノートPCの伸びに対応してスリムタイプ機種が占める割合が増えている(図4)。一方、ノートPC自身のコモディティ化に伴って、ODDに対するローコスト化のニーズが更に強まっている。

DVDドライブ事業を展開する東芝サ

ムスン ストレージ・テクノロジー(株)は、こうしたローコスト化ニーズに応えるため、バリューエンジニアリング(VE)^(注2)手法を用いて構造を一新したスリムタイプのDVD記録機を開発した(この特集のp.51-53参照)。

■ブルーレイディスクドライブ

映画を中心としたコンテンツメディアは、プレーヤーやレコーダの普及とともに、徐々にDVDからブルーレイディスクへの世代交代が進みつつある。しかし、ブルーレイディスクドライブも記録用ディスクも、数量と構造の大きな違いからDVD

とのコスト差が拡大し、普及の阻害要因になっている。当社と東芝サムスンストレージ・テクノロジー(株)は、前述したVE手法をブルーレイディスクドライブにも適用するとともに、キー部品の内製化を進めて普及を推進する計画である。

また同時に、高付加価値商品も提供するため、ブルーレイディスクを大容量化するための新規格である3層、4層の記録ディスク(BDXL^{TM(注3)})へ高速に高品質でデータを記録する技術や、ウルトラスリムタイプ(装置高さ:9.5mm)のドライブを実現する光ピックアップの開発を進めている。

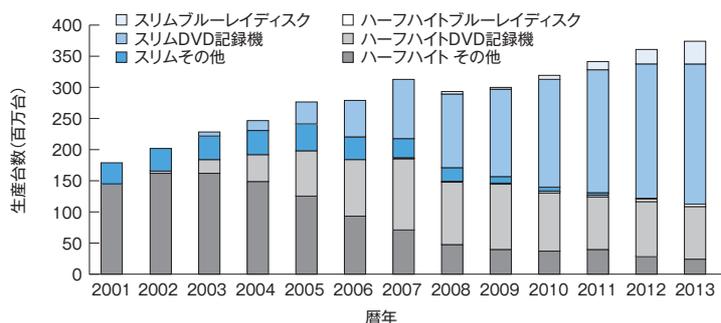
■次世代大容量光ディスク技術と応用

ブルーレイディスクに続く、次世代の大容量光ディスクを実現するため、様々な技術が追求されている。ブルーレイディスクの技術をベースに、体積当たりの記憶容量を高めて大容量化を実現するため、1枚のディスク内の記録層をブルーレイディスクの4層(最大)から大幅に増やす方法や、ディスクの厚さを薄くして多数枚重ねて使用する方法などが研究されている。

一方、異なる記録原理を用いて記録密度や記憶容量を高める手法として、光の干渉を利用するホログラム記録や、光のスポットを縮小して記録する近接場記録、超解像度記録などの技術も研究されている(この特集のp.47-50参照)。

HDDの大容量化、ビットコストの低下、及び転送速度の高速化などにより、個人及び企業どちらのデータのバックアップ用途にもHDDが幅広く用いられるようになり、大容量光ディスクの用途は狭まっていくという見方もある。しかし、公文書、法律、医療の分野におけるデータ量の増加や法規制の広まりにより、更には個人の分野でもAVを主体にした家族の記録データなどの増加により、大切なデータを長期に安全に保存したいというニーズは増しつつある。

これらは、温度や湿度など環境の変動に強い、持ち運びやすく扱いやすい、



*テクノ・システム・リサーチ「ODD長期予測 Data Y10」⁽²⁾のデータに基づき作成

図4. ODDのカテゴリ別生産台数の推移 — 年間3億台の規模であり、記録機が80%を占め、スリムタイプの機種が増えている。

Trends in ODD market (volume by drive type)

