

ゼロから学ぶSSD： 構造、動作、耐久性のポイント

キオクシア株式会社

目次

1. SSDの利点と構造

- SSDとは
- フォームファクター（Form Factor）紹介
- SSDのインターフェイス（Interface）
- SSD構成

2. SSDの動作

- 書き込みと消去の動作
- ガベージコレクション（Garbage Collection）
- 論理ブロックアドレス⇔物理ブロックアドレス変換
- ウェアレベリング（Wear Leveling）
- オーバープロビジョニング（Over Provisioning）

本資料は、SNIA日本支部（英語名：Storage Networking Industry Association Japan Forum）が2025年2月14日に開催した2024年度ストレージトレンドセミナー（第三回）において使用した資料です。本資料中の情報は2025年3月時点の情報であり、予告なしに変更される場合がありますので、あらかじめご了承ください。本資料の転記・転載は禁じます。

SSDとは

- SSD（Solid State Drive）とは、半導体メモリ（NAND型フラッシュメモリ）を記憶素子とするストレージデバイスです。
- SSDは転送速度が速く、消費電力も小さいため機器のパフォーマンス向上が可能となります。
- 構造上メカニカルな部分がないため、衝撃・振動に強いです。
- 騒音もないため、音が気になる機器にも最適なストレージデバイスです。
- 組み込み機器からサーバーストレージシステムまで、幅広い用途に使用できます。

HDD（Hard Disk Drive）との比較

SSDの強み

- 転送速度が速い
- 衝撃、振動に強い
- 消費電力が少ない
- 軽い、静か
- サイズの自由度が高い
- 機器の適用範囲が広い

SSDの弱み

- データの書き込み制限がある
- 容量単価が高い

HDD：Hard Disk Drive



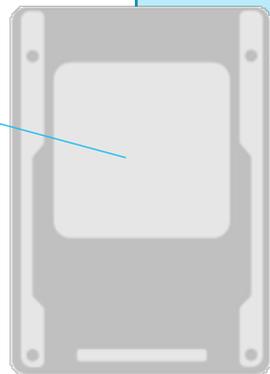
SSD：Solid State Drive



フォームファクター（SSDの形状）

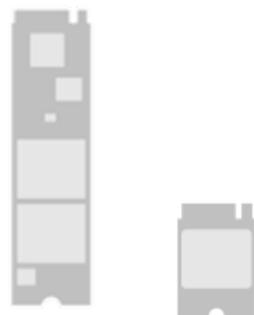
2.5-inch Form Factor

2.5-inch HDDと
同じサイズ



69.85 x 100 x 15 mm

M.2 Form Factor



22 x 80/30 x 2.18~3.58 mm

Single Package



20 x 16 x 1.3~1.5 mm

小型化

2.5-inch、M.2は主流のForm Factorで
Laptop PC組み込み機器向けに活用されます。

EDSFF

EDSFF（Enterprise and Datacenter Standard Form Factor）は、エンタープライズおよびデータセンター・ストレージの懸念に対処するために、SNIA SFF Technology Affiliateによって策定されました。

E1.S 33.75 x 118.75 mm

E1.L 38.4 x 1318.75 mm

E3.L 2T

E3.L

76 x 142.2 mm

E3.S 2T

E3.S

76 x 112.75 mm

大容量
高性能
冷却効果

Thickness 9.5 mm

*15 mm

*25 mm

Thickness 9.5 mm

Thickness 16.8 mm

7.5 mm

16.8 mm

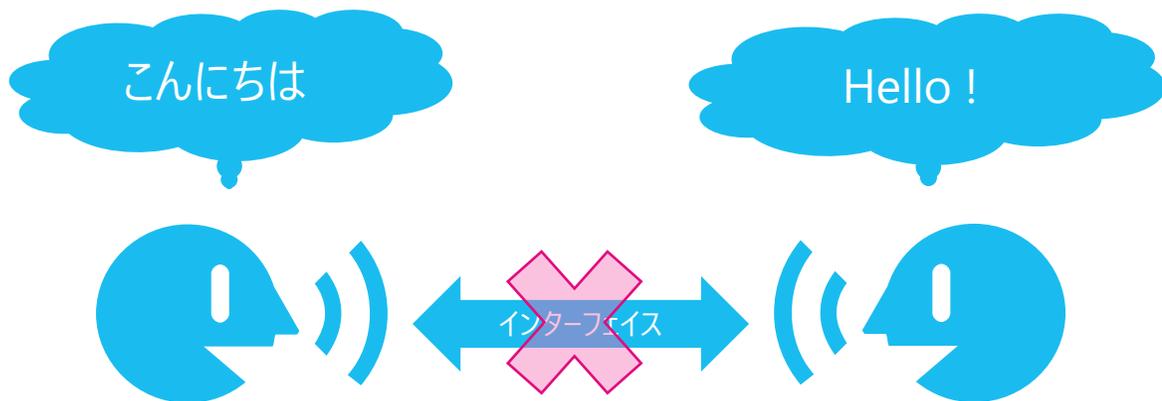
7.5 mm

SSDのインターフェイス

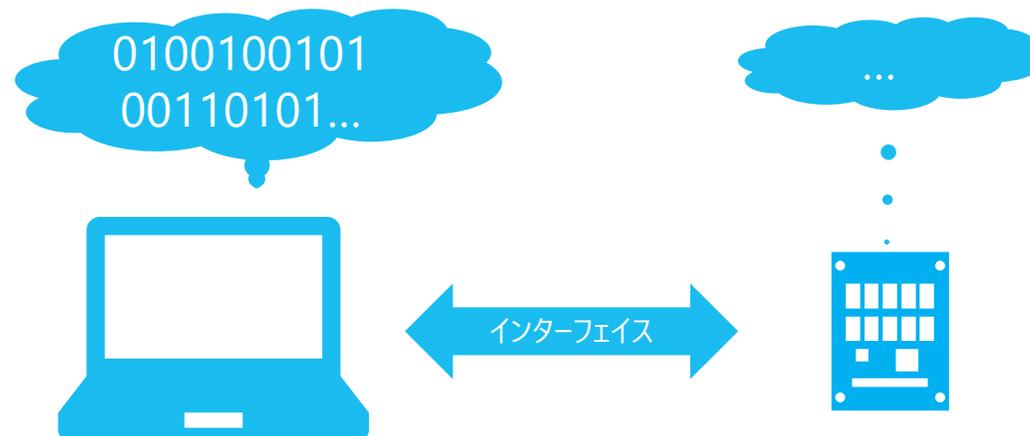
インターフェイス：

SSDとSSDを使うシステムを接続するためのルール・方法

人間で考えると...



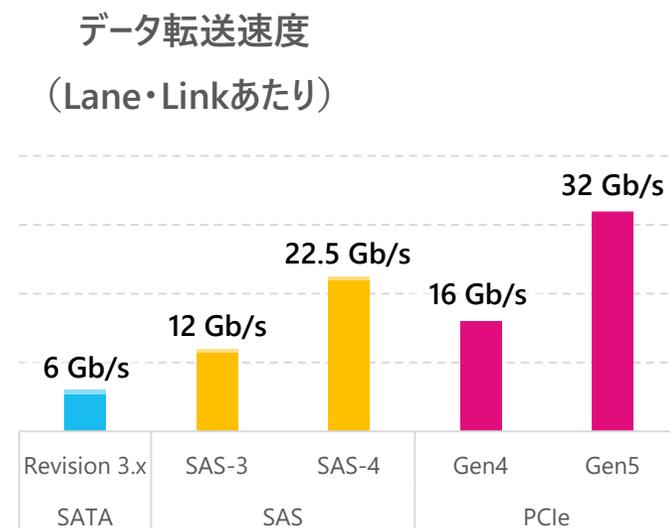
SSDで考えると...



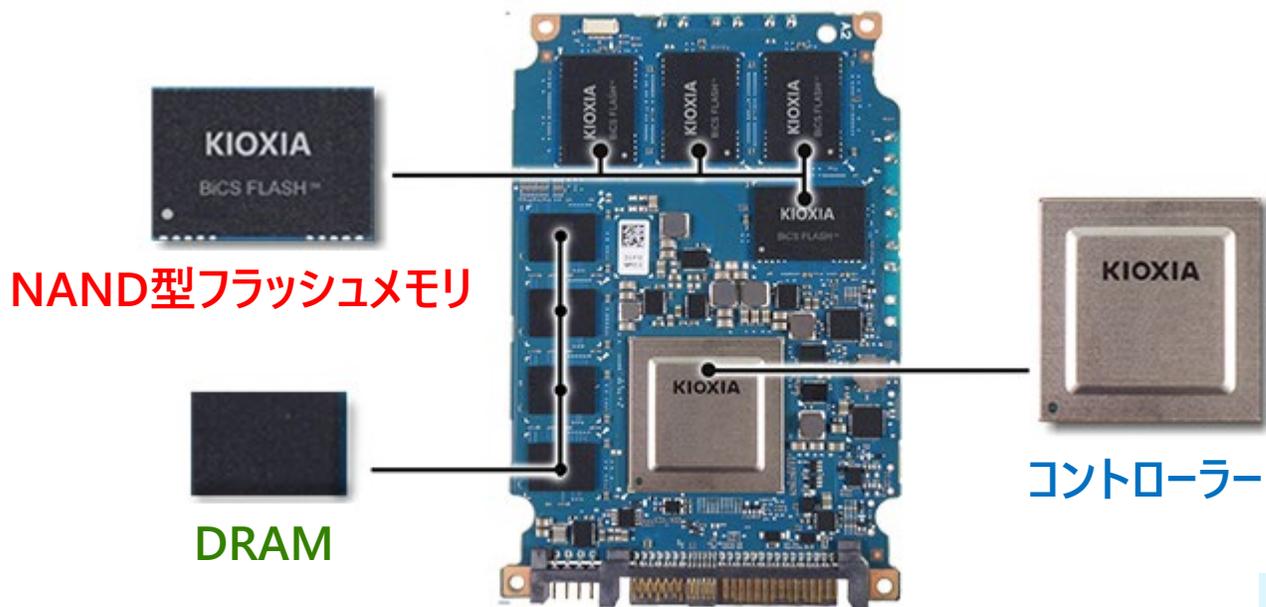
SSDのインターフェイス種類

SSDは、大きく3つのインターフェイスが使用されており、アプリケーションによって使い分けられています。

SATA (Serial ATA) Serial Advanced Technology Attachment	SAS Serial Attached SCSI	PCIe® Peripheral Component Interconnect Express
✓ 転送速度： 6 Gb/s (SATA Revision 3.x)	✓ 転送速度： 22.5 Gb/s (SAS-4) x Link数	✓ 転送速度： 32 Gb/s (Gen5) x Lane数
✓ Single Port	✓ Single Port/Dual Ports	✓ Single Port/Dual Ports
✓ ACS (ATA Command Set)	✓ SPL (SAS Protocol Layer)	✓ NVMe™ (Non-Volatile Memory Express)
✓ 低コスト (元々PC向け) ✓ SATA HDDの環境をそのまま使用可能	✓ SATAに比べて、高速、高信頼性 ✓ SATAと共存可能 (SASコネクタにSATAドライブを接続可能) ✓ Expanderで接続デバイス台数を増設可能	✓ 更なる高速化を予定 64 Gb/s (Gen6)、 128 Gb/s (Gen7)



SSDの構造



NAND型フラッシュメモリ：

データを蓄積するNAND型フラッシュメモリです。

DRAM：

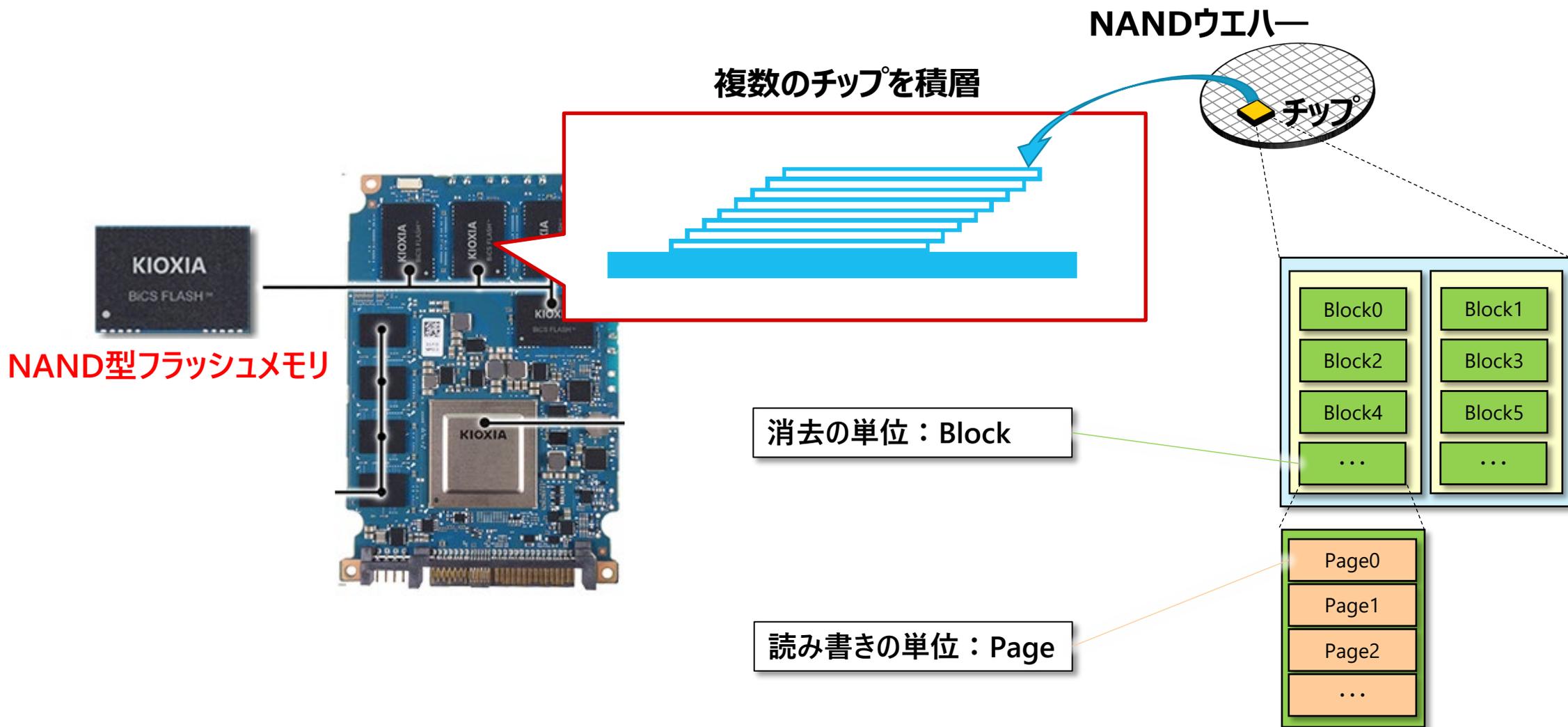
キャッシュ機能やテーブル管理を行います。
(※DRAM無しの場合もあります。)

コントローラー：SSDの心臓部

コントローラーでの制御により、高速化／書換寿命の長期化／高信頼性化を実現します。

世代ごとに、NAND型フラッシュメモリの内部構造は異なり、同じ容量のNAND型フラッシュメモリでも動きが異なります。それをコントローラーで制御して、同じ動きをしているように見せるのがSSDです。

NAND型フラッシュメモリ、SSDの構造



目次

1. SSDの利点と構造

- SSDとは
- フォームファクター（Form Factor）紹介
- SSDのインターフェイス（Interface）
- SSD構成

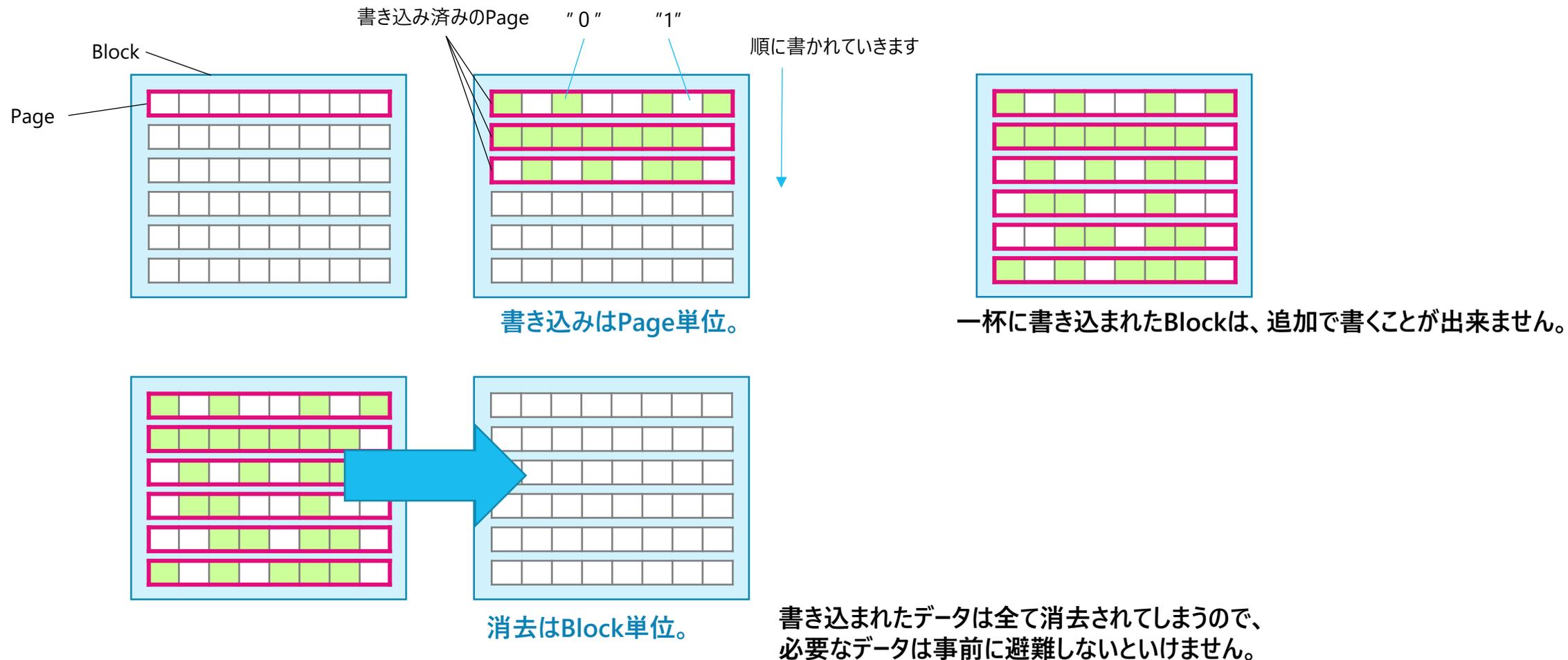
2. SSDの動作

- 書き込みと消去の動作
- ガベージコレクション（Garbage Collection）
- 論理ブロックアドレス⇔物理ブロックアドレス変換
- ウェアレベリング（Wear Leveling）
- オーバープロビジョニング（Over Provisioning）

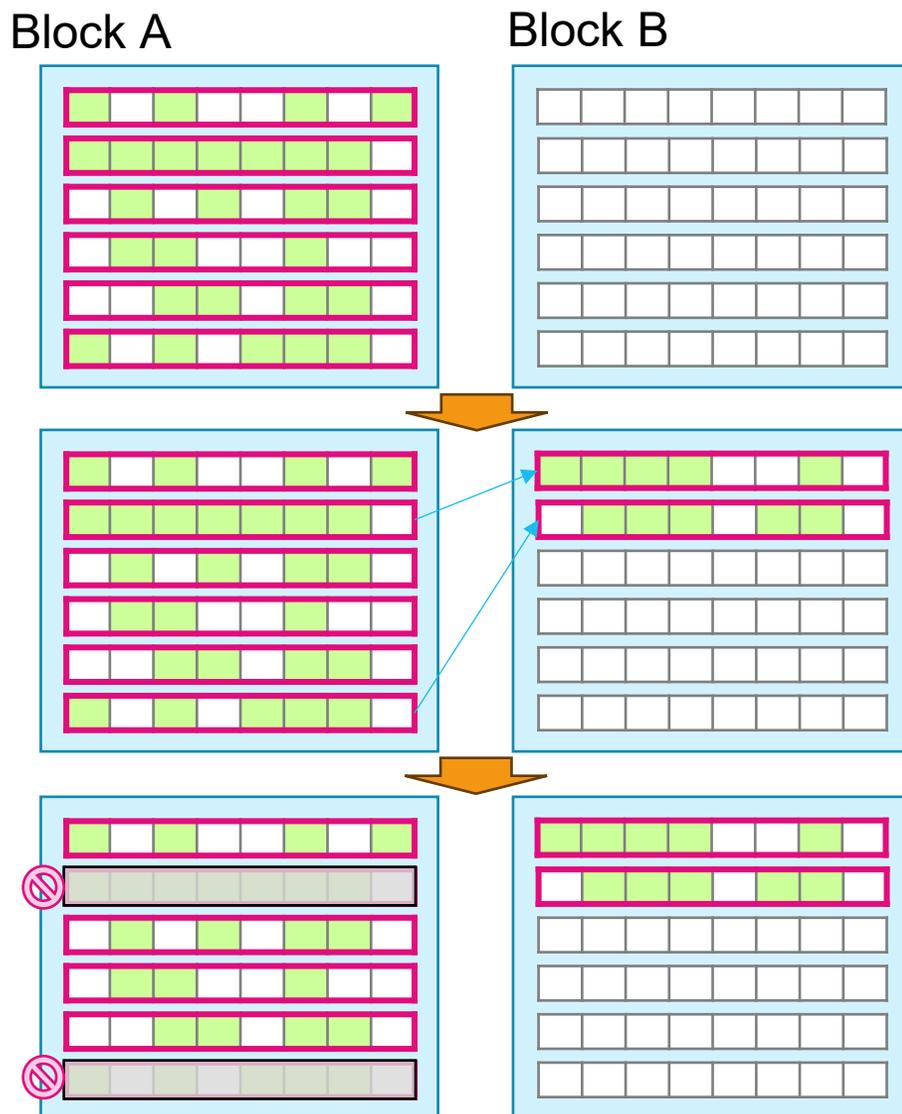
- 書き込みの単位と消去の単位は異なる
- 消去/書き込み回数に限りがある
- 書き込み後、徐々にデータが化ける

書き込みと消去動作

「書き込みの単位」と「消去の単位」は異なります。



データの更新



新しいBlockを用意します。



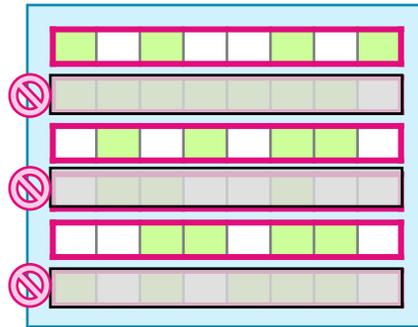
更新したいPageを
新しいBlockに書き込みます。



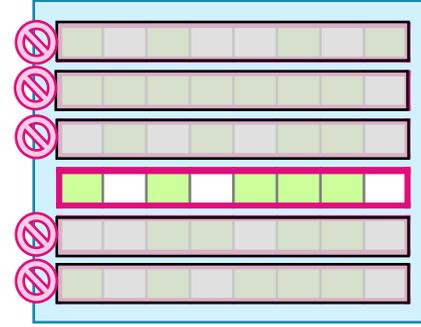
前のBlockにあったデータは
参照しないようにCheckをつけます。
(後述の論物変換テーブル上でCheckをつけます。
Page上のデータは残ったままで目隠し状態になります。)

データの断片化

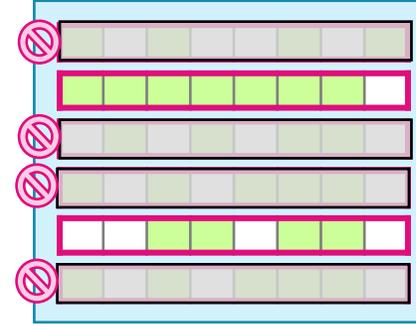
Block A



Block B



Block C

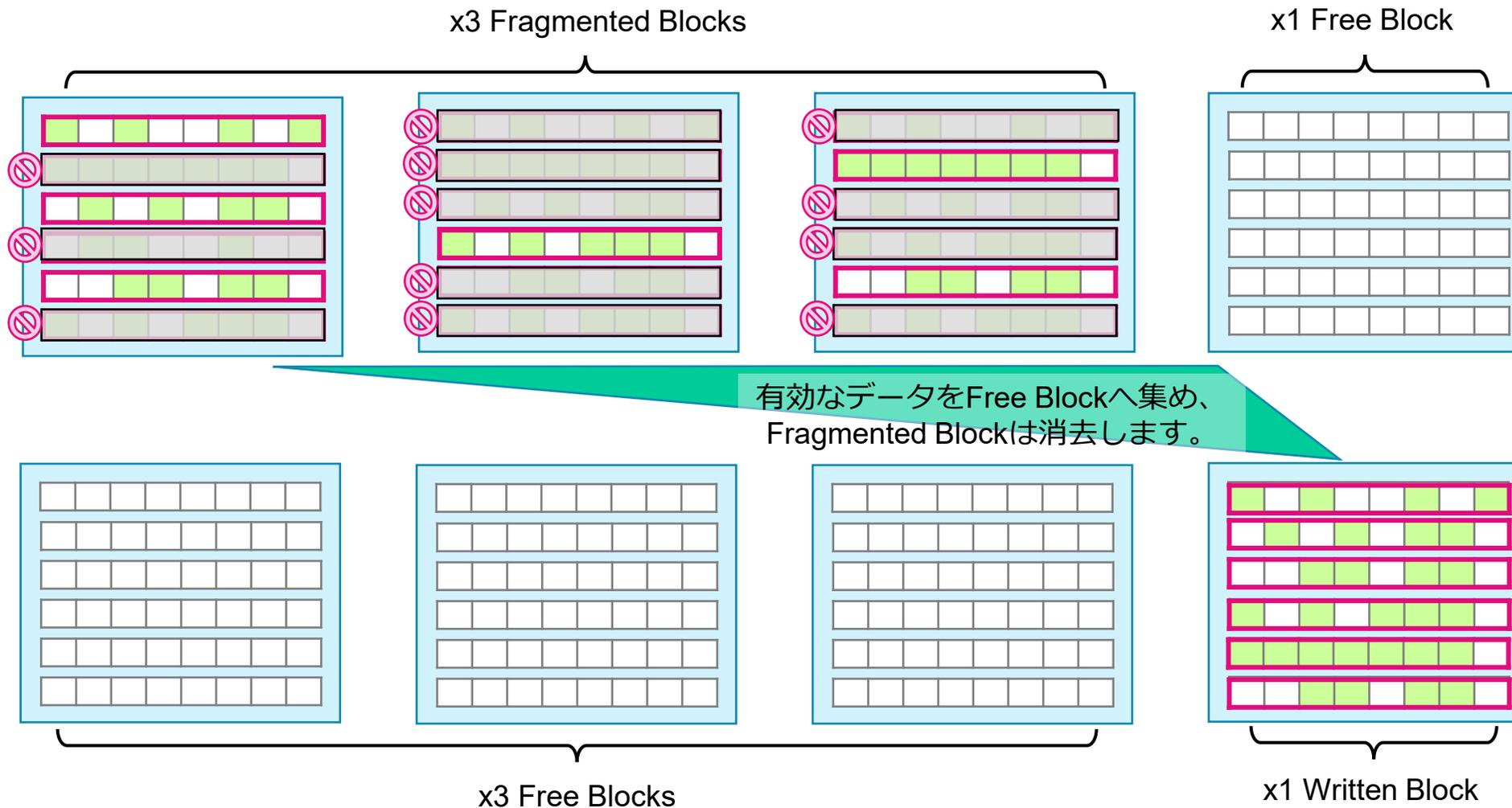


新しいBlockに書き続けていたら、
使えない領域が増えてしまった。
どうしたら、いいの？



ガベージコレクション (Garbage Collection)

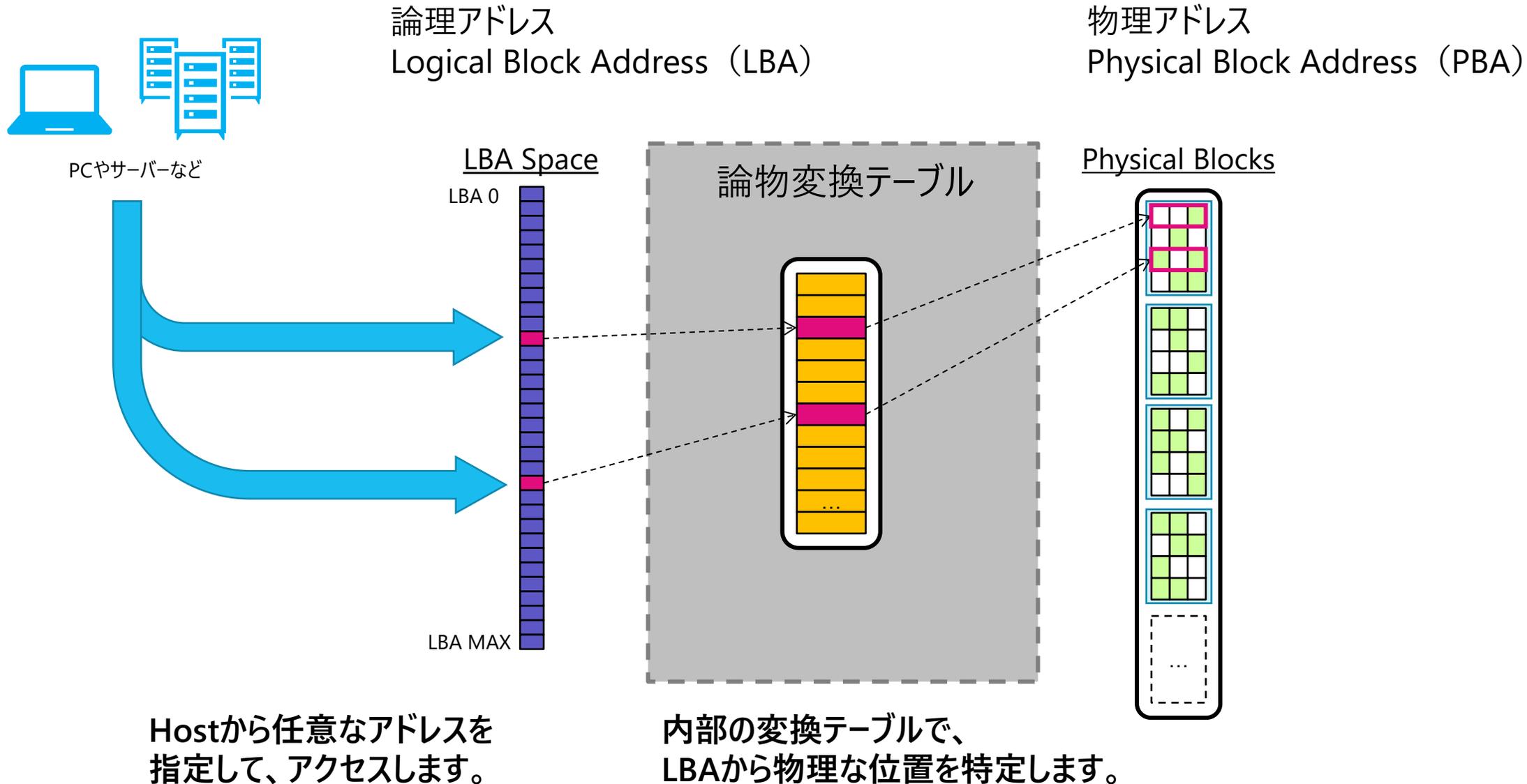
ガベージコレクションは、SSDが自動で断片化したメモリ領域を検出し解放する機能であり、それにより、新たに書き込み領域を確保してする機能です。



SSDが整理してくれて、また書き込み出来る。



論理ブロックアドレス⇔物理ブロックアドレス変換

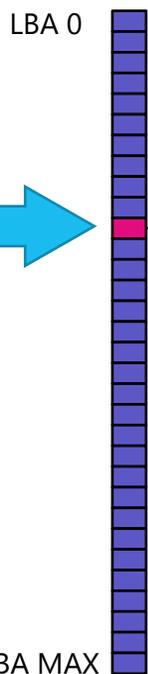


論理ブロックアドレス⇔物理ブロックアドレス変換



PCやサーバーなど

LBA Space

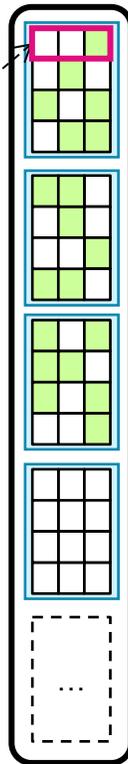


あるLBAのデータをHostが更新する場合

1. 他の消去済みBlockに新データを書き込みます。
2. 変換テーブルを書き換えることで、LBAの指すNAND物理アドレスを更新します。

論物変換
テーブル

Physical Blocks

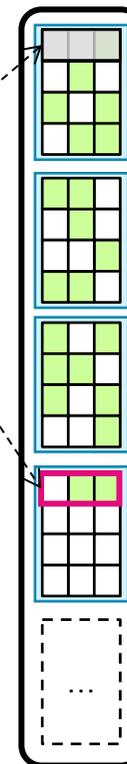


LBA Space



論物変換
テーブル

Physical Blocks



物理的なアドレスが変わっても、
同じLBAでアクセスが出来る。

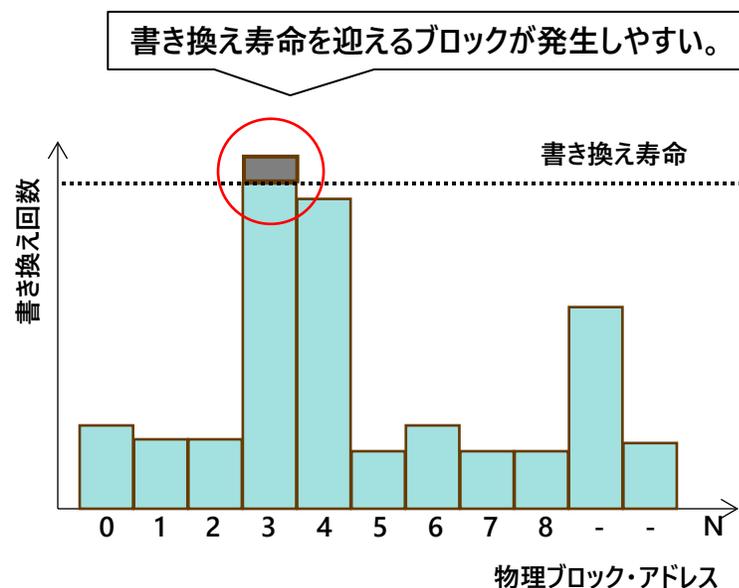


ウェアレベリング (Wear Leveling)

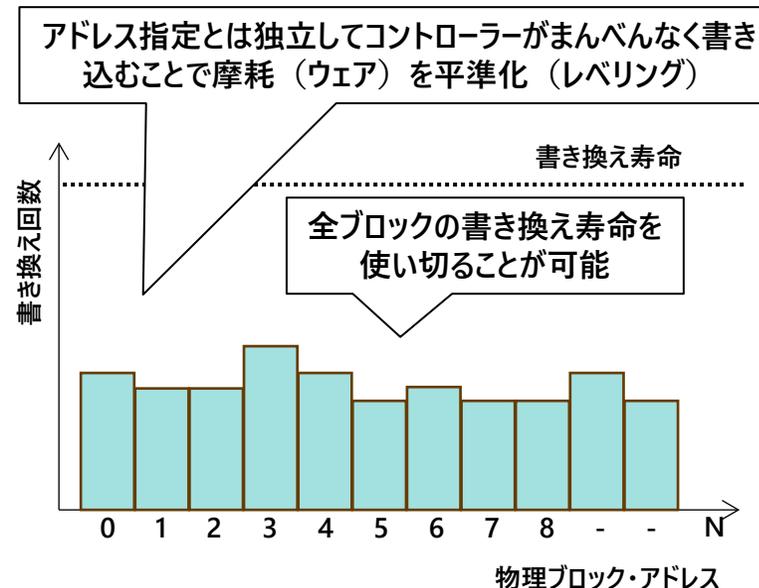
ウェアレベリングは、「**摩耗平準化**」の意味です。

NAND型フラッシュメモリには書き換え寿命があり、読み出し／書き込み作業の繰り返しによるSSD全体の寿命短縮を防ぐために**ブロックの記録回数の平準化**を行う技術です。

ウェアレベリングなし



ウェアレベリングあり



ウェアレベリングのおかげで、最後まで同じ容量が使えた。

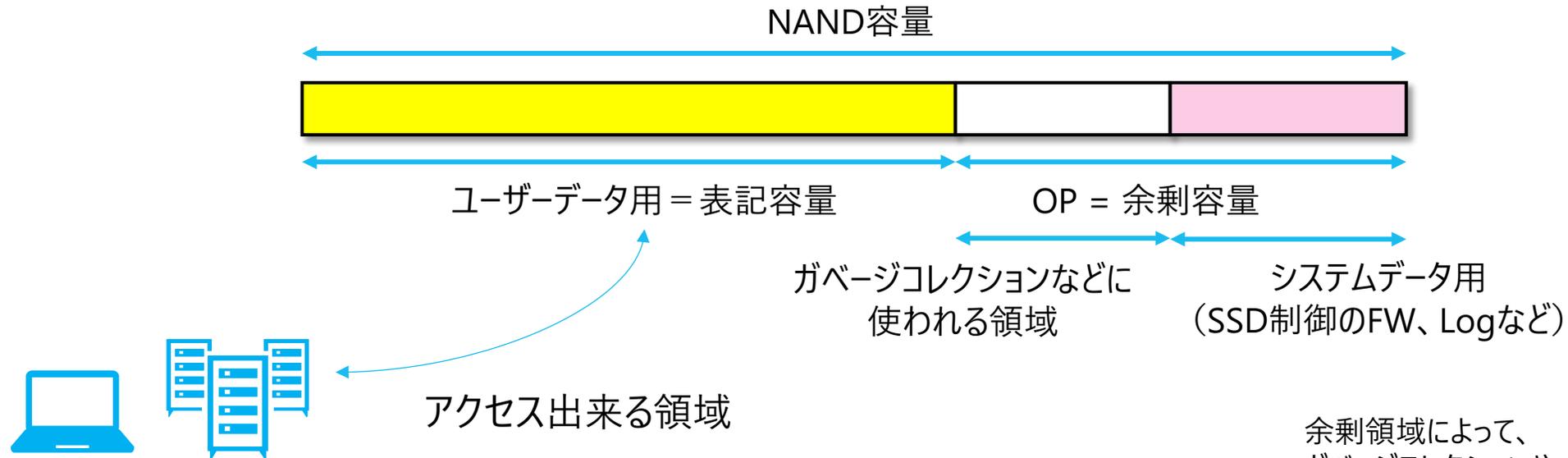


寿命ブロック (使えないブロック) が増える = 容量が減る

オーバープロビジョニング (Over Provisioning)

オーバープロビジョニングは、SSD内部に搭載された総メモリ容量から、ユーザーが利用可能な容量を差し引いた余剰容量のこと。

ガベージコレクションなどのための余剰領域を確保することが出来ます。
余剰容量の一部は、SSDのシステムデータの保管場所ともなっています。



余剰領域によって、ガベージコレクションやウェアレベリングが効率的に実施できる。



ECC : Error Correction Code

ECCは、ビット誤りなどのエラーを訂正する為に付加される冗長コードです。同じNANDチップでも、SSDとしての寿命はエラー訂正能力で変わります。

リフレッシュ (Refresh)

ECCの訂正限界を迎える前にデータを書き直してエラーを防ぎます。

NAND型フラッシュメモリのエラーレート増加原因 (例)

- 記録後の時間の経過
(Data Retention)
- 同じデータまたは隣接データの繰り返し読み出し
(Read Disturb)

対策として

ECCによるデータエラー訂正！

ECCの訂正限界を超える前に
リフレッシュ（書き直す）でエラーを防ぐ！

SSDの寿命・耐久性（Endurance）について

SSDの耐久性（Endurance）は、TBWまたはDWPDで表現されます。

TBW（Terabytes Written）

TBWはドライブの総書き込み量です。この数値が高いと、書き換え耐性が高いです。
通常は、JEDECで規定されている以下のワークロードで定義されます。

- Client SSD : JESD 219A Client endurance workload
- Enterprise SSD : 4KiB random write、または、JESD 219A Enterprise endurance workload

DWPD（Drive Writes Per Day）

DWPDは保証期間中に毎日ドライブ全領域を書き換えた場合の書き換え可能回数です。

$$DWPD = \frac{TBW \times 1024}{Capacity_{GB} \times Lifetime_{years} \times 365}$$

例：960 GB DWPD 1、定格寿命が5年の場合
→ 365日 x 5年間、1日1回960 GBのデータを書き換えることができます。

■ 書き込みの単位と消去の単位は異なる

書き込みと消去の単位に合わせて、書き込む場所を管理
ガベージコレクションで、ブロックの有効活用
論物変換テーブルに、論理アドレスと物理アドレスを制御

■ 消去/書き込み回数に限りがある

ウェアレベリングでブロックごとの書き換え回数を平準化
オーバープロビジョニング（余剰領域）で、
ガベージコレクション、ウェアレベリング効率的に実施

■ 書き込み後、徐々にデータが化ける

ECCとリフレッシュでデータを保護

KIOXIA

注釈：

記憶容量：1 MB（1メガバイト）=1,000,000（10の6乗）バイト、1 GB（1ギガバイト）=1,000,000,000（10の9乗）バイト、1 TB（1テラバイト）=1,000,000,000,000（10の12乗）バイトによる算出値です。しかし、1 GB=1,073,741,824（2の30乗）バイトによる算出値をドライブ容量として用いるコンピューターオペレーティングシステムでは、記載よりも少ない容量がドライブ容量として表示されます。ドライブ容量は、ファイルサイズ、フォーマット、セッティング、ソフトウェア、オペレーティングシステムおよびその他の要因で変わります。

商標：

記載されている社名・商品名・サービス名などは、それぞれ各社が商標として使用している場合があります。

免責事項：

© 2025 KIOXIA Corporation. All rights reserved.