

ホワイトペーパー

高温環境におけるデータ保持の強化を実現

エグゼクティブサマリー



NAND フラッシュに保存されたデータは時間の経過とともに劣化していきます。原因は NAND フラッシュのセルが持つ電荷が時間の経過とともにリークするためです。セルがデータを維持する能力をデータ保持率と呼びます。

データ保持率は、温度上昇と P/E（書き込み / 消去）サイクルの増加によって、電荷のリークが早まることで低下していきます。温度上昇は、セル内の荷電粒子の運動 / 振動を増加させ、P/E サイクルの増加は、セルの構造強度を弱めます。

劣化因子 (DF) =1 を標準温度におけるデータ保持率とした場合、80°-85°C の範囲では劣化因子が 168 倍となります。これは、データ保持率が 168 分の 1 に減少したことを意味します。

この問題は、温度と P/E サイクル数に応じてデータを定期的にリフレッシュすることで解決でき、ブロック間でデータを交換（ウェアレベリングと同様）することにより実現できます。

試験結果によると、たとえ 85°C の高温条件下においても、データのリフレッシュが行われていれば、理論的には数十年間データを保持することが可能となります。

はじめに

ソリッドステートドライブ（SSD）は、多くの産業において主流の製品となりました。SSD は、従来のストレージ媒体よりも高い堅牢性を誇るため、特に過酷な環境向けに設計されたデバイスにおいて広く普及してきました。しかしながら、SSD においても高温条件下では悪影響を受けることとなります。

NAND フラッシュが、データを保持できる時間をデータ保持率と呼びます。NAND フラッシュのセルへデータが書き込まれた直後から、データがリフレッシュ（データを消去して新たなデータを書き込むこと）されるまで計測されるタイマーのようなものです。通常の温度範囲においては、データの一貫性を損なうリスクがないため最善の保持時間が得られます。しかし、温度が上昇すると条件が変わります。

NAND フラッシュにとってデータ保持率が課題となる理由は 3 つあります。まず、フラッシュセルの構造上、高温下ではデータが非常に短期間で劣化し始めることです。次に、書き込み回数が多き環境では、P/E（書き込み / 消去）サイクルの増加により、セル構造が劣化しデータ保持率がさらに低下します。最後に、大容量化に伴い NAND フラッシュのセルが微細化したことで、セルが持つ電荷が少なくなりデータ保持をさらに難しくしています。

こうした要因からデータの劣化を防いでデータ保持率を維持するためには、定期的にデータをリフレッシュすることが必要となります。

データ保持は、車載関連、オートメーション化、航空宇宙、防衛といった全ての高温環境で課題となります。

背景

NAND フラッシュのセルはフローティングゲートトランジスタを基本構造とします。セルは 2 つの絶縁層の間に配置されたフローティングゲートへ電荷を加えることで機能します。この電荷によりバイナリ（2 進）値（例えば MLC セルでは 00、01、10、11）で情報を記録できるようにしています。また、絶縁されていることで、SSD の電源を切った後も電荷は保持されます。

データの消去は、セルに電荷を加えてフローティングゲートを空にすることで行われます。この処理はわずかにセルの絶縁膜を痛めることにもなるため、すべての NAND フラッシュは書き換え回数に限界があるという問題を抱えています。

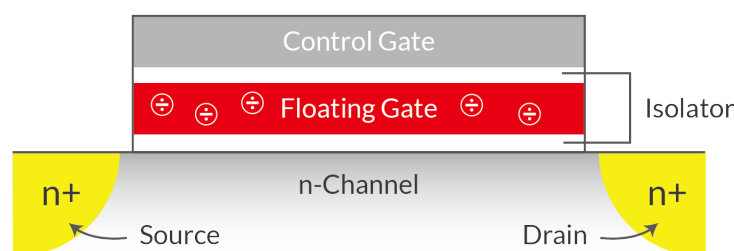
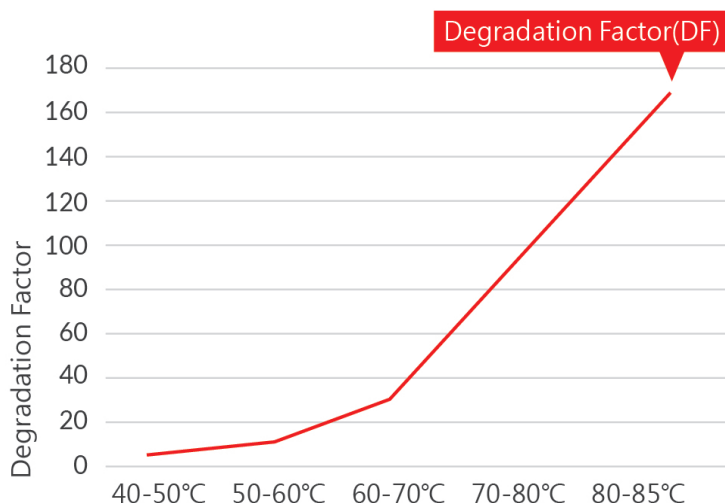


図 1：フローティングゲートトランジスタ

課題

高温

NAND フラッシュは、標準温度 ($T < 40^{\circ}\text{C}$) において、温度の影響を受けることはほとんどありません。しかし、一旦高温に達するとデータ保持率は急激に低下します。試験結果によると 80°C - 85°C の範囲では、データ劣化因子 (DF) が 168 倍へ上昇しています。これは、標準温度と比べてデータは 168 倍早く劣化することを意味します。例えば、1 年間のデータ保持が可能なデバイスを 80°C の環境に置くと、わずか 2 日ほどでデータを失う計算となります。