(注2) バリューエンジニアリング

商品やサービスの価値を、その機能とコストの関係で分析し、求められる機能を最小のコストで実現する手法。

エンタープライズ市場におけるストレージの展望

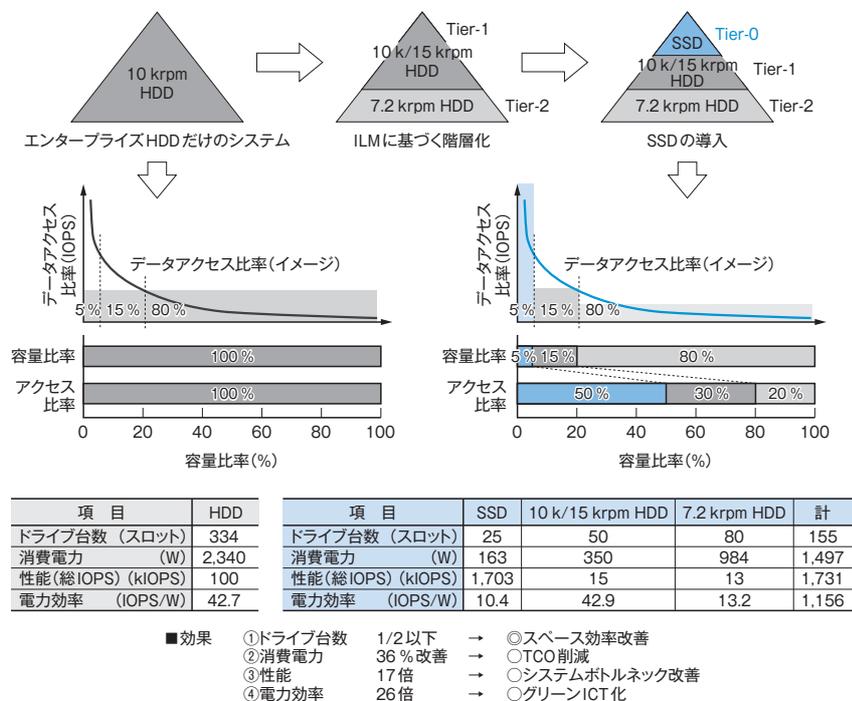
サーバあるいはストレージシステムにおいては、情報の利用頻度に基づくストレージ装置の階層化が従来から行われてきたが、図Aに示すように、SSDを最上位層(Tier-0)に導入することで、アクセス性能のボトルネックを解消できるようになった。データアクセスの80%以上はストレージ全体の20%以下の領域に集中すると言われており、アクセス頻度の高いホットデータを抽出してSSD上に再配置する自動階層化技術が、ストレージシステム各社から実用化されてきている。

また、SSDをデータキャッシュとして使用する例も増加傾向にあり、アクセスレイテンシーが優れたPCI Express^(注4)(Peripheral Component Interconnect Express)バス直結型のSSDも有望視されている。

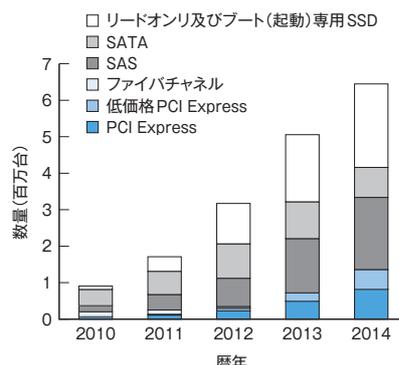
エンタープライズ向けSSDの市場規模は、緩やかな伸張にとどまっていた。しかし、自動階層化などの応用技術が整ってきたこと、及びSSD本来の高速性能を十分に引き出しきれなかったシステム側の要因が解決されつつあることから、主要な市

場であるサーバとストレージシステムへの適用が急速に進んでいくと期待されている(図B)。

HDDにおいては、高速回転のエンタープライズ向けHDDに加え、階層化技術により、特に高い性能は必要としないが容量当たりの単価がより優位であるニアラインHDDがアクセス頻度の低いデータのストレージ装置として用いられるようになり、需要が増大している。ただし、前述のようにグローバルなストレージ総容量は指数的に増大しており、データセンターにおける省電力化のニーズは地球温暖化対策のうえからも高まっている。現在3.5型が主流のニアラインHDDは、将来的には、より省電力である2.5型の採用も進んでいくものと思われる。



