

PCI Express^(†) インタフェースの シングルパッケージSSD及び超小型SSDモジュール

Single-Package SSD and Ultra-Small SSD Module Utilizing PCI Express^(†) Interface

村上 克也

永井 宏一

谷本 亮

■ MURAKAMI Katsuya

■ NAGAI Koichi

■ TANIMOTO Akira

近年、モバイルノートPC（パソコン）の薄型・軽量化や、タブレット製品の普及に伴い、データを記録する媒体も、HDD（ハードディスクドライブ）からNAND型フラッシュメモリを使用したSSD（ソリッドステートドライブ）への移行が進んでいる。SSDには、HDDと形状が同じで互換性のあるタイプから、SSD専用規格に準拠したタイプなど、多様なラインアップが存在する。

このような市場環境の変化に応じて、東芝はモバイルPC向けの小型で高性能なSSDとして、わずか幅16 mm、長さ20 mm、高さ1.65 mmの半導体パッケージの中に、SSDコントローラとNAND型フラッシュメモリを封止したシングルパッケージSSDを開発した。インタフェースにPCI Express^(†)規格を採用したシングルパッケージSSDは世界初^(注1)となる。また、このシングルパッケージSSDをカードエッジ型の基板に実装した幅22 mm、長さ30 mmの挿抜可能なPCI Express^(†)採用のSSDとして世界最小^(注2)の超小型SSDモジュールも開発した。

The transition of storage products from hard disk drives (HDDs) to solid-state drives (SSDs) has accelerated with the widespread dissemination of thin and light mobile PCs and tablets. Although HDD-compatible form factors were used at the initial stage of introducing SSDs, new SSD-specific small form factors are also now in use.

In response to the demand for lightweight storage products with a smaller form factor, Toshiba has developed a single-package SSD incorporating NAND flash memory chips and an SSD controller in a package with dimensions of 16 × 20 × 1.65 mm as the world's first single-package SSD with a PCI Express^(†) interface. We have also developed an ultra-small card-edge type detachable SSD module containing the single-package SSD and a DC/DC converter with a size of 22 × 30 mm as the world's smallest SSD module with a PCI Express^(†) interface.

1 まえがき

東芝は2008年に世界で初めてMLC (Multi Level Cell) NAND型フラッシュメモリを搭載した128 Gバイトの大容量SSD（ソリッドステートドライブ）を開発し、薄さ、軽さ、及び長時間駆動を実現したモバイルノートPCに搭載した。このSSDは、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・振動特性、高信頼性、低消費電力、軽量、及び低コストを同時に実現していた。

以来、PCにおけるSSDの搭載率は上がり、更なる高速動作、小型化、低消費電力化、及び低コスト化が追及され続けている。例えば性能は、当時はシーケンシャルリード（順次読出し）時のデータ転送速度が最大100 Mバイト/sであったものが、近年は500 Mバイト/sを超えるようになり、インタフェースの転送速度もシリアルインタフェースであるSATA (Serial Advanced Technology Attachment) の3 Gビット/sから6 Gビット/sに世代交代している。またサイズも、当初は1.8型（幅53.6 mm、長さ70.6 mm、高さ3.0 mm、質量15 g（代表値））SSDでHDD（ハードディスクドライブ）の置換えを目指したが、ノート

PCのHDDが2.5型が主流になるにつれSSDも2.5型になった。一方、現在ではSSD専用の小型フォームファクタが規格化され、例えば幅22 mm、長さ80 mm、高さ2.23 mm、質量6.4 g程度と、1.8型SSDと比べても著しく小型化されたSSDが広く使われている。これに伴い、SSD専用の薄型PC筐体（きょうたい）が多く使われるようになっている。更に使われるNAND型フラッシュメモリも56 nmプロセスの16 Gビット品から、19 nm第2世代の128 Gビット品へと微細化が進んでいる。低消費電力化は主としてアイドル時の消費電力を下げるが行われており、近年は5 mW以下が主流となっている。

しかしノートPCは更なる薄型化が進み、近年ではキーボード部分を取り外して、タブレットとしても使用できるようなタイプも増えている。このようなタイプの場合、液晶パネルの背面に薄型バッテリーを配置することになり、長時間駆動のために、ストレージデバイスに対する小型・薄型化の要求が増えてきた。

また、従来のSATA SSDで使われているATAコマンドは、もともとHDDの平行インタフェース用のコマンドを拡張したものであった。SSDに最適化されたものではないため、SSDの高速アクセスという特長を生かし切れていなかった。

