

1

半導体メモリ 特にフラッシュメモリについて

2024年4月13日 NM33

ここでは一般的にパソコンで使われているメモリ（半導体メモリ）とその管理について説明します。

1. 用語

メモリ：データを記憶するもの。PCでメモリ／メインメモリといえはCPUの作業領域に使用するものを言います。

RAM：Random Access Memoryの略でメモリ領域の何処でも自由に読み（或いは書き）できるメモリを言い、用途を表す言葉ではありません。
HDD, SSD、USBメモリ、CD、DVDなどがあります。

ROM：Read Only Memoryの略で何らかの方法で一度書き込みを行うとその後追記や上書きができないものを言い、用途を表す言葉ではありません。
CD-Rなどがあります。

揮発性メモリ：電源を遮断すると記憶したデータが失われるものを言います。
メインメモリに使われます。

不揮発性メモリ：電源を遮断しても記憶したデータを保持するものを言います。
メインメモリ以外に使われます。

注、スマホでは、メインメモリに使用する揮発性のRAMの事をRAMと、プログラムやデータの保存領域に使用する不揮発性のRAMの事をROMと呼んでいます。

2. メインメモリ

メインメモリには右図のような表示がされています。記載の文字の意味は？

メインメモリチップ(IC)にはDRAMとSRAMがありますが現在DRAMが一般的に用いられています。
最近のPCではDDR SDRAM（一般的には省略してDDR）と言う規格のものが使われています。

図2 メインメモリの例



	DRAM	SRAM
記憶方式	コンデンサ	フリップフロップ
揮発性	Yes	No
速度	早い	超高速
消費電力	高	低
構造	シンプル	複雑
大容量化	容易	難しい
価格	低	高

DRAM : Dynamic Random Access Memory

SRAM : Static Random Access Memory

DDR : Double Data Rate

SDRAM : Synchronous DRAMでDRAMの改良型

DDRチップの型番はDDR□-○○○○で表されます。
□が世代を表し、○○○○が最大転送速度（理論値）を表します。

DDRメモリチップの世代と転送速度

	DDR	DDR2	DDR3	DDR4	DDR5
転送速(GB/s)	1.6~4.4	3.2~8.5	6.4~17	12.8~25.6	35.2~51.2

DRAMチップを複数搭載したメモリモジュールはPC□-○○○○という規格名で呼ばれます。こちらも世代があり、□の中はDDR□と同じになります。

メモリモジュールの外形には複数の種類があり右図上がデスクトップ用でDIMM、右図下が主にノートPC用でS.O.DIMM（SO-DIMM）と呼ばれます。

DIMM：Dual Inline Memory Module

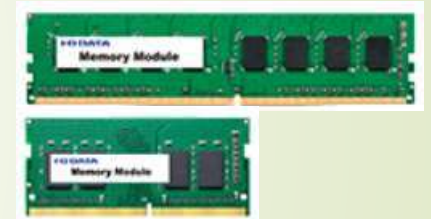
S.O.DIMM：Small Outline Dual In-line Memory Module

ピン数は規格が異なっても同じものがありその場合は切り欠きの位置が異なっています。規格名が分からない場合は注意が必要です。

同じ世代でも転送速度にいくつかの種類があります。

参照：<https://www.iodata.jp/product/memory/info/base/kikaku.htm#list2>

異なる転送速度のものを混用すると速度の遅い方で統一されます。但し、トラブルになることもあるようですのであまり推奨できません。



写真の出典：
<https://www.iodata.jp/product/memory/info/base/kikaku.htm#list2>

ECCメモリとnon-ECCメモリがあります。ECCとは誤り訂正符号のことで、ECCメモリはサーバー等で使用され一般的にはnon-ECCが使われます。

ECC : Error-Correcting Code

最近のPCではデュアルチャンネルが使えるようになっています。これは例えば4GBのメモリを2枚使うことで8GB1枚の2倍の転送速度を実現するのもです。

但し、対応可否はCPU及びマザーボードの仕様に依ります。

その他メモリの性能を表すものとして「メモリタイミング」（例：CL22）、「メモリランク」、「動作電圧」などがありますが、PCの仕様書やマザーボードの仕様書などに記載が無い場合或いは特に気にする必要はありません。



