インフィニオンのフラッシュメモリの耐久性とデータ保持特性

本書について

適用範囲と目的

本書では、インフィニオンのフラッシュメモリ製品の耐久性とデータ保持特性について説明します。

目次

本書について 1
目次 2
1 はじめに 3
2 業界標準の動向 – プログラム/消去サイクルとデータ保持 4
3 プログラム/消去サイクルとデータ保持のテスト手順 5
3.1 テスト手順 5
4 プログラム/消去サイクル条件の影響 8
5 プログラム/消去サイクル後のデータ保持期間に影響を与える要因 9
5.1 システムフィールド温度 (プログラム/消去サイクルおよびデータストレージ) 9
5.2 プログラム/消去サイクルの総数 10
5.3 サイクルインターバル時間 10
6 フィールド使用モデルに関する考慮事項 12
6.1 ケーススタディ 1 12
6.2 ケーススタディ 2 12
7 エラー訂正符号 (ECC) 14
8 まとめ 15
改訂履歴 16
免責事項 17

1 はじめに

不揮発性フラッシュメモリ技術は、物理的な劣化の影響を受けやすく、最終的にはデバイスの故障につながる可能性があります。ベンダーは、書き換え可能な不揮発性メモリのパフォーマンスを指定するために、2 つの寿命終了パラメータ (プログラム/消去の耐久性とデータ保持) を使用します。これらのパラメータの実際的な意味とそれらの相互関係を理解することで、設計者はシステム性能と信頼性の要件を満たすための機能を適切に評価できます。

このアプリケーションノートでは、不揮発性フラッシュメモリの信頼性テスト手法について概説し、プログラム/消去の耐久性とデータ保持に関する主要な要因の影響について説明します。また、業界標準に関連するインフィニオン製品を使用した信頼性の高い使用モデルに関する情報も提供します。

2 業界標準の動向 – プログラム/消去サイクルとデータ保持

JEDEC 規格の JESD22-A117 では、信頼性評価中にメモリ製品に過度のストレスがかかると、プログラム/消去サイクル後のデータ保持に影響を与えることが示されています。これは珍しいことではありません。実稼働前テストや実稼働テスト中にフラッシュ ROM に過度のストレスがかかると、後の操作のデータ保持に影響を与える可能性があります。

> JESD22-A117
>
> 4.1.2.4 書き換えサイクル間の意図的な遅延
>
> EEPROM 製品の劣化速度は、サイクル頻度に大きく依存する可能性があります。

このセンテンスでは、大きなオーバーストレスが不揮発性フラッシュメモリの性能低下を過度に加速する可能性があることを示します。製品の使用モデルに基づく信頼性の高い製品の設計は、特に新しいテクノロジにとって主要な関心事です。フィールドでのアプリケーションの信頼性を適切に特徴付けるには、評価条件とフィールドでの使用法との間のギャップを理解することが不可欠です。フィールド使用モデル (セクターごとのサイクル頻度、温度など) を理解し、同じ条件下でテストすることで、デバイスに過度の負荷がかかるのを回避できます。

3 プログラム/消去サイクルとデータ保持のテスト手順

3.1 テスト手順

JEDEC の認定規格 JESD47, JESD22-A117, および AEC-Q100 では、評価サンプルは耐久性ストレスと耐久性ストレス後のデータ保持ストレスの両方を受けることが要求されています。

プログラム/消去の耐久性サイクルテストの場合には、JEDEC は 4 つの主要なポイントを指定しています。

1. サイクル時間は、実際のサイクル動作の 500 時間に制限されています。これはサイクル遅延で使用されるサイクル間のベーク時間を含みません。
2. JESD22-A117 の挿入されたベーク遅延ガイドラインに従う必要があります。
3. 室温耐久性テスト中には高温ベークは挿入しないでください。
4. 高温耐久性テスト中に、遅延とサイクル時間自体の合計が 85°Cで 500 時間を超えてはいけません。

JEDEC のサイクル条件は 55°C で 1.5 年と想定されており、それはフローティングゲート技術で想定されるサイクルデトラップ Ea が 1.1 eV の場合、85°C で 500 時間に相当します。

AEC-Q100 の場合、耐久性テスト条件の主な懸念事項は、顧客の使用モデルです。自動車製品は通常、より厳密なフィールド使用モデルを必要とするため、対象となるプログラム/消去サイクル数, 期間, 温度など、顧客の使用モデルを理解することが推奨されます。さらに、サイクルは温度 T ≥ 85°C で行い、合計サイクル時間が加速された製品寿命の 15 パーセントを超えてはいけません。(例えば、現場での製品寿命が 10 年の場合、現場でのプログラム/消去サイクル期間は 1.5 年となります。)