これらの問題を解消するため、新たに物理層としてPCI Express^(†)インタフェースを利用したSSD専用の論理インタ

(注1) 2015年1月時点、当社調べ。

(注2) 2015年1月現在、当社調べ。

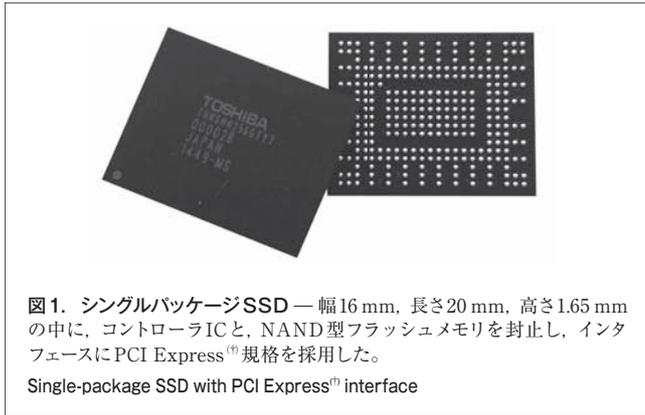


図1. シングルパッケージSSD — 幅16 mm, 長さ20 mm, 高さ1.65 mmの中に、コントローラICと、NAND型フラッシュメモリを封止し、インタフェースにPCI Express^(†)規格を採用した。

Single-package SSD with PCI Express^(†) interface



図2. 超小型SSDモジュール — シングルパッケージSSDを幅22 mm, 長さ30 mmのカードエッジ型の基板に実装したPCI Express^(†)インタフェースを採用した世界最小の挿抜可能なSSDモジュールである。

Ultra-small detachable SSD module utilizing single-package SSD with PCI Express^(†) interface

フェース規格であるNVM Express^(†)規格が発行され、製品も出始めている。

このような市場環境の変化に応じて、モバイルPC向けの究極の次世代、小型、かつ高性能なSSDとして、わずか幅16 mm, 長さ20 mm, 高さ1.65 mmの一つの半導体パッケージの中に、SSDコントローラと、NAND型フラッシュメモリを封止し、インタフェースにPCI Express^(†)規格を採用したSSDとしては世界初^(注1)のシングルパッケージSSD THNSNN128GTY7とTHNSNN256GTY7を開発した(図1)。また、このシングルパッケージSSDを挿抜可能なカードエッジを備えた基板に実装した幅22 mm, 長さ30 mmの世界最小^(注2)のPCI Express^(†)採用の超小型SSDモジュール THNSNN128GSX7とTHNSNN256GSX7も開発した(図2)。

これらのシングルパッケージSSDと超小型SSDモジュールを併せて、BG1シリーズとして商品化した。

2 製品概要

BG1シリーズの主な仕様を表1に示す。

SSDが広く使われるには、形状や電気仕様などを規格化し、各社から互換性のある様々な仕様のSSDが発売される状

表1. SSD BG1シリーズの主な仕様

Main specifications of single-package SSD and ultra-small SSD module

形状	シングルパッケージSSD		超小型SSDモジュール	
	THNSNN128GTY7	THNSNN256GTY7	THNSNN128GSX7	THNSNN256GSX7
容量 (Gバイト)	128	256	128	256
寸法 (mm)	幅	16	22	
	長さ	20	30	
	高さ	1.40	1.65	2.20
質量 (g)	0.80	0.95	2.30	2.45
物理インタフェース	PCI Express ^(†) Revision 3.0 Gen2 2レーン			
論理インタフェース	NVM Express ^(†) Revision 1.1			

況とすることが重要であるが、そのためには規格そのものが優れたものでなければならない。そこで当社はこれらの製品の形状や信号端子の仕様について、標準化のための業界団体であるPCI-SIG^(†)で規格化活動を推進している。

シングルパッケージSSDは、SSDコントローラとNAND型フラッシュメモリを一つのBGA (Ball Grid Array) タイプのパッケージに入れたものであり、底面に291個のはんだボール端子(以下、端子と略記)を持つ。