以上より図2のメモリは、

DDR4 2666：動作周波数2666MHzの第4世代のDDRチップを使用

PC4-21300：帯域幅21300MB/Sの第4世代PC規格のメモリーモジュール

288pin DIMM：デスクトップ用メモリ

4GB×2：デュアルチャンネル用の2枚組

であることが分かる。

図2の再掲

2. 記憶装置用メモリ（フラッシュメモリ）

SSDやUSBメモリ又SDカードにはフラッシュメモリと言うものが使われています。

フラッシュメモリにはNAND型とNOR型が、NAND型にはSLC,MLC,TLC,QLCがあります。

	読出し	書込・消去	大容量化	価格	用途
NAND型	低速	高速	適している	低	一般
NOR型	高速	低速	適しない	高	*

*：組込機器のプログラム記憶装置等

NAND型の種類と特徴

	SLC (NAND)	MLC (2NAND)	TLC (3NAND)	QLC (4NAND)
速度	早い			遅い
P/Eサイクル数	100K	10K	3K	1K
データ保持期間	10年	5年	3年以下	3年以下
集積度	低			高
価格	高			低
主な用途	産業用	SSD	SSD USBメモリ	USBメモリ SDカード

QLCの速度はHDDよりは早い
書き換え寿命（回）
電源の有無に無関係
データ保持期間は書き換え
回数が少ないものの場合
書き換え回数の増加に伴
いデータ保持期間は指数
関数的に減少する。

出典：<https://www.kingston.com/jp/blog/pc-performance/difference-between-slc-mlc-tlc-3d-nand>、ウィキペディアなど

詳しくはこちらをご参照：<https://www.marubun.co.jp/technicalsquare/30062/>

フラッシュメモリの用語

7

P / Eサイクル

P / Eサイクルとは、データがSSD NANDフラッシュメモリセルに書き込まれ、消去され、再書き込みされる一連の操作を指します。SSDが異なれば、使用するテクノロジーも異なるため、SSDが耐えられるP / Eサイクルの数は異なります。ほとんどの場合、その数は500～100Kです。P / Eサイクル数が大きいほど、SSDの信頼性は高くなります。

TBW

TBWとは、SSDが故障する前にSSDに書き込むことができるデータの総量を意味します。TBW番号が大きいほど、SSDの信頼性が高くなります。

以上 <https://www.partitionwizard.jp/clone-disk/do-ssd-drives-fail.html> より

所で、例えば1TBのTLCのカタログデータを見ると720TBWとかの記載があります。TLCのP/Eサイクル数は3千ですので、 $3千 \times 1TB = 3000TBW$ になるように思われます。この差は数倍あります。ホストから新しく書き込まれたデータ以外にも、様々なデータをNANDフラッシュメモリに書き込みます。例えば、SSDの管理情報をはじめ、SMARTに代表される統計情報、Garbage Collectionでコピーするデータが挙げられます。他にも、リフレッシュなどデータの信頼性を確保する処理により、NANDフラッシュメモリにデータが書き込まれることもあります。

詳しくは <https://www.hagisol.co.jp/techblog/?p=534> 参照

フラッシュメモリの課題は、書き換え回数に制限があることデータ保持期間にあります。これらの課題に対して下記のような機能を設けている製品があります。

ウェアレベリング (Wear Leveling)

