SSD（Solid State Drive）信頼性評価の環境構築と実施事例

～JESD219A準拠エンデュランス評価を拡充～

2016年12月2日

沖エンジニアリング株式会社

デバイス評価事業部

長野真人

© Copyright 2015 Oki Engineering Co., Ltd.

目次

1．はじめに
1.1 SSDの普及
1.2 SSDの構成と信頼性の課題
1.3 SSD評価に対する要求と課題
2. SSD評価環境
3. SSD評価事例
3.1 概要
3.2 評価方法と結果
3.2.1 常温エンデュランス評価
3.2.2 高温リテンション評価
3.2.3 JESD219A エンデュランス評価
4.まとめ

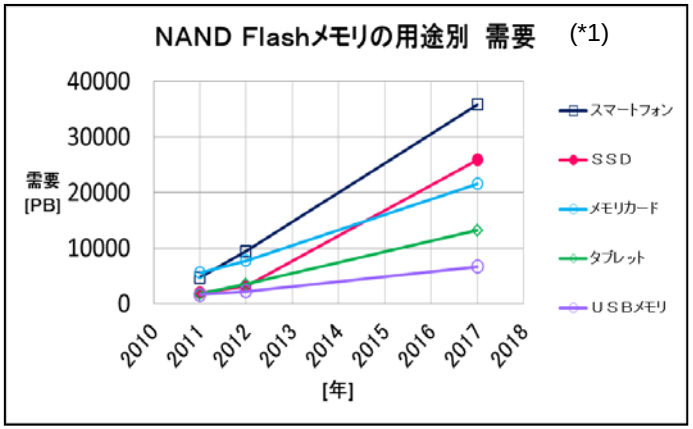
© Copyright 2015 Oki Engineering Co., Ltd.

1. はじめに

1.1 SSD (Solid State Drive)の普及

NAND Flashメモリの用途は拡大している
NAND Flashを用いたSSDは、磁気記憶技術を用いたHDD(Hard Disk Drive)から、用途を選びながら着実に置換えが進んでいる

出展:
https://ja.wikipedia.org/wiki/%E3%82%BD%E3%83%AA%E3%83%83%E3%83%89%E3%82%B9%E3%83%86%E3%83%BC%E3%83%88%E3%83%89%E3%83%A9%E3%82%A4%E3%83%96



SSD

HDD

2017年度のストレージ市場予測(*2)
全世界ストレージデバイス供給容量：3,032エクサバイト(2011年度比　6.0倍)
SSD需要：　26エクサバイト(2011年度比　12.9倍)

SSDの優位性 vs HDD
省電力：　：35wh vs. 55wh
高速アクセス(*4)　：19s vs. 30s
対衝撃・対振動性　：1,500G vs. 900G
稼働部品　：無　vs.　モータ、ヘッド等
高信頼性(MTBF)　：1.2Mh vs. 0.6Mh
静粛性　：0dB vs. 25dB

SSDの普及の壁
コスト比　：6:1(*5)
信頼性課題　:NAND Flash起因、
コントローラ起因　等

(*1, *2)出典：2012年4月2日富士キメラ総研
【ＨＤＤ、ＳＳＤ、半導体メモリなどの棲み分けを予測する世界のストレージ関連市場を調査】
(*3)出典：
http://www.intel.co.jp/content/www/jp/ja/solid-state-drives/intel-solid-state-drives-an-introduction.html
(*4)出典：OS立上げ時間
(*5)出典：日経記事 2015/6/27

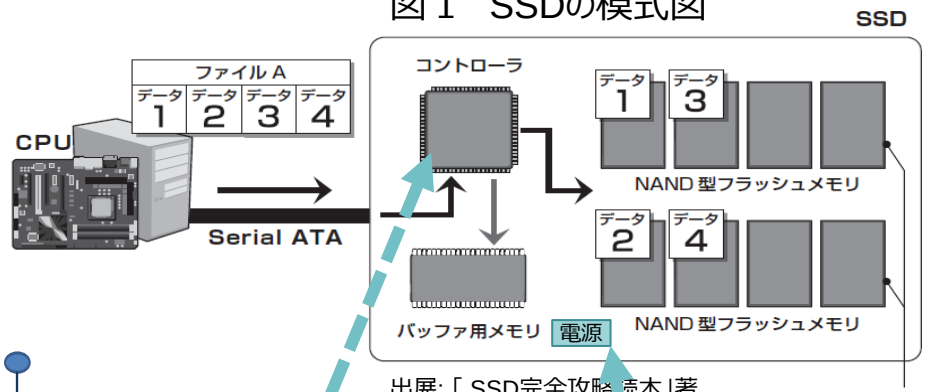
© Copyright 2015 Oki Engineering Co., Ltd.

1. はじめに

1.2 SSDの構成と信頼性の課題

NAND Flashの微細化、多値化、大容量化、
SSDの大容量化、制御の複雑化、
信頼性に影響する可能性も

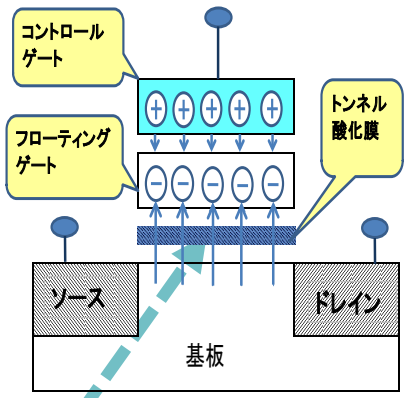
図１　SSDの模式図



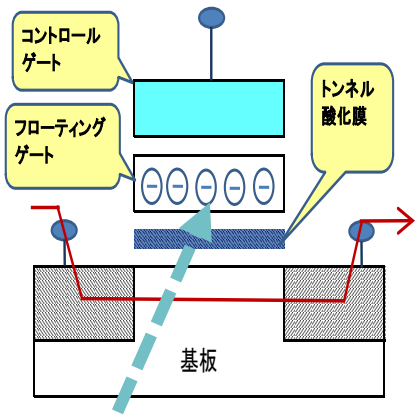
出展:「SSD完全攻略 読本」著者：北川達也、加藤勝明、鈴木雅暢、竹内亮介　に一部加筆

