

Steady State Performance Evaluation

— for SATA SSD

<Produced>

JVCKENWOOD Corporation

Yoshinobu Nagase

ADATA Technology Japan Co., Ltd. MIKASA SHOJI CO., LTD. Western Digital Technologies GK

Tsuyoshi Shiki

Ryosuke Shimizu

Hamaguchi Takehiko

Ken Furuhata

Takayuki Yokoyama

<Acknowledgments>

Hirota Seisakusho Limited

Yoshie Ito

I-O DATA DEVICE, INC.

Yosuke Matsunaga

Sales Right, Inc

You Haruyama

1. Introduction

本 White paper は、Solid State Drive (SSD) の運用初期時の判断指標として、SNIA が発行している Solid State Storage (SSS) Performance Test Specification (PTS) (以下、SSS-PTS) において定義されている図 1 に示される Steady State を評価するための実施例を示し、長期運用を目的とした SSD の性能評価のサンプル例を示す。

評価サンプルは、産業機器向けを中心とした SATA インターフェースを持つ 2.5 インチ型 SSD とし、評価パターンについては表 1 で示すように産業機器向けで良く使われるパターンを IDEMA で検討を進めてきた。

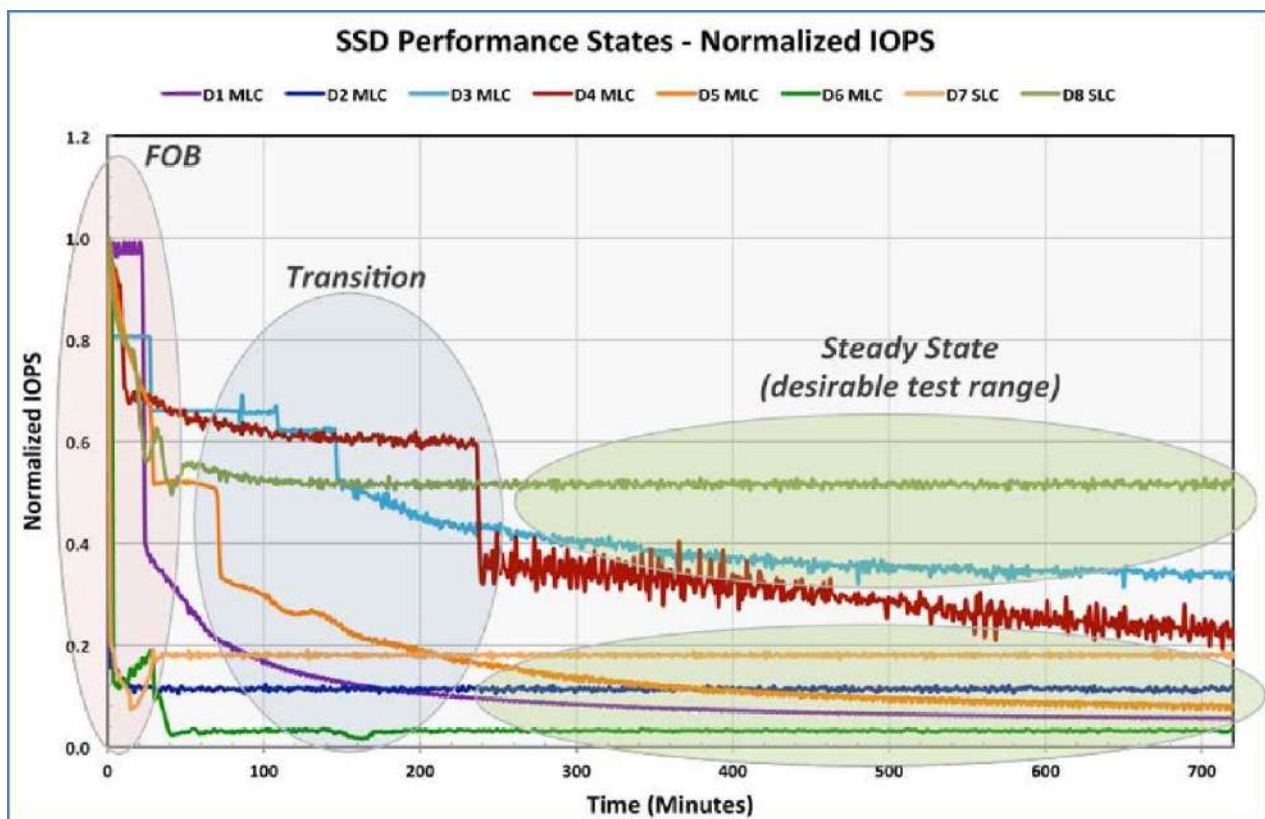


図 1 .AND-based SSS Performance States for 8 Devices (RND 4KiB Writes)

2. 背景

産業機器において SSD を使用する場合、連続書き込みで使うことが多く、SSS-PTS で定義されている、図 1 で示される Steady State（定常状態）の性能を把握することが重要になってくる。なぜなら、SSD の性能は FOB（出荷直後）状態では最高のパフォーマンスを発揮するが、使用が進むにつれて性能が変化する Transition（遷移）を経て、Steady State（定常状態）に到達し、この状態での性能が、長時間運用環境において SSD の信頼性と耐久性を評価する上で重要となるからである。

しかしながら現状の SSD 評価方法の多くは FOB 状態を評価するものが多く、Steady State を評価する方法が存在していない。

そこで IDEMA で評価方法を検討したところ、SSS-PTS では Steady State の評価方法が存在するものの、さまざまな用途に対応するため、多くの評価パターンが記載されていることがわかった。

そこで、SSS-PTS から産業機器向けに必要な項目を抽出し、具体的に出来るだけ短時間で評価する方法の検討を行った。

本 Whitepaper では、SNIA の SSS-PTS 規格に基づき、産業機器向けに特化した評価パターンを用いて、SSD が Steady State に到達するまでのパフォーマンスを測定する。具体的には、「10 Write Saturation Test」を実施し、評価機材として広田製作所製の「SMART TESTER for 6G」を使用することで、評価結果の整合性と正確性を図っている。

詳細な評価の実施方法は SSS-PTS の「4 Overview of Common Test Flow」に示されており、テストツールは「6 Test Tool Guidelines」に記載されている。

本 Whitepaper ではこのテスターを用いた具体的な測定例も示す。

評価結果はわかりやすくするために 3 つのサンプルを使用しているが、すべてのケースで同じ結果が得られるわけではないため、評価時には注意が必要である。

3. 定義

本 Whitepaper 中の定義は SSS-PTS に準ずる。

経緯をたどると SSS PTS は、2011 年 8 月に初版（Version 1.0）が制定され、その 1 編として 1 項が定義された。その後、多くの製品に SSD が採用されるようになったことで普及も広がり、技術も進化するなどの背景に合わせ 評価方法を見直し、改版を繰り返した。SSS PTS は、2020 年 10 月にリリースされた Version 2.0.2 が最新となるが、図 1 に示す Steady State を評価するプロセス・表現については、初版の内容が継承されている。

2020 年以降も SSD の技術進化は躍進的で、ユーザーサイドでの使われ方も多様化している。そこで 近年の汎用技術（表現含む）を検討した結果、IDEMA では 以下のように定義する。

クライアント SSD

ノート PC、デスクトップ PC やタブレット端末に実装され 一般的なビジネス用途向けの SSD を示す。中でも産業用として提供される SSD は、搭載する機器や利用の環境に応じて、搭載部品や仕様をカスタマイズすることが可能で、同一モデルを長期間に渡っての供給が求められる場合がある。