ファームウェアでメモリ内のブロックごとの書込み回数を平準化する

Dynamic Wear LevelingとStatic Wear Levelingがある。前者のみ有するものと両者を有するものがある。

オート (データ) リフレッシュ機能

メモリ内部で自動的にデータを書き移すことで長期間書き換えられていないデータの信頼性を維持する機能。

電源投入時、所定期間ごと或いはエラー訂正が多い時に行うなどがある。

エラー訂正機能 (ECC機能) : HDDなどでもこの機能はある

データから冗長ビットを生成しデータと共に保存、データと冗長ビットから誤り有無を検出し可能ならばデータを修正する。

SSDでは個人ユーザーであればHDDの必要容量より1ランク大きい容量のものを選定するのも一案かと思われます。

又USBメモリであれば1年に一回程度電源を入れデータを再書き込みされるのが良いようにも思われます。

尚、デフラグを行うとP/Eサイクル数を消費するので好ましくなく効果も無い。

SSDの形状とインターフェース

形状	2.5インチ	2.5インチSSDでは、SATAと呼ばれるインターフェースが使用されています。HDDと同じ規格で、互換性を持つのが特長です。
	mSATA	SATAをもとにした、mSATAと呼ばれるインターフェースを採用したSSDです。基板形状でコンパクトなのが特長で、マザーボード上のスロットに直接差し込んで使用します。通信速度はSATA接続の2.5インチSSDと同じです。近年は使用されることが少なくなっています。
	M.2	mSATAの後継規格がM.2です。mSATAと同様に基板形状で、マザーボード上のスロットに直接接続して使用します。基板のサイズには「2242」や「2280」などの種類があり、それぞれの数字から幅と長さを確認することが可能です。たとえば「2242」の場合、22が横幅22mmであることを、42が長さ42mmであることを示しています。
接続	SATA	SATAは「Serial ATA」の略で、HDDでも使用されていた接続規格です。データの転送速度によってSATA1.0、2.0、3.0とに分けられ、それぞれの規格上の最大転送速度は、1.0が1.5Gbps、2.0が3.0Gbps、3.0が6.0Gbpsとなります。
	PCI-e	PCI-eはパソコンの拡張スロットなどの接続規格を指します。おもにM.2 SSDで採用されていて、通信プロトコルにはSSD用に最適化された「NVMe」を使用しています。

注、M.2 SSDの場合、対応するスロットの形状にも違いがあり、接続する端子の切り欠き部分が設けられた位置によって「M key」や「B key」、「B&M key」などの種類に分けられます。

3. メモリの管理

1) フォーマットメニュー

ドライブを右クリックすると下図のフォーマットメニューが出てきます。



ファイルシステムとは

名 称	長 所	短 所
FTA16、FTA32 (FTA32 の方が最大容量が大きい)	<ul style="list-style-type: none"> ・シンプルである ・データの破損や削除を比較的容易に復旧できる ・Win、Mac、Linux互換性あり 	<ul style="list-style-type: none"> ・断片化 ・セキュリティ機能、暗号化、圧縮などの高度な機能に対応していない
exFTA	<ul style="list-style-type: none"> ・4 GBを超えるファイルが使える ・小さなクラスタサイズが使える ・Win、Mac互換性あり 	同上
NTFS	<ul style="list-style-type: none"> ・セキュリティ機能、暗号化、圧縮などの高度な機能に対応 	<ul style="list-style-type: none"> ・断片化 ・FTAに比べデータ復旧が難しい

AppleではAPFS、HFS、HFS+があり、LinuxではExt4がある。

「クラスタサイズ」：後述

アロケーションユニットサイズ（クラスタサイズ）とは

ファイルシステムは記憶領域をクラスタ単位で管理しています。

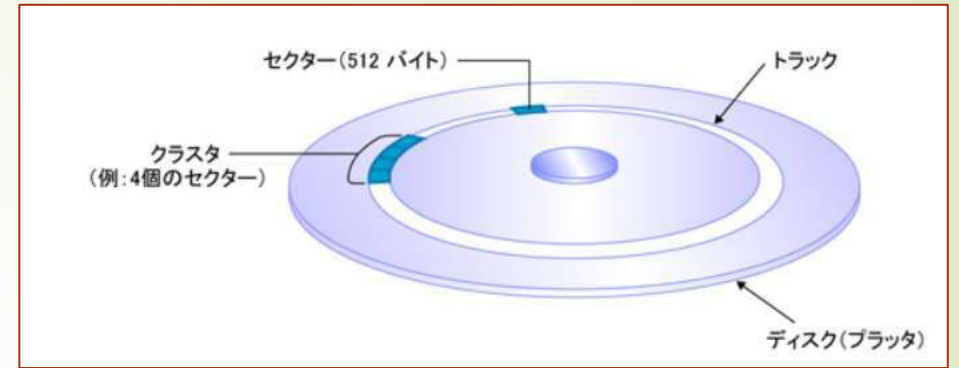
ファイルを保存するときに使用されるクラスタ数は下記で計算されます。

ファイルサイズ ÷ クラスタサイズ = 使用クラスタ数、但し小数点以下切り上げ
 クラスタサイズを大きくすると満杯になっていないクラスタ分が無駄になりますが、アクセス速度は向上します。（アクセス速度については周辺のシステムによって差がある）
 クラスタサイズを小さくすると満杯になっていないクラスタは減りますが、アクセス速度が低下します。

