

長期間利用される 組込みプラットフォームの ライフサイクル保証

長年にわたるサービス寿命をカバーする、安定した組込みストレージの必要性

長期間利用される組込みプラットフォームは、現場で10年以上稼働します。導入後、再び点検されることはまれです。そのため、稼働期間を通じて、コンポーネントが安定した動作を続ける必要があります。



初期の適格性評価が表すのは、その時点でのデバイスの状態だけです。以後、サプライチェーンで更新が行われると、タイミングマージンが変わったり、ECC ヘッドルームが減少したり、ウェアレベリングなどのバックグラウンド動作が変化したりする可能性があります。こうした変化は、標準的な検証では判明せず、後に実際の運用条件で、断続的なエラー、レイテンシの悪化、予期しない復旧イベントとして表面化するおそれがあります。

組込みストレージは繊細です。これは、動作がコントローラ、NAND、ファームウェア、電源状態の影響を別々に受けるのではなく、これらが実際どのように相互作用するかによって左右されるからです。

これらのレイヤーの1つにでも変化があれば、レイテンシの変動、ECC マージンの減少、バックグラウンドアクティビティ (ガベージコレクションやウェアレベリングなど) の変化が生じる可能性があります。その影響が検証中に判明するとは限りません。これらは連続的な書き込み、低電圧イベント、温度限界への到達など、ストレス下で顕在化する傾向があります。こうした状況では、バックグラウンド動作がホストアクセスと競合し、エラー率が上昇し始めます。

民生フラッシュメモリ市場の発展は急速です。NAND プロセスの微細化、コントローラの変更、ファームウェアの改訂が発生します。こうしたアップデートは、コスト低減と高密度化につながりますが、デバイスの挙動も変化させます。その結果、適格性評価後のデバイスがサービス寿命を通じて同じ挙動を示すことが期待される、長寿命設計とのミスマッチが生じます。

ストレージ選定は、その必要性から早期に行われます。デバイスの適格性評価は定められた条件下で行われますが、こうした条件は現場の完全な再現では決してありません。導入後、システムは温度の周期的な変化、不安定な電源、振動、不規則な書き込みパターンにさらされます。こうした条件下では、リードディスタース、リテンションの消失、ライトアンプリフィケーションなどの異常メカニズムが大きな影響を及ぼします。レイテンシの変動が増加し、ECC マージンの消費が早まり、バックグラウンド動作とホストアクセスの競合が始まります。

この時点で、公称パフォーマンス値の妥当性は失われます。問題は、連続的なストレス下でのストレージの挙動と、その挙動の安定性を長期的に維持できるかどうかです。

長寿命設計における統合ストレージ

ディスクリートの NAND とコントローラを用いると、長期的な管理が難しい可変要素が入り込みます。NAND のリビジョン、コントローラの変更、ファームウェアのアップデートが発生すると、当初の適格性評価時の構成と同じような動作が維持されるとは限りません。

コントローラと NAND を単一のマネージドデバイスに統合すると、この依存が軽減されます。フラッシュ管理、ECC、ファームウェアの開発と検証は、外部のペアリングに依存せずに、一体として行われます。これにより、ライフサイクル中に後から発生したコンポーネントの置き換えが原因で、挙動が変化するリスクを抑えられます。

