

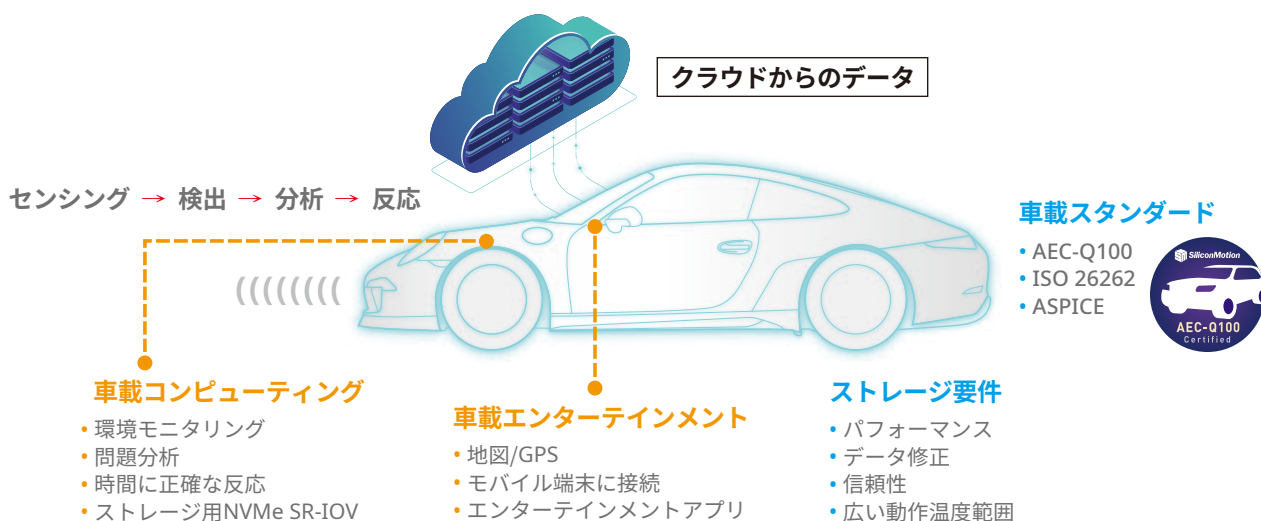
Silicon Motion Ferriシリーズ

AEC-Q100認定エンベデッドストレージ

最新のNANDフラッシュベースストレージが高温にさらされる自動車で高い信頼性を実現できた理由

新世代の各種乗用車へ採用されるようになって、自動化、安全なナビゲーションシステムが身近になってきています。ADAS（先進運転支援システム）は、カメラアレイ、RFレーダー& LiDARシステム（光による検知と測距）、センサー、その他検知システムを駆使して、膨大なデジタルデータを生成、処理しています。インフォテインメントシステムもまた、ドライバーがより優れたナビゲーションや情報システムを、同乗者が助手席や後部座席にエンターテインメント性の向上を求めるにつれ、その市場規模を拡大しています。

機能的に言えば、自動車は車輪付きデータセンターになりつつあり、データセンター同様、膨大なデータストレージへ高速アクセスが必要です。信頼性の問題ゆえ自動車メーカーは、製品寿命が短く機械的故障が発生しやすい従来のHDDストレージデバイスの利用をやめました。



それに代わって、自動車システム設計者は、ソリッドステートドライブ（SSD）やeMMCライブ（eMMC）、UFS（Universal Flash Storage）デバイスなどNANDフラッシュメモリ技術をベースにした大規模なストレージデバイスを利用するようになってきました。NANDフラッシュは、大容量メモリかつ高性能で、メモリ容量と性能のオプションが選択可能なので、SSDと同様に携帯電話、ノートパソコン、その他コンシューマデバイス向け大容量ス

ストレージの推奨技術となりました。つまり、大容量ストレージは今や小さなパッケージ化され、ユーザーは保存したデータに迅速にアクセスし操作できるようになったということです。

これらの特性は自動車メーカーにとっても重要です。車載アプリケーションには特別な要件があるために、NAND ストレージを選択するにあたって重要な疑問が提示されることとなりました。

