

# MLC NANDフラッシュメモリを用いた エンタープライズ向け1.6 TバイトSSD

1.6 Tbyte SSD for Enterprise Use Applying MLC NAND Flash Memory

木村 彰宏      茂呂 祐行      松下 弘樹

■ KIMURA Akihiro      ■ MORO Hiroyuki      ■ MATSUSHITA Hiroki

ネットワークコンピューティングを支えるエンタープライズ向けサーバやストレージシステムなどの分野では、従来のHDD（ハードディスクドライブ）に比べてアクセス性能や消費電力効率が格段に優れるSSD（ソリッドステートドライブ）の適用が拡大している。一方、SSDの記録媒体であるNANDフラッシュメモリ（以下、NANDメモリと略記）は1ビット当たりの単価が磁気ディスクに比べて高いことに加え、エンタープライズ向けに求められる高信頼性を満足するため、従来、メモリセル当たり1ビットを記憶するSLC（Single Level Cell）NANDメモリを採用していたことが大容量化の妨げとなっていた。

そこで東芝は、メモリセル当たり2ビットを記憶するMLC（Multi Level Cell）NANDメモリを採用し低ビット単価を実現しつつ、独自のコントローラ技術を適用することで従来以上の性能と信頼性を兼ね備えた、2.5型として業界最大クラスの記憶容量<sup>(注1)</sup>となるエンタープライズ向け1.6 T（テラ：10<sup>12</sup>）バイトSSDを開発した。

The use of solid state drives (SSDs) in enterprise servers and storage systems for network computing has been expanding due to their superior performance, such as ultrahigh levels of input/output operations per second (IOPS) and IOPS per watt, compared with those of conventional hard disk drives (HDDs). However, the higher bit cost of the NAND flash memory used in SSDs compared with that of the magnetic disks used in HDDs, as well as the use of single-level cell (SLC) NAND flash memories in conventional SSDs to ensure the high data integrity required for enterprise use, are significant issues that need to be resolved in order to achieve large-capacity SSDs.

As a solution to this issue, Toshiba has developed a 2.5-inch SSD for enterprise use achieving the highest capacity in the industry of 1.6 Tbytes, applying multilevel cell (MLC) NAND flash memory. This SSD offers not only a lower bit cost but also higher performance and reliability than any previously existing models by means of a newly developed SSD controller.

## 1 まえがき

エンタープライズ向けのサーバやストレージシステムには、これまで以上に高性能、高信頼性、及び大容量のSSDが求められている。

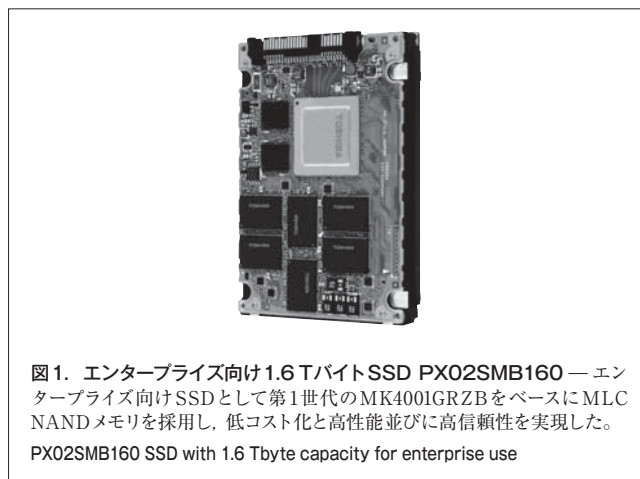
東芝は、これらのニーズに応えるため、メモリセル当たり2ビットを記憶するMLC NANDメモリと独自のコントローラ技術を採用した、エンタープライズ向け1.6 Tバイト2.5型SSD PX02SMB160を開発した。ここでは、その製品概要と高性能・高信頼性技術について述べる。

## 2 製品概要

今回開発したPX02SMB160（図1）は、当社として第2世代となるエンタープライズ向けSSDである。

この製品ではビット単価の低減要求に応えるために、記憶媒体として24 nmプロセスのMLC NANDメモリを採用している。MLC NANDメモリはその特性上書き込み・読出し時間