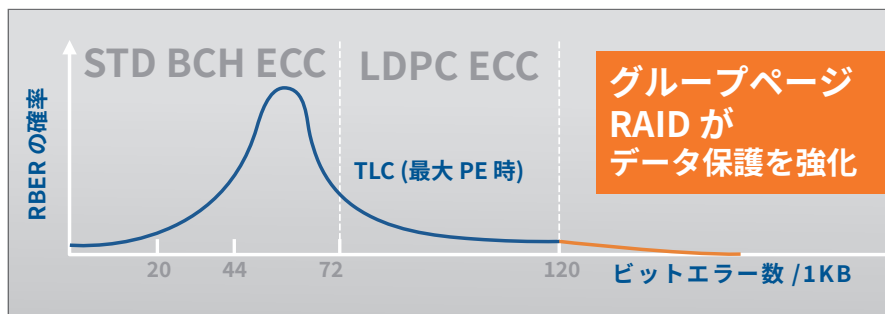
長期間利用されるシステムでこれが重要な理由は、適格性が単にインターフェースに対してではなく、定められたデバイス構成に結びつけられているからです。NAND の世代やプロセスの変更が、エラー率、耐久性、レイテンシの挙動に影響する可能性があります。これらの影響をデバイス内で管理すれば、ホストシステムに影響が及ぶことを防げます。

Ferri ファミリーはこのアプローチを採用しており、管理された BOM 構成とライフサイクル管理を行います。デバイスは、異なる NAND リビジョン間で完全な互換性のある部品としては扱われません。この点が、適格性評価ユニットと生産ユニットの長期的な整合性維持に有用です。

NAND の劣化とデータ完全性の管理

プログラム / イレースサイクルとリテンション時間により、NAND の特性は劣化します。アクセスの繰り返しのより、生ビットエラー率が上昇し、リテンションマージンが減少し、リードディスタースが蓄積します。

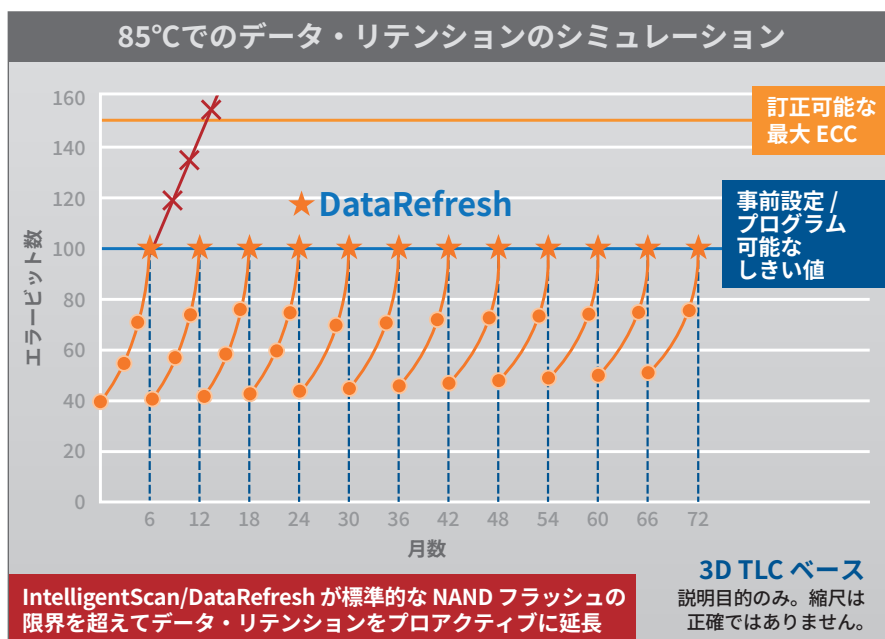
この対策に FerriSSD は NANDXtend を用います。これは、LDPC エラー訂正機能と内部データ保護メカニズムを併用し、NAND が劣化する中でもデータ完全性を維持する技術です。耐用期間を延ばすため、ECC の強度と管理戦略は、コントローラ内で調整されます。



NANDXtend は NAND の長寿命化とデータ完全性の維持に貢献します。

劣化の管理には、バックグラウンド管理も利用します。IntelligentScan はブロックの状態とエラー率を監視し、耐用限界に近づいている領域を特定する機能です。DataRefresh はデータを再配置して、長期的にリテンションマージンを維持し、リードディスタースの影響を軽減します。

こうしたメカニズムはデバイス内で動作し、ホスト側で存在が意識されることはありません。そのため、NAND の経年劣化の影響をシステムレベルで管理する必要が減ります。