Microsoftに依るとexFATでの推奨クラスタサイズは以下となっています。

7 MB～256 MB：4 KB、256 MB～32 GB：32 KB、32 GB～256 TB：128 KB

結論としては、良く分からないので推奨値／標準があればその値にするのが良いようです。



出典：<https://xtech.nikkei.com/it/article/lecture/20061220/257410/>

ファイルのプロパティに下記(例)があります。ディスク上のサイズの方が必ず大きい。

サイズ:	112 KB (115,603 バイト)
ディスク上のサイズ:	116 KB (118,784 バイト)

サイズ：ファイルのサイズ
 ディスク上のサイズ：ファイルサイズ＋クラスタ内の使用していない容量

クイックフォーマットとは

クイックフォーマットとは管理領域のデータのみ消去、ファイルのデータが書き込まれている領域には何もしない。セキュリティ面では不十分。

管理領域：ファイル名及びそのファイルのデータがどのクラスタに書き込まれているか等を保存している領域

フォーマットとは

クイックフォーマットにチェックを入れていないと通常のフォーマットになります。フォーマットでは、クイックフォーマットに加えてファイルデータ書き込み領域すべてに0（ゼロ）を1回書き込み読み出しを行い異常なクラスタがあれば除外します。

2) Win付属の「ディスクの管理」

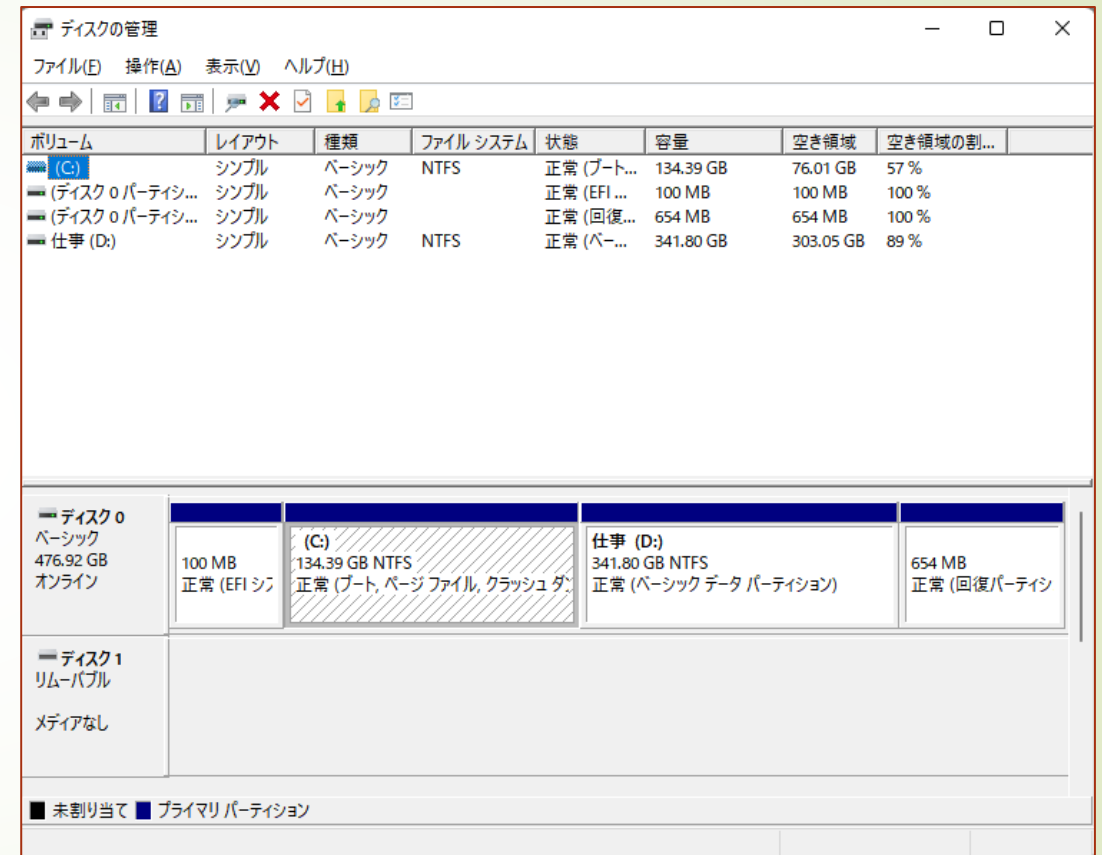
スタートを右クリック ⇒ ディスクの管理 (或いは、スタートを右クリック ⇒ コンピューターの管理 ⇒ ディスクの管理) で出来ること。