サイクル手法では、インフィニオンは、100%, 10%, 1%, 1%未満のプログラム/消去サイクルを同じユニットに実装します。少なくとも、100%と 10%のプログラム/消去サイクル時間が、プログラム/消去サイクル時間全体の 3 分の 1 を占めます。Figure 1 に、セクター割り当ての例を示します。各プログラム/消去サイクル ターゲットに割り当てられたセクター番号は、500 時間のプログラム/消去サイクル期間に合うように意図されています。Figure 2 に、サイクル条件と時間の割り当てをテスト条件の 1 つとして示します。

3 プログラム/消去サイクルとデータ保持のテスト手順

Row#	Sector#							
Row 31	248	249	250	251	252	253	254	255
Row 30	240	241	242	243	244	245	246	247
Row 29	232	233	234	235	236	237	238	239
Row 28	224	225	226	227	228	229	230	231
Row 27	216	217	218	219	220	221	222	223
Row 26	208	209	210	211	212	213	214	215
Row 25	200	201	202	203	204	205	206	207
Row 24	192	193	194	195	196	197	198	199
Row 23	184	185	186	187	188	189	190	191
Row 22	176	177	178	179	180	181	182	183
Row 21	168	169	170	171	172	173	174	175
Row 20	160	161	162	163	164	165	166	167
Row 19	152	153	154	155	156	157	158	159
Row 18	144	145	146	147	148	149	150	151
Row 17	136	137	138	139	140	141	142	143
Row 16	128	129	130	131	132	133	134	135
Row 15	120	121	122	123	124	125	126	127
Row 14	112	113	114	115	116	117	118	119
Row 13	104	105	106	107	108	109	110	111
Row 12	96	97	98	99	100	101	102	103
Row 11	88	89	90	91	92	93	94	95
Row 10	80	81	82	83	84	85	86	87
Row 9	72	73	74	75	76	77	78	79
Row 8	64	65	66	67	68	69	70	71
Row 7	56	57	58	59	60	61	62	63
Row 6	48	49	50	51	52	53	54	55
Row 5	40	41	42	43	44	45	46	47
Row 4	32	33	34	35	36	37	38	39
Row 3	24	25	26	27	28	29	30	31
Row 2	16	17	18	19	20	21	22	23
Row 1	8	9	10	11	12	13	14	15
Row 0	0	1	2	3	4	5	6	7

Figure 1 ユニット内のプログラム/消去サイクルテスト条件の例

Program/Erase Cycling condition		Assigned sector per a unit	Cycling count per a condition	Cycling time per a condition
Target percentage	Target cycling count per a sector			
100% Program/Erase cycling	100k Program /Erase cycles	2 sectors	200k Program /Erase cycles	Over 1/3 of 500 hours
10% Program/Erase cycling	10k Program /Erase cycles	20 sectors	200k Program /Erase cycles	Over 1/3 of 500 hours
Less than 10% Program/Erase cycling	1k Program /Erase cycles	40 sectors	40k Program /Erase cycles	Less than 1/3 of 500 hours
	100 Program /Erase cycles	80 sectors	8k Program /Erase cycles	
	10 Program /Erase cycles	80 sectors	0.8k Program /Erase cycles	
		Total	448.8k Program/Erase cycles	500 hours

Figure 2 プログラム/消去のサイクル条件、割り当て、時間

Note: *セクターまたはブロックの割り当ては、それぞれの製品によって異なります。*

JEDEC JESD47 によると、プログラム/消去サイクルの 100%のデータ保持時間は 125°C で 10 時間を満たす必要があり、125°Cで 100 時間を満たすには 10%のプログラム/消去サイクルが必要です。(125°C で 10 時間は、活性化エネルギーが 1.1 eV のときにフィールドでの 55°C で 10 年以上に相当します。データ保持ベーク中のデータパターンには、ChecKerBoarD(CKBD), Reverse-ChecKerBoarD(RCKBD), または Random が使用されます。エンジニアリング研究として、データ保持ベーク時間は、プログラム/消去サイクル後のデータ保持の性能を評価するために定期的に延長されます。