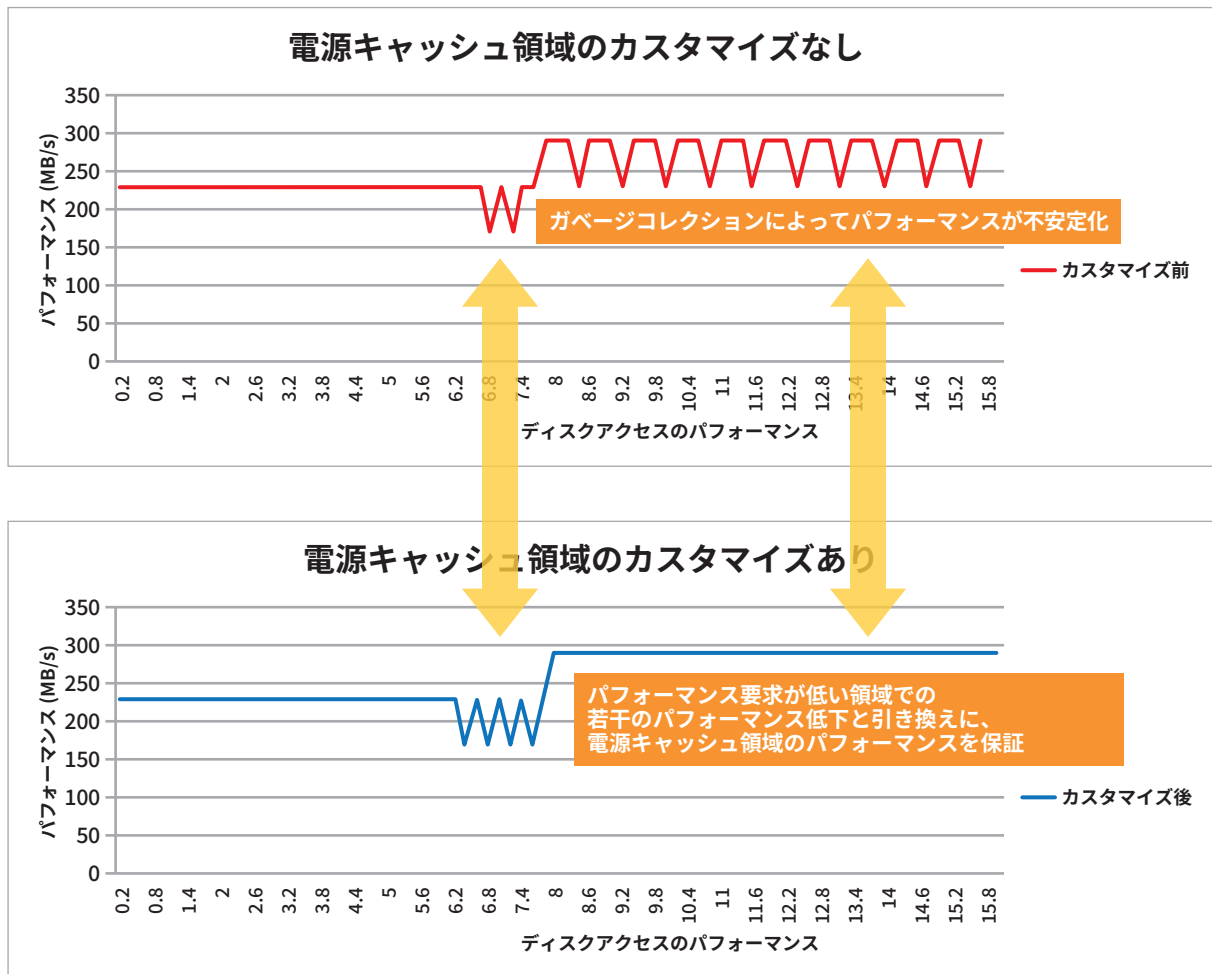
IntelligentScan と DataRefresh がデータ消失防止およびエラー訂正機能を確実に強化し、SSD の耐用年数を延長。