1. ディスクのフォーマット
2. ディスクのボリュームの削除
3. ボリュームの作成
4. パーティションの拡張
5. パーティションの縮小
6. ドライブ文字とパスの変更
7. パーティションの分割
8. パーティションの結合

但し、システム領域の操作はできない。

古いPCで使っていたシステムディスクをバックアップに使うなどでシステム領域のパーティションを変更したい場合はdiskpartコマンドで操作できます。操作方法は下記参照。

<https://jp.easeus.com/partition-manager-content-hub/understand-and-use-diskpart-commands.html>



出典： <https://jp.easeus.com/partition-manager/resize-partition-windows-10.html>

3) S.M.A.R.T.情報とは

Self-Monitoring, Analysis and Reporting Technology略称S.M.A.R.T.(SMART)のことでディスクの自己診断データをディスク内に記憶しています。

現在殆どのHDD・SSDにはこの機能が搭載されていますが、USBメモリやSDカードについては工業用などの一部に留まるようです。

S.M.A.R.T.情報はHDDの場合はメーカー間の差は余りないようですがSDDの場合は差が大きいです。

S.M.A.R.T.情報の読出しソフトはフリーではCrystalDiskInfo及びHDD Smart Analyzerが知られています。又メーカーが自社機器用に出しているものも一部にはあります。尚、外付けHDD等ではHDDは対応していてもインターフェースの問題で読み出せないケースもあるようです。

ウィキペディアに依れば半数のHDDが何の兆候も見せずに突然死することが明らかとのことで、HDD等の健康状態の監視をS.M.A.R.T.情報に大きく依存することは危険性があります。

CrystalDiskInfoの例

右のHDDは使用時間は約3千時間と短いですがC5,C6項にエラー警告（黄色）が出ており早めに交換した方が良さそうです。時々こんな音が出ていました。



現在値：現在の状態値

最悪値：過去に計測した値の内
の最悪値

しきい値：メーカーが書き込んだ
限界値。現在値・最悪値が
しきい値を下回ると故障が疑
われる。

生の値：リアルタイムデータ。
16進数で表示される。十進数
表示も可能。

CrystalDiskInfo 8.17.13 x64

ファイル(F) 編集(E) 機能(U) テーマ(T) ディスク(D) ヘルプ(H) 言語(Language)

● 正常 43 °C C:
● 正常 25 °C G:
● 注意 18 °C E:

WDC WD3200AAJS-19B4A0 320.0 GB

健康状態 **注意**

温度 **18 °C**

ファームウェア	01.03A01	バッファサイズ	8192 KB
シリアルナンバー	WD-WCAT15794562		
インターフェース	USB (Serial ATA)		
対応転送モード	---- SATA/300	電源投入回数	3305 回
ドライブレター	E:	使用時間	3250 時間
対応規格	ATA8-ACS ----		
対応機能	S.M.A.R.T., AAM, NCQ, GPL		