3 プログラム/消去サイクルとデータ保持のテスト手順

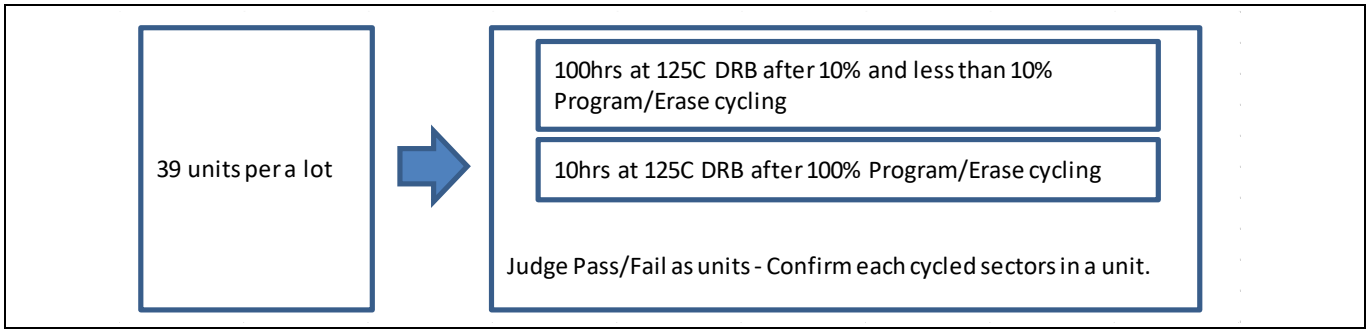

Figure 3 データ保持ベークターゲット

4 プログラム/消去サイクル条件の影響

ここでは、簡略化された MIRRORBIT™ セル構造をモデルおよびデータとして使用します。しかし、現象としては、NOR/NAND フラッシュフローティングゲート技術と NOR フラッシュ MIRRORBIT™ 技術の両方に共通しています。NOR フラッシュと NAND フラッシュの両方で、同じセクターへの高頻度のプログラム/消去サイクルにより、データ保持性能が低下する可能性があります。

フラッシュメモリ MIRRORBIT™ セルの理想的なプログラム状態は、Figure 4 (簡略化された図) に示すように、セルの窒化物層の特定の領域内にすべての電子が格納されていることです。電子は窒化物層から容易にデトラップ (拡散) されないため、良好なデータ保持性能が得られます。プログラム/消去が急速に繰り返される場合、特に数セクターのみを使用すると、Figure 5 に示すように、窒化物層の近くにある過剰なトラップされた電子が大幅に増加します。これらの余分なトラップされた電子は、容易にデトラップ (拡散) され、データ保持性能が低下します。製品を数日または数時間で最大サイクル数 (100%) まで実行すると、サイクルのあいだで通常のデトラップ効果がないため、窒化物層の近くにトラップされた過剰な電子が蓄積されます。サイクルレートが高いと、緩やかな回復が妨げられ、サイクルのオーバーストレスの直接的な原因となります。

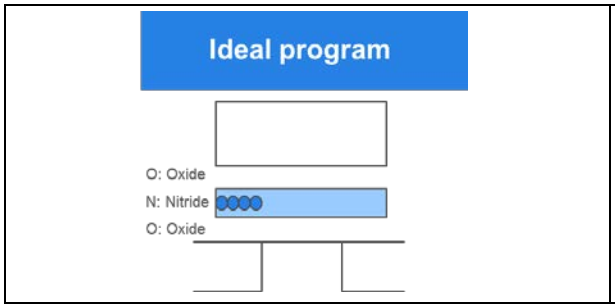

Figure 4 理想的なプログラミング

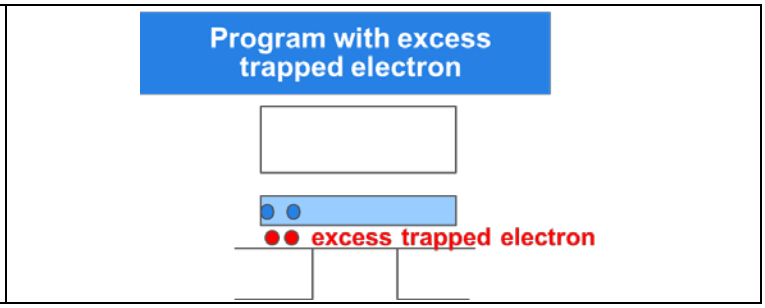

Figure 5 過度にストレスのかかるプログラミング

Note: *青色の点は、窒化物層の電子です。赤色の点は、窒化物層 (酸化物など) の周囲に閉じ込められた電子です。*

5 プログラム/消去サイクル後のデータ保持期間に影響を与える要因

サイクリング後のデータ保持は、次の 3 つの主なパラメータによって決まります。

1. システムフィールド温度 (プログラム/消去サイクルおよびデータストレージ)
2. プログラム/消去サイクルの総数
3. サイクルインターバル時間

これらの要因は、プログラム/消去サイクル後の保持期間に大きな影響を与える可能性があります。製品の信頼性設計が特定の顧客アプリケーションに適していることを確認するには、これらのパラメータを十分に理解することが不可欠です。

