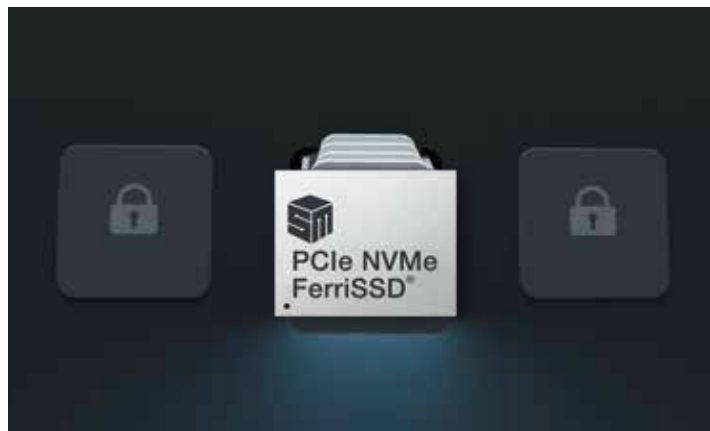


Silicon Motion FerriSSD[®]

高性能FerriSSDs[®]が長寿命とビットエラー対策を両立できる理由

ソリッドステートディスク (SSD) は現代のエンベデッドコンピューティングを支える主要素の一つです。最新の3D TLC (トリプルレベルセル) とQLC (クアッドレベルセル) NANDフラッシュメモリテクノロジーは驚異的な高容量ストレージを実現し、これによってSilicon MotionのFerriSSD[®]ストレージデバイスなどSSD製品でわずか20mm × 16mmサイズのBGA チップパッケージで480GBの大容量ストレージが可能となります。

しかし、外付けSSDベースの高性能NANDフラッシュテクノロジーは欠点が存在しないわけではありません。NANDフラッシュテクノロジーはその処理ノードが小さくなるほど、データ保持性能が明らかに低下しています (データ保持とは、フラッシュメモリが確実に損失や破損なくビットデータを保存できる期間をいいます)。これは、データ保持が10年であることが重要な性能要件である車載用や産業用、医療用のエンベデッドコンピューティングシステムメーカーにとって潜在的な課題です。



そのため、現在、SSDメーカーは競うように、TLCやQLC NANDセルのデータ保持低下の問題を解決でき、高容量NANDメモリの使用によってSSDの長期データストレージ性能を損ねることがない最も効率的なメモリ管理テクノロジーを開発しています。

最先端のSSDのメモリ管理には、複雑なデータ拡張技術やエラー訂正技術が組み込まれています。本記事では、SSDテクノロジーと高性能NANDメモリとの連携により、高いメモリ容量と長いデータ保持を両立させる方法をご紹介します。

ユーザーがデータ保持エラーを経験する理由

1ビットのデータが経年劣化によって失われる電気的プロセスは、ビットが格納されているセルからの電子リークによるものです。電子リークによってセルの電圧が一定の閾値を下回ると、そのビットを読み取ることができなくなります (図1参照)。

このデータ損失がホストプロセッサによるビットエラーの原因になります。ビットエラーの原因は電子リークによる経年劣化だけではなく、プログラミング時や記憶媒体へのデータ書き込み時、メモリからのデータ読み出し時にもビットエラーが発生することがあります。

もちろん、車載用、医療用、産業用のSSDのユーザーが求めているのは、SSDの製品寿命におけるビットエラーレートを限りなくゼロに近づけることです。SSDメーカーがこのビットエラーレートを限りなくゼロに近づけるためには、ビットエラーの原因をすべて管理・補正する技術が必要になります。最新のTLCおよびQLC NANDフラッシュメモリに関連するデータ保持の問題は、特に重要なビットエラーの原因であり、排除や削減することが特に難しい問題です。

データ保持に影響する要因

NANDフラッシュメモリアレイのラボテストでは、2つの劣化要素がデータ保持期間に影響することが明らかになりました。

プログラム/消去サイクル

- メモリセルにデータビットを書き込み、そのビットを消去するプロセスは、セルの消耗と電荷保持能力の低下につながります。
- メモリセルで実行されるプログラム/消去（P/E）サイクルが多いほど、セルのデータ保持期間は短くなります。

