

Silicon Motion's Ferri Family

自動車向け組込みフラッシュベースストレージ

新しい自動車設計におけるカーインフォテインメントシステム (IVI) は、大容量のデータストレージへの要求が高く、需要は高まる一方です。車内メモリフットプリントはマップ表示、ナビゲーション、音楽、エンターテインメント、スマートフォン表示のミラーリング、その他IVIアプリケーションなどによって占有されます。高級車に搭載されるデータストレージの容量は2014年時点で32GBであったのに対し、2020年には256-512GBにまで増加することが見込まれています。

一時は大容量データストレージ技術と言えばハードディスクドライブ (HDD) を意味していましたが、信頼性や製品寿命の観点から、より新しい技術であるソリッドステートドライブ (SSD) や組込みマルチメディアカード (eMMC) へと移行してきました。

データストレージ向けSSDソリューションは、自動車メーカーの高い要件にかなうものであると言えます。高い品質と信頼性を実現するため、コンポーネントやモジュールの製造プロセスや製品認定に対して設けられた要件が非常に厳しいためです。HDDとは異なり、SSD、eMMCやUFSは駆動体を持ちません。つまり技術的故障がなく、衝撃や振動に強いということです。

しかしながら、SSD、eMMCやUFSに搭載されたNAND Flashアレイは、生来、正しく管理しても、データ破壊やデータ消失を引き起こす可能性があります。そのため、SSDを搭載した電気機械システムを

交換しても、長期に亘る信頼性の確保を保証することはできません。ここではSSDの故障の種類を示し、高性能かつ長寿命のSSD、eMMCやUFSを実現するための最新技術や処理について説明します。

MLC NAND 傾倒の自動車産業

NAND Flashは、スマートフォン、タブレット、メディアプレーヤー、セットトップボックスなどに使用される基本メモリであり、SSD、eMMCやUFSのストレージメディアでもあります。NAND Flashには主に以下の3種類があります。Single-Level Cell (SLC)、Multi-Level Cell (MLC)、Triple-Level Cell (TLC)です。最新版TLCである3D TLCは、TLCを超えるメモリ密度を実現するために、スタック構造となっています。MLC Flashのメモリ密度はTLCより低く、SLCより高いのが特徴です。

自動車用SSD、eMMCやUFSにはMLC NANDが使用される傾向にあります。それは、低コストで高密度、高性能な製品製造が可能であり、データ消失やデータ破壊の発生率がTLC NANDよりも低いことが理由です。MLC NANDベースのeMMCの場合は最大64GB、MLC NANDベースのSSDの場合は最大512GBというのが一般的容量です。

MLC NAND Flashの使用については、データの整合性や維持に若干のリスクがあると言われています。それはどのようなリスクであり、ユーザーはSSD、eMMCやUFSメーカーに対してどのようなリスク管理を望んでいるのでしょうか？

SSD/eMMC/UFS 製品のリスク評価

NAND Flash アレイにある故障やデータ消失リスクは、以下の段階で発生します。

- ・初期故障は、新製品組み立て直後に発生します。NAND Flash の製造過程は変則的であるため、不良ブロックや不良セルの存在が課題となっています。
- ・定格寿命の間には、ホストと NAND Flash アレイの間でやり取りされるデータ通信時のビットエラー、電断、データリテンションに影響を与える熱応力、リードディスターバンスなど、データ破壊や消失の可能性が多数存在します。
- ・寿命到達時 - NAND Flash にはプログラム/イレース (P/E) サイクルで測定されたサイクルライフがあり、この数値に到達するとメモリセルに故障が発生するようになります。

最初の 2 つの故障は、自動車システムでは到底受け入れられない課題です。そのため、Silicon Motion は Ferri ファミリーについて、故障やデータ消失の発生を最小限に抑える、もしくは防ぐための技術を開発してきました。

これらの技術により、AEC-Q100 認定を受け自動車業界の信頼性および長寿命への妥協なき要件を満たす FerriSSD および Ferri-eMMC 製品をお届けできるようになりました。Ferri ファミリー製品は、データの整合性、長寿命、SSD ブートローダーの性能を向上させる、以下の機能を備えています。

- ・全セル、ページ、ブロックの完全スクリーニング、出荷前の厳密な品質管理により不良混入率を低減
- ・NANDXtend ECC 技術によるエンド・トゥ・エンドデータ保護
- ・ビットロス回避し、データリテンション期間を引き延ばす IntelligentScan & DataRefresh

Ferri ファミリー製品には NAND 故障分析機能が搭載されています。Silicon Motion は、NAND Flash メモリ開発において長年蓄積してきた知識を効率的なデバッグに活用し、アクションプランと共に深い分析レポートを提供しています。