5.1 システムフィールド温度 (プログラム/消去サイクルおよびデータストレージ)

温度は、耐久性とデータ保持の重要な要素です。55°C のようなフィールドの平均温度を単に仮定するだけでは、10 年から 20 年という寿命で部品が動作すると一概に仮定できません。実際、現実のアプリケーションに基づくさまざまな温度プロファイルがあります。ほとんどの場合、連続的な高温または低温は、多くのアプリケーショでは一般的ではありません。さまざまな温度での使用分布が常に存在します。ただし、平均使用温度は、アレニウス方程式を通じて複雑な温度プロファイルから計算できます。実際に高温にさらされた時間が短い場合でも、温度が高くなると平均フィールド温度への影響が大きくなります。繰り返しになりますが、保管温度を低くすると保持寿命が延び、保管温度が高いと保持寿命が大幅に短縮されます。

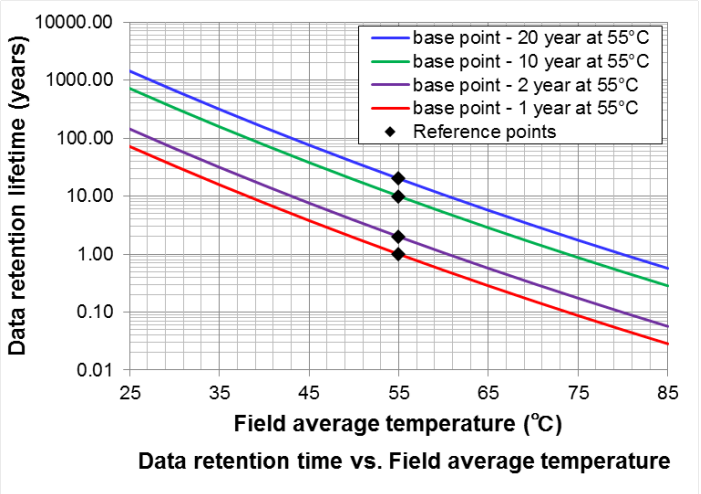

Figure 6 データ保持時間とフィールド平均温度の関係

$$At = \exp\left[\left(\frac{Ea}{kb}\right)\times\left(\frac{1}{T_{field}}-\frac{1}{T_{reference}}\right)\right]$$

$$Lifetime_{FieldTemp} = At\times\left(Lifetime_{55℃}\right)$$

At: 加速温度係数

Ea: MB 活性化エネルギー: 1.2eV、注: FG: 1.1eV

kb: ボルツマン定数= 8.62 1E-5 eV/K、

Tfield: フィールド平均温度 (°C) + 273 K、

Treference: 55 (°C) + 273 K

Lifetime field: データ保持寿命 (年)

Lifetime 55 °C: ベースポイント、55°C で 1/2/10/20 年

Note: 55℃で 10k または 100k サイクルなどのプログラム/消去サイクル後の 1 年, 2 年, 10 年, および 20 年を想定しています。

5.2 プログラム/消去サイクルの総数

プログラム/消去のサイクル数とその後のデータ保持能力はトレードオフになります。プログラム/消去サイクル数が大きいほど、プログラム/消去サイクルの完了後のデータ保持時間は短くなります。一般に、それらは反比例します。つまり、プログラム/消去サイクル数が約 1 桁 (10x) 増加すると、その後のデータ保持時間は約 1 桁 (1/10x) 短くなります。