コンシューマーと言われる、個人 一般消費者向け PC やタブレット端末に実装される SSD も含まれ、40℃環境下で、1 日 8 時間程度の使用を想定して設計されているのが一般的で、データは、実装（接続）された機器とのみとアクセスする。

データシートに記載されている書き込み/読み込み速度の値は、FOB 状態の高い値で規定されていることが多く、長期に使う場合にはパフォーマンスの低下に注意が必要となる。

エンタープライズ SSD

データセンターやサーバー・ストレージレイなど、計測器、通信機器など向け SSD を示す。

55℃環境下で、24 時間 365 日連続動作することを想定して設計されているのが一般向けで、データは、複数の機器からのアクセスを想定する。

書き込み頻度は多い想定で、クライアント SSD に比べ はるかに優れた耐久性とパフォーマンスを提供し 不意の電源遮断による書き込みデータ保護やデータ化けを低減する機能などが強化されている。

スペックに記載されている書き込み/読み込み速度の値は、使い始めのよい状態ではなく使い込んだ後の落ち着いた状態（Steady State）で規定されていることが多い。

4. 評価方法

本評価方法は Steady State の評価方法として SSS-PTS の「10 Write Saturation Test」を使用する
具体的な実施方法は「4 Overview of Common Test Flow」に示されており、これを広田製作所製テスト
ー (SMART TESTER for 6G) にて実装し、評価を実施している SSD 性能測定に使用した機材と評価方
法を以下に記載する。

4.1 使用機材

- ・ SMART TESTER for 6G(本体)
- ・ サポートプロトコル : SATA III (6Gbps)
- ・ Host PC (ホストプログラム用)



図 2 .SMART TESTER for 6G

-- イメージ写真 --

4.2 接続方法

- ① SMART TESTER に測定用 SSD (SSD) を接続する。(最大 4 台)
- ② Host PC から専用アプリケーションを使い 任意の組み合わせ条件を記述したスクリプトを選択し 測定を実行する。

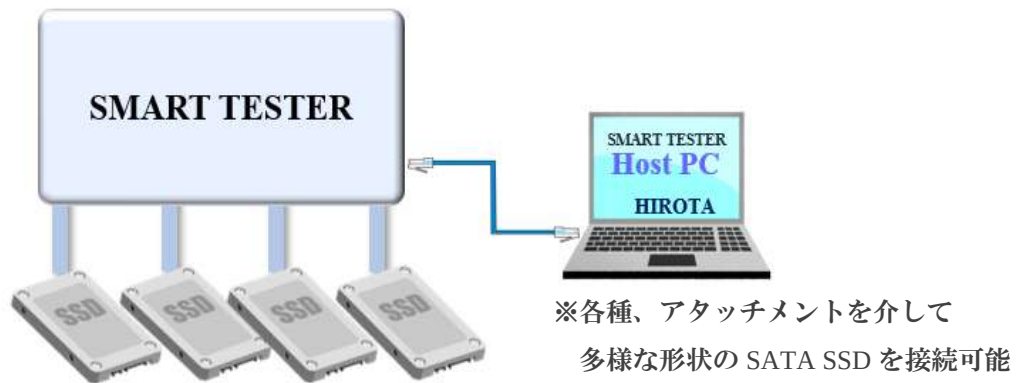


図 3 .接続構成図 (参考)

4.3 実行結果の取得方法

全ての実行結果として、ログを自動保存する。

専用 GUI を使って、直接グラフ作成も自動化

性能測定や電力測定データは csv 形式で保存され、ベンダーユニークな表現をアシストする。

4.4 実行時の HOST PC のメイン画面

ポート毎に独立制御方式を採用し、個別操作も全ポート一括操作も可能。
連続的な組み合わせを実現する、テストスケジューラーも標準でサポートする。

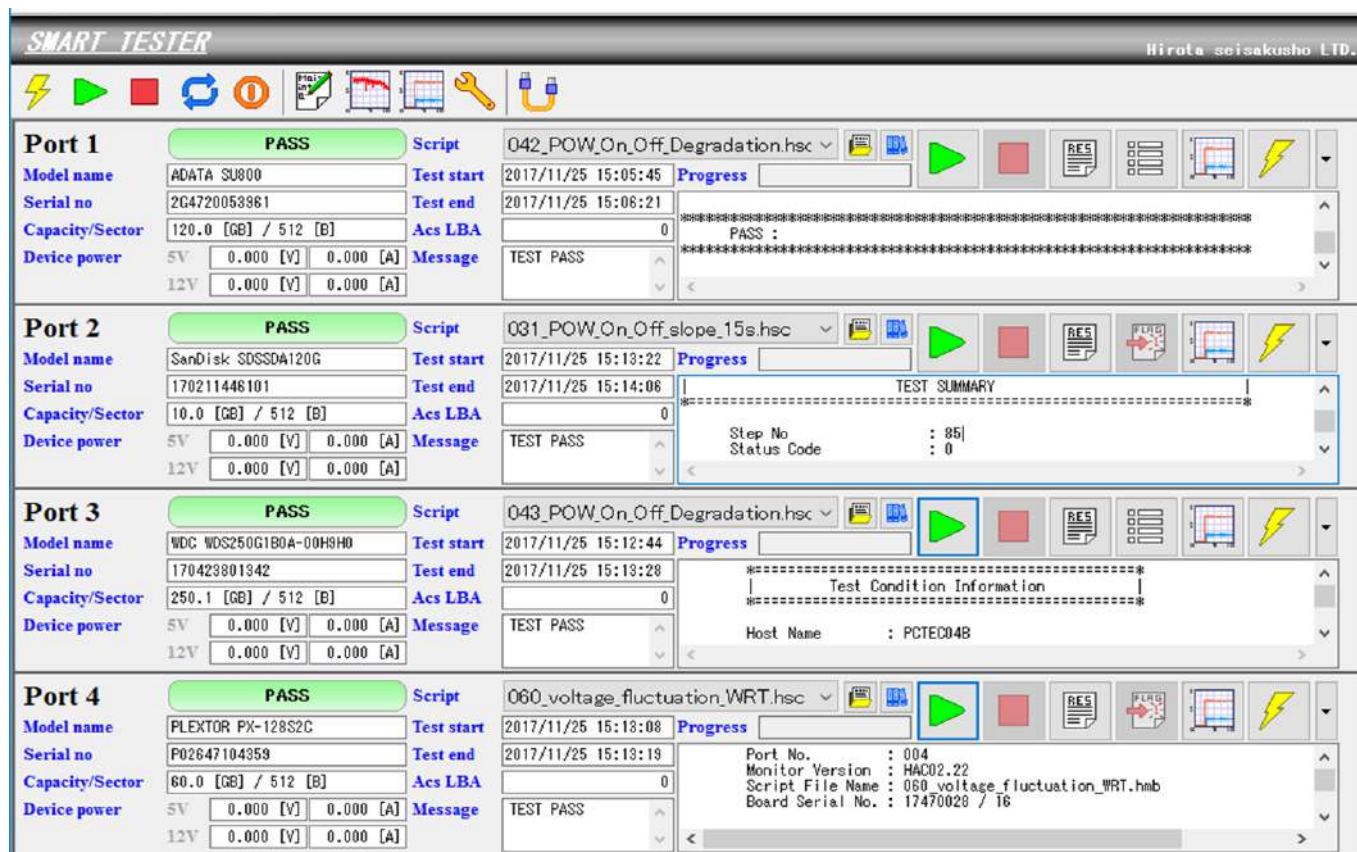


図 4 .HOST PC のメイン画面

4.5 広田製作所製テスターでの設定条件

広田製作所製テスター（SMART TESTER for 6G）の設定を表 1 で示す。

これは SSS-PTS「10 Write Saturation Test」で示される設定で、設定の詳細は 5.で示す

表 1. 設定条件

No	Category	Setting
1.	Access Mode	Random Write
2.	Write Data Pattern	Random
3.	X far Length	4Kib
4.	Write Cache	ON
5.	Access Time	12 hours continuous
6.	Access Area	75%/SSD write area
7.	Queuing Depth	1, 4, 8, 16, 32 each