- **性能**：運転支援システムやナビゲーションなどとして利用する場合、レイテンシは重要な性能指数です。自動車メーカーはデータの高速読み取り&書き込み、高スループットを必要としています。
- **データインテグリティ**：読み取り書き込み動作は、データの消失や破損の原因になるビットエラー発生リスクをもたらします。信頼性は、自動車市場における重要なファクターであり、ストレージデバイスにおいて、データインテグリティは信頼性の重要な指標です。
- **データ保持**：携帯電話のようなコンシューマデバイスと異なり、自動車の動作寿命は少なくとも10年であると期待されています。自動車メーカーは、自動車寿命までの間はNANDストレージがデータを保持できるよう求めています。

自動車にとって、大容量ストレージデバイスなどの電子部品の長寿命と長期的な信頼性は重要な基準です。自動車業界は、85°C以上の温度でも長い製品寿命の間に欠陥ゼロを達成することを目的として、AEC-Q100規格に準拠した厳格な認定テストを車載用電子制御装置（ECU）で使用される集積回路に適用しています。

部品の欠陥をゼロまで減らすという目標は非常に重要です。自動車は寿命の長い製品で、部品数も多いので、自動車メーカーのブランドへの評判の低下は言うまでもありませんが、稼働中の車両に対する既知の障害を修正するには莫大なコストがかかるためです。

この問題をわかりやすく説明するため、1,000個の部品で構成される電子制御ユニット（ECU）を想像してみてください。ECUメーカーが1ppmの欠陥率を許容した場合、この単一のECUだけで、10万台の車両に起こりうる1,000件の障害の原因になります。調査会社 IHSマーケット社の2019年の報告によると、高級車は150台のECUを搭載することができます。

これが、自動車業界が欠陥ゼロの目標を課している理由です。そして、この目標を達成するための戦略が、さまざまなAEC-Q10x標準で体系化されたコンポーネント認定プロセスを適用することです。例えば、AEC-Q100認証の基準は非常に厳しく、数多くのテスト項目で部品の信頼性を検証します。主な信頼性テストの内容は以下の通りです。

- 加速環境ストレステスト
- 加速寿命テスト
- パッケージングおよび組み立てテスト
- 金型製作テスト
- 電氣的検証
- 欠陥スクリーニング
- 包装完全性試験

この認定プロセスは徹底的に行われ、潜在的な欠陥部品の排除に効果的であることが証明されています。テストに合格し、AEC-Q100基準をクリアした部品は、一連の厳しい環境条件および利用条件において、非常に高いレベルの信頼性と完全性を実証しています。



NANDフラッシュベースのストレージ製品がAEC-Q100認定で達成するのが最も難しい項目の1つは、高温加速寿命テストに合格することです。ストレージシステムは、AEC-Q100のグレード3認定の場合は最大85°C、グレード2認定の場合は最大105°Cの連続使用温度で信頼性の高い動作を維持する必要があります。また、Silicon MotionのFerriシリーズなどコンパクトなチップスタイルのパッケージは、コンピューティングアクセサリとして使用される一般的な自立型SSDよりも熱経路が制限されています。

車載用ストレージデバイスの信頼性の高い動作とデータインテグリティを維持するために、Silicon Motionは、NANDフラッシュメモリ制御で長年の実績を活かした独自のさまざまなテクノロジーを適用しています。これらのテクノロジーを理解することで、自動車システム設計者はNANDフラッシュベースのストレージデバイスが自動車利用に十分な堅牢性と信頼性を備えていると確信するでしょう。

高温化におけるNANDフラッシュセルの動作

テクノロジーでNANDフラッシュセルへの高温の影響にどのように対処できるかを確認するには、これらのセルの動作を理解することが重要です。フラッシュメモリでは、データビットはセルに蓄積された電荷（電子）で表示されます。NANDフラッシュテクノロジーが初めて市場に登場したとき、メモリアレイはシングルレベルセル（SLC）で構成されていました。SLC NANDでは、セルは1ビットのデータ（1または0）を格納します。