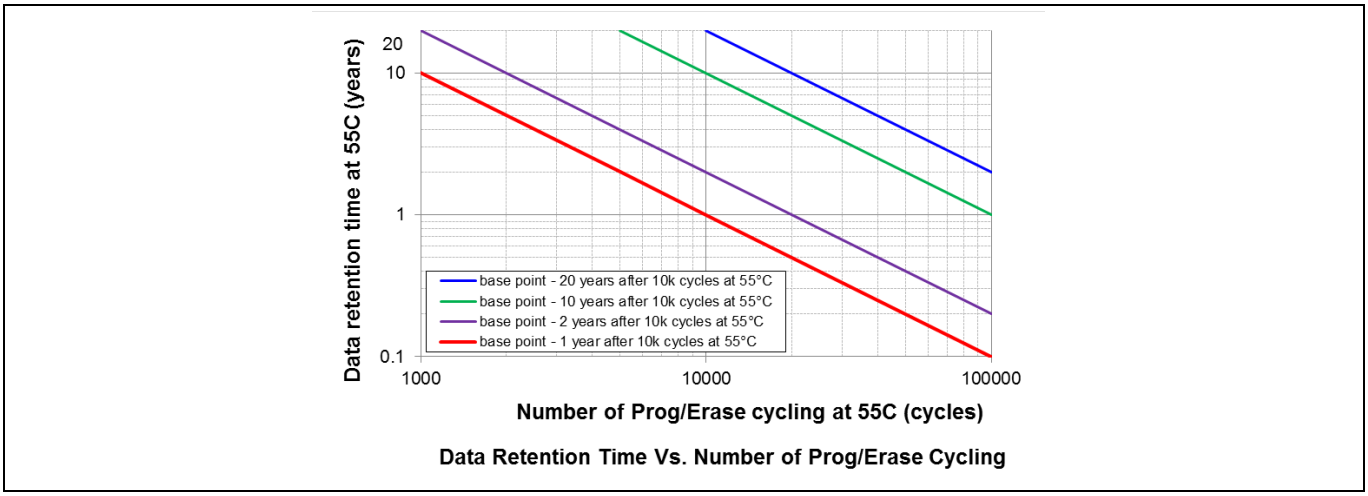

Figure 7 データ保持とプログラム/消去サイクルの関係

プロットされた線は、55°C で 10k のプログラム/消去サイクル後の 1/2/10/20 年の寿命に基づいています。

5.3 サイクルインターバル時間

フラッシュ デバイスの耐久性仕様は、特定のセクターの予測されるシステム内での消去率の観点から評価されるべきです。データロギングに使用されるセクターは、キャプチャされるデータの頻度とサイズによっては、消去サイクルが急速に増える場合があります。このような使用は、最終的にこれらのセクターが最初に故障することにつながる可能性があります。そのため、プログラム/消去サイクル間のプログラム/消去インターバルが短いほど、データ保持特性は悪化します。プログラム/消去サイクル間のインターバルを長くすると、プログラム/消去サイクル間でトラップされた余分な電子をデトラップできるため、データ保持性能が向上します。Figure 8 に、JEDEC テスト条件下で、平均 55°C で 10k のプログラム/消去サイクルを行った後、20 年の保持寿命に基づいて、さまざまなインターバル時間にわたる保持寿命の例を示します。

5 プログラム/消去サイクル後のデータ保持期間に影響を与える要因

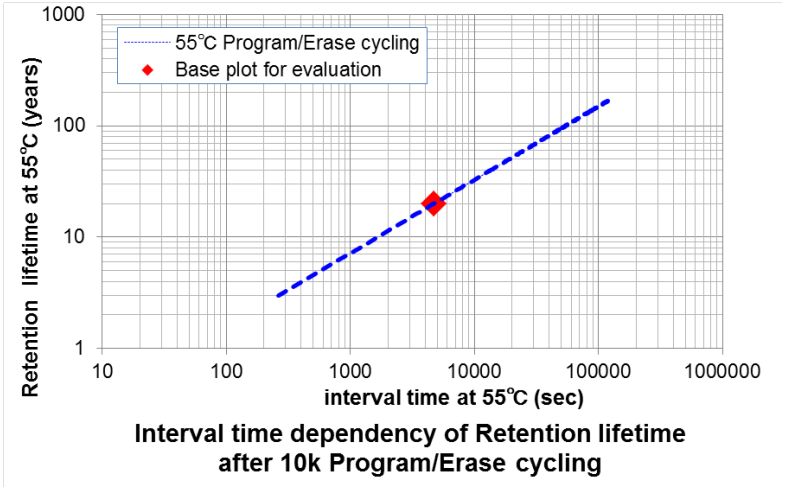

Figure 8　保持寿命と 10k プログラム/消去サイクル間のインターバル時間の関係

赤い点の基本プロットは、JEDEC テスト条件下での 55°C で 10k プログラム/消去サイクルした後、20 年間の保持寿命を示します。

インターバル依存性の傾向は、経験的に収集されたデータから得られました。

Figure 8 には、次の解釈が適用されます。

- 10k のプログラム/消去サイクルを完了するために必要な時間は、55°C でのフィールド内で 20 年におよぶと仮定します。(1 日あたり 1～2 回のプログラム/消去サイクル)
- プログラム/消去サイクル間の平均インターバル時間 = 20 (年) x 8760 (時間/年) x 3600 (秒/時間) / 10000 (プログラム/消去サイクル) = 63072 (秒)
- 計算された保持寿命 = 55°C で 110.5 (年)
- 製品寿命 = 20 (プログラム/消去サイクル期間の年数) + 110.5 (10k のプログラム/消去サイクル後のデータ保持の年数) = 130.5 (年)
- データ保持寿命とインターバル時間の間の傾き = 0.66