ID	項目名	現在値	最悪値	しきい値	生の値
● 01	リードエラーレート	200	200	51	8351
● 03	スピンドルアップ時間	168	154	21	2558
● 04	スタート/ストップ回数	97	97	0	3326
● 05	代替処理済のセクタ数	200	200	140	0
● 07	シークエラーレート	200	200	0	0
● 09	使用時間	96	96	0	3250
● 0A	スピンドルアップ再試行回数	100	100	0	0
● 0B	キャリブレーション再試行回数	100	100	0	0
● 0C	電源投入回数	97	97	0	3305
● C0	電源断による磁気ヘッド退避回数	200	200	0	549
● C1	ロード/アンロードサイクル回数	199	199	0	3326
● C2	温度	125	89	0	18
● C4	セクタ代替処理発生回数	200	200	0	0
● C5	代替処理保留中のセクタ数	200	200	0	12
● C6	回復不可能セクタ数	200	200	0	15
● C7	UltraDMA CRC エラー数	200	200	0	471
● C8	ライトエラーレート	200	200	0	10

右のHDDにはエラー警告はでていませんが、使用時間が約2.5万時ですので遠くない時期に交換することを検討した方が良さそうです。(HDDの寿命は3万時間前後との説もあります)

右のSSDでID05番の使用率はメーカー設定のP/Eサイクル数の何パーセントが使用されたかを示します。図では5%になりますので健康状態の所に95%と表示されています。同SSDはTLCです。使用率の最大表示可能値は255となります。尚、同SSDの書込みデータ量は定格の40%程度です。

右図で使用時間は約4千時間ですので寿命が来るまでにはあと8.6年連続で使えることとなります。

$$4000\text{hr} \times (1 - 0.05) \div 0.05 \div (24\text{hr} \times 365\text{日}) = 8.68\text{年}$$

右のSSDのカタログTBW値は300TBWです。右図で総書込み量は約10TBです。カタログ寿命の3%程しか使われていません。

TOSHIBA MQ01ABD100 1000.2 GB				
健康状態	ファームウェア	AX0A1U	バッファサイズ	8192 KB
正常	シリアルナンバー	Z3TOS420S	----	----
	インターフェース	USB (Serial ATA)	回転数	5400 RPM
温度	対応転送モード	SATA/300 SATA/300	電源投入回数	5736 回
23 °C	ドライブレター	G:	使用時間	24955 時間
	対応規格	ATA8-ACS ----		
	対応機能	S.M.A.R.T., APM, NCQ, GPL		

KXG6AZNV512G TOSHIBA : 512.1 GB				
健康状態	ファームウェア	5108AGLA	総読込量 (ホスト)	17116 GB
正常	シリアルナンバー	12CC610ZE1N4	総書込量 (ホスト)	10225 GB
	インターフェース	NVM Express	回転数	---- (SSD)
温度	対応転送モード	PCIe 3.0 x4 PCIe 3.0 x4	電源投入回数	970 回
44 °C	ドライブレター	C:	使用時間	4051 時間
	対応規格	NVM Express 1.3		
	対応機能	S.M.A.R.T., TRIM, VolatileWriteCache		

ID	項目名	生の値
01	クリティカルワーニング	0
02	温度	317
03	予備領域	100
04	予備領域 (しきい値)	10
05	使用率	5
06	総読み込み量 (ホスト)	35896650
07	総書き込み量 (ホスト)	21444091
08	リードコマンド数 (ホスト)	468069583
09	ライトコマンド数 (ホスト)	382637734
0A	コントローラビジー時間	1324
0B	電源投入回数	970
0C	使用時間	4051
0D	アンセーフシャットダウン回数	37
0E	データエラー回数	0
0F	エラーログエントリ数	0

右のSSDでは使用率が表示されていません。前頁の表示とはかなり異なる。

ネットで調べると同SSDはTLCですのでP/Eサイクル数は3千と仮定。

使用率 = 総書込量 ÷ (定格容量 × P/Eサイクル数) = 1.5%

IDE9のメディア消耗指標は残り量を%で表すようで右の場合は残り95%でまだまだ使えるようです。(突発的な故障は分からない)

尚、同SSDの書込みデータ量は定格の90%程度です。

CrystalDiskInfo 9.1.1 x64

ファイル(E) 編集(E) 機能(U) テーマ(T) ディスク(D) ヘルプ(H) 言語(Language)

● 正常
31 °C
C:

SAMSUNG MZNL128HCHP-00000 : 128.0 GB

健康状態	ファームウェア	FXT2101Q	総読込量 (ホスト)	7858 GB
● 正常	シリアルナンバー	S28TNXAGC36255	総書込量 (ホスト)	5800 GB
	インターフェース	Serial ATA	回転数	---- (SSD)
温度	対応転送モード	SATA/600 SATA/600	電源投入回数	1369 回
● 31 °C	ドライブレター	C:	使用時間	1876 時間
	対応規格	ACS-2 ATA8-ACS version 4c		
	対応機能	S.M.A.R.T., NCQ, TRIM, DevSleep, GPL		

ID	項目名	現在値	最悪値	しきい値	生の値
● 05	代替処理済のセクタ数	100	100	10	000000000000
● 09	使用時間	99	99	0	00000000754
● 0C	電源投入回数	98	98	0	00000000559
● AA	未使用予備ブロック数 (チップ)	100	100	10	000000000000
● AB	書き込み失敗回数 (チップ)	100	100	10	000000000000
● AC	消去失敗回数 (チップ)	100	100	10	000000000000
● AD	ウェアレベリング回数	96	96	5	00000000052
● AE	予期せぬ電源断回数	99	99	0	00000000000B
● B2	使用済予備ブロック数 (チップ)	100	100	10	000000000000
● B4	未使用予備ブロック数 (トータル)	100	100	10	0000000042C
● B8	エラー検出回数	100	100	97	000000000000
● BB	訂正不可能エラー数	100	100	0	000000000000
● C2	温度	69	47	0	0000000001F
● C7	CRC エラー数	100	100	0	000000000000
● E9	メディア消耗指標	95	95	0	000000F58105
● F1	総書き込み量	99	99	0	0000000016A8
● F2	総読み込み量	99	99	0	000000001EB2
● F9	ベンダ固有	99	99	0	000000002900

USBメモリやSDカードのSMART情報の読出しを行うことはごく一部の製品を除いてできないようです。

これらのメモリについては「Check Flash」というフリーソフトでメモリのチェックが出来ます。Win11でも使えますが機能に制限が出る模様又、最大4GBまでしかチェックできません。参考：https://gigazine.net/news/20090802_check_flash/

4. データの消去

1) Delete

ごみ箱内のファイルやエクスプローラでファイルをDeleteすると、ディスク内のファイルの管理情報のごく一部のみが消去されます。クラスタ内のデータは消去されません。

2) クイックフォーマット

クイックフォーマットを行うと、ディスク内の管理情報のみが消去されます。クラスタ内のデータは消去されません。

3) フォーマット

フォーマットを行うと、ディスク内の管理情報が消去され、全てのクラスタに一度書き込み・読出しが行われ異常なクラスタは除外されます。

HDDではディスクを取り出して高感度なヘッドで読み取れば1回前は読めるようで、2回前は何とか、3回前はほぼ無理なようです。

注：SSDではフラッシュメモリは書き込み前に消去を行いますので書き込み速度を上げるために消去されたファイルのクラスタ内のデータをアイドル中に自動的に消去する機能（Trim）があります。ファイルを消去してから数時間以内にデータが消去されるようです。

Trim機能の停止方法は <https://www.ubackup.com/jp/windows-11/trim-ssd-windows-11.html>

3) メモリの破棄・譲渡

対応方法が<https://www.diskdeleter.jp/about/features/erasing-method/> にリストされています。

右図は「FILE SHREDER」と言うフリーソフト例です。

幾つかの消去方法が選択できますが、書込み回数（Pass数）が多いほど時間を要します。



5. 最後に

フラッシュメモリの信頼性をHDD等比較して疑う記事は見られなくなって来ています。HDDの一般的な保証期間は2～3年のものが多く、SSDは5年保証のものが多い。

が、フラッシュメモリの特性を理解して利用する必要があります。特に大容量を煩雑に書き込むような使い方をして定格TBWに近づくとデータ損失の恐れが高くなることに注意が必要です。又無給電での長期保管もお勧めできません。

安価なマイクロSDカードやUSBメモリには特に注意が必要です。

ご清聴ありがとうございました。