※7 項の記述の様に、Queuing Depth（同時に応答処理が可能なコマンド実行数）に依存する性能測定結果についてベンチマークを行う。

5. 評価パターンの設定詳細

本評価に於ける代表的な設定（Access Workload）を表 2 に示す。
本評価では、産業機器向けの使用環境を考慮してマーキング部の設定で実施している。
なお、設定は「10 Write Saturation Test」で示されるように評価目的に応じて変更することが出来る。

表 2.評価パターンの設定

SATA SSD Access Workload Sample



Category	SELECT MODE						
Access Mode	Write	Read	Compare				
Access Method	Random	Sequential					
Write Data Pattern	Random	Increment	Decrement	00	FF	55AA	...
Access Block	512byte	1Kib	4Kib	8Kib	16Kib	32Kib	...
Cache (Write/Read)	ON	OFF					
Queuing Depth	OFF	1	4	8	16	32	
Access Area	ALL	50%-75%					
Error Skip	OFF	ON					
Access Time(Minut)	12 hours						
Access Cycle	1						

■ Out put ■
Time Stamp, Access Time, WAF(Written Block(byte) & Host Written Block(byte))
X Scale = Test time, Access Capacity, Access LBA
Y Scale = IOPS, Through put, Latency

- Access Mode
書き込み性能の確認なので、書き込みとする
- Access Method
内部処理的に一番厳しいと思われるランダムアクセスとする
- Write Data Pattern
テストのデータ作成能力に依存しランダムとする
- Access Block
システムの処理的に厳しい 4KByte とする
- Cache
OFF は SSD の性能上あまり意味が無いので ON とする
- Queuing Depth

用途に応じて対応出来るように3種類としている

本 Whitepaper は参考例として QD16、QD32 を追加している

用途例

QD1：ロボット

QD4、8：組み込みライン

QD16：FA 用 PC

QD32：監視システム

- Access Area
SINA の評価規定に基づき 75%とする
- Error Skip
エラーの発生も評価のポイントとして OFF とする
- Access Cycle
評価時間の短縮を考慮し 1 回とする
- Access Time
サンプルとして使用した 1TB の SSD が Steady State に至るまでの時間を考慮し 12 時間とする
Access Time は、SSD の容量、アクセス時間により Steady State まで至る時間が異なることから、
サンプルに応じた最良の時間を使用する

6. 評価のポイント例

本評価結果から考察されるポイントとして以下の3つの例を示す。実際の評価では SSD を使う目的によって求められる評価ポイントが異なるので、あくまでも参考例である。

1. FOB で示されるトップパフォーマンス
新品の SSD が出荷直後に示す性能の評価となる。この状態は SSD の理論上の最高のパフォーマンスを示す
2. 12 時間後に収束する Steady State の状態
連続書き込みを行った後、SSD が安定するまでの性能を評価となる。Steady State は連続書き込み中の定常的な SSD のパフォーマンスを示す。
3. 12 時間経過後に書けている量
連続書き込み 12 時間後に SSD がどれだけのデータを書き込んでいるかを評価となる。これは書き込みスピードが速い SSD ほど多くのデータを書き込むことができるため、SSD 全体のパフォーマンスを示す。

7. 測定デバイス

1TB 容量クラスの SATA III (6Gbps) 対応 TLC NAND, Client SSD 対応の 3 モデルを対象とした。
いずれも DRAM Cache 搭載モデルである。

