

エンタープライズ向け 2.5型 480 Gバイト SATA インタフェース SSD THNSNJ480PCS3

THNSNJ480PCS3 480 Gbyte Recording Capacity 2.5-inch SSD Equipped with SATA Interface for Enterprise Use

酒井 嘉道

大山 隆一郎

松田 柔晴

■ SAKAI Yoshimichi

■ OHYAMA Ryuichiro

■ MATSUDA Yoshiharu

近年、クラウドサービスやビッグデータの活用が話題となっているが、爆発的なデータ量の増大により、ネットワークサービスを取り扱うデータセンターのシステムは、いっそうの高速化と大容量化を求められている。データセンターで使用されるエンタープライズ向けサーバやストレージシステムの記憶装置では、従来使われてきたHDD（ハードディスクドライブ）に加え、NAND型フラッシュメモリを使用したアクセス性能が高いSSD（ソリッドステートドライブ）の活用が広がっている。

こうした状況のなかで東芝は、ハイエンド向けSSDとしてSAS（Serial Attached SCSI（Small Computer System Interface））インタフェースを備えた製品ラインアップに加え、更に取り扱いが容易なSATA（Serial Advanced Technology Attachment）インタフェースを備えたエンタープライズ向け2.5型480 GバイトSSD THNSNJ480PCS3を開発した。

The increasing volumes of data accompanying the rapid expansion of cloud services and big data in recent years have given rise to the need for data center systems with higher speed and larger capacity in order to efficiently provide network services. Solid-state drives (SSDs) have come into widespread use as storage devices for servers and storage systems in data center systems due to their superior memory access performance compared with hard disk drives (HDDs).

In response to these circumstances, Toshiba has developed the THNSNJ480PCS3, a 2.5-inch enterprise SSD with a capacity of 480 Gbytes equipped with a Serial Advanced Technology Attachment (SATA) to realize easier handling, as an addition to its lineup of high-end enterprise SSDs incorporating Serial Attached SCSI (Small Computer System Interface) (SAS) technology.

1 まえがき

昨今、クラウドシステムや、ビッグデータ、IoT（Internet of Things）などのことばに代表されるように、世の中で扱われる情報が爆発的に増加している。こうした情報を効率的に取り扱うためには、各種のサーバやストレージシステムが欠かせない存在となっており、今後の情報化社会の進化はサーバやストレージシステムが牽引（けんいん）していくと言っても過言ではない。このような状況のなか、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使用される記憶装置として、従来は安価で大容量であることを特長とするHDDが用いられてきた。しかし、TCO（Total Cost of Ownership）を重要視するユーザーからは、高速性に加えてエネルギー効率（単位エネルギー当たりの転送速度）に優れるSSDが求められるようになってきている⁽¹⁾。

エンタープライズ向けSSDを採用する際には、従来からのユーザーが信頼性の高いSASインタフェース⁽²⁾を重視する傾向がある一方で、コストメリットと信頼性を兼ね備えたSATAインタフェースを持つSSDを求めるユーザーも多い。特に新興メーカーやこれから大きな伸長が見込まれるデータセンターなどのユーザーは、エネルギー効率とコストとのバランスを重視して、パソコンにも使われているSATAインタフェースを選択



する傾向がある。

東芝は、こうした市場ニーズに応え、強力な誤り訂正能力を持つECC（Error Correction Code）を備えた独自のコントローラ技術を採用した、SATAインタフェースを備えたエンタープライズ向けの2.5型SSD（以下、エンタープライズ向けSATAインタフェースSSDと呼ぶ）を開発した。記憶容量は、480 Gバイト、240 Gバイト、及び120 Gバイトをラインアップしている。

ここでは、記憶容量480 Gバイトのエンタープライズ向け

SATA インタフェース SSD THNSNJ480PCS3 (図1) の概要、及び高性能化と高信頼性化を実現するために採用した技術について述べる。

2 THNSNJ480PCS3の概要

THNSNJ480PCS3の主な仕様を表1に示す。

この製品は、当社にとって第1世代となるエンタープライズ向け SATA インタフェース SSD である。今回、19 nm プロセスの MLC (Multi Level Cell) NAND 型フラッシュメモリを採用し、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^[3]を採用することで強力なエラー訂正能力を備えている。ホストインタフェースは SATA Generation-3 に準拠している。