高速なSSDは並列処理で書き込む

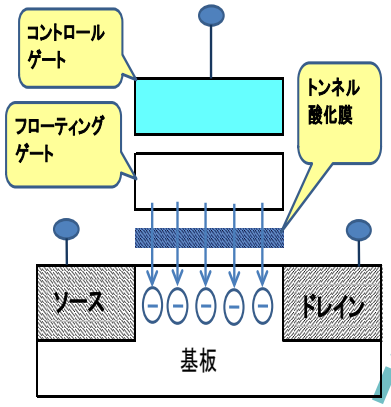
(a)書込み動作



(b)読出し動作



(c)消去 動作



◆NAND Flashの
絶縁膜（トンネル酸化膜）が電子の移動による摩耗で記憶機能寿命

◆NAND Flashの　フローティングゲート内の保持
電子滅失による記憶化け

◆コントローラによる各種データ再配置に伴う処理遅延による動作スピード低下

◆SSD内周辺回路の影響による動作不良
》 電源回路
》 ファームウェアバグ　など

© Copyright 2015 Oki Engineering Co., Ltd.

1. はじめに

1.3 SSD評価に対する要求と課題

◆ SSD評価に対する、お客様からの要求

・エンデュランス（書き換え耐力）評価を短期間で完了してほしい。
・データリテンション（データ保持能力）評価を短期間で完了してほしい。
・SSDをいつ交換すべきか知りたい。
・JEDECの規格に準拠した評価をしたい。
・システム要求に応じた性能評価をしたい。
・SSD電源の瞬断耐性を知りたい。

◆ SSD評価に対する課題、着目点

・SSDは大容量であるため、評価が長期化する。
　短期間で評価を完了するための加速評価が重要である。
・SSDのメーカ・機種毎の性能や設計思想を定量的に提示できる評価が重要である。
・運用時の保守、管理も意識した評価が重要である。

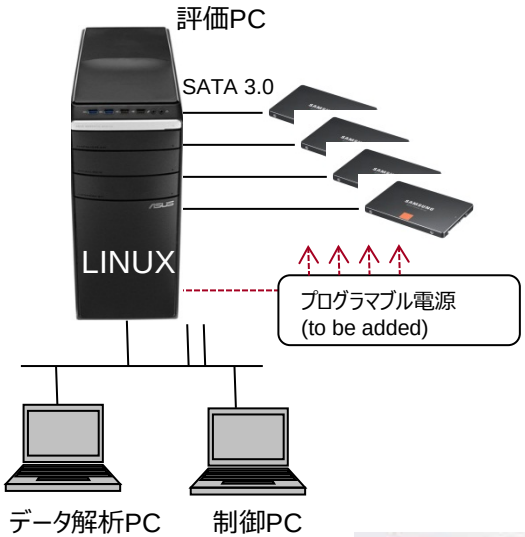
高信頼性機器で使用する場合、
採用前の評価が重要である

© Copyright 2015 Oki Engineering Co., Ltd.

2. SSD評価環境

大容量SSDの実力評価に対するお客様の期待に応えるSSD評価環境を構築した

項目		要件	記事
評価PC	ハードウェア	● LINUX PC (Intel Core i5) ● SATA 3.0 (6Gbps) x 4	
	ソフトウェア (自社開発)	● エンデュランス試験 ● リテンション試験 ● S.M.A.R.T. (*6)情報読取機能など	・C言語 ・ファイルシステム の介在無し
制御PC	ソフトウェア	LINUX remote log in機能	
環境試験	恒温恒湿槽	-40℃ ～100℃、20～98%	
	恒温槽	～200℃	
拡張機能	電源	プログラマブル電源による給電と試験	開発中
	ソフトウェア	● JEDEC仕様試験 ● 電源瞬断試験 ● 顧客固有試験モード	



(*6)【Self-Monitoring, Analysis and Reporting Technology】
障害の早期発見・故障の予測などを目的として HDD/SSD に搭載されている機能

© Copyright 2015 Oki Engineering Co., Ltd.

3. SSD評価事例

3.1 概要

**SSD評価環境の有効性を確認するため、同一試験条件にて、
4社のSSDに対し、エンデュランス、リテンション評価を実施した**

●評価項目

（１）常温エンデュランス（書き換え耐力）評価
（２）高温リテンション（データ保持能力）評価
（３）上記、各試験での、S.M.A.R.T. 情報(*7)の有効性評価
（４）JESD219Aエンデュランス評価

●評価試料(SSD)

４社 x １モデル(128GBモデル) x ６式
（エンデュランス試験：３式、リテンション試験：３式

試料の機能・性能・寿命　　JESDエンデュランス：3式（2社のみ））

項目	A社	B社	C社	D社	単位/記事
書込み寿命	72	150	公表無し	150	TBW(*8)
コントローラ	88SS9189-BLD2	自社製	自社製	自社製	-
Write速度	180	470	476	470	MB/s
Read速度	560	550	514	570	MB/s
Random Write IOPS	公表無し	90,000	61,184	75,000	IOPS(*9)
Random Read IOPS	公表無し	100,000	95,232	75,000	IOPS(*9)

(*8): TBW(Tera Byte Written)
SSDの寿命までに何テラ・バイトのデータを書込みできるかを示した書換え保証値

(*9) IOPS【 Input/Output Per Second 】
ハードディスクなどの記憶装置の性能指標の一つで、ある条件の元で1秒間に読込み・書込みできる回数。

(*7)【Self-Monitoring, Analysis and Reporting Technology】
障害の早期発見・故障の予測などを目的として HDD/SSD に搭載されている機能

提供保守情報　S.M.A.R.T. (*7)