8. パフォーマンス評価試験結果

8.1 個別の評価結果

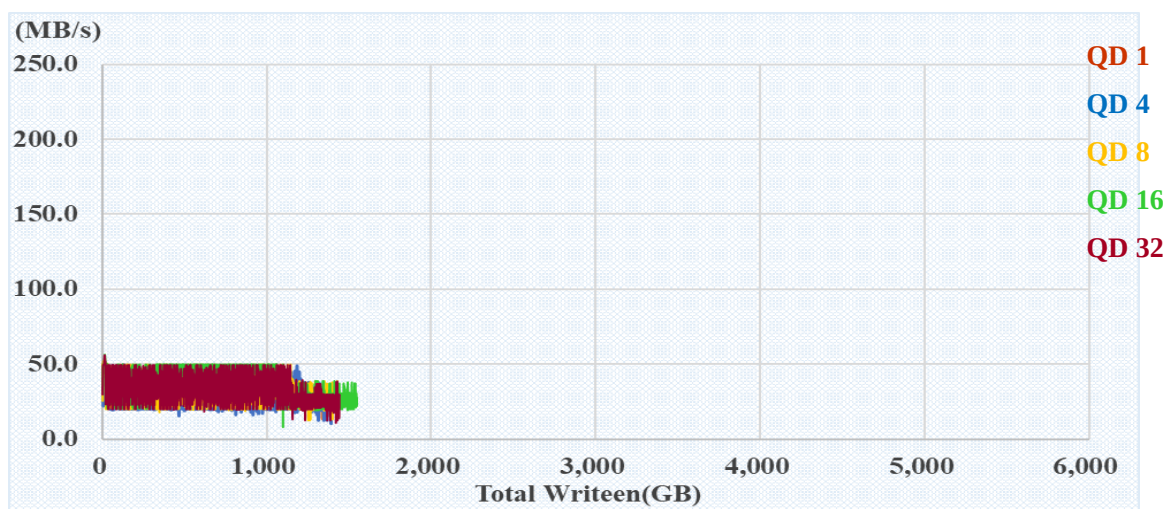


図 5.A Model

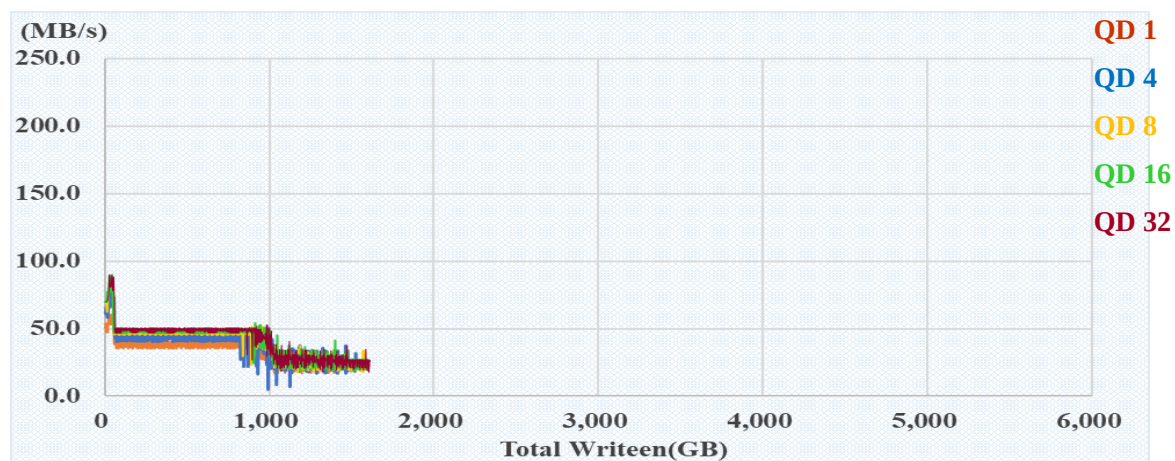


図 6.B Model

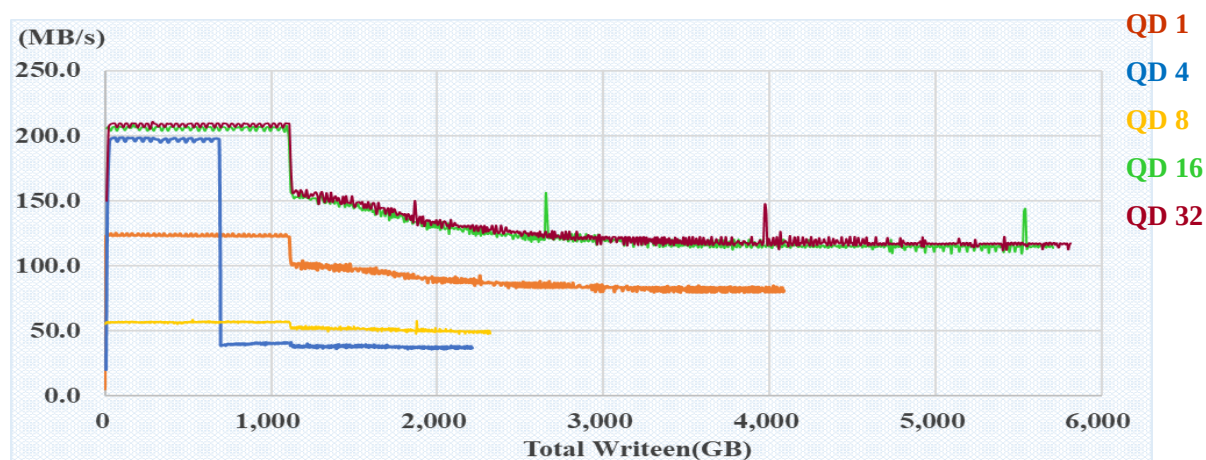


図 7.C Model

8.2 A Model 重ね表示グラフ

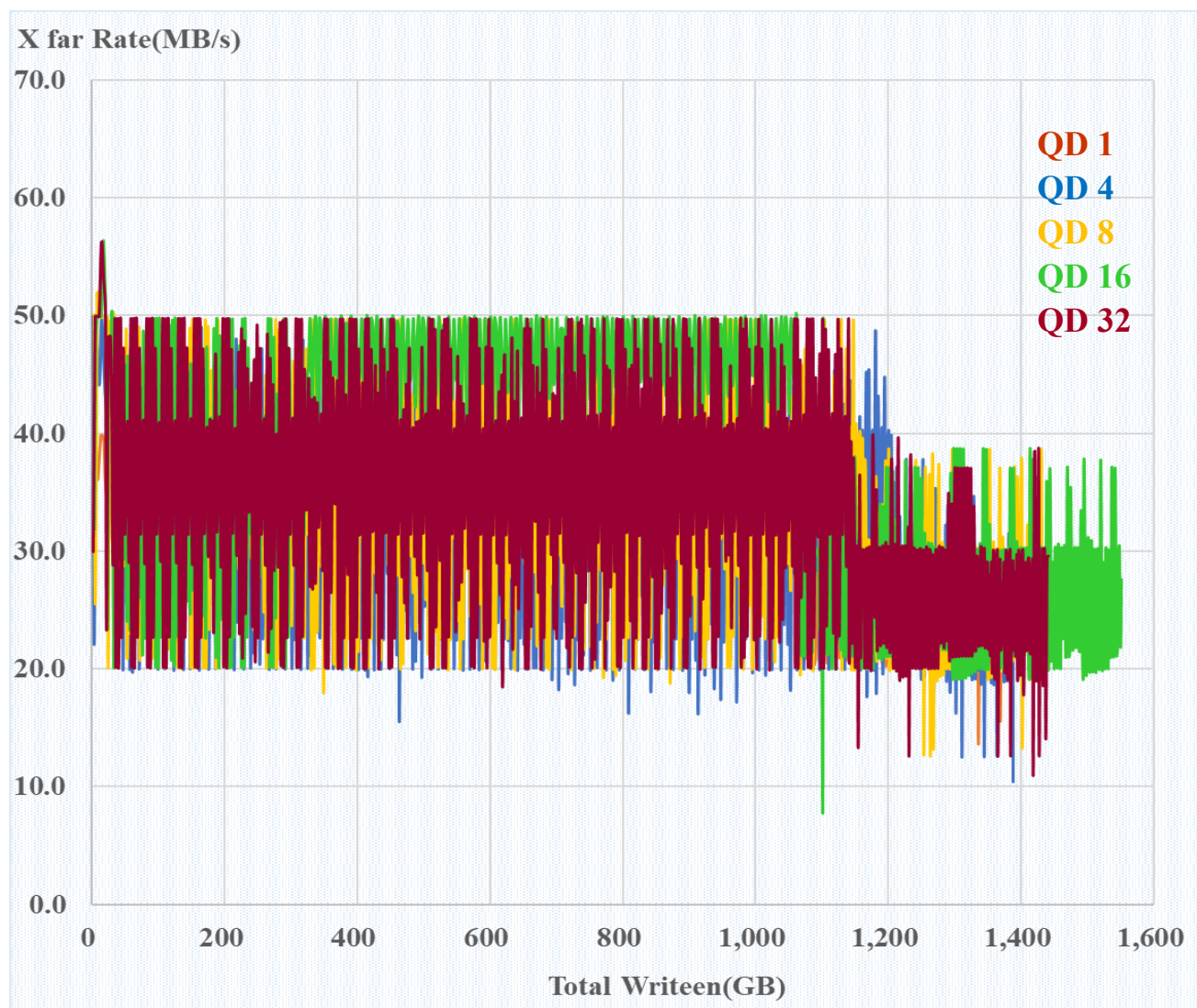


図 8.A Model 重ね表示グラフ

8.2.1 A Model 個別グラフ

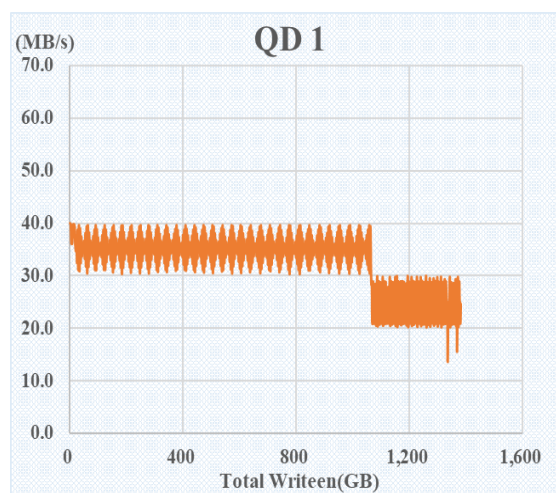


図 9. Queuing Depth1 の場合

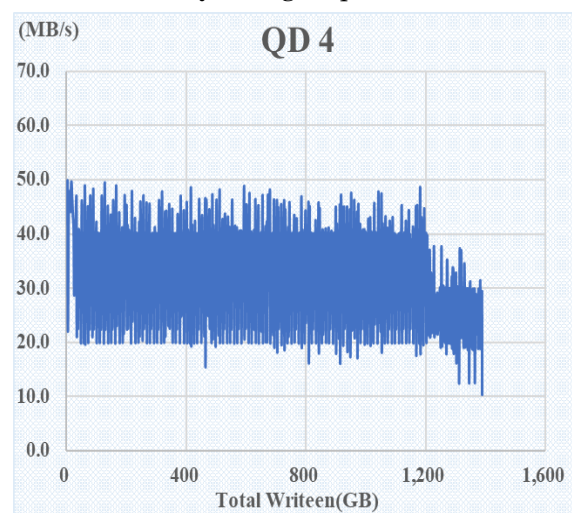


図 10. Queuing Depth4 の場合