図A. 階層化ストレージ 最上位層にSSDを導入することで性能向上を図る。高速回転HDDの一部をSSDに置き換えることで、スペース効率、消費電力、及び電力効率の改善を図り、TCOを低減できる。



図B. エンタープライズ向けSSDの市場動向 — インタフェース別の市場予測(当社推定)では、HDD互換型のSASやSATAが大半を占めるが、PCI Express直結型の比率が徐々に高まっていく。

及び各種の災害に強いといった光ディスクの特長が生かせる応用分野である。当社も、こうした用途に対応するために、データの長期保存の保証を可能にする技術や、高品位にデータを記録する技術などの研究を進めている。

今後、映像コンテンツの3D(3次元)化や、4K2K(4,096×2,160画素)などの高解像度化が普及すると考えられ、コン

テンツ配布メディアとしての再生ディスクにも、次世代の大容量化技術の開発が期待される。

SSDの技術動向

コンピュータシステムにおける主ストレージ装置(DRAM)と外部ストレージ装置(HDD)間でのデータアクセス性能

には、5~6桁程度の速度差がある。この差を縮小してシステム性能のボトルネックを解消するため、NANDフラッシュメモリを記録メディアとするSSD(ソリッドステートドライブ)の活用が本格化してきている。

(注4) PCI Expressは、PCI-SIGの商標又は登録商標。

システム性能を維持するため、多数の高速回転HDDを並列接続していたストレージシステムでは、SSDと低速・大容量HDDを組み合わせた階層化技術によって、HDDの台数を大幅に削減することができる。SSDは、スペース効率、消費電力、及びTCO (Total Cost of Ownership)^(注5)を大幅に改善する、いわゆるグリーンICT実現のための重要なシステム素材になっている(囲み記事参照)。

■SSDとHDD

SSDとHDDはそれぞれに優位性を持った主要なストレージ装置である(図5)。HDDは容量、性能、信頼性のバランスがとれたストレージ装置として幅広く使用されているが、メカニカルな

構造から、データアクセス性能の高速化には限界がある。一方、SSDはHDDより2桁高速なアクセス性能を実現しているが、容量当たりの単価ではHDDが依然として優位にある。増大するストレージ需要に対して、両者は相互の特性を補完し合って共存していく。

■SSDの特質と制御技術

SSDの特質は、ストレージ装置としての書込み回数寿命とデータ保持時間がHDDと大きく異なる点である。書込み回数寿命については、NANDセルへの書込み回数の平準化(ウェアレベリング)と、断片化されたデータを効率的に集約するデータ管理手法(ガベージコレクション)、及びS.M.A.R.T.(Self-Monitoring,

Analysis and Reporting Technology)を用いた寿命管理技術を適用している。またデータ保持時間については、NANDフラッシュメモリ特有のリードディスタープ^(注6)及びプログラムディスタープ^(注7)事象への対応も、包含したパトロール機能によってデータの保全を図っている。電源切断状態でのデータ保持時間についても、JEDEC(半導体技術協会)規格⁽³⁾に準拠することで、実用上支障のない水準になっている。

■SSD製品の種別

現状のSSD製品は、主としてPCや端末機器に使用されるクライアント向けSSDと、データセンターや企業システムのサーバ及びストレージシステム用のエンタープライズ向けSSD(この特集のp.40 - 43参照)に大別される(表1、表2)。

●クライアント向けSSD

データアクセスの高速化、起動時間の短縮、低消費電力化、及び信頼性の向上(振動・衝撃耐性)などがSSD導入の主な利点である。現状の製品は1.8型や2.5型HDDとの互換型が主体になっているが、今後はシステム形態の多様化に対応していっそうの小型化が進むであろう(図6)。