(注1) 2013年6月現在、エンタープライズ向け2.5型SSDとして、当社調べ。



がSLC NANDメモリよりも長い。また、MLC NANDメモリはSLC NANDメモリに比べてより強力なエラー訂正能力を必要とする。そこで、先にクライアント向けSSDに当社が独自に開発したコントローラ技術<sup>(1)</sup>を応用し、エンタープライズ向けに求められるアクセス性能と信頼性（データ保全性能）を併せ持つ新規コントローラを開発し、製品に適用した。

また、大容量化への市場要求に応えるため、第1世代に対し

表 1. PX02SMB160 の主な仕様  
Main specifications of PX02SMB160

項目	仕様		
	PX02SMB160	MK4001GRZB	
記憶容量	1.6 Tバイト	400 Gバイト	
NANDプロセス	24 nm MLC	32 nm SLC	
ホストインタフェース	SAS-3 (12 Gビット/s)	SAS-2 (6 Gビット/s)	
アクセス性能	シーケンシャル読出し (Miバイト/s)	935	500
	シーケンシャル書込み (Miバイト/s)	410	250
	ランダム読出し (k IOPS)	130	90
	ランダム書込み (k IOPS)	27	16
消費電力効率 (k IOPS/W)	18.5	13.8	
データ信頼性 (ビットエラー率)	$1 \times 10^{-17}$	$1 \times 10^{-16}$	

IOPS: Input Output per Second  
Mi: 2<sup>20</sup>

て2倍のNANDメモリパッケージを搭載可能とする高密度実装設計と、放熱特性の最適化設計を行った。

これらの結果、SLC NANDメモリを用いた第1世代のMK4001GRZB<sup>(2)</sup>に対して、ドライブ記憶容量、アクセス性能、及び消費電力効率の向上を実現した(表1)。

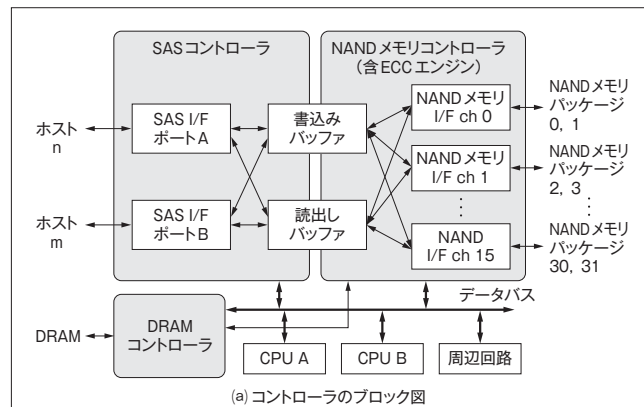
加えてPX02SMB160では、次世代ホストインタフェースであるSAS (Serial Attached SCSI (Small Computer System Interface)) -3規格 (12 Gビット/s転送) 及び自己暗号化機能にも対応させた。

### 3 コントローラ設計

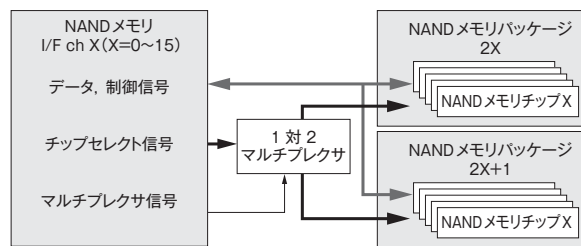
今回、エンタープライズ向けに開発したコントローラのブロック図及びNANDメモリとの接続方法を図2に示す。