高い動作温度

- 高温になるほど、NANDフラッシュメモリセルの経年劣化が速くなるため、データ保持期間が短くなります。図3はこの効果を図示しています。
- P/Eサイクルと極端な高温の2つの要因が組み合わさることで、データ保持期間がさらに短くなります。
- マルチレベルセル（MLC）NANDデバイスの場合、P/Eサイクルが最大数に達すると、85°Cにおいてはデータ保持期間がわずか2日間になる可能性があります。

データ保持問題に関する一般的アプローチ

SSD業界は通常、データ保持問題に対処するために共通して幅広い戦略を採用しています。この戦略は、2つの異なるテクノロジーを組み合わせたものです。

最初のアプローチは、NANDフラッシュの経年劣化の影響によってビットが失われたときに発生するビットエラーの対処です。これらのビットエラーの検出および修正に、さまざまなタイプのエラー検出訂正コード（ECC）が使用されています。

2番目のアプローチは、検出および修正する必要のあるビットエラー数の最小化です。SSDメーカーは、メモリセルの状態を監視し、信頼できなくなったセルを廃止し、老朽化したセルのデータビットを更新して、電子リークが問題になっているセルの電荷量を補充する手法を導入しています。

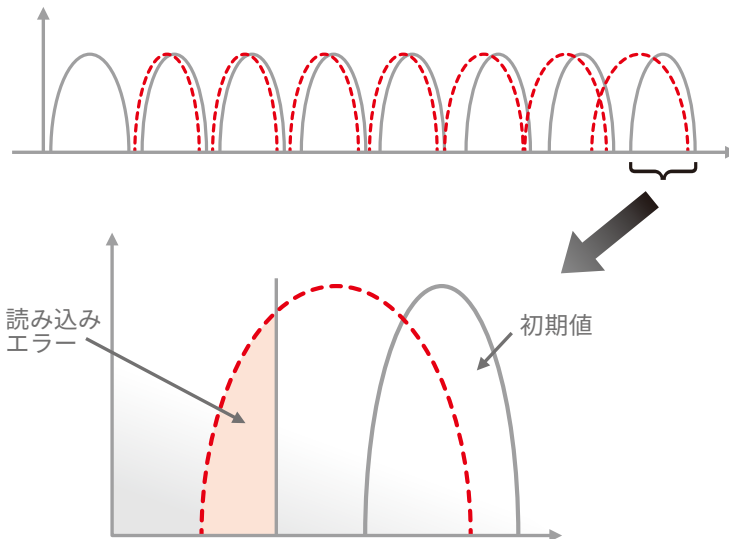


図1：時間経過によって、プログラムされたフラッシュセルから電子が逃げ出し、しきい電圧の低下が発生

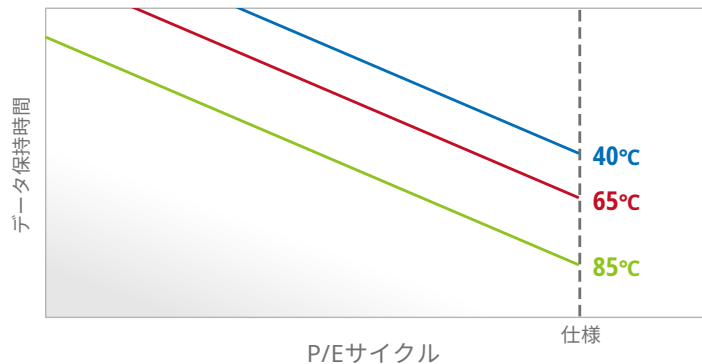


図3：NANDフラッシュセルのデータ保持は、温度が上昇するにつれて劇的に低下(出典：Silicon Motion)

優れたエラー訂正技術がデータストレージのビットエラーを最小化

SSDメーカーがデータの整合性を維持するためのコアテクノロジーは成熟しており、長年利用されています。最初に広く使用されたECCアルゴリズムであるハミング符号は1950年代に開発され、リード・ソロモン符号（RS）とBCHコードがその後導入されました。最近では、高度なエラー訂正コードである低容量パリティ検査符号（LDPC）が、ハードビットエラーとソフトビットエラーの両方を訂正できるため、よく利用されています。

エンジニアがエラーの検出や修正、アルゴリズム実装時の計算負荷の軽減、読み取りおよび書き込み操作のレイテンシ短縮の新しい方法を発見するにつれて、ECCアルゴリズムの多様性が増しています。