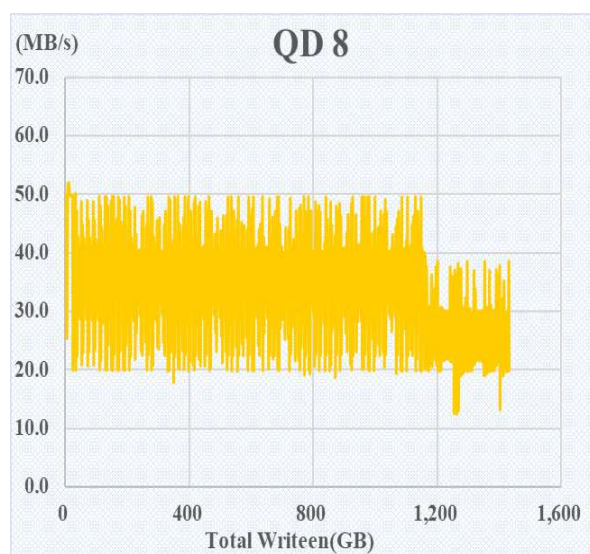


図 11. Queuing Depth8 の場合

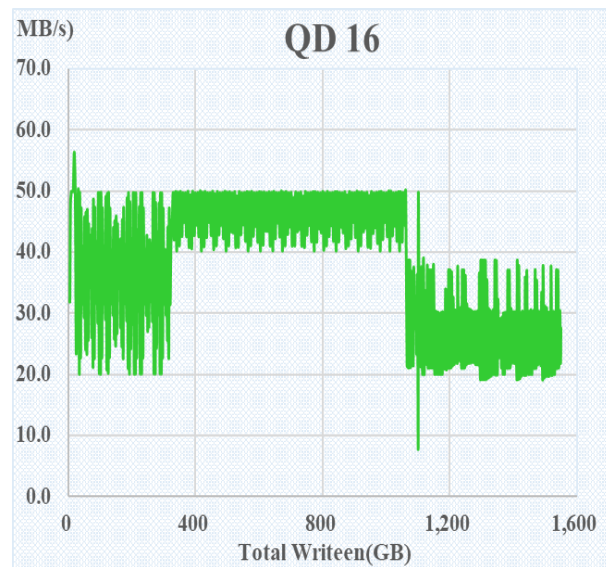


図 12. Queuing Depth16 の場合

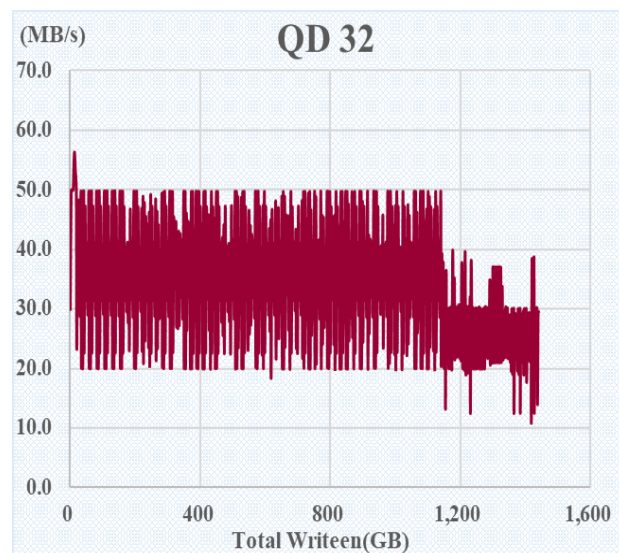


図 13. Queuing Depth32 の場合

8.2.2 考察

1. 3モデルの中では性能は最も低く アクセス特性が収束せずの帯の幅も大きい。
2. QD1 の性能のバラツキが小さく安定している。
3. 書込み開始から公称容量（960GB）の約 1.1～1.2 倍書込んだ後、急激に性能が落ち込んでいる傾向にある。 下限の性能がほぼ一定であるのも特徴的である。
4. FOB エリアは SLC キャッシュキャッシュが効いていると推測する。
5. Que Depth による性能が制御されないモデルと推察する。