THNSNJ480PCS3 に実装されている NAND 型フラッシュメモリの総容量は 512 G バイトであるが、ユーザーが使用できる記憶容量は 480 G バイトとしている。この差はオーバプロビジョニング領域として使用している。オーバプロビジョニング領域は、ドライブ全体の記憶領域の空きを増やしてガベージコレクション (不要なメモリ領域を集約して、利用可能なメモリ領域を確保する動作) 時に空き領域を効率よく生成できるようにすることで、サステイン状態 (ランダムライト性能が飽和した状態) のランダムライト性能を向上させる。クライアント向け SSD は初期状態での性能が高いことが重要であるのに対して、エンタープライズ向け SSD は継続的にライトが行われた状態での性能が重視されるため、対策の一つとして設定した。

また、ホストコンピュータからデータ転送している間に電源電圧が意図することなく突然低下しても、受領したデータを保全する時間を確保するために、電力を一時的に供給する電源バックアップ技術を採用している。

3 性能改善

一般に、ホストコンピュータから連続してデータを転送して

表1. THNSNJ480PCS3の主な仕様

Main specifications of THNSNJ480PCS3

項目	仕様	
記憶容量	480 G バイト	
NAND プロセス	19 nm	
ホストインタフェース	SATA Generation-3 (6 G ビット/s)	
アクセス性能	シーケンシャルリード (Mi バイト/s)	500
	シーケンシャルライト (Mi バイト/s)	400
	ランダムリード (k IOPS)	75
	ランダムライト (k IOPS)	12
消費電力効率 (k IOPS/W)	18.8	
データ信頼性 (ビットエラー率)	1×10^{-17}	

Mi バイト: メガバイト, 2^{20} バイト
IOPS: Input Output per Second

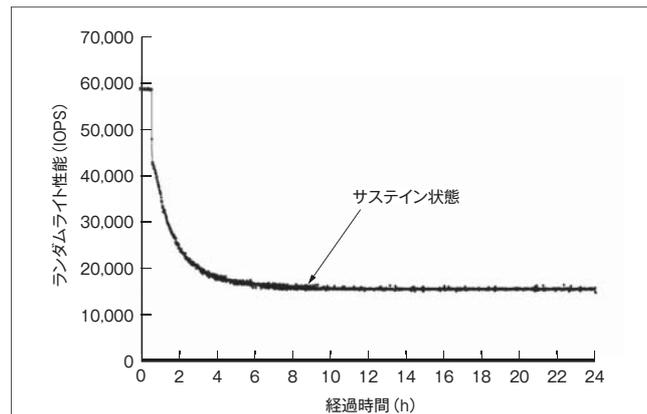


図2. 連続ランダムライト時の性能遷移 — 連続してランダムライトを行うと性能が徐々に低下して、やがてサステイン状態となる。

Performance trend in continuous random write operation

ランダムライトを行った場合、徐々に IOPS (Input Output per Second) 性能が低下して、やがてサステイン状態になる (図2)。このサステイン状態がランダムライト時の最低 IOPS となり、エンタープライズ向け SSD として重要な性能指数である。THNSNJ480PCS3 は、クライアント向け SSD の 19 nm 世代 NAND 型フラッシュメモリのために開発したコントローラを搭載しており、今回、以下に述べる技術を適用することで、データを 4Ki (キビ: 2^{10}) バイトのブロック単位でアクセス (4K バイトアクセス) してランダムライトしたときの、サステイン状態における IOPS 性能を向上させた。

従来 of SSD は、ホストコンピュータから見た論理アドレス (LBA: Logical Block Address) と NAND 型フラッシュメモリの物理アドレスの間のマッピング関係を構築する LUT (Look Up Table) を搭載しており、LUT が管理するマッピングテーブルを NAND 型フラッシュメモリ上に保持している。DRAM を使用しない設計のクライアント向け SSD では、マッピングテーブルを SSD コントローラに内蔵された SRAM 上に随時キャッシュしている。