技術の進歩に伴って、NANDフラッシュチップメーカーは、セルあたり2ビット/セルのマルチレベルセル（MLC）テクノロジーを開発、続いて3ビット/セルのトリプルレベルセル（TLC）テクノロジー（図1を参照）を開発し、より高密度のメモリ要求に応えました。これは、NANDフラッシュの世代が新しくなるほどにビットあたりのセル容量が減少していることを意味しています。NANDセルのサイズも、半導体製造プロセスが古いプロセスノードから最新のサブ10nmノードに改良されるにつれて縮小します。

現在の高密度TLC NANDフラッシュデバイスは、Silicon MotionのFerriSSD®などのストレージデバイスが、わずか20mm x16mmの小さなフットプリント、表面実装BGAパッケージで最大480GBのデータ容量を実現できることを意味しています。

NANDフラッシュ種類

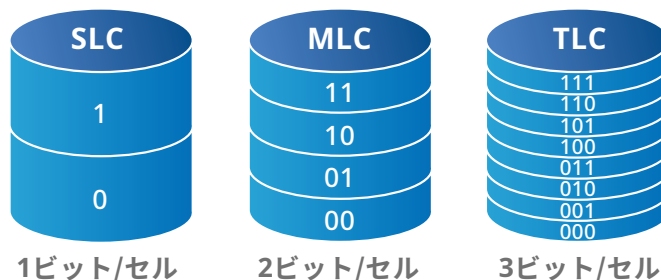


図1：NANDフラッシュチップメーカーは、セルあたり2ビット/セルのマルチレベルセル（MLC）テクノロジーを開発し、続いて3ビット/セルのトリプルレベルセル（TLC）テクノロジーを開発。

ただし、TLCセルのサイズが小さいということは、SLCセルよりも早く摩耗することを意味します。これは、ストレージデバイスに組み込まれるフラッシュコントローラにおいて考慮せねばならない事柄です。プログラム/消去（P/E）サイクルは、P/E操作が実行されるセルの酸化物層をわずかに劣化させます。小さいTLCセルは大きいSLCセルよりも酸化物層が薄いため、劣化が速く、平均して耐えうるP/Eサイクルは少なくなります。本書で以下に説明するように、独自のNANDXtendテクノロジーでこのFerriシリーズのストレージデバイス上の問題を解決します。

NANDフラッシュセルも時間の経過とともに電子漏れが発生します。セルから漏れる電荷が多すぎると、そのデータを読み取ることができなくなります。「データ保持」（セルにデータを保存できる時間の長さ）は、実行されるP/Eサイクルが増えるにつれて低下します。また、図2に示すように、熱は電子漏れを促進するため、温度が上昇するとデータの保持も急速に悪化します。

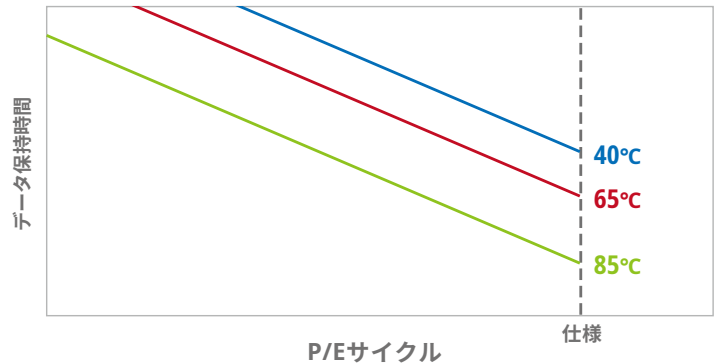


図2：NANDフラッシュセルのデータ保持は、温度が上昇するにつれて劇的に低下(出典：Silicon Motion)

したがって、これは、インフォテインメントシステムなどの車載アプリケーション用途のNANDフラッシュベースストレージデバイスにとっては問題となります。自動車のセンターコンソールでは、インフォテインメントECU が85°Cの高温で動作する必要がある場合があり、ただし、マッピングやナビゲーションなどのインフォテインメント利用では、データの損失は許されません。また、AEC-Q100規格では、85°Cまでの温度でテストした場合に欠陥をゼロにすることが義務付けられています（グレード3認定の場合）。

これは、SiliconMotionストレージコントローラと実行するファームウェアが解決できる問題です。

ストレージコントローラの中心的役割

NANDフラッシュベースのストレージシステムは、次の2つの基本要素で構成されています。

- NANDフラッシュアレイ
- NANDフラッシュコントローラIC

コントローラの基本的な役割は、NANDフラッシュセルと、メモリへの書き込みとメモリからの読み取りを行うホストプロセッサとの間のブリッジです。コントローラは、セルのアドレスへのビットのマッピングを管理します。