グラフ 1：温度上昇に伴う劣化因子 (DF) の変化

P/E サイクル

セルからデータを消去するときに電荷を加えますが、電荷を加えることによりセルの構造をわずかに劣化させます。この破損が累積することにより、セルのデータ保持能力は低下していきます。

これは、頻繁に書き込みが行われる環境で使用された SSD は、データ保持能力が失われ危険にさらされていることを意味します。

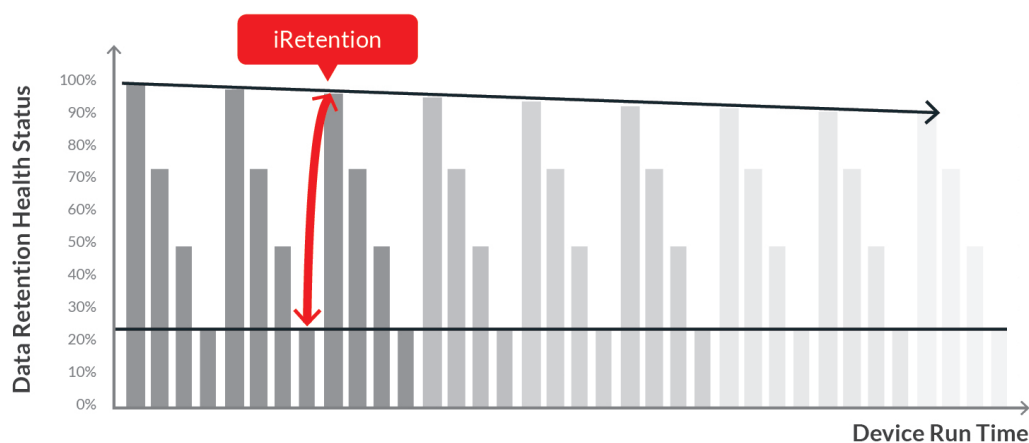
微細化された NAND フラッシュのセル

セルが微細化することにより体積が減少し、それに伴いセルに保有できる電荷数も減少します。そのため、微細化されたセルの電荷がリークした場合、従来の NAND フラッシュのセルよりも早くデータの保持ができなくなります。この問題を直接軽減することはできませんが、データの一貫性を評価する際には、考慮する必要があります。

温度と P/E サイクルのアルゴリズム

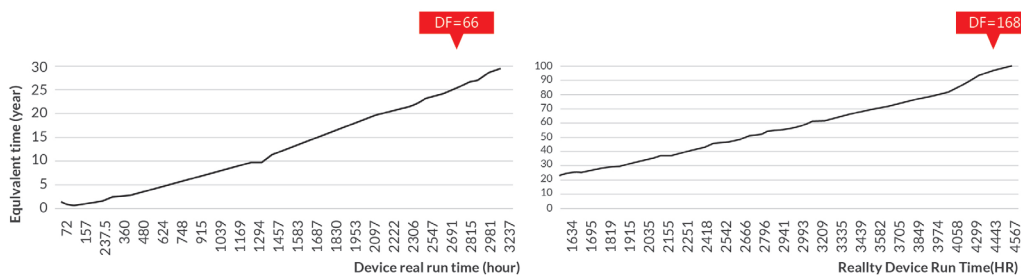
データ保持の問題を解決するには、SSD における温度と P/E サイクルの両方を考慮する必要があります。

製品に温度センサーを追加すれば、SSD は連続した温度特性を監視することができます。この温度特性と P/E サイクル数をファームウェアのアルゴリズムへ連続して入力することにより、SSD がデータ保持状況を自己監視できるようになります。SSD はデータの一貫性を確保しつつ、ファームウェア処理を最小限に抑えられるようにし最適なリフレッシュレートを選択します。つまり、SSD の性能劣化を最小限に抑えつつデータを安全に保持することができます。



グラフ 2：データ保持率が低下すると、SSD はデータリフレッシュ作業を開始

データのリフレッシュ作業はブロック単位で行われ、損傷の可能性のあるブロックのデータが新たなブロックへ移されます。その結果データ保持タイマーがリセットされ、SSD が次にリフレッシュされるまで、データを安全に維持することができます。



グラフ 3 および 4：劣化因子 (DF) が 66 倍および 168 倍の SSD 製品を用いて試験を行った結果（横軸は試験実行期間を、縦軸は理論上のデータ保持期間を示しています）

グラフ 3 および 4 に示されるように、温度と P/E サイクルのアルゴリズムにより、理論的にはデータ保持を数十年間にわたって延長することができます。例えば、80°-85°C 範囲 (DF=168) においても、SSD はデータを 80 年以上にわたって保持することができます。

結論

通常的环境条件では、データ保持は問題となりません。しかし、過酷な環境条件下でデバイスを使用する場合、データ保持の低下と損失のリスクは考慮する必要があります。この問題は温度監視とファームウェアの最適化をすることにより簡単に軽減でき、データの破損や消去のリスクを回避することができます。

Innodisk のソリューション

iRetention™



iRetention™ は、Innodisk が開発した高性能なアルゴリズムによる技術です。この技術により、NAND フラッシュが経年劣化と高温変化に晒されてもデータ保持を維持し、一般的な SSD よりも保持時間を大幅に延長することができます。

Innodisk Corporation
イノディスク・ジャパン株式会社

〒103-0013
東京都 中央区 日本橋人形町 1-1-14 人形町 K・I ビル 4F
TEL : 03-6667-0161 FAX : 03-6667-0162

The logo consists of a red square with the word "innodisk" in white lowercase letters. To the right of the square is a small red square.

innodisk

Copyright © June 2018 Innodisk Corporation. 無断複製・転載を禁じます。Innodisk は、米国およびその他の国々において登録されている Innodisk Corporation の商標です。本書に記載されるその他のブランド名は識別目的のみ使用されており、それぞれの所有主の商標である場合があります。