ID	ATTRIBUTE NAME	A社	B社	C社	D社
1	Raw_Read_Error_Rate	○	–	○	○
5	Reallocated_Sector_Ct	○	○	○	○
173	Average_Block-Erase_Count	○	–	○	–
175	Program_Fail_Count_Chip	–	–	○	○
176	Erase_Fail_Count_Chip	–	–	–	○
177	Wear_Leveling_Count	–	○	–	–
181	Program_Fail_Cnt_Total	–	○	–	–
182	Erase_Fail_Count_Total	–	○	–	–
183	Runtime_Bad_Block	○	○	–	–
184	End-to-End_Error	○	–	–	–
187	Reported_Uncorrect	○	○	–	–
195	Hardware_ECC_Recovered	–	○	–	○
196	Reallocated_Event_Count	○	–	–	○
197	Current_Pending_Sector	○	–	○	○
198	Offline_Uncorrectable	○	–	–	○
199	UDMA_CRC_Error_Count	○	○	–	○
241	Total_LBAs_Written	–	○	–	○
242	Total_LBAs_Read	–	–	–	○

© Copyright 2015 Oki Engineering Co., Ltd.

3. SSD評価事例

3.2 評価方法と結果

３．２．１常温エンデュランス評価

・実力評価
・書込み時間の推移
・S.M.A.R.T.情報の動き

３．２．２高温リテンション評価

・高温放置時間とデータ保持特性
・読出し時間とS.M.A.R.T.情報

３．２．３ JESD219Aエンデュランス評価

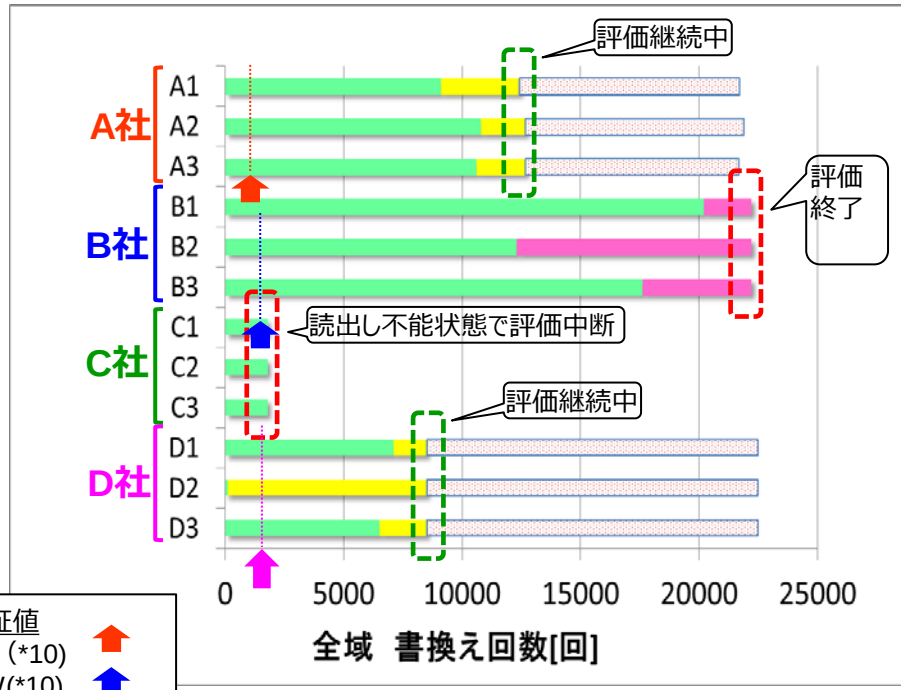
・ JESD219A準拠したエンデュランス評価
・上記３．２．１のエンデュランス評価との比較

© Copyright 2015 Oki Engineering Co., Ltd.

3. SSD評価事例

3.2.1 常温エンデュランス評価 実力評価（故障発生までの経緯を観察）

- 各社とも、書換え保証値内では、正常に動作
- その後の故障に至るフェーズ1⇒2⇒3 の推移は、メーカー間の差が大きい
- C社は一定回数後に読出しエラーが発生したので、試験を中止した
  ⇒故障に至る状況より、各社のデバイスの仕様に対する考え方の相違が見られる



各社書換え保証値
A社: 72TBW（*10)
B社: 150TBW(*10)
C社： 公表無し
D社: 150TBW(*10)

(*10)72TBW:620回、150TBW:1290回の書換え

（常温エンデュランス評価 試験方法）

- SSD全域へ100回書込みごとにデータを読み出して読出しチェックを実施。
- 書き込み100回ごとにS.M.A.R.T.情報を読み出してエラーの有無を確認。
- 上記２情報により不良の有無を確認。
- SSDへのアクセスはシーケンシャル。データはAA/55チェッカーパターン。

（書換え性能劣化のプロセス）

フェーズ1 ：SSD内部でエラー発生無し
フェーズ2 ：SSD内部NAND Flashの劣化を警告する領域（ECCエラー検出&修正)
フェーズ3 ：SSD内部でNAND Flashの故障が発生していることを警告する領域(Bad ブロックの発生、予備領域への置き換え)