これに対し THNSNJ480PCS3 では、SSD コントローラとは別に大容量の DRAM を搭載し、DRAM 上にマッピングテーブルをキャッシュするようにした。マッピングテーブルを DRAM にキャッシュすることにより、クライアント向け SSD よりもキャッシュヒット率が向上し、アクセス時間を短縮できた。

また、キャッシュヒット率が向上することでマッピングテーブルを保持する NAND 型フラッシュメモリへのアクセス回数を低減でき、NAND 型フラッシュメモリへのアクセス時間をユーザーデータアクセスにより広く割り当てることができるようになった。

これにより、4K バイトアクセス時のサステイン状態で、クライアント向け SSD が 5 k IOPS であるのに対し、THNSNJ480PCS3 では 12 k IOPS 以上を実現した。

4 高密度実装設計

2.5型HDD及びSSDでは、従来は厚さ9.5mmの筐体(きょうたい)が一般的であったが、最近では更に薄い厚さ7mmの筐体が求められるようになってきた。THNSNJ480PCS3は、8個のNAND型フラッシュメモリを搭載し、また、電源電圧が意図することなく突然低下してもデータを保全できるように大容量コンデンサを搭載している。このため、バックアップ電源回路を含めて部品点数はクライアント向けSSDよりも増大している。電子部品を両面実装にすると部品配置の自由度は高くなるが、はんだ実装の信頼性の指標である熱衝撃耐性と実装作業効率が低下する。このためTHNSNJ480PCS3では、電子部品の片面実装化を目指した。

従来のスルーホールを用いたプリント基板では、表面積に対する実装及び配線効率が低いので、片面実装化は不可能であった。このため、部品配置及び配線の自由度が高いビルドアップ基板を採用し、高い配線効率を確保するためにビルドアップ基板の層数は8層とした(図3)。

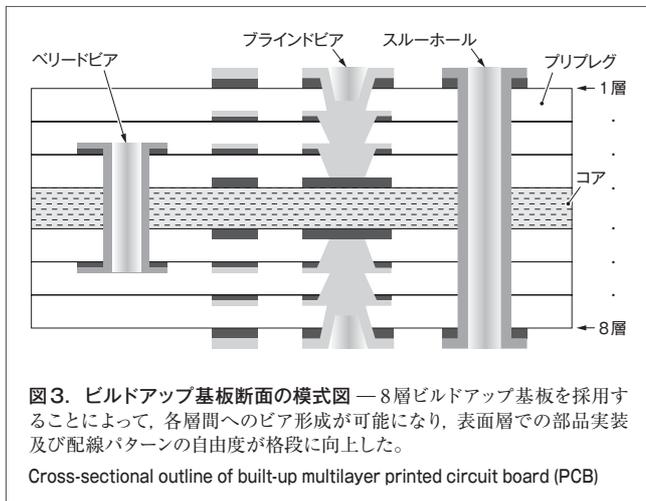
ビルドアップ基板を採用することにより、表面層へのビアを極限まで少なくでき、部品配置を効率化できた。また、各層に対するスルーホールも減少するため、各層での配線パターンの自由度も格段に向上した。

更に、チップ部品の抵抗やコンデンサは0.6×0.3mmサイズの小部品を採用して部品実装面積を縮小化した。これらの施策により、電子部品の片面実装化を実現し、製品化を達成した。

5 放熱設計と衝撃対策

5.1 放熱設計

高密度実装における課題の一つとして、コントローラなどの実装部品から発生する熱によってSSDの信頼性が低下するという問題があり、対策が必要である。



高密度実装とすることにより、発熱量が特に大きいコントローラと、動作可能温度が低いNAND型フラッシュメモリや大容量コンデンサを近接して配置しなければならなくなる。このため、放熱によるコントローラの温度低減、及びNAND型フラッシュメモリや大容量コンデンサへの熱伝搬を低減する必要がある。そこで、コントローラから発生する熱を筐体へ伝え、搭載されるシステム内部の送風を活用して筐体全体で効率的に放熱する構造を採用した。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、筐体に適した放熱設計を行うことで熱伝導シートの仕様及び貼付け量を決定し、高密度実装を実現した。