Note:　この仮定では、プログラム/消去サイクル間の平均インターバル時間が使用されます。フィールドでの使用では、プログラム/消去サイクル間のインターバルの頻度が偏る可能性があります。

6 フィールド使用モデルに関する考慮事項

前提条件として、ここでは、55°Cの 100k プログラム/消去サイクルの 2 年後と、55°Cの 10k プログラム/消去サイクルの 20 年後をデータ保持のベースラインとして想定しています。ここでは、これらの仮定に基づく使用モデルのケーススタディを紹介します。

6.1 ケーススタディ 1

Figure 9 に、2 つの代表的な曲線を示します。1 つは、各フィールド平均温度での 10k プログラム/消去サイクル後の保持寿命で、もう 1 つは、1.5 年間のプログラム/消去サイクル期間 (10k または 100k サイクルは 1.5 年で完了) に基づく各フィールド平均温度での 100k プログラム/消去サイクル後の保持寿命です。これにより、10k プログラム/消去サイクルのサイクルインターバル時間は 1.314 時間、100k プログラム/消去サイクルのサイクルインターバル時間は 7.884 分になります。

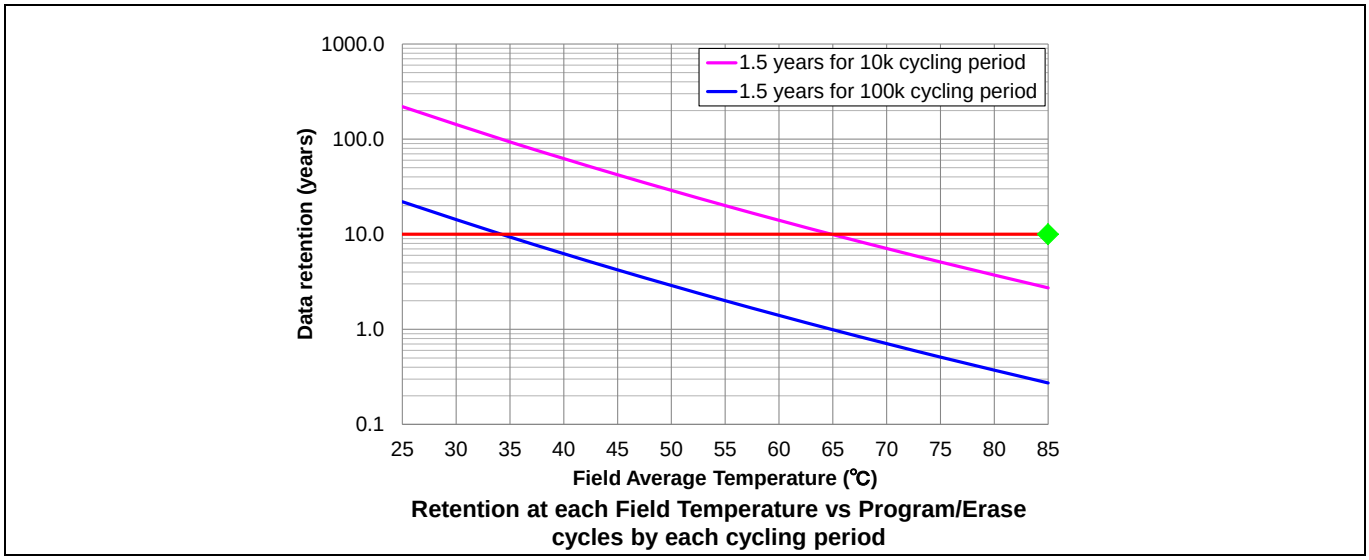

Figure 9 各フィールド温度での保持寿命と各インターバル時間によるプログラム/消去サイクルの関係

- 明るい緑色の点は、85°C で 2728 回のプログラム/消去サイクルの後、10 年間のデータ保持を示します。
- 10k のプログラム/消去サイクルの平均フィールド温度が 65°C未満であると仮定すると、10 年以上のデータ保持が達成されます。
- 100k のプログラム/消去サイクルの平均フィールド温度が 65°C未満であると仮定すると、1 年以上のデータ保持が達成されます。

6.2 ケーススタディ 2

プログラム/消去サイクル後の保持寿命は、プログラム/消去サイクル間のインターバルを長くすることで長くなります。例えば、10k および 100k のプログラム/消去サイクルが 10 年または 20 年の期間にわたって完了すると、Figure 9 は Figure 10 になります。