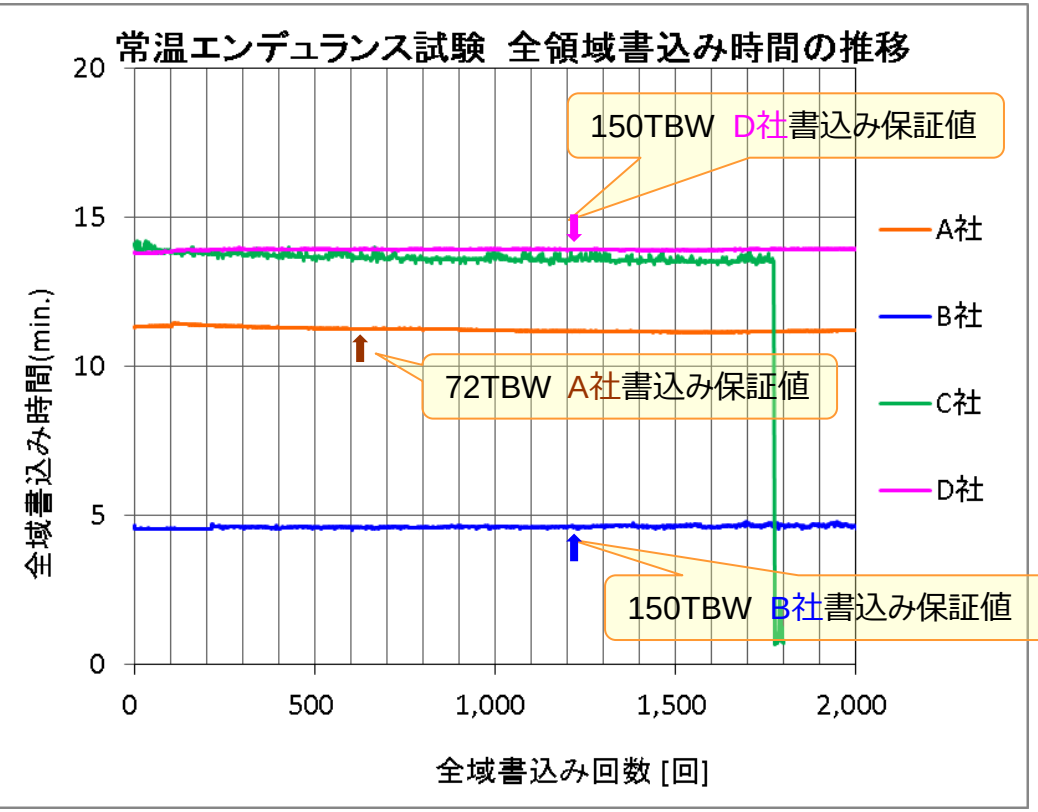
© Copyright 2015 Oki Engineering Co., Ltd.

3. SSD評価事例

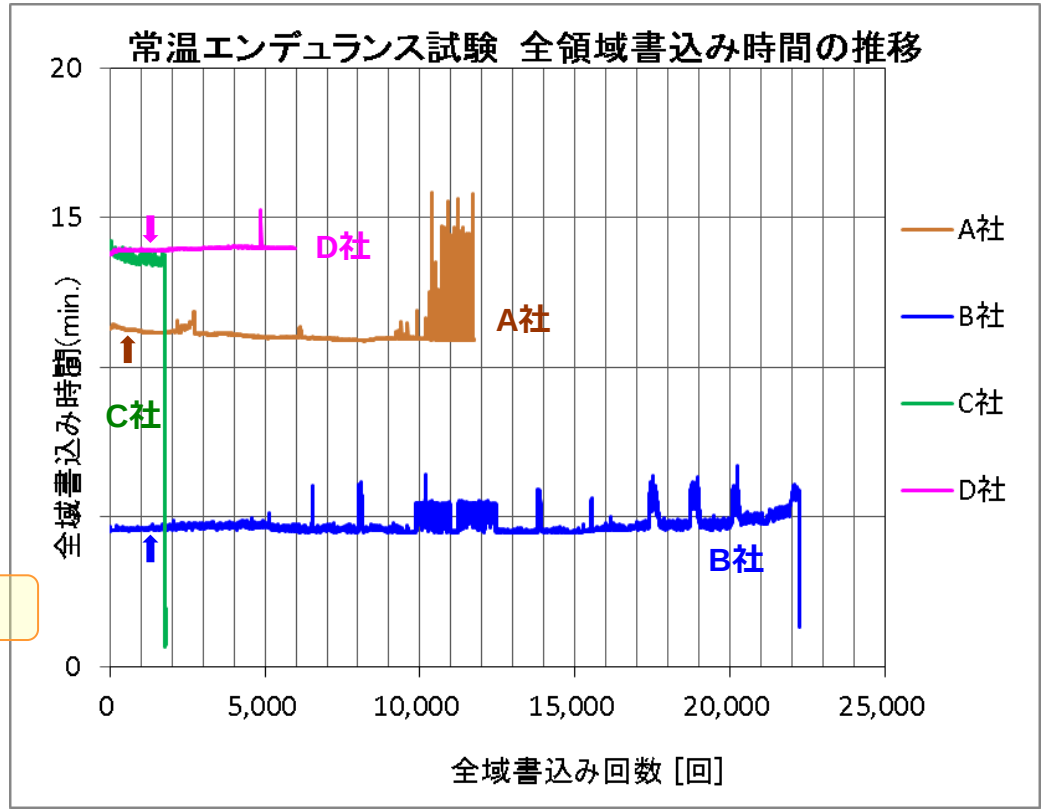
3.2.1 常温エンデュランス評価 書込み時間の推移

- TBW以内の書込み回数では、各社とも安定した動作を示した。
- 全域書込み時間は、メーカで最大３倍程度の差がある。
- 書込み回数の増加に伴って、書込み時間の一時的増加、乱れが発生する。
  ⇒書込み時間の一時的増加は、書込み寿命を延ばすためのSSD内部処理であると推定される。

TBW近辺までの動作



多数回書込み継続時の動作



© Copyright 2015 Oki Engineering Co., Ltd.