8.3 B Model 重ね表示グラフ



図 14.B Model 重ね表示グラフ

8.3.1 B Model 個別グラフ

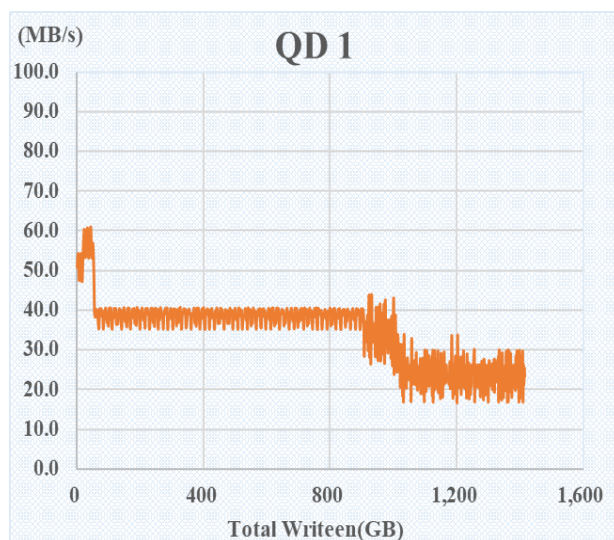


図 15. Queuing Depth1 の場合

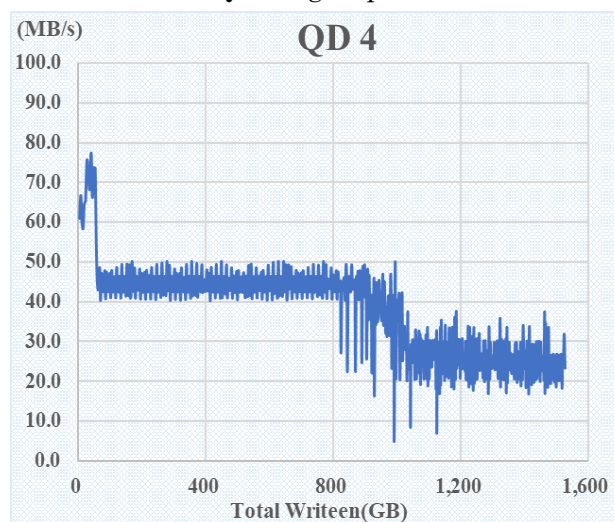


図 16. Queuing Depth4 の場合

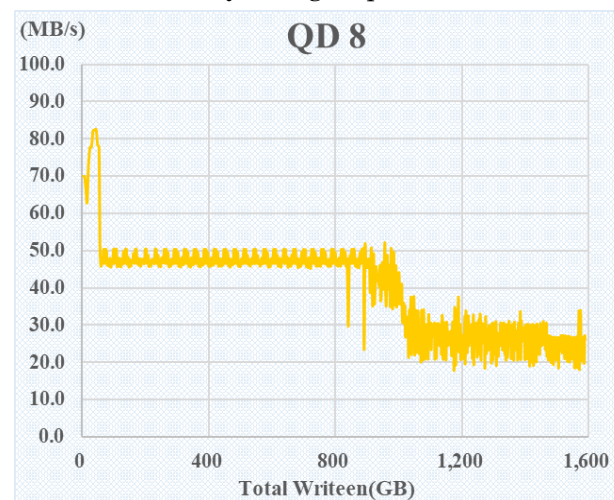


図 17. Queuing Depth8 の場合

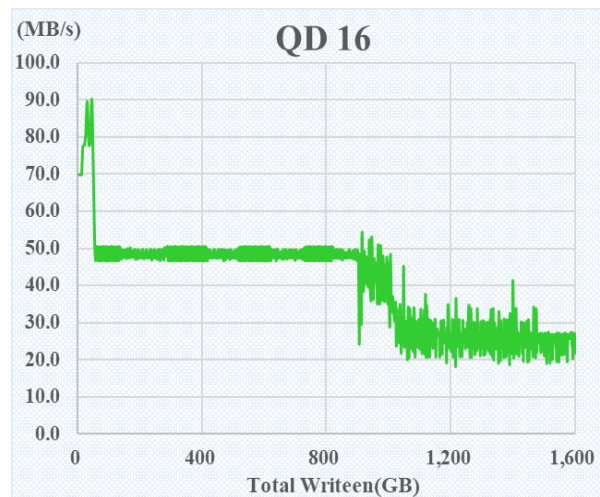


図 18. Queuing Depth16 の場合

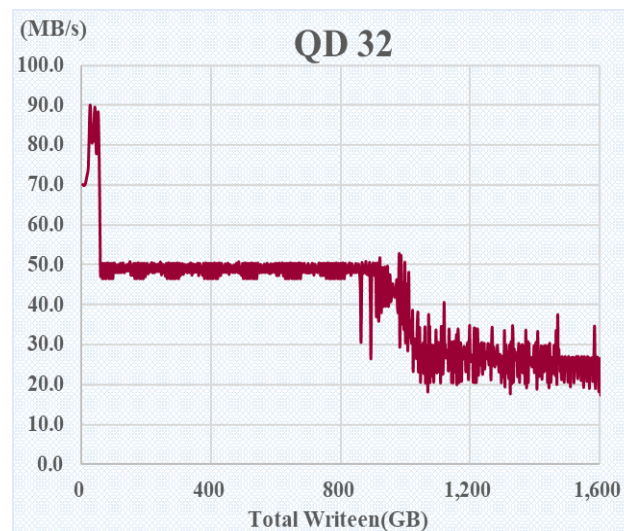


図 19. Queuing Depth32 の場合

8.3.2 考察

1. Que Depth の設定量に連動して、パフォーマンスが向上する傾向にある。
2. QD16 と QD32 では、ほぼ同等性能となっている。
3. FOBエリアは SLC キャッシュキャッシュが効いていると推測する。
4. 書き込み開始から公称容量（1000GB）の約 30%程度までのアクセス特性が高速化されている。
5. 公称容量分の連続書き込みを終えた段階でパフォーマンスが低下し Steady State 状態に至る。
6. 公称容量内の性能に比べ Steady State 状態での性能は、アクセス特性のバラツキが大きい。