初期故障スクリーニング

初期故障の原因となる、ダイの中の不良メモリブロックは、定格動作温度を超えるとほぼ故障します。Ferri ファミリー製品の動作温度は、 -40°C から $+85^{\circ}\text{C}$ です。すべての NAND Flash ダイの全セル、ページ、ブロックを高温 (85°C) で焼き込むことで、不良ブロックを持つ製品を排除しています。これらのパーツは破棄し出荷の対象とはなりません。

そのため、Ferri ファミリー製品の出荷率は下がりますが、自動車メーカーへ向けて出荷する Ferri ソリューションの不良混入率が非常に低いのはそのためです(図 1 参照)。

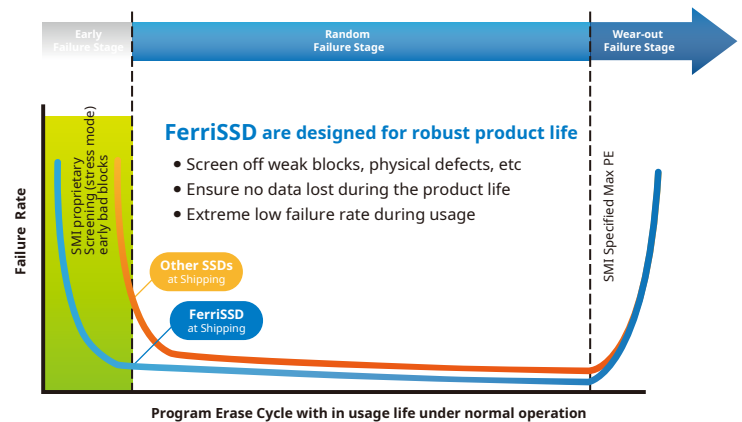


図 1: 不良ブロックを除去して初期故障を防止するための高温スクリーニング

通常操作におけるデータ消失を防止するために

Silicon Motion 独自のストレステストにより、初期故障を排除しますが、NAND Flash は本来、通常操作でデータ破壊や消失が起こりやすいという性質を持っており、次の3つの理由が挙げられます。

- ・突然の停電
- ・通信中のデータ消失
- ・熱ストレス下での不完全なデータリテンション動作

SPOR の正しい扱い方

自動車システムは突然の電断が発生しやすく、また自動車用システム ソフトウェアも必ずしも SSD または eMMC に対して適切な Power Down コマンドを発信するようには設計されていません。突発の電断と回復 (SPOR) プロセスが導入されていなければ、データの消失やストレージシステムがクラッシュします。このようなリスクを排除するために、Ferri ファミリー製品では Silicon Motion 社独自のファームウェアが SSD や eMMC コントローラに組み込まれているため、SPOR 対策となってデータの整合性を保証しています。

優れたエラー訂正機能

エラー訂正符号 (ECC) の管理は、NAND Flash コントローラの通常機能ですが、ECC の目的は、データストリームの NAND Flash アレイへの読み書き時に発生するビットエラーを訂正することです。NAND Flash 型システムに ECC を組み込む方法はいくつもあり、そのうちのいくつかは非常に優れたエラー訂正を実現します。

自動車メーカーは極めて高い品質標準を目指しており、究極的にはエラーゼロを求めています。そのため、Silicon Motion は自動車市場向けに、Ferri ソリューションの中に最強のエラー訂正機能を組み込みました。

まず、データパス全体を通じてエンド・トゥ・エンド誤りエラー訂正技術を組み込みました (図 2 参照)。これにより、NAND Flash アレイ側での読み書き処理のみならず、バッファメモリ (SRAM や DRAM) 内でも誤りを訂正できるようになりました。NAND Flash アレイ側、バッファメモリ側、Ferri ファミリー製品とシステムホストプロセッサの間のインターフェイスでの CRC チェックサムテストを通じて、より確実なデータ通信が実現します。

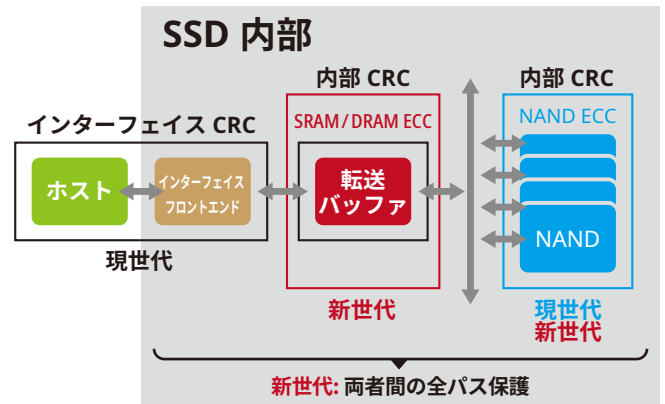


図 2：自動車システム向け Ferri ソリューションに導入されたエンド・トゥ・エンド データパス保護

次に、データ保護を拡大し、NAND Flash ブロックで何度もプログラム/イレースサイクルが行われると発生するビットエラー率を低減させました。ECC 向けの従来の BCH または RS 技術は、ビットエラー率が低い時には完璧にデータ訂正を行いますが、NAND Flash アレイは使用年数が長くなるほどビットエラー率が高くなります。従来のコンシューマー向け SSD や MMC では、BCH または RS アルゴリズムの性能を超えた未訂正エラーについてはそのまま放置しています。