3. SSD評価事例

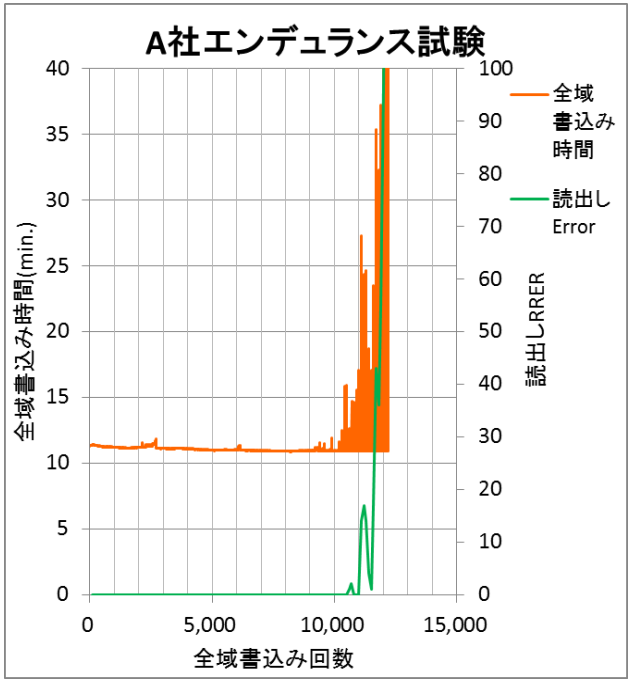
3.2.1 常温エンデュランス評価　S.M.A.R.T.情報の動き

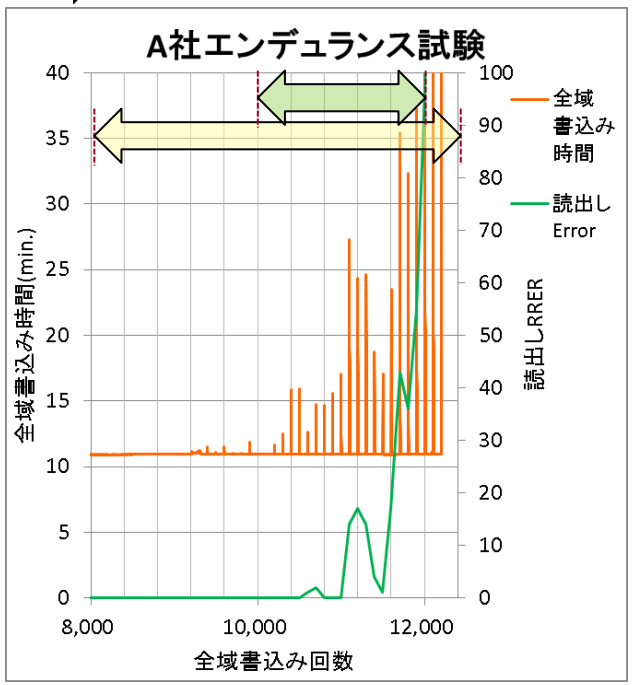
- 書込み回数増に伴って、フェーズ2のエラー発生（ECCで回復）
- 書込み時間に異常な増加と、RRER発生がほぼ同時期に発生している⇒故障の始まり。
- 詳細にみると、SSDが先に異常な動きをし（書込み時間の急増）、その後RRER(*11)が発生し、以降RRERの量に応じて書込み時間が増大し、最終的には故障に至っている
- この例からは、RRERの発生が極めて危険な兆候であると言える

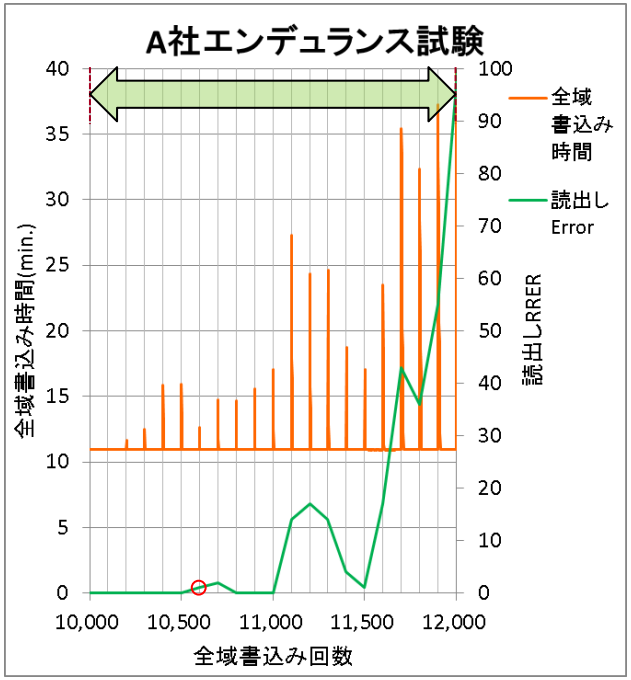
(*11)RRER: Raw Read Error Rate
(A社のS.M.A.R.T.情報にはRRERは含まれておらず、Hardware ECC Recovered が代用と見なしてして、評価を進めた)