Silicon Motionは、NANDコンポーネントを管理する専用コントローラICの開発に20年以上の実績を誇ります。NANDの特性を熟知しているため、高度に最適化されたICと関連するファームウェアコントローラプラットフォームの両方を設計できます。実際、Intel、Kioxia、Micron、Samsung、SK Hynix、Western Digital、YMTC製の3Dフラッシュ製品を含む多くのNANDフラッシュコンポーネントが、他のどの企業よりもSilicon Motionコントローラのサポートを受けています。

SiliconMotionのNANDフラッシュの高温での動作への理解が、Ferriストレージ製品の動作を支えています。これらの製品はすべて、AEC-Q100グレード3および2に認定されたバージョンで利用できます。

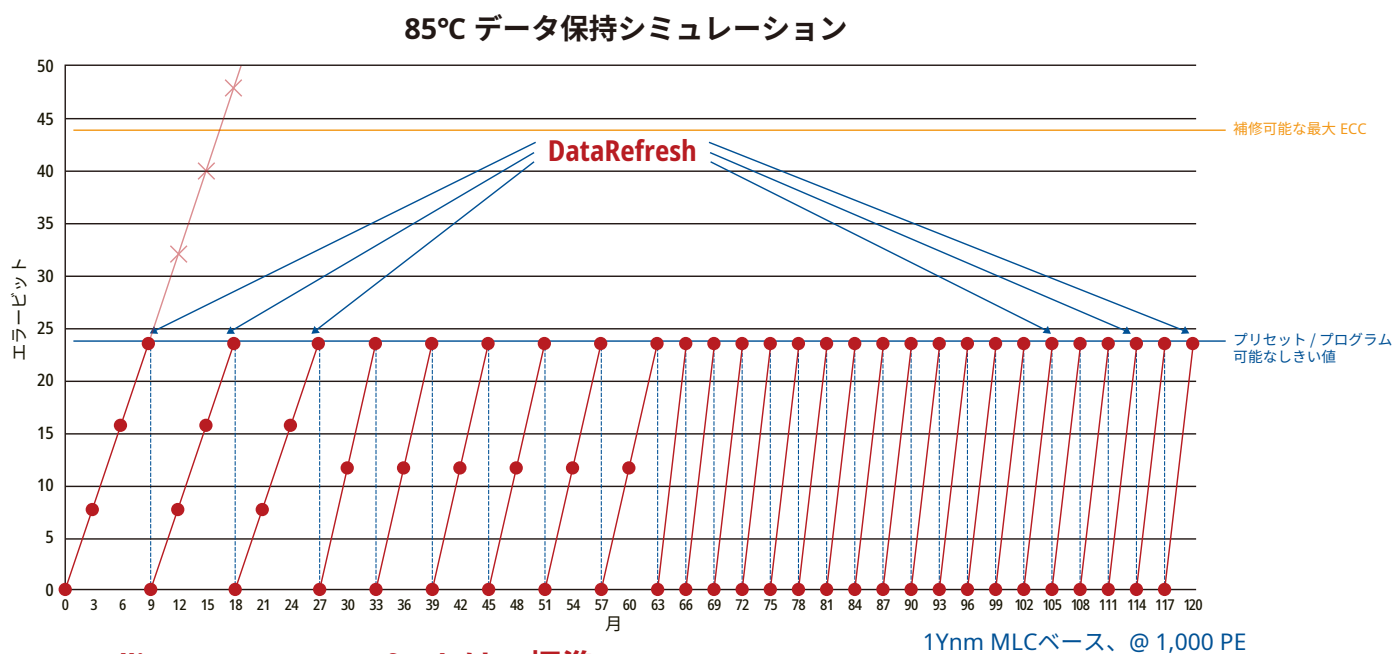
コントローラテクノロジーがデータ保持を拡張

図2に示すように、高温でのNANDフラッシュメモリセルからの電子漏れの加速によってデータ保持時間が大幅に短縮され、最大定格P/Eサイクル数を経たMLCセルの85°Cにおけるデータ保持時間がわずか2日まで短縮されてしまいます。