電源は、PCで一般的に使われる3.3 V, 1.8 V, 及び1.2 Vの3電源としている。これにより、SSD内部に大規模な電圧変換回路(DC/DCコンバータ(DC:直流))を内蔵せず、最小限のレギュレータを搭載する程度で済むようにしている。また、多電源を必要とする従来のシングルパッケージのNAND型フラッシュメモリを使用したストレージの中には、電源の投入順序や切断順序が定められたものがあったが、この製品では順序を気にせず電源のオン/オフを行うことができ、ホスト側の負担を減らしている。

スマートフォンなどでよく使用されるeMMC^(†)やUFS (Universal Flash Storage)ではBGAパッケージの端子間距離を0.5 mmとしているが、その場合、搭載するボード側には微細配線とレーザ穴加工を繰り返し積層する高価格なビルドアップ型の多層基板が必要となる。スマートフォンのような小型機器では、実装基板面積が小さいので影響は少ないが、PCで使う場合にはスルーホールで層間接続する低価格の貫通多層基板が使えることが望ましい。そのため端子間距離を0.8 mmとした。

端子数は、ホストとの通信、及び電源供給用に必要な端子に加え、その他の役割を持った多くの端子を全面に分散させて配置している。これによりパッケージと実装基板の間の熱抵抗を下げ、実装基板側への良好な放熱特性を実現するとともに、はんだ付けの信頼性を向上させている。

従来のSSDではコントローラとNAND型フラッシュメモリのパッケージが独立であったため、NAND型フラッシュメモリ単独での試験の後にSSDに組み立てることができた。この製

品ではNAND型フラッシュメモリの試験前にパッケージ組立てを行うため、後から試験ができる機能を設けた。更に、予備端子として定義されている端子もあり、将来必要になったときと互換を維持しながら、機能を拡張した仕様に対応できるよう配慮している。

このシングルパッケージSSDでは実装基板の周辺部品を極力減らしている。従来のシングルパッケージのSATAのSSDでは、周辺部品として水晶発振子が必要なものがあつたが、この製品では不要である。その他の特殊な周辺部品も不要で、集積回路で一般的な、差動信号のカップリング用及び電源のデカップリング用コンデンサがあれば十分である。そのため、実装基板に占める実質的な面積も小さくなり、システム基板の小型化に寄与する。これにより、現在主に使われている挿抜可能なSSDのフォームファクタである幅22 mm、長さ80 mmのM.2 2280のSSDを、このシングルパッケージSSDに置き換えると、占有面積の約80%を削減できる。現在の薄型モバイルPCやタブレット端末においては、液晶パネルの裏側にシート状のバッテリーとシステム基板が並んでいる構成が主流である。シングルパッケージSSDの適用によりシステム基板の面積を縮小でき、バッテリーサイズを大きくすることができる。

同時に開発した挿抜可能な超小型SSDモジュールは、M.2 2230（幅22 mm、長さ30 mm）規格に準拠している。この規格では3.3 V単一電源なので、シングルパッケージSSDに加えDC/DCコンバータ回路の搭載が必要になるが、他の実装部品がほとんどないため小さな基板に収めることができた。

インタフェース仕様としては、PCI Express^(*)の低消費電力状態であるL1.2、NVM Express^(*)の自動低電力状態遷移機能などの最新技術を取り入れている。

このように、バッテリーサイズ増大とSSDの低消費電力化により、PCのバッテリー駆動の長時間化に寄与することが期待できる。

3 コントローラ

コントローラは、SSDの低コストと低消費電力を実現するために、DRAMを使用しない回路構成と低消費電力技術を採用したことが特長である。

3.1 DRAMレス

一般的なSSDコントローラはDRAMを使用する回路構成となっているが、近年、SSDの容量増加に伴い必要とされるDRAM容量も増えており、そのコストが無視できなくなっている。そこで、DRAMレスの回路構成を採用することによりコスト削減を図った。

DRAMを使用するSSDの場合、NAND型フラッシュメモリの管理情報などをNAND型フラッシュメモリよりも高速にアクセスできるDRAMに展開することにより、高速に転送を行う

ことができる。しかし、DRAMレスの場合は、コントローラ内の限られた容量のSRAM (Static RAM) で管理情報を取り扱うため、頻繁にNAND型フラッシュメモリへのアクセスを行う必要がある。

この製品ではDRAMを搭載しなくても性能が低下しないように、ユーザーデータや管理情報に関するNAND型フラッシュメモリへのアクセスを、ハードウェアで処理する回路構成を採用しDRAMレスを実現した。