横軸を拡大

横軸を拡大





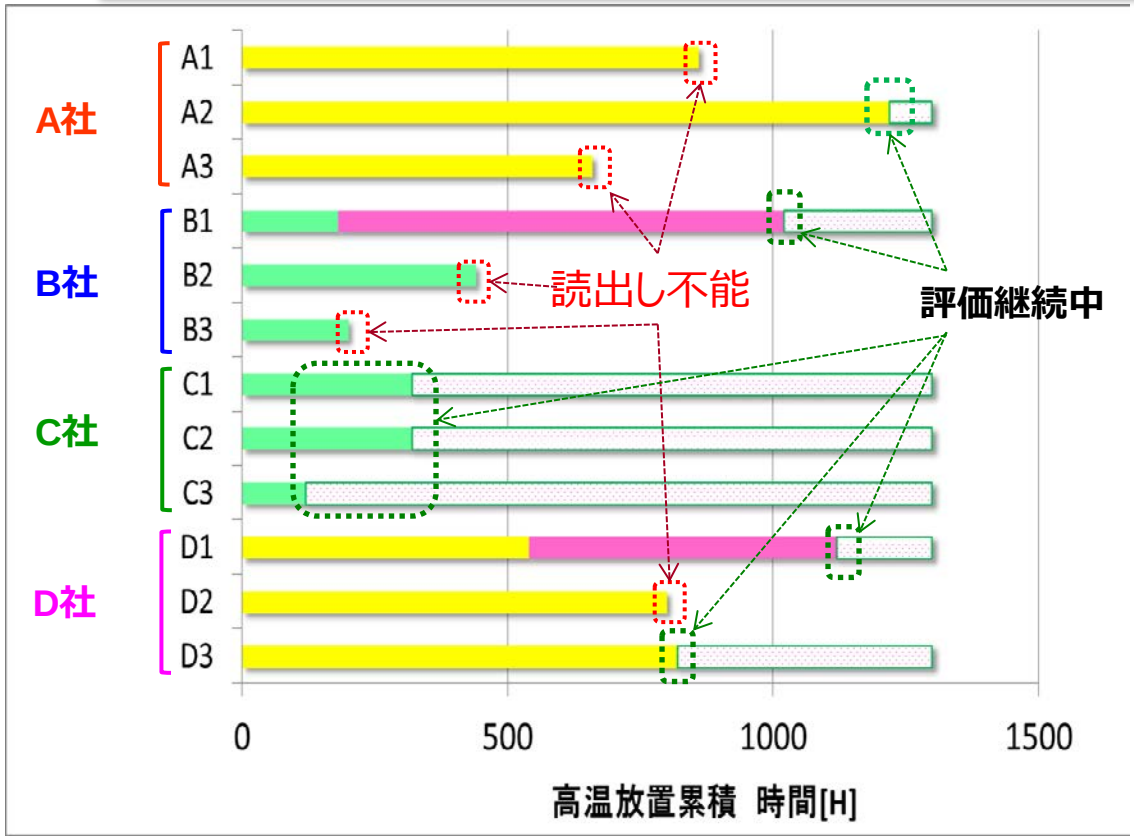


© Copyright 2015 Oki Engineering Co., Ltd.

3. SSD評価事例

3.2.2 高温リテンション評価　高温放置時間とデータ保持性能

- 高温放置の影響と装置の動きを観測するため、125℃で高温無通電放置し加速試験した
- 複数のメーカ製品で、読出し不能状態に陥るものが散見される　（ECC修正エラー発生と思われる）
- A社、D社は最初のコンペアチェックでフェーズ２になったが、その後、暫く安定して動作していた



（高温リテンション評価　　試験方法）

・SSD全域へメーカー保証書込み容量 (*12)を書込み後、通電無し125℃(*13)環境下で放置。

・高温放置によりデータ抜けが発生しないか10時間ごとに室温に戻し、通電後コンペアチェックを実施する。

・コンペアチェック前後に、累積過熱時間、読出し時間、S.M.A.R.T.情報を記録する。

(*12)A社　　---72TBW
B社,D社 ---150TBW
C社　　---TBWの値は公表されていない。
(72TBWを書込み試験投入）

（データ保持能力劣化のプロセス）

フェーズ1：SSD内部でエラー発生無し（正常読出し）

フェーズ2 ：SSD内部NAND Flashの劣化を警告する領域（ECCエラー検出&修正)

フェーズ3 ：SSD内部でNAND Flashの故障が発生していることを警告する領域(Bad ブロックの発生、予備領域への置き換え）

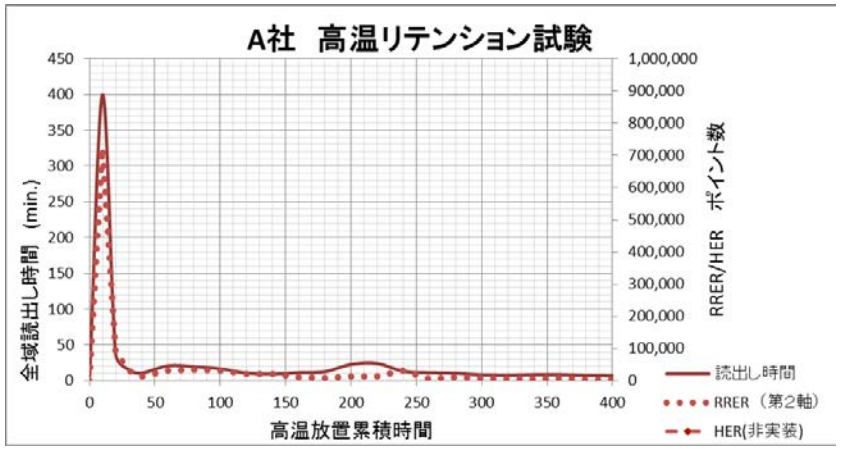
(*13)125℃は装置仕様を超えているが、ここでは、データ採取の目的で過負荷運用した

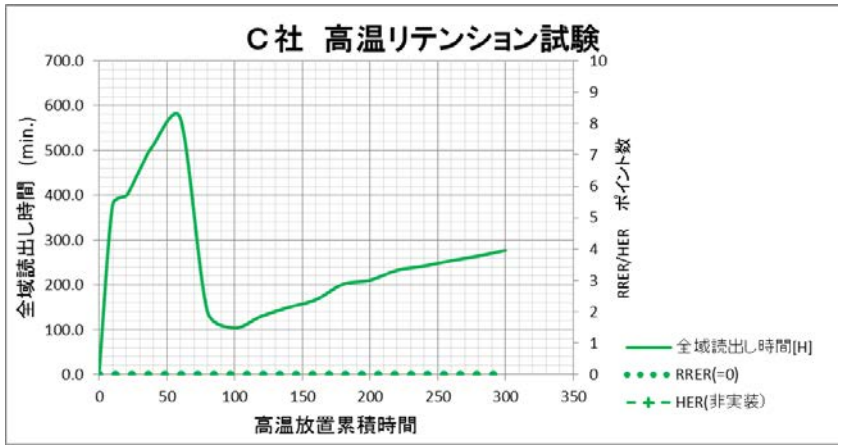
© Copyright 2015 Oki Engineering Co., Ltd.