不安定な電源条件下での挙動

電源の不安定性は、組込みシステムで一般的な条件です。プログラム / イレース動作中に発生した電圧の低下や遮断により、マッピングテーブルやメタデータの一貫性が失われる可能性があります。

適切に対処しなければ、アドレスマッピングの破損、アクセス不能なデータ、デバイスレベルの復旧イベントが生じるおそれがあります。

FerriSSD に搭載された内部メカニズムは、電源障害時にマッピングの完全性を維持し、次の電源投入時に整合性を回復します。具体的な実装はデバイスごとに異なりますが、その目的は、不完全な動作の発生時に、重要なメタデータ構造の破損を防ぐことです。



安定した速度の即時データ移行を可能にする IntelligentFlush™ により、安全なストレージブロックにデータを素早く移動できます。

デバイスレベルのセキュリティ

ストレージの完全性を左右するもう 1 つの要素が、不正な改ざんに対するデバイス保護です。

FerriSSD は個々のモデルに応じて、セキュアブート、ファームウェア認証、ハードウェア方式の暗号化などのセキュリティ機能をサポートします。これらの機能により、ストレージデバイスの信頼性が要求される、システムレベルのセキュリティアーキテクチャへの統合を可能にします。

同じシステム内でさまざまな役割に対応

組み込みプラットフォームには、しばしば複数のストレージ要件が含まれます。スループットとレイテンシの優先度が高い、高パフォーマンスのサブシステムでは、PCIe NVMe 方式の FerriSSD デバイスが有効です。電力とサイズの制約が厳しいコントロールサブシステムには、eMMC 5.1 規格に準拠した Ferri-eMMC デバイスが一般に使用されます。

同じ製品ファミリーのデバイスを使用すると、システムのさまざまな部分で一貫性のあるライフサイクル管理、サポート、ストレージアーキテクチャが提供され、システム統合、適格性評価、調達を簡素化できます。特定のインターフェース要件、機能仕様、業界認証を満たすため、個々のサブシステムの追加検証が必要となる可能性は残りますが、共通のストレージプラットフォームは開発の複雑さの軽減と、長期的なメンテナンス性の改善に役立ちます。

長期的な整合性の維持

長寿命システムの課題は、初期の適格性評価と、後の生産段階の間で整合性を維持することです。

コンポーネントレベルの変更により、レイテンシの挙動、エラー率、バックグラウンド管理アクティビティに差異が生じる可能性があります。この変化は、すぐに表面化するとは限りませんが、長期的な不安定性を引き起こしかねません。

管理された構成を持ち、ライフサイクルサポートが明示されたストレージデバイスであれば、このリスクが軽減されます。適格性評価時に検証された挙動が実稼働ユニットでも再現されるため、再評価の必要性が抑えられ、コンポーネントの変化に関連して現場で問題が発生する可能性も減ります。

システム設計とサポートも簡素化されます。長期的な変化を考慮する必要がない、安定したデバイス特性に基づいて、ソフトウェアとハードウェアを開発できます。

ピークパフォーマンスよりも長期的な挙動が重要

長期間利用されるシステムでは、ピークパフォーマンスよりも、長期的な動作の安定性が重要です。

Silicon Motion の Ferri ファミリーは、NAND の挙動を内部で管理し、検証されたパフォーマンス特性との整合性を製品ライフサイクル全体で維持するように設計されています。統合、ライフサイクル管理、NAND 劣化の内部管理により、長期の導入条件でも信頼性の高い動作をサポートします。

この整合性の有無によって、システムが期待どおりに動作を続けられるか、または導入後に診断が難しい断続的な異常を示し始めるかが決まります。

Ferri ファミリーの詳細については、www.siliconmotion.com をご覧いただくか ferri@siliconmotion.com までメールにてお問い合わせください