

4 種の NAND 型フラッシュメモリを用いた SCM/NAND 型フラッシュハイブリッド SSD の性能評価

福地 守¹ 榊 佑季哉¹ 松井 千尋² 竹内 健^{1,2}

1. はじめに

近年, IoT (Internet of Things)によって多種多様なデータを高速に処理する必要があるため, データセンタにおけるストレージの記憶媒体として高速な SSD が用いられている. また, 更なる高速化, 低電力化を求めて DRAM のように高速で, NAND 型フラッシュのように大容量なストレージ・クラス・メモリ (SCM) を用いた, SCM/NAND 型フラッシュハイブリッド SSD が提案されている[1]. 近年, ムーアの法則の終焉に伴い, 従来の 2 次元平面状にメモリセルが広がった NAND 型フラッシュに対し, 縦方向にメモリセルアレイを積層化した 3D NAND 型フラッシュが主流となりつつある. また, 多値化技術により容量の増大した, Multi-level cell (MLC)や Triple-level cell (TLC) NAND 型フラッシュがある. そのため, 積層構造(2D, 3D), 多値化技術 (MLC, TLC), 書き込み方式 (charge-trap (CT), floating-gate (FT)) の違いにより, NAND 型フラッシュは様々な種類があり, それぞれ特性が異なる (表 1). 本論文では, 特性の異なる 4 種類の NAND 型フラッシュを用いた SCM/NAND 型フラッシュハイブリッド SSD の評価を行ない, アプリケーション特性に応じた最適な SSD 構成を提案する [2].

2. ハイブリッド SSD の構成とデータマネジメントアルゴリズム

図 1 に本論文で用いるハイブリッド SSD の構成を示す. 今回評価する NAND 型フラッシュの種類は 2D FG MLC NAND 型フラッシュ, 2D FG TLC NAND 型フラッシュ, 3D FG TLC NAND 型フラッシュ[3], 3D CT TLC NAND 型フラッシュ[4]の 4 種類の NAND 型フラッシュの性能を評価する. 図 2 に Non-volatile write-back (NV-WB) キャッシュアルゴリズム[5]を示す. すべての書き込みリクエストは SCM に書き込まれ, SCM の空き容量が 20%以下になると, NAND 型フラッシュにデータを移動する. NAND 型フラッシュからデータを読み出す場合, データを SCM にコピーする. NV-WB キャッシュアルゴリズムは NAND 型フラッシュに対するデータの書き込みと読み出し両方を低減し, SCM からデータを読み出す頻度を増加させる.

3. 4 種類の NAND 型フラッシュを用いたハイブリッド SSD の性能評価

図 3 は SCM/2D FG MLC NAND 型フラッシュハイブリッド SSD によって正規化された異なるタイプの NAND 型フラッシュを有するハイブリッド SSD の input/output per second (IOPS) 性能を示す. これらの異なる IOPS 性能は, 2D FG MLC, 2D FG TLC, 3D FG TLC, および 3D CT TLC NAND 型フラッシュの異なる特性によって引き起こされる. prxy_1 を除くすべてのアプリケーションに対して, SCM/3D CT TLC NAND 型フラッシュハイブリッド SSD は, 4 種類のハイブリッド SSD の中で最も高い IOPS 性能を示し, 最大 6.7% 性能向上する. 一方で, SCM/2D FG TLC NAND 型フラッシュハイブリッド SSD は, 4 種類のハイブリッド SSD の中で最も悪い IOPS 性能を示す. 一方, SCM/3D FG TLC NAND 型フラッシュハイブリッド SSD は, 2D FG MLC NAND 型フラッシュを用いたハイブリッド SSD と比較して最大 54% まで減少する. したがって, 最も高い IOPS 性能を得る 3D CT TLC NAND 型フラッシュは, SCM/NAND 型ハイブリッド SSD を用いたデータセンタに最も適している.

3D CT TLC NAND 型フラッシュの特性がどのように IOPS に影響を及ぼしているかを調べるために, 図 4 に示すように 1 パラメータずつ 2D FG MLC NAND 型フラッシュの特性に変え, 評価を行った (図 5). Case1 はブロックサイズの影響を表しており, ブロックサイズはハイブリッド SSD の IOPS にほぼ影響を与えないことがわかる. しかし, Case2 はレイテンシの影響を表しており, 他の Case (特性) に比べ, 最大 6.0% もの IOPS が変化してしまうことから, SSD の性能に大きい影響を与えられていることがわかる. Case3 は書き込み単位による影響を表しており, proj_3 のみ他の Case より大きい影響を示すが, その他のアプリケーションにおいて, Case1 同様大きく IOPS に影響しないことがわかる. これらの結果から, SCM/NAND 型フラッシュハイブリッド SSD の IOPS はレイテンシの影響に最も依存すると考えられる.