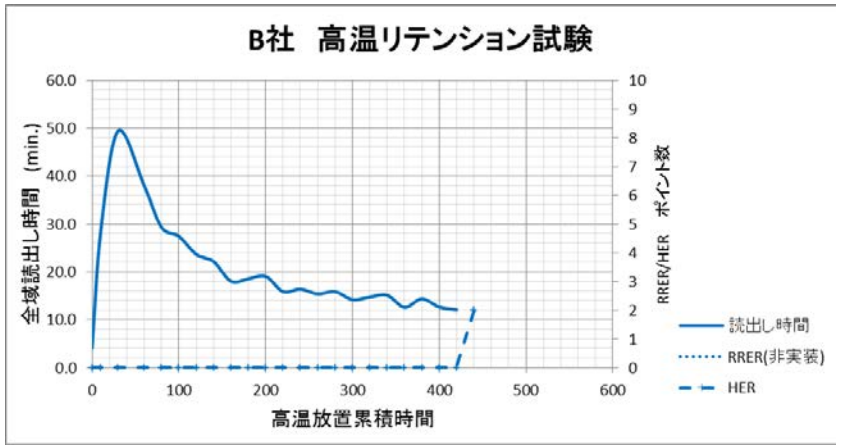
3. SSD評価事例

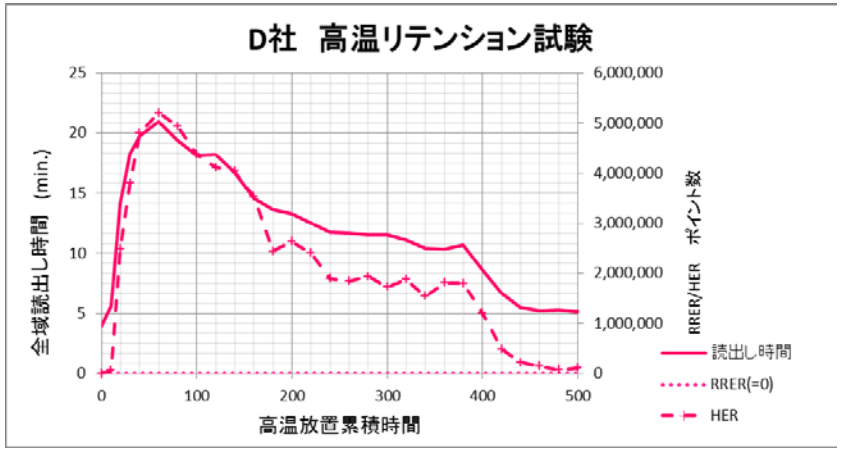
3.2.2 高温リテンション評価 読出し時間とS.M.A.R.T.情報

- リテンション試験開始時点で、アクセスが非常に長時間化している
- その後の読出し時間の推移、エラーの発生状況はメーカごとに異なるので、採用デバイスの特性理解が必要
- 各社の提供するS.M.A.R.T.情報はまちまちであり、各社各モデル個別の保守ガイドラインが必要になる









RRER: Raw Read Error Rate: HER: Hard ECC Recovered S.M.A.R.T.情報の一部

© Copyright 2015 Oki Engineering Co., Ltd.

3. SSD評価事例

3.2.3 JESD219A準拠 エンデュランス評価 評価**方法**

本事例では
JESD219Aに準拠したSSDエンデュランス評価を実施し、シーケンシャルライト・エンデュランス評価の結果と比較する。

■試験方法
(シーケンシャルライト・エンデュランス評価)
・SSD全域へ100回書換えごとにデータを読み出して 期待値チェックを実施。
・書き換え100回ごとにS.M.A.R.T.情報を読み出してエラーの有無を確認。
・期待値とS.M.A.R.T.情報より不良の有無を確認。
・SSDへのライトアドレスはシーケンシャル。データは AA/55 チェッカーパターン。

(JESD219A 準拠 エンデュランス評価)
・JESD219A試験仕様（Enterprise endurance workload）に準拠し、SSD全域へライトを実施。
JESD219Aに準拠した読出しを行い、期待値チェックを実施。
・JESD219Aに準拠したライトアクセス時、定期的にSSDのスマート情報を読出し、S.M.A.R.T.情報より不良の有無を確認する。
・メーカー書換え保証値まで、上記シーケンシャルライト相当（書換えデータはランダム）の書換えを行った後に、JESD219A準拠の書換えを実施する。

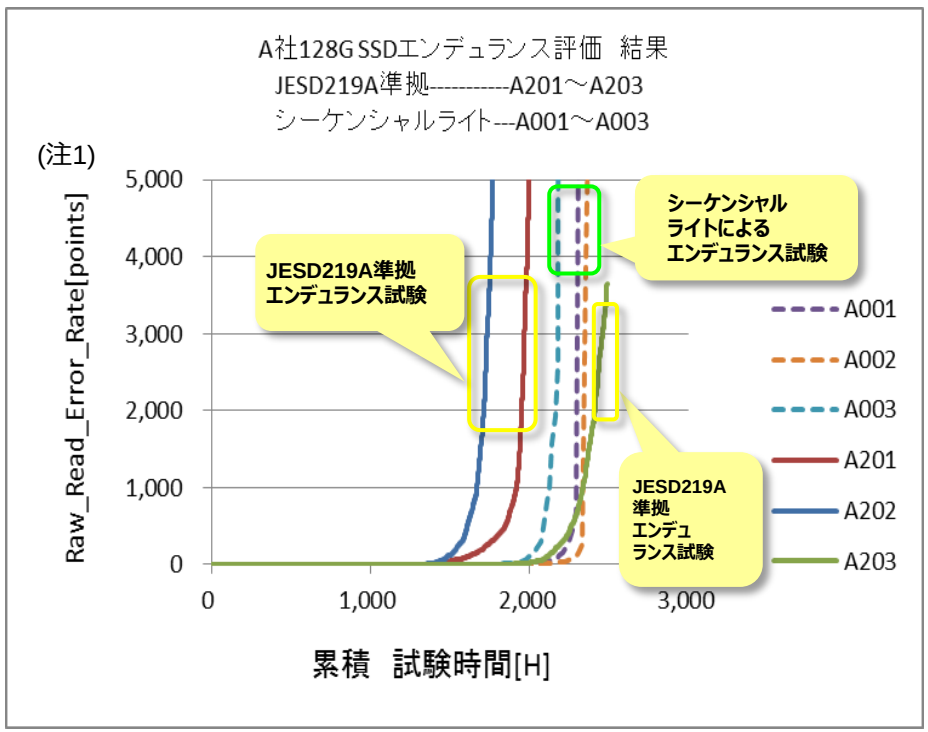
■試料
・シーケンシャルアクセス A,B社 各 3個
・JESD219A準拠アクセス A,B社 各 3個