したがって、各SSDメーカーは基本的なテクノロジーは広く利用可能ですが、テクノロジーの選択とその実装方法により、データ保持と読み取り速度および書き込み速度の両面において、SSDモデル間に大きな性能差をもたらす可能性があります。

これは、データ保持の効果が各SSDユニットに対して固有かつ独立しているため、ECCとデータ管理システムの導入効果は、SSDユニットへの適応度に依存するためです。

データ保持効果の変動は、ユーザーの行動による場合もあります。一部のユニットは、他のユニットよりも高い動作温度や、多数のP/Eサイクルにさらされています。

また、NANDフラッシュダイの特性は、あるNANDフラッシュメーカーの製品間だけでなく、特定のノードで製造されたNANDフラッシュの単一メーカーの製造バッチ間でもわずかに違うことがあります。

さらに、データストレージ操作はアプリケーションごとに異なります。継続的に消去されて新しいデータに置き換えられるストレージもあれば、別のアプリケーションでは、保存されたデータは何年も変更されないことがあります。

適切なECC操作を実行するSSDは、長期間のデータ保持（データが長期間保存される場合）またはレイテンシ（データが常に上書きされる場合）のいずれかを最適化できるよう操作を調整します。

データ保持テクノロジーの継続的な改善

組み込みストレージ「FerriSSD®」シリーズを製造するSilicon Motionは、産業用、車載用、医療用メーカーの長いデータ保持期間と高速の読み取りおよび書き込み速度へのニーズに応えながら、TLCおよびQLC NANDフラッシュテクノロジーによる高いメモリ容量の利点を十分に享受できるよう対応しています。

Silicon Motion製品は、性能が証明されているNANDXtend®データ保持システムを採用した基盤で構築されています。NANDXtend® テクノロジーは、さまざまなECCアルゴリズムを利用しています（図4を参照）。P/Eサイクルや温度サイクルが少なく、ランダムビットエラーのリスクが低い時、SSDは標準のBCHアルゴリズムを適用して、低レイテンシと高速処理を維持します。SSDは古くなるにつれて、低容量パリティ検査符号（LDPC）ECC、グループページRAIDなど次第に強力なECCスキームを適用します。

現在、最新の第6世代のデータ復元テクノロジーの導入により、ユーザーはECCのアプリケーションをよりきめ細かく最適化することができます。新しい人工知能（AI）と機械学習技術を利用してこの第6世代のテクノロジーによって、個々のSSDはECC操作をアプリケーションの温度サイクルとデータサイクル動作に合わせて実行したり、NANDフラッシュセルの特性に適応して実行できるようになります。第6世代テクノロジーの利点は、SSDの寿命が尽きるまで持続しますが、この時点で通常のランダムビットエラー率が0.6%に達し、強力なECCアルゴリズムの適用が必要となり、たいいていの場合、読み取りおよび書き込み操作が遅くなります。NANDXtendテクノロジーは、競合するSSD製品と比較して、製品寿命到達時でもデータスループットが約2倍に達します。

この改善されたECC操作は、データの整合性とSSDの寿命をさらに保護する他のシステムに支えられています。

- エンドツーエンドのデータパス保護は、SSD内でデータが転送されるすべてのポイントでECCアルゴリズムを適用します（図4を参照）。前述の通り、ユーザーの目標はビットエラーを可能な限りゼロに近づけることです。NANDXtendテクノロジーが経年劣化によって引き起こされるビットエラーに対処し、エンドツーエンドのデータパス保護が内部データ転送によって引き起こされるビットエラーに対処します。

- IntelligentScan（インテリジェントスキャン）およびDataRefresh（データリフレッシュ）テクノロジーは、メモリの電圧と温度状態を監視し、リスクのあるセルのデータを更新します（図5を参照）。NANDフラッシュアレイの寿命を、フラッシュメモリーメーカーが指定するP/Eサイクル寿命をはるかに超えて延長することができます（図6を参照）。IntelligentScan機能には、温度への自動的な反応や、高温で動作中の高頻度のスキャンも含まれています。

セルの酸化層が劣化して十分に再充電できなくなった場合、IntelligentScan機能は、可能であればセルを修復するか、廃棄してデータ整合性に対するリスクを回避します。