●エンタープライズ向けSSD

ミッションクリティカルなシステム向けのSSDは、24時間連続稼働及び高負

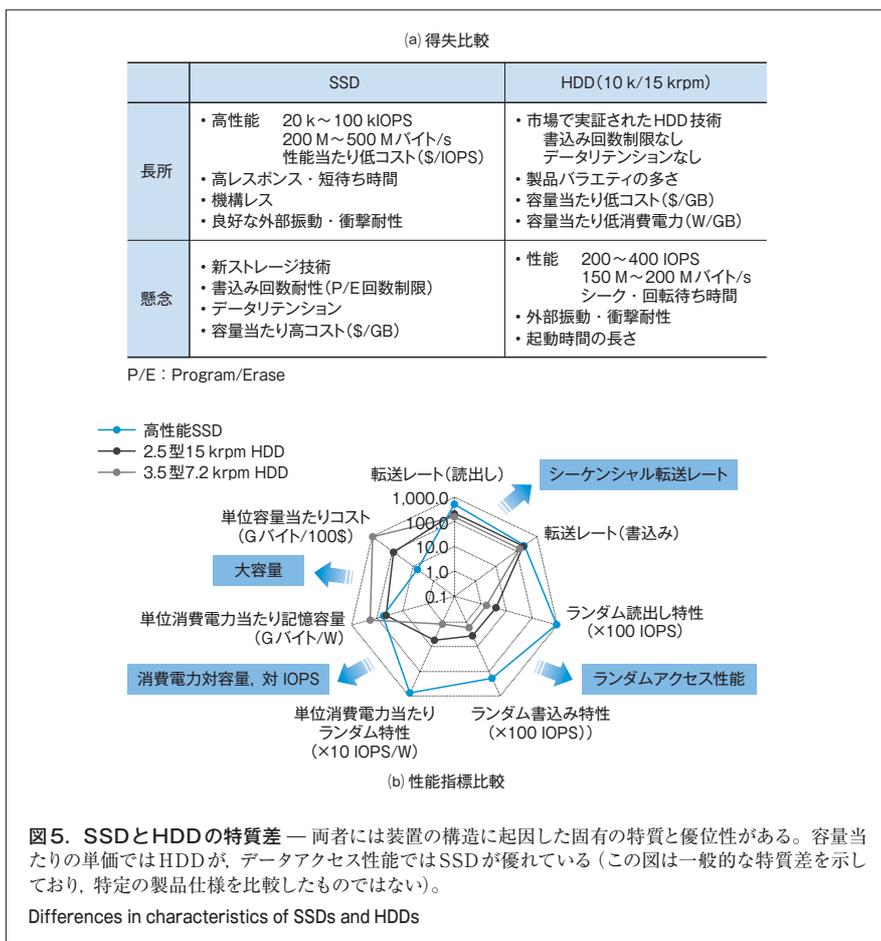


表1. SSDのクラス分け定義

SSD classifications and requirements

クラス	稼働条件 (電源オン)	データ保持時間 (電源オフ)	UBER
クライアント	40℃ 8時間/日	30℃ 1年間	≦ 10 ⁻¹⁵
エンタープライズ	55℃ 24時間/日	40℃ 3か月間	≦ 10 ⁻¹⁶

UBER (Uncorrectable Bit Error Rate) : 総読出しビット数当たりの訂正不能エラー(セクタ数)発生率
* JEDEC規格 JESD218Aから抜粋