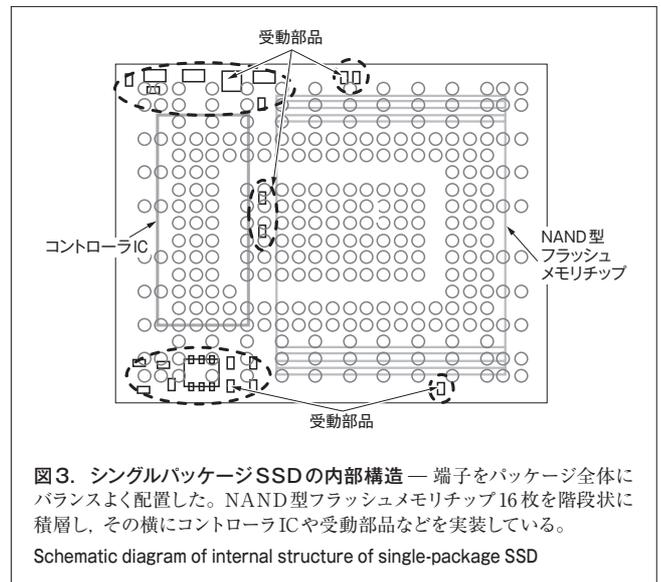
3.2 低消費電力技術

スタンバイ時（待機時）のリーク電流の低減を図るため、低リークセルの比率を上げている。低リークセルは動作速度が遅いので、電圧を標準より上げて速く動作するようにしている。

同時に、周辺回路の電源を遮断しつつ設定データを保持するリテンションSRAM、リテンションフリップフロップを使用することにより、更なる低消費電力化を図っている。

4 シングルパッケージSSDの構造と熱対策

SSDは、HDD互換の2.5型ケースタイプや、mSATA (mini SATA)、M.2規格に準じたモジュールタイプなど、様々なフォームファクタが開発されている。モジュールタイプの実装面積は、例えばM.2 2280タイプでは幅22 mm、長さ80 mmである。一方、このシングルパッケージSSDは、NAND型フラッシュメモリのチップ16枚や、コントローラ、受動部品などSSDの構成部品を一つのBGAタイプのパッケージに組み込んでおり、実装面積は約1/5と高密度な実装になっている（図3）。そのため、コントローラなどから発生する熱により、SSDの性能に制約を与えたり、信頼性の問題が起きたりする可能性がある。そこで、パッケージ内部で発生した熱をうまく放出し、NAND型フラッシュメモリチップの温度が上がらないよう工夫する必要



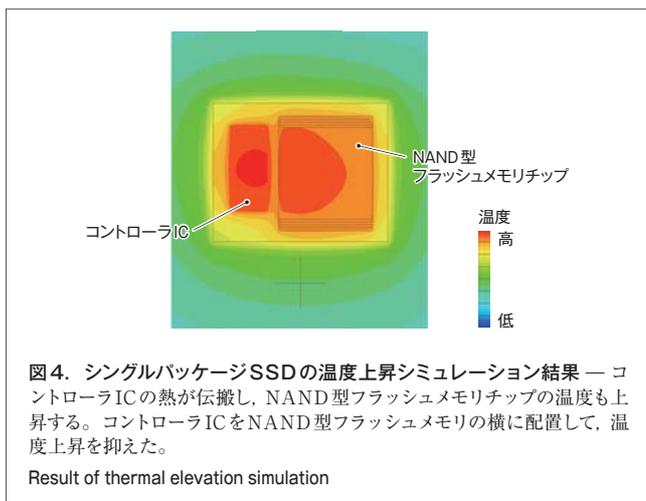


図4. シングルパッケージSSDの温度上昇シミュレーション結果 — コントローラICの熱が伝搬し、NAND型フラッシュメモリチップの温度も上昇する。コントローラICをNAND型フラッシュメモリの横に配置して、温度上昇を抑えた。