しかし、図 3 に示すように、Ferri ファミリー製品には自動車メーカー向けエラー訂正技術が導入されています。壊れた単語の復元 (1kB 相当のブロック) のために、低密度パリティチェック (LDPC) アルゴリズムが採用されています。Silicon Motion は、壊れたデータが含まれる 16kB のページを完全復元する、Page RAID アルゴリズムを導入しました。これらの技術を統合することで、NAND Flash アレイの寿命まで読み書き処理の整合性を維持し、ビットエラーゼロを実現しています。

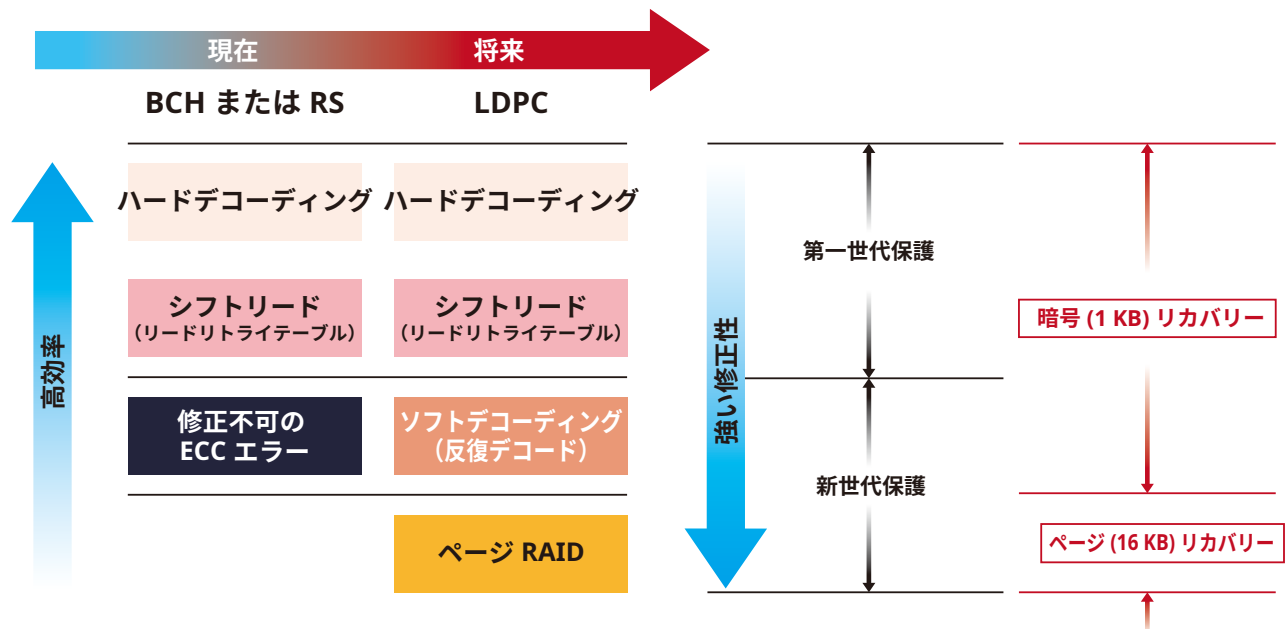


図 3：拡張 ECC 操作のための LDPC および Page RAID エラー訂正方式

熱ストレスによる影響の軽減

自動車メーカーにとり、1つのセルに書き込まれた1つのデータがどのくらいの期間維持されるかを測定したデータリテンション率は、非常に重要な品質指標です。この期間は、図 4 に示すように温度によって値が激しく変動します。図 4 から、MLC NAND 型のデータリテンション率は、SLC NAND よりも著しく低いことがわかります。