(注5) TCO
ITシステムの導入、運用、及び施設などを含む総コスト。

(注6) リードディスタープ
任意のページに数多くリードすると、同一ブロックのほかのページに影響が出る。

(注7) プログラムディスタープ
プログラム書込み時に、プログラム対象セル以外のセルに影響が出る。

表2. クライアント向けSSDとエンタープライズ向けSSDの仕様比較

Comparison of specifications of client SSDs and enterprise SSDs

項目	仕様		
	エンタープライズ向けSSD	クライアント向けSSD	
用途	サーバ、ストレージシステム	PC、ノートPC、ほか	
インターフェース	SAS, (PCI Express), (SATA)	SATA, (PCI Express), (USB)	
外形寸法 (高さ) (mm)	2.5型 SFF: 15, 2.5型: 7	2.5型: 7, 1.8型: 5	
NAND種類	SLC, (MLC)	MLC	
電源 (V)	+5/+12	+5 (2.5型), +3.3 (1.8型)	
性能	リード/ライト (IOPS)	30 k~100 k / 10 k~30 k	10 k~50 k / 1 k~20 k
	リード/ライト (Mバイト/s)	250~500 / 220~400	100~500 / 100~300
寿命性能 (バイト)	総書き込み容量: 10 ² P	総書き込み容量: 10 ² T~10 ³ T	
電源障害時データ保護	対応	非対応	
エンドツーエンドデータ保証	対応	非対応	
セクタサイズ (バイト)	512, 520, 528	512	
寿命 (年)	5 (SLC), 3 (MLC)	1	

USB: Universal Serial Bus SFF: Small Form Factor P: ペタ, 10¹⁵

レージ装置技術を併せ持つ優位性を生かし、これらの期待に応えるため、今後もHDD, ODD, SSDの最先端の技術開発と製品化を推進していく。

文献

- (1) Cisco. "Annual Cisco Visual Networking Index Forecast Projects Global IP Traffic to Increase More Than Fourfold by 2014". <http://www.cisco.com/web/MT/news/10/news_100610.html>, (accessed 2011-07-15).
- (2) テクノ・システム・リサーチ. ODD 長期予測 Data Y10.xls. 東京, テクノ・システム・リサーチ, 2011-01-17.
- (3) JESD218A: 2011. Solid State Drive (SSD) Requirements and Endurance Test Method.

2.5型

ハーフスリム mSATA

極小SSD 積層構造

1パッケージSSD
・多段スタック技術
・基板埋込み技術

mSATA: Micro SATA

図6. クライアント向けSSDの小型化の推移 — 2.5型HDDとの互換型から製品化が始まったが、システムの多様化に適応して小型化が進んでいる。このようなフォームファクタの自由度はHDDでは実現できない。コントローラとNANDフラッシュメモリをスタック技術で混載した単一パッケージ型SSDの実現を目標にしている。

Trends in reduction of form factor of client SSDs

荷環境での信頼性と寿命、高速性能、及び高度なデータインテグリティ保証などの特性を備えることが必須である。

● MLC化

エンタープライズ向けSSDでは、書き込み寿命に対する要求が厳しいことから2値NAND (SLC: Single Level Cell)^(注8)が用いられてきたが、容量当たり単価の低減要求に応えるため、多値NAND (MLC: Multi Level Cell)^(注9)の採用が進められている。MLC化に際

(注8), (注9) SLC, MLC

SLCは単一メモリセルに1ビットのデータを記憶する。MLCは同セルに多ビットのデータを記憶するが、SLCに比べ書き込み速度が遅く、書き込み可能回数も少ない。

しては、NANDフラッシュメモリの並列動作を高めた読出し・書き込み性能の向上、ECC機構の最適化やデジタル信号処理による実効書き込み寿命とデータ保持特性の確保、及び動的なライト性能の調整による書き込み回数の管理などの適用が必要である。

今後の展望

全世界で生み出される情報は今後も加速的に増加し、ストレージ装置には常に大容量化、高性能化、高信頼性化、及び低価格化が求められる。

東芝は、最先端のメモリ技術及びスト



服部 正勝
HATTORI Masakatsu

セミコンダクター&ストレージ社技師長。
Semiconductor & Storage Products Co.



鈴木 博
SUZUKI Hiroshi

ODD 事業統括部長。
ODD 事業の統括業務に従事。
ODD Div.



菅谷 誠一
SUGAYA Seiichi

セミコンダクター&ストレージ社 ストレージプロダクツ事業部 エンタープライズSSD設計部主幹。エンタープライズSSDの開発に従事。
Storage Products Div.