プログラム/消去サイクル期間を 10 年と仮定

10k プログラム/消去サイクルの場合 – プログラム/消去サイクルのインターバル時間は 8.76 時間

100k プログラム/消去サイクルの場合 – プログラム/消去サイクルのインターバル時間は 52.56 分

6 フィールド使用モデルに関する考慮事項

プログラム/消去サイクル期間を 20 年と仮定

10k プログラム/消去サイクルの場合– プログラム/消去サイクルのインターバル時間は 17.52 時間

100k プログラム/消去サイクルの場合 – プログラム/消去サイクルのインターバル時間は 1.752 時間

Note: インターバル時間はおおよその値です。

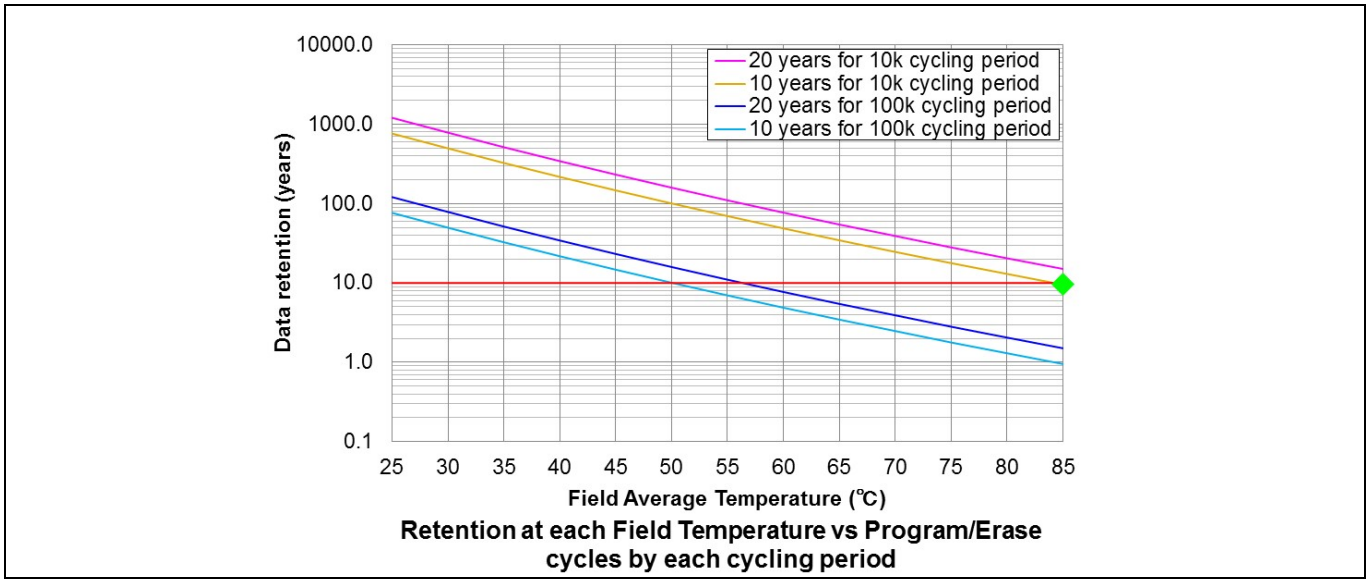

Figure 10 フィールド温度での保持寿命とプログラム/消去サイクルのインターバル時間の関係

- 明るい緑色の点は、プログラム/消去サイクル期間が 10 年間に分散されているとき、85℃で 10k プログラム/消去サイクル後にデータ保持時間が 10 年になることを示しています。
- 平均フィールド温度が 85℃未満でプログラム/消去サイクルを 10 年間にわたって行うと仮定すると、10k プログラム/消去サイクル後には、10 年を超えるデータ保持時間が実現されます。
- 平均フィールド温度が 57℃未満でプログラム/消去サイクルを 20 年間にわたって実行すると仮定すると、100k プログラム/消去サイクル後には、10 年を超えるデータ保持が実現されます。

使用モデルがプログラム/消去のインターバル時間を長くするほど、またプログラム/消去のサイクル期間が長くなるほどデータ保持特性は向上します。インフィニオンは、JEDEC テスト手順の使用に関する評価データに基づいて、適切なプログラム/消去サイクル期間で、プログラム/消去サイクル後の最小保持寿命を保証します。インフィニオンは、フィールドでの実際の使用モードが提供されている場合、より詳細な使用モデル分析と経験的なデータに基づいて、プログラム/消去サイクル後のデータ保持の可能性や性能を提供できます。