クライアント向けSSDのコントローラでは8チャンネルであったNANDメモリインタフェースを、エンタープライズ向けでは16チャンネルに倍増した。また、1チャンネル当たり2個以上のNANDメモリチップ (1チップ容量8Gバイト) を搭載することから、一つのチップが書込み、あるいは読出しを行っている間にもう一つのチップとデータ転送を行うインタリーブ機能を適用した。その結果、複数のNANDメモリチップに対するアクセス並列度が増加し、MLC NANDメモリ採用による書込み・読出し時間の増加を抑えるとともに、SSDとしてのアクセス性能を向上させた。また、各NANDメモリインタフェースに1対2マルチプレクサ制御信号を付加することで、従来比で2倍のNANDメモリパッケージにアクセスできるようにした。これらにより1.6 Tバイトという大容量化を実現した。

また、データ保全能力を向上させることを目的に、当社独自のデータ誤り訂正技術QSBC™ (Quadruple Swing-By Code) においてレベル1 ECC (Error Correcting Code) 及びレベル2 ECCの誤り訂正能力を強化することで、MLC NANDメモリを採用しつつエンタープライズ向けに必要な5年間の連続



(a) コントローラのブロック図



(b) コントローラとNANDメモリの接続

I/F: インタフェース ch: チャンネル

図2. 開発したコントローラの内部ブロック図及びコントローラとNANDメモリの接続方法 — 16チャンネルのNANDメモリインタフェースとインタリーブ方式の採用により、アクセス並列度を向上させて良好なアクセス性能を実現した。また、NANDメモリインタフェースに1対2マルチプレクサ制御信号を付加して従来比2倍のNANDメモリパッケージにアクセス可能とし、1.6 Tバイトの記憶容量を実現した。

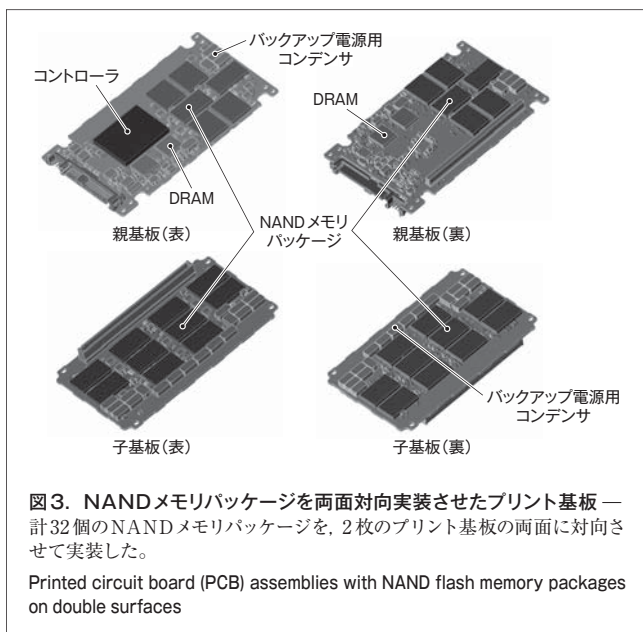
Block diagram of newly developed SSD controller and topology between controller and NAND flash memory devices

稼働と、ドライブ容量1.6 Tバイトの10倍となる、1日当たり16 Tバイトのデータ書込みを実現した。

### 4 高密度実装設計

第1世代では2.5型の厚さ15 mmの筐体 (きょうたい) に16個のNANDメモリパッケージを搭載していたが、第2世代では1.6 Tバイトという大容量化を実現するために32個のNANDメモリパッケージを搭載する必要があった。そこで、従来プリント基板の片面に実装していたNANDメモリパッケージを、第2世代では両面に実装することを目指した(図3)。