5.2 衝撃・振動対策

耐衝撃及び耐振動については、ユーザーからHDDより高い耐性を要求され、以下の仕様を実現した。

耐衝撃(動作時) : 9,800 m/s² (1,000 G), パルス幅 0.5 ms

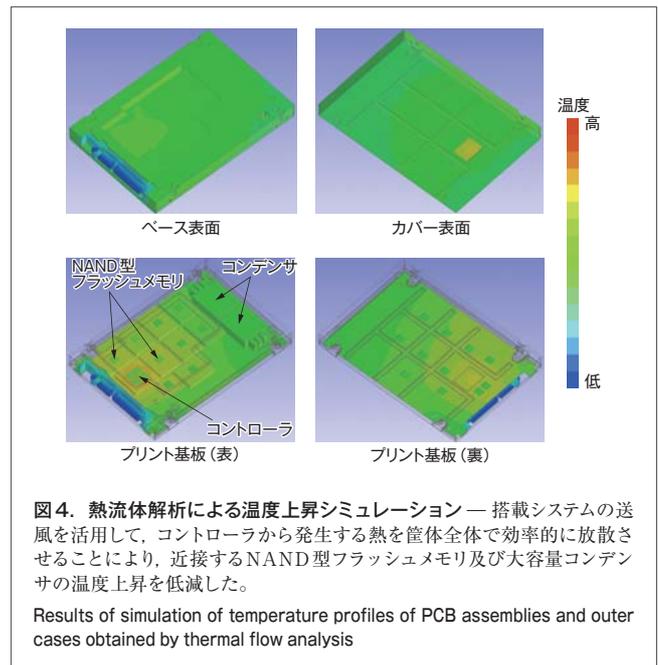
耐衝撃(非動作時) : 9,800 m/s² (1,000 G), パルス幅 0.5 ms

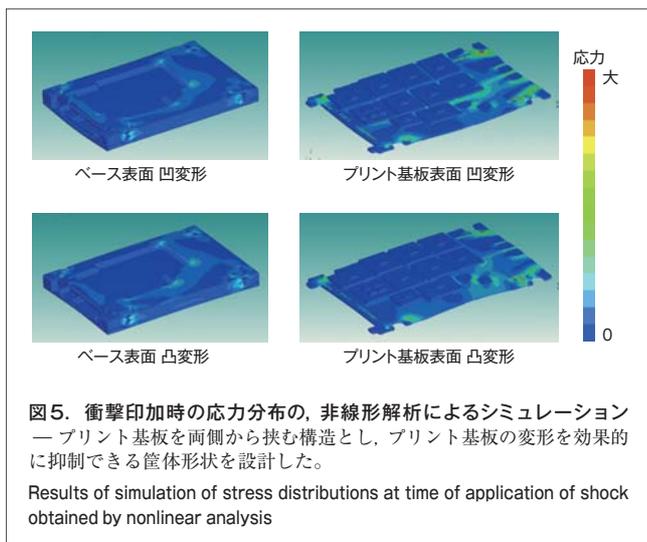
耐振動(動作時) : 21 m/s² (2.17 Grms), 100 ~ 800 Hz

耐振動(非動作時) : 159 m/s² (16.3 Grms), 20 ~ 2,000 Hz

衝撃や振動によって発生する主な不具合は、加振によってプリント基板が大きいたわみ、コントローラやNAND型フラッシュメモリのはんだ部にクラックが発生して断線するというものである。

このため、電子部品が実装されていない側へも熱伝導シートを配置してプリント基板を両側から挟む構造とし、プリント基板のたわみを筐体で押さえ込むようにした。衝撃印加時の応力分布を非線形解析によってシミュレーションして(図5)、プリント基板の変形を効果的に抑制できる筐体形状を設計し、要求仕様を実現した。