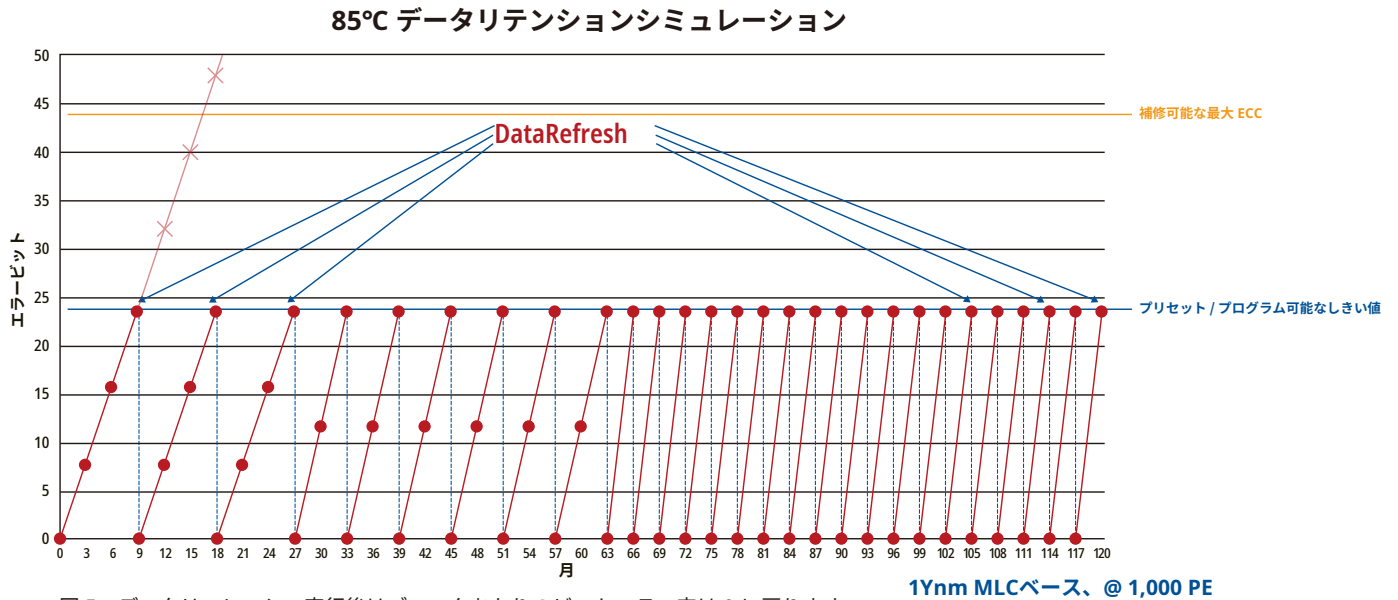
温度	SLC @ 最大 PE	MLC @ 最大 PE
40	75.58 Mo	12 Mo
55	12 Mo	1.88 Mo
70	2.14 Mo	0.34 Mo
85	0.45 Mo	0.07 Mo

図 4：NAND Flash のデータリテンション率は動作温度、プログラム/消去 (PE) サイクル、NAND の種類によって変わります

Ferri ファミリー製品には、高度な技術でブロックやセルをスキャンし、データ消失のリスクが高いものをリフレッシュしてデータエラーを防止する技術が搭載されています。この Intelligent Scan & DataRefresh 機能は、ユーザーが選択したビットエラーレートの閾値で、ECC から導き出されたブロック当たりのビットエラーレートに近いデータを取り出し、その後データリフレッシュを行います (図 5 参照)。図 4 に示すよう

に、動作温度が高くなるほど、データリテンション率も顕著に低くなります。Silicon Motion の Intelligent Scan & DataRefresh 機能は、動作温度が高くなると自動的にスキャン頻度を増やします。

Intelligent Scan & DataRefresh 機能は、リードディスターバンスで生じるデータ消失も防止します。



大容量データストレージ向け埋め込み型ボードソリューション

ここで説明してきたとおり、SSD、eMMC や UFS の信頼性やデータの整合性は、バーンイン、時代の先を行くエラー訂正、データリフレッシュ機能を実行することで、劇的に向上することが可能です。Silicon Motion は、自動車業界が求める厳しい要件にも、AEC-Q100 Grade 3/2 認証取得の Ferri ファミリー製品でお応えします。

- ・全セル、ページ、ブロックの完全スクリーニング、出荷前の厳密な品質管理により不良混入率を低減
- ・NANDXtend ECC 技術を用いたエンド・トゥ・エンド データ保護により寿命を延長
- ・データリテンション率を高める IntelligentScan & DataRefresh

Ferri ファミリーの製品群：

- ・FerriSSD (20mm x 16mm BGA パッケージに 最大 480GB を搭載)
- ・Ferri-eMMC (JEDEC 業界規格を満たすコンパクトな BGA パッケージに最大 256GB を搭載)
- ・Ferri-UFS (11.5mm x 13mm BGA パッケージに 最大 256GB を搭載)

Ferri ファミリー製品群は、自動車市場の需要にフィットするソリューションであり、長期間の安定した動作、データ整合性、データリテンションを提供し、車内システムでは他のどんな電子システムにも引けをとらないソリューションであると確信できるでしょう。

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