図 6 は NAND 型フラッシュへの読み出しと書き込みの割合によるアプリケーション依存性を示す. IOPS と NAND 型フラッシュの読み出しと書き込みの割合の関係には負の相関があることを明らかにした. 従って, より書き込みが多いアプリケーションでは 3D CT TLC NAND 型フラッシュを, 読み出しが極端に多いアプリケーションでは 2D FG MLC NAND 型

1 中央大学理工学部

2 中央大学研究開発機構

フラッシュを用いた場合、ハイブリッドSSDのIOPSがより向上すると考えられる。

4. 結論

4種類のNAND型フラッシュの特性の違いによる、SCM/NAND型フラッシュハイブリッドSSDの性能を評価した結果を表2に示す。幅広いアプリケーションで最も良いIOPS性能を示す、SCM/3D CT TLC NAND型フラッシュハイブリッドSSDがデータセンター用途に適していることを明らかにした。特に、書き込みが多いアプリケーションに対しては、2D FG MLC NAND型フラッシュを用いたハイブリッドSSDと比較して、書き込みレイテンシの短い3D CT TLC NAND型フラッシュを用いたハイブリッドSSDが優れたIOPS性能を示し、推奨できることを明らかにした。

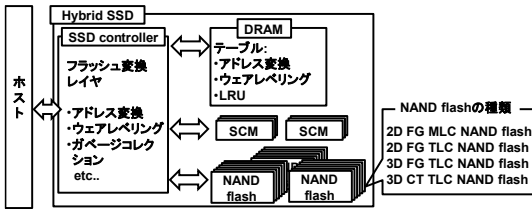


図1 ハイブリッドSSDの構成[2]

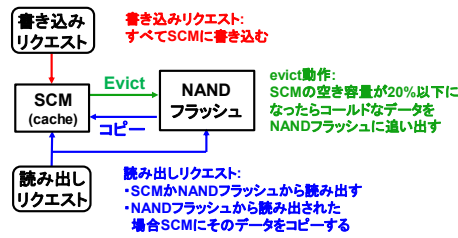


図2 NV-WB キャッシュアルゴリズム[5]

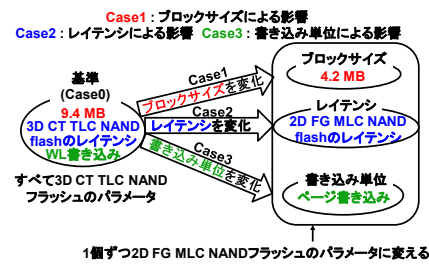


図4 3D CT TLC NAND型フラッシュ特性による感度解析[2]

表2 SCM/NAND型フラッシュハイブリッドの性能のまとめ[2]

IOPS of SCM/3D TLC CT NAND flash	Based on IOPS of SCM/2D FG MLC NAND flash						
	Write-intensive				Read-intensive		
	prxy_0	proj_0	hm_0	web_1	prxy_1	proj_3	src2_1
	+6.7%	+7.1%	+5.3%	+6.4%	-0.1%	+1.9%	+3.6%

謝辞

この成果の一部は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO)の委託業務の結果得られたものです。

参考文献

- [1] H. Fujii *et al.*, in *IEEE Symp. VLSI Circuits, Dig. Papers*, 2012, pp. 134-135.
- [2] M. Fukuchi *et al.*, in *Proc. IEEE Int. Symp. on Circuits and Systems (ISCAS)*, 2018, pp. 1-5.
- [3] T. Tanaka *et al.*, in *Proc. IEEE Int. Solid-State Circuits Conf. (ISSCC)*, 2016, pp. 142-144.
- [4] R. Yamashita *et al.*, in *Proc. IEEE Int. Solid-State Circuits Conf. (ISSCC)*, 2017, pp. 196-197.
- [5] S. Okamoto *et al.*, in *Proc. IEEE Int. Memory Workshop (IMW)*, 2015, pp. 157-160.

表1 各NAND型フラッシュメモリの特性[2]

	SCM	2D FG MLC NAND flash	2D FG TLC NAND flash	3D FG TLC NAND flash	3D CT TLC NAND flash
プログラムレイテンシ	100ns /sector	1185us/page	2180us/page	1900us/page	1083us/page
リードレイテンシ	100ns /sector	44us/page	87us/page	102us/page	76us/page
消去レイテンシ	N/A	3300us/block	3200us/block	7500us/block	4300us/block
ブロックサイズ	N/A	4.2MB	4.2MB	25MB	9.4MB
書き込み単位	セクタ	ページ (16KB)	ブロック	ブロック	WL (48KB)

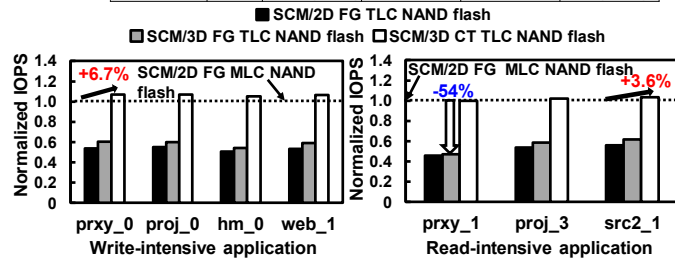


図3 4種類のNAND型フラッシュを用いたハイブリッドSSDの性能評価[2]