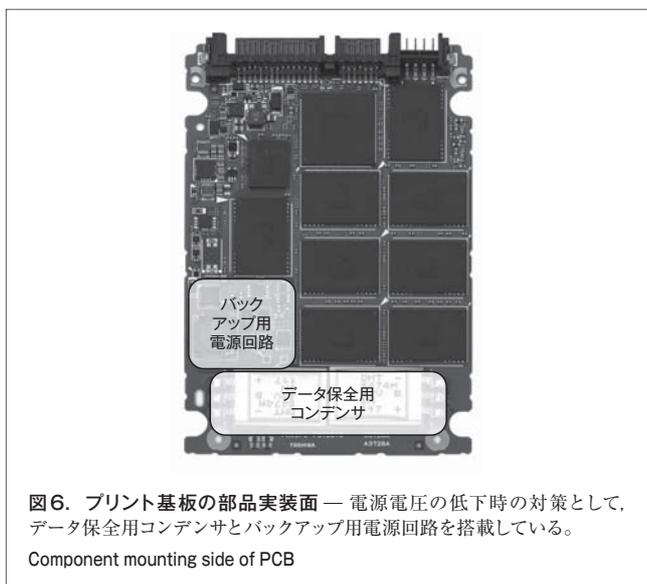


また、この構造はプリント基板の両面から放熱できるため、放熱効果をより向上させるというメリットもある。

6 データ保全技術

今回採用したコントローラは、当社が独自に開発したデータ誤り訂正技術 QSBC (Quadruple Swing-By Code) を備え、ECCによる誤り訂正能力を強化している。この強力な誤り訂正能力に加え、各 NAND 型フラッシュメモリへのライト回数を均一化するウェアレベリング技術と、バックグラウンドでライトされたデータの健全性を確認するパトロール技術との組み合わせにより、エンタープライズ向けに要求される5年間の連続稼働と、ドライブ記憶容量と同じデータ量を毎日ライトすることが可能になった。

また、エンタープライズ向けとして動作中に電源電圧が突然



低下しても、ホストコンピュータから受信したデータは保全しなければならない。このため、電源電圧が意図することなく低下してもホストコンピュータから送信されたデータを NAND 型フラッシュメモリへ記録するために、大容量コンデンサである電気二重層コンデンサを備えたバックアップ電源回路を搭載している (図6)。SSD に供給される電源電圧がホストコンピュータからの通知なしに低下した場合、SSD は電源電圧の低下を検出し、バックアップ電源に切り替えてデータ保全動作を実行する。

また、5年間の長期信頼性を確保するための対策の一つとして、SSD を構成する部品として最大の発熱体であるコントローラからもっとも離れた場所に大容量コンデンサを配置することで、熱の影響を受けにくい設計としている。

7 あとがき

エンタープライズ向け SATA インタフェース SSD は、今後ますます拡大するデータセンター向け記憶装置としていっそうの需要拡大が見込まれている。また、取り扱われるデータの増大に対応するために、SSD の大容量化が更に求められている。当社の NAND 型フラッシュメモリチップの容量増大に合わせて SSD をタイムリーに開発し、拡大する SSD の市場に新製品を継続して投入していく。

文献

- 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 他. 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. 東芝レビュー. 68, 9, 2013, p.46-48.
- 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.



酒井 嘉道 SAKAI Yoshimichi

セミコンダクター&ストレージ社 メモリ事業部 cSSD 技術部 参事。エンタープライズ向け SSD の製品開発に従事。
Memory Div.



大山 隆一郎 OHYAMA Ryuichiro

セミコンダクター&ストレージ社 メモリ事業部 SSD システム 技術開発部主務。エンタープライズ向け SSD のファームウェア 開発に従事。
Memory Div.



松田 柔晴 MATSUDA Yoshiharu

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 eSSD 技術部主務。エンタープライズ向け SSD の筐体開発に従事。
Storage Products Div.