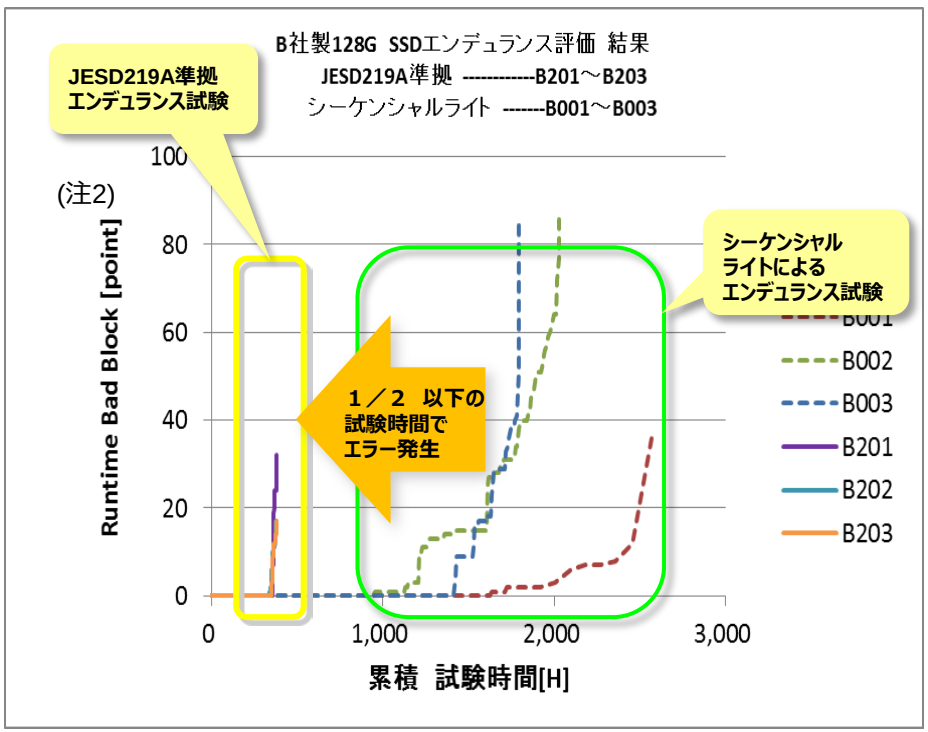
© Copyright 2015 Oki Engineering Co., Ltd.

3. SSD評価事例

3.2.3 JESD219A準拠 エンデュランス評価 評価結果

- A社SSDではJESD219A とシーケンシャルライトでは試験条件は大きく異なるが試験時間に差がみられず。
- B社SSDではJESD219Aにより試験時間が１／２以下に短縮された。

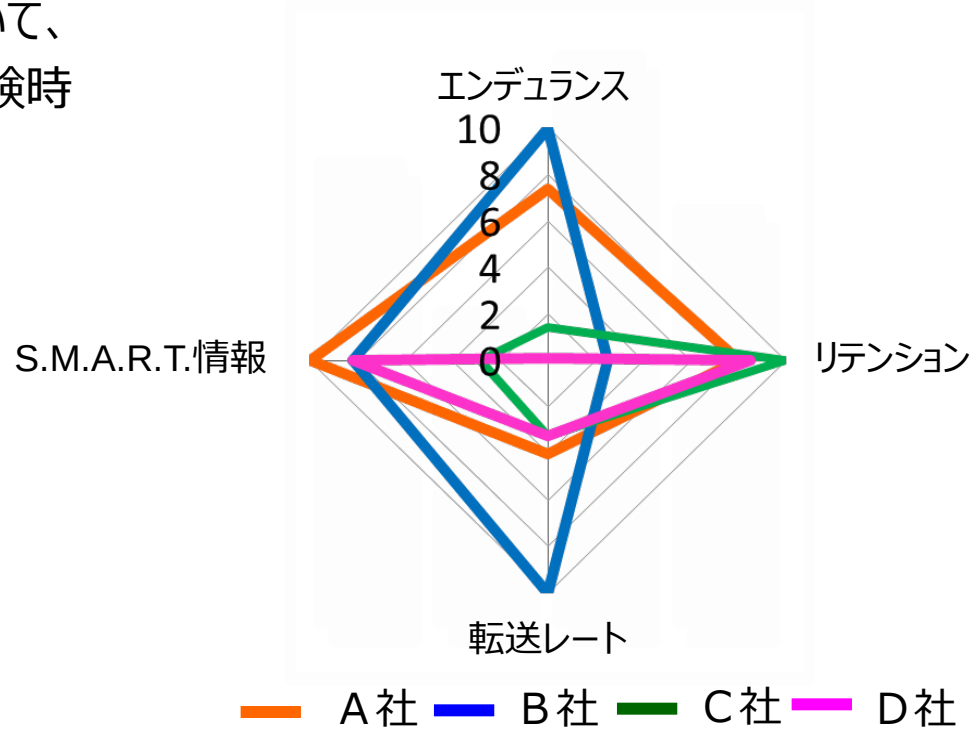




(注1) Raw Read Error Rate
SSDより取得できるS.M.A.R.T.情報。
SSD内臓のNAND Flashの劣化の程度を示す。

(注2) Runtime Bad Block
SSDより取得できるS.M.A.R.T.情報。
SSD内臓のNAND Flashの故障の程度を示す。

© Copyright 2015 Oki Engineering Co., Ltd.

4. まとめ

- OEGのSSD評価手法を事例にて紹介した。本手法により、各社のSSD特性を明確に評価できることがわかった。
- 最適なSSDを選定する為には、対象SSDの実力を把握すると同時に、コントローラの性能、メーカーの信頼性・性能に関する考え方を理解することが重要であることがわかった。
- S.M.A.R.T.情報の活用方法は、採用機器の特性を十分把握したうえで判断すべきである。
- 本評価手法は、お客様のアプリケーション、要求に応じた最適な評価に、柔軟に対応できる。
- JESD219A準拠エンデュランス評価に於いて、メーカー間で大きな差が見られ、大幅に試験時間が短縮される場合があることが判った。