Ferri製品のコントローラは、高度なグローバルウェアレベリング技術も導入しているため、P/E操作は、アレイ全体に均等に割り当てられます。

長寿命は厳しい要件でも実証済み

ECCテクノロジーとデータ管理システムをSSDに実装してデータ整合性を維持し、高度なTLCおよびQLC NANDフラッシュメモリ固有のデータ保持の問題を克服することができます。Silicon MotionのNANDXtendテクノロジーは、最も過酷な環境においてもその性能がされています。

特に、Silicon MotionのFerri®シリーズは、AEC-Q100規格に準拠し車載用での利用が認定されています。本製品は、高温下で一連の厳密な加速寿命テストを受けた後にのみ認定されます。欠陥がなく、高い読み取りおよび書き込み性能とゼロディフェクトのデータ保持性能を実証されなければ認定されません。

エンコードありの書き込みフロー



エラーなしデータがホストに送信されます!

デコードありの読み取りフロー



図4：エンドツーエンドのデータパス保護により、内部データ転送が原因のビットエラーを排除

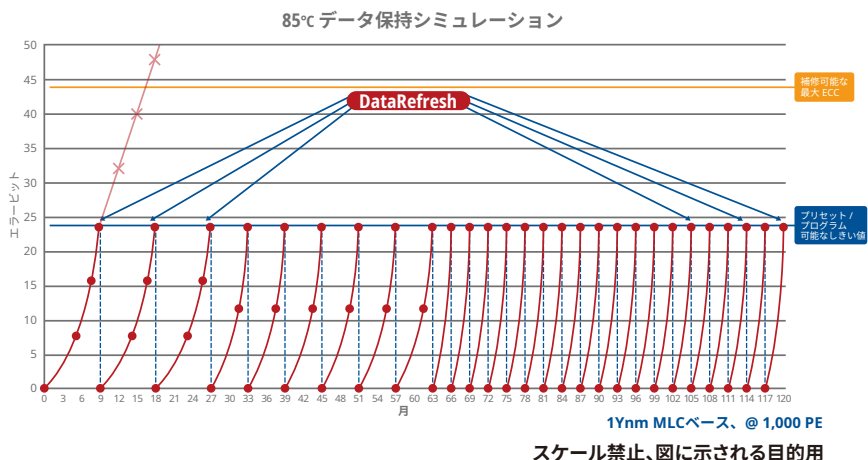


図5：DataRefresh機能は、NANDフラッシュセルが経年劣化後再充電操作の頻度を増加。(出典：Silicon Motion)

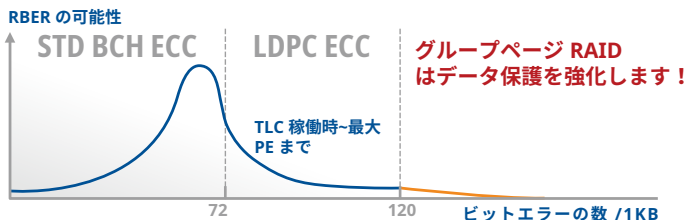


図6：FerriSSDデバイスはECCアルゴリズムの選択を最適化

産業用、医療用グレードの顧客がFerri製品を実際に利用して、最先端のNANDフラッシュメモリテクノロジーに基づく組み込みSSDによってこれらの用途に必要な信頼性と長い動作寿命を実現できることを証明しています。

SSDコントローラの世界有数の独立サプライヤーであるSiliconMotionは、ストレージデバイスのNANDフラッシュアレイ管理において数十年の実績を誇っています。Silicon Motionのハードウェアエンジニアとファームウェア開発者は、最新のNANDフラッシュテクノロジーに関する専門的知識を活かして、高性能で各用途に対応したECC機能を開発しています。

組み込みの世界では、車載用、産業用、および医療用電子システムの製品寿命が長いため、データ保持性能はSSDの選択を決定する重要な要因です。Silicon Motionが最も効果的なデータ保持技術をFerriSSD製品に採用することで、組み込みシステムのメーカーは、選択したストレージデバイスが、製品寿命が尽きるまで確実にデータを保持できるという高い信頼性を手に入れることができます。

Ferri ファミリーについての詳細は、www.siliconmotion.com
または、ferri@siliconmotion.comまで電子メールにてお問い合わせください