7 エラー訂正符号 (ECC)

ECC は、Figure 11 に示すように、NOR フラッシュファミリ製品の品質と信頼性を大幅に向上させることができます。超高品質で信頼性の高いアプリケーションの場合、信頼性とデータ保持特性を大幅に向上させるために ECC を使用することを推奨します。

Figure 11 に示すように、32 バイトあたり 1 ビット ECC を使用すると、1E-08 RBER (raw ビット故障率) が 10 ppm のユニット故障率を満たすことができます。

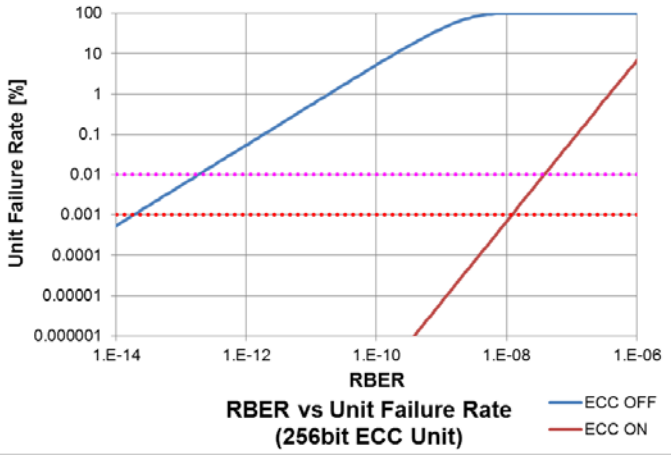

Figure 11 ユニット故障率と RBER の関係

8 まとめ

プログラム/消去の耐久性とデータ保持の仕様は、設計者が特定のフラッシュ デバイスの製品寿命が、アプリケーションの要件を満たす能力があるか評価するためのガイドラインとして使用されます。プログラム/消去の耐久性とデータ保持は相互に依存するパラメータです。プログラム/消去サイクルの影響は、繰り返しキャプチャされたデータをフラッシュメモリアレイに物理的に格納する方法を操作することで軽減されます。

データ保持は、使用モデルの下のプログラミング後にデータを確実に取得できると想定される期間を示すセルレベルの仕様です。プログラム/消去の耐久性, フィールド内のシステム温度, プログラム/消去サイクルの総数, およびプログラム/消去サイクル間のインターバル時間の組み合わせの要因が、フラッシュメモリの性能を特長づけます。主要な要因を十分に理解すれば、これらの要因はシステムレベルで制御できることに注意してください。

アプリケーションが複雑な温度プロファイル, 使用モデル, および厳しい条件を使用している場合は、インフィニオンに連絡して、データ保持の計算に関するサポートを受けることができます。

改訂履歴

版数	発行日	変更内容
**	2025-09-02	本版は英語版 002-17979 Rev. *B について、インフィニオン DEVELOPER COMMUNITY の参画者によって日本語に翻訳されたドキュメントです。

Trademarks
All referenced product or service names and trademarks are the property of their respective owners.

Edition 2025-09-02
Published by
Infineon Technologies AG
81726 Munich, Germany

© 2025 Infineon Technologies AG. All Rights Reserved.

Do you have a question about this document?

Email: erratum@infineon.com

Document reference
002-41970 Rev. **

重要事項
本手引書に記載された本製品の使用に関する手引きとして提供されるものであり、いかなる場合も、本製品における特定の機能性能や品質について保証するものではありません。本製品の使用の前に、当該手引書の受領者は実際の使用環境の下であらゆる本製品の機能及びその他本手引書に記された一切の技術的情報について確認する義務が有ります。インフィニオンテクノロジーズはここに当該手引書内で記される情報につき、第三者の知的所有権の不侵害の保証を含むがこれに限らず、あらゆる種類の一切の保証および責任を否定いたします。

本文書に含まれるデータは、技術的訓練を受けた従業員のみを対象としています。本製品の対象用途への適合性、およびこれら用途に関連して本文書に記載された製品情報の完全性についての評価は、お客様の技術部門の責任にて実施してください。

警告事項
技術的要件に伴い、製品には危険物質が含まれる可能性があります。当該種別の詳細については、インフィニオンの最寄りの営業所までお問い合わせください。
インフィニオンの正式代表者が署名した書面を通じ、インフィニオンによる明示の承認が存在する場合を除き、インフィニオンの製品は、当該製品の障害またはその使用に関する一切の結果が、合理的に人的傷害を招く恐れのある一切の用途に使用することはできないこと予めご了承ください。