Result of thermal elevation simulation

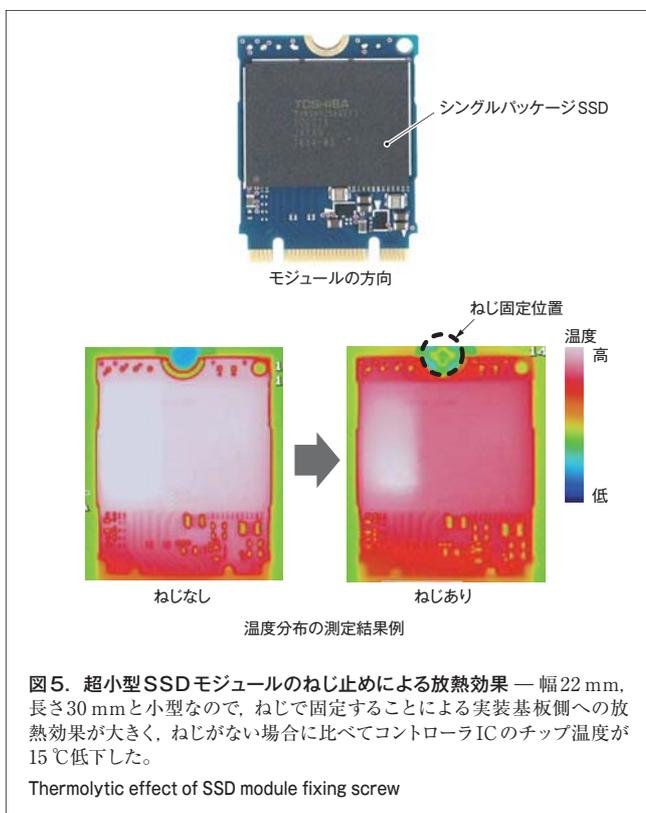


図5. 超小型SSDモジュールのねじ止めによる放熱効果 — 幅22mm、長さ30mmと小型なので、ねじで固定することによる実装基板側への放熱効果が大きく、ねじがない場合に比べてコントローラICのチップ温度が15℃低下した。

Thermolytic effect of SSD module fixing screw

がある。

パッケージ内で発生した熱の大部分は、端子を介して実装基板や筐体へ伝搬する。パッケージ外周も含めて、多数の端子をパッケージ全体にバランスよく配置することで、高い放熱特性が得られる。特にコントローラは発熱量が多いため、NAND型フラッシュメモリチップと重ねずに横に並べてパッケージ基板上に実装し、端子側に熱が伝わりやすい構造として、NAND型フラッシュメモリチップの温度上昇を低減した(図4)。このようなパッケージ構造によって、高密度実装における熱の課題を解決した。

5 超小型SSDモジュールの熱対策

超小型SSDモジュールM.2規格に準拠した2230サイズの中に、シングルパッケージSSDと電源回路などを搭載している。モジュールタイプは、コネクタを経由して実装基板に接続されるため、実装基板側への放熱特性が十分ではなく、モジュールサイズが小さい場合は、モジュール基板自体からの放熱面積も少なくなるため熱がこもりやすい。この対策として、コネクタの対辺側を、規格で規定されているようにねじで固定することにより、温度を下げる効果があることを確認した。評価ボード上に超小型SSDモジュールタイプを搭載した場合の温度分布を図5に示す。上側のねじがない場合は、実装しているシングルパッケージSSDの全面が高温になっているのに対し、ねじで固定した場合は、発熱が多いコントローラ部分を除き、温度が下がっているのがわかる。内蔵の温度センサで測定した結果、コントローラチップにおいて15℃の温度低下を確認した。

6 あとがき

今後も、PCの薄型・軽量化や、タブレット製品の普及は進んでいくと予想される。SSDも、高速動作などの高性能なものだけでなく、今回開発したような小型軽量のタイプも需要が増えていくことが予想される。更に、ノートPCやタブレットの駆動時間を延ばすために、低消費電力化の要求も強くなってきている。当社は、小型・軽量化と同時に、性能とパワーのバランスに優れたSSDを今後も開発し、市場の要求に応じていく。

- PCI Expressは、PCI-SIGの商標又は登録商標。
- NVMe Expressは、NVMe Express, Inc.の商標。
- PCI-SIGは、PCI-SIGの登録商標。
- eMMCは、JEDEC Solid State Technology Associationの商標。



村上 克也 MURAKAMI Katsuya

セミコンダクター&ストレージ社 メモリ事業部 カード・SSD 技術部参事。クライアントSSDの製品開発に従事。Memory Div.



永井 宏一 NAGAI Koichi

セミコンダクター&ストレージ社 メモリ事業部 メモリ応用技術 第二部参事。クライアントSSDの商品企画、及び業界規格活動に従事。技術士(機械部門)。Memory Div.



谷本 亮 TANIMOTO Akira

セミコンダクター&ストレージ社 メモリ事業部 メモリパッケージ 開発部。NAND型フラッシュメモリ製品のパッケージ開発・設計に従事。Memory Div.