8.4 C Model 重ね表示グラフ

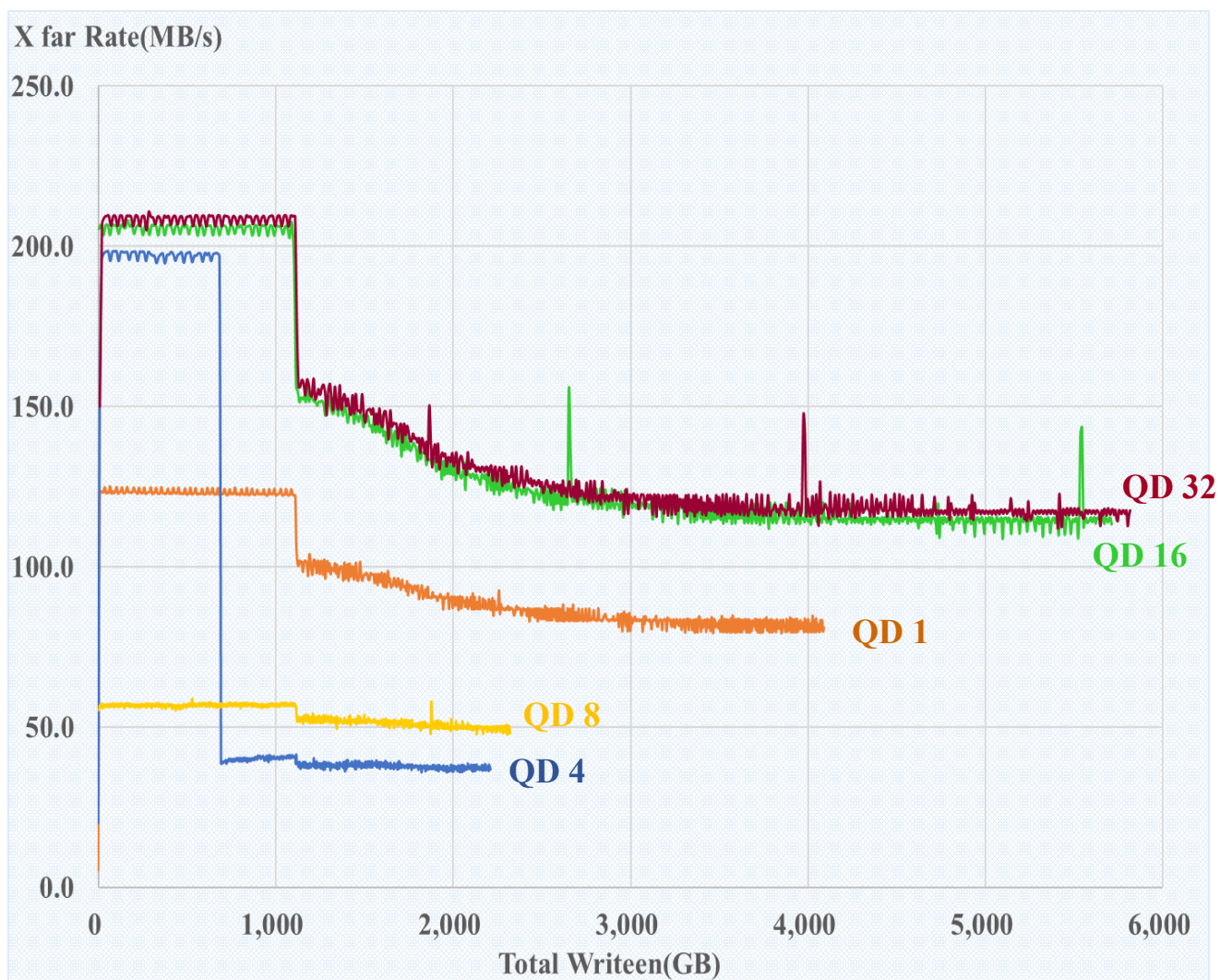


図 20.C Model 重ね表示グラフ

8.4.1 C Model 個別グラフ

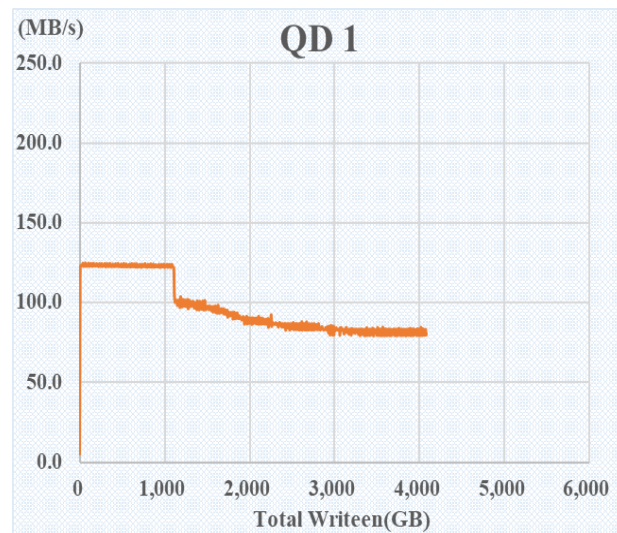


図 21. Queuing Depth1 の場合

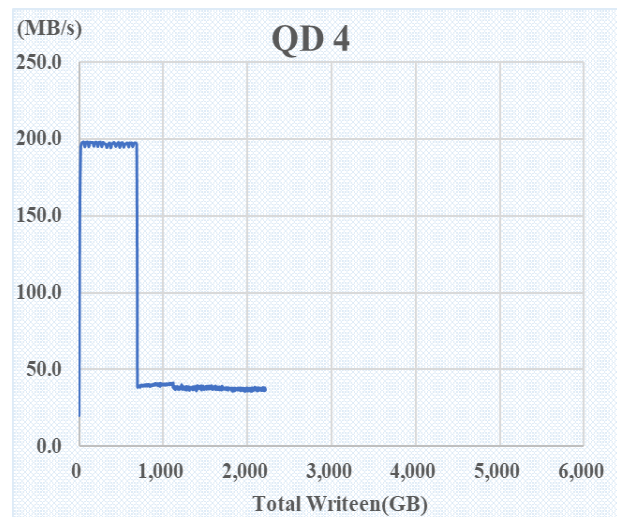


図 22. Queuing Depth4 の場合

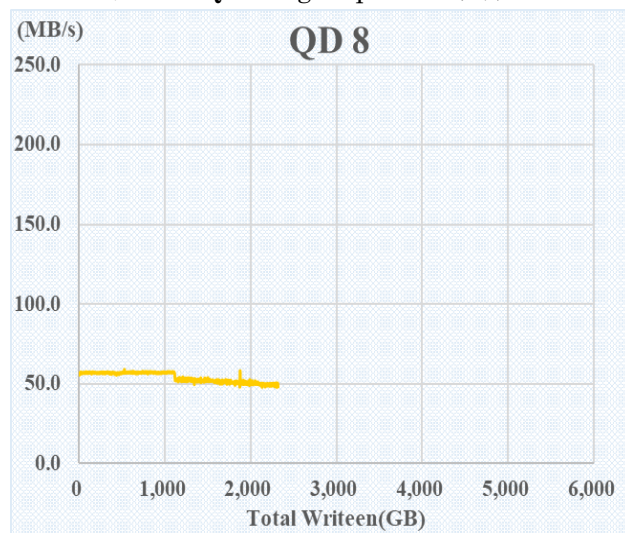


図 23. Queuing Depth8 の場合

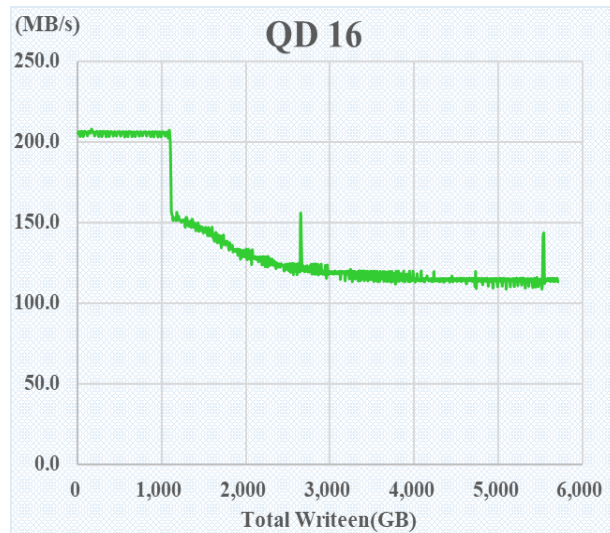


図 24. Queuing Depth16 の場合

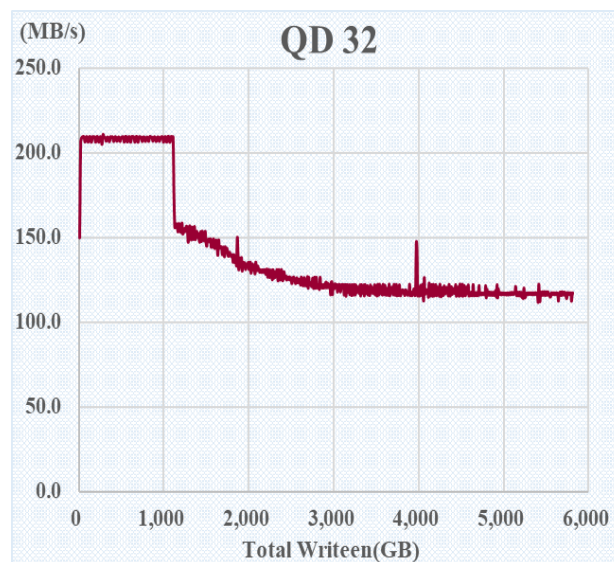


図 25. Queuing Depth32 の場合

8.4.2 考察

1. 3モデルの中で、最もアクセス特性が優れたアクセス特性を示す。
2. Low Que Depth (QD1) と High Que Depth(QD16, QD32)は、書込み開始から概ね公称容量 (1024GB) 分の連続書き込み段階で安定的に高いアクセス特性を維持している。
3. Middle Que Depth Range(QD4, QD8)では、ファームウェアによって高速性が制御されていないモデルと推する。

9. まとめ

1. 本評価で示すように、SSD は SSS-PTS で規定された所定の時間の連続的な書き込みによって、FOB（出荷直後の状態）-Transition（遷移）-Steady State（定常状態）に至るまで 性能が経時的・段階的に変化していく過程の性能観察を可能とし、目的とする Steady State の性能を評価することが出来る。

2. 一般的に SSD は、公称容量分の書き込みを終えると、ガーベージコレクション処理が始まり、性能が低下し、Steady State に至る。Steady State では、NAND フラッシュの本来の書き込み性能が現れる傾向にある。

そのため、長期的な運用に於ける SSD の性能を見極めるためには、FOB よりも本評価に於ける Steady State の性能の評価が重要である。

例えば、本評価での B Model C Model では、この Steady State の性能バラツキが大きいことが観察でき、NAND フラッシュ本来の書き込み性能にばらつきが多いと想定される。

3. B Model では、連続書き込みを開始後 公称容量の約 10~20%の書き込み領域を SLC キャッシュ技術によって高速化している。一般的なパソコン用途を想定した場合、十分な書き込みデータ量と考える。

SLC キャッシュとは、大容量を得意とする TLC（Triple Level Cell） NAND に対し、特定の書き込み領域を高性能で信頼性が高い SLC（Single Level Cell） NAND として使用する技術である。

4. C Model では、公称容量の 1.2 倍程度まで安定的に高速化されている。

5. 本評価では、3Model、3 様の特性をサンプルとして用いている。

SSD はモデル毎に幅広い多様性を持ちプロバイダーにとって自由度の高いストレージとなる。

NAND フラッシュの種類や容量 コントローラ性能や DRAM の搭載の有無と言ったハードウェア構成に加え、ファームウェアによる緻密な制御によって意図的・戦略的に製品が創出されている。

SSD の性能・機能は経済性と共存関係にあり、使用目的・使用方法とのマッチング性で SSD に対する価値観は異なる。

故に、ユーザーサイドでは、用途に見合った測定条件で充分に選定評価を行うことが重要である。

Appendix 1.