アレイ内の各セルの電圧を監視して、リークが危機状態に進行したセルを検出し、リスクのあるセルを再プログラムすることがSilicon Motionのソリューションです。「IntelligentScan + DataRefresh」技術を採用したFerriシリーズ製品は、NANDフラッシュアレイの寿命を、フラッシュメーカーが指定する公称P/Eサイクル寿命をはるかに超えて延長することが可能です(図3参照)。また、温度に応じて自動的に反応し、高温時にはより頻繁にスキャンを行うなど、IntelligentScan機能には柔軟性が盛り込まれています。

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機能がセルを可能なら修復または排除して、データインテグリティに対するリスクを防止します。

また、Ferriシリーズのコントローラには、高度なグローバルウェアレベリング技術が実装されていますので、P/Eオペレーションつまりウェアをアレイ全体に均等に割り当てることができます。



IntelligentScan/DataRefresh は、標準の NAND

フラッシュの限界を超えて、データ保持を効率よく延長

スケール禁止、図に示される目的用

図3：NANDフラッシュのセルが劣化すると、DataRefresh機能によって再充電動作の頻度が高くなる(出典：Silicon Motion)

最適化された動作を実現するNANDフラッシュセルの構成

Silicon Motion のAEC-Q100認定ストレージデバイスに組み込まれたコントローラは、TLC NANDフラッシュの動作を構成してデータインテグリティを拡張する機能もユーザーに提供しています。Ferri シリーズに搭載されているSLCMode™機能は、TLCまたはMLCセルを仮想的にグループ化して1ビットのSLCに似た構造にします。これは、公称記憶容量（TLCモード）がオーバースペックであるユースケースに最適です。SLCMode機能をオンにして動作すると、公称容量は減少しますが、SLCのようなデータ保持とデータインテグリティの性能が得られます。

Ferriシリーズは、SLCモードに加えてMLCモードでの動作も可能ですので、ユーザーは用途に応じてデータインテグリティと容量の理想的なバランスを選択することができます。さらに、SSDの健全性を自動的に監視し、ブロックやページが危険にさらされている場合には、コントローラがデータ保護やエラー訂正処理を実行するSSDLifeGuard™機能を提供しています。

NANDセルの動作を延長して10年超え

車載用ストレージデバイスのAEC-Q100認定では、高温で欠陥ゼロの性能が求められます。これは、85°C以上の高温でNANDセルからのデータ漏洩が加速するため、NANDフラッシュベースのデバイスにとって非常に難しい要件です。Silicon MotionのFerriシリーズが車載用で105°Cまで動作可能であると認定されていることは、当社がNANDフラッシュアレイの管理のために開発したIntelligentScan + DataRefreshなどの独自技術の有効性を証明しています。

車載用ストレージ製品の最適化は、当社の車載市場への取り組みの結果であり、当社の取り組みは、IATF 16949、ASPICE、VDA 6.3をはじめとする自動車業界のあらゆる規格に準拠していることでも有効性が証明されています。

Silicon Motionは、産業用SSDコントローラと組み込みストレージデバイスの市場におけるトップメーカーとしての地位を確立しており、自動車メーカーは安心感を得ることができます。当社は、NANDフラッシュコントローラ技術に特化したトップクラスの専門メーカーであり、NANDコンポーネントを管理する特殊なプロセッサICの開発に20年以上の実績を誇ります。当社は、過去10年間で60億個以上のNANDフラッシュコントローラを出荷しており、この出荷数は世界の競合他社を上回っています。

今や各自動車メーカーは、Silicon MotionのFerriシリーズの寿命、データ整合性、データ保持力が10年それ以上におよぶ自動車の寿命にわたって、ユーザーの期待に応えるものであることを確信し、インフォテインメントやADAS用のECUに頑丈なソリッドステートストレージを組み込むことができます。

1 IHS Markitレポートは以下の箇所で引用されています。

<https://www.eenewsautomotive.com/news/number-automotive-ecus-continues-rise>

Ferri ファミリーについての詳細は、www.siliconmotion.comをご覧ください。
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