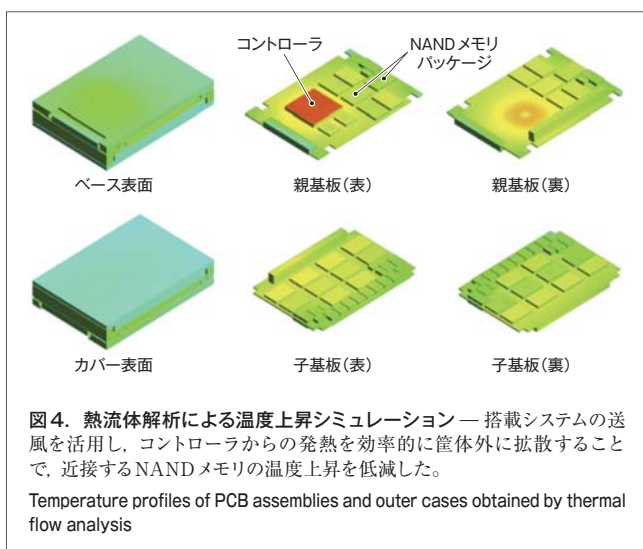
NANDメモリチップの母材であるシリコンとプリント基板の線膨張係数は大きく異なることから、一般に両面実装における熱衝撃耐性 (はんだ実装の信頼性) は片面実装に比べて低下することが知られている。このため当社が開発した3次元モデルによる熱ひずみシミュレーション技術を活用して、プリント基板に対するNANDメモリパッケージの最適配置を検討した。その結果、NANDメモリパッケージを両面に対向させて実装することで前述の線膨張係数の差異を低減できることが確認され、第1世代と同等の熱衝撃耐性を実現した。



## 5 放熱設計

高密度実装の実現に向けたもう一つの技術課題は、自己発熱によるドライブ内部の温度上昇であった。構成部品の中で特に発熱量が多いコントローラと、それに比べて動作可能温度が低いNANDメモリを近接して配置する必要があった。

一方、この製品が使用されるサーバやストレージシステム環境では、システム全体を冷却するために送風が施されている。この送風を活用して効果的にコントローラの発熱を筐体外部に放出し、近接するNANDメモリへの熱伝搬を低減する目的から、熱流体解析による温度上昇シミュレーション(図4)を実施し、最適な放熱設計を行った。その結果、コントローラとドライブ筐体の中に取り付けられている熱伝導シートの熱伝導率を従来よりも向上させることでコントローラ自体の温度上昇



を25%低減し、高密度実装を実現した。

## 6 データ保全技術

エンタープライズ向けSSDにMLC NANDメモリを採用するにあたり、前述のコントローラ部データ誤り訂正技術の強化に加え、通電動作中にドライブが自律的にデータの健全性を確認し、必要に応じてデータを健全な状態に書き戻すバックグラウンドパトロール機能を適用した。これを、NANDメモリのデータ書込み・消去回数を平滑化する従来のウェアレベリング機能と組み合わせることで、5年間の連続動作において安定したアクセス性能を実現した。

また、動作中のいかなる電源消失においても、ホストから受信したデータを確実にNANDメモリに記録するため、大容量コンデンサで構成されるバックアップ電源を備えている。

## 7 あとがき

エンタープライズ向けサーバやストレージシステムなどの分野では、今後も記憶媒体としてNANDメモリを用いたSSDの大容量化及びアクセス性能の更なる向上が望まれている。一方、半導体プロセスの微細化に伴うNANDメモリのデータ保全能力の低下、及びコントローラの消費電力の増加は必至である。

今回の製品開発で得た知見を基に、コントローラ設計技術や高密度実装技術に更なる施策を加えて、高性能と高信頼性を兼ね備えた製品を継続的に市場投入していく。

## 文献

- (1) 浅野滋博 他. 19 nm世代のNANDフラッシュメモリを用いたクライアントSSDを実現する高性能コントローラ技術. 東芝レビュー. 67, 12, 2012, p.43-46.
- (2) 木内英通. 高性能と高信頼性を両立させたエンタープライズ向けSSD MK4001GRZB. 東芝レビュー. 66, 8, 2011, p.40-43.



木村 彰宏 KIMURA Akihiro

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 SSD製品技術部参事。エンタープライズ向けSSDの製品開発に従事。

Storage Products Div.



茂呂 祐行 MORO Hiroyuki

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 ストレージプロダクツ設計生産統括部参事。SSDコントローラLSIの設計に従事。

Storage Products Div.



松下 弘樹 MATSUSHITA Hiroki

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 SSD製品技術部参事。エンタープライズ向けSSDの製品開発に従事。

Storage Products Div.