SSD 性能測定に使用した機材と機能について以下に記載する。

HIROTA の自動評価機

～ 第三者視点でのメディア評価 ～

複雑なアクセス方法で たくさんの種類（組合せ）の総合評価を簡単に行いたいと言ったニーズに合わせて自動評価システムを構築し、評価の結果データ・グラフ化されたテストレポートの発行が自動化されています。

SMART TESTER シリーズには、自社開発のマイコン組込みボードが内蔵されており、消費電流計測や電圧マージンテストなど SSD の負荷に連動したパワーマネージメントを実行できます。

メディアにダイレクトにアクセスすることで、PC 等システムに影響されることなく、メディアの真の実力を評価します。

主な機能

1. 基本情報

- ・ SMART 情報取得/閾値判定
- ・ IDENTIFY 情報取得
- ・ Queuing depth 設定
- ・ Secure Erase Trim/Sanitize コマンド発行
- ・ 容量クリッピング/解除

2. 性能評価

- ・ 各種、条件組み合わせ測定
- ・ SNIA SSS PTS 評価及びテストレポート自動生成

3. 信頼性評価（書き込み耐性/寿命評価）

- ・ 各種、条件組み合わせテスト
- ・ TBW テスト（JEDEC218/219 に準拠）Endurance, Read Disturb, Data Retention

4. 耐久性評価（電力耐性評価）

- ・ 電頭 ON/OFF 耐性テスト
- ・ 電源遮断耐性（データ保持力）テスト
- ・ 電圧マージンテスト
- ・ 電圧耐性テスト
- ・ 消費電流計測（性能測定との対比確認可）

5. 省電力測定

- ・ 省電力時の段階別消費電流計測 及び 移行時の遅延移管測定
(Dev. Sleep : Active, Partial, Slumber, Dev.Sleep, OFF)

【SMART TESTER for 6G】

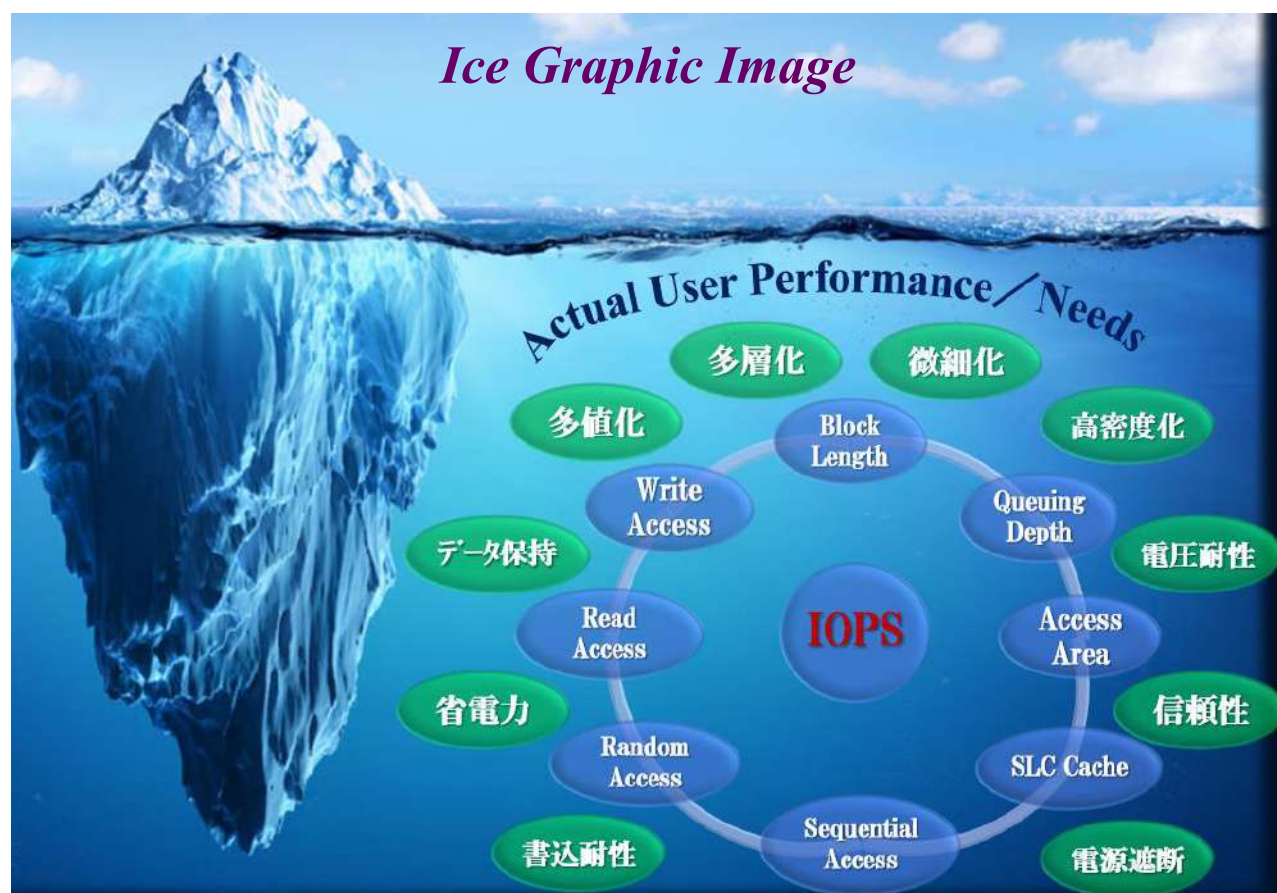
-- イメージ写真 --



Appendix 2.

～ SSD 評価について ～

SSD は、各社/モデル毎に構造やサポート機能が大きく異なる。SMART TESTER を使って同一条件下で Benchmark 評価を行うことは、特性の違いを知る上でたいへん有効である。加えて測定条件いとしても得られる性能結果は多きく異なる。その為、ユーザーのアクセス環境（AccessWorkload）を想定した条件で評価を行うことが、最も有効と考える。



～ 広田製作所は、SSD/HDD テスター開発・製造の専門メーカーです ～

多様なニーズにお応えする各種テスター・サービスを提供しています。

SMART TESTER シリーズは、SATA の他、SAS, PCIe 等のプロトコルに対応したラインナップが

ございます。 お気軽にお問い合わせください。

株式会社 広田製作所

〒382-0005 長野県須坂市大字小河原 3954 番地 13

代表電話番号 026-245-1212

URL. <http://www.hirotass.co.jp>

[E-mail.info@hirotass.co.jp](mailto:info@hirotass.co.jp)



Appendix 3.

参考文献：Solid State Storage (SSS) Performance Test Specification (PTS) 、SNIA

https://www.snia.org/tech_activities/standards/curr_standards/pts (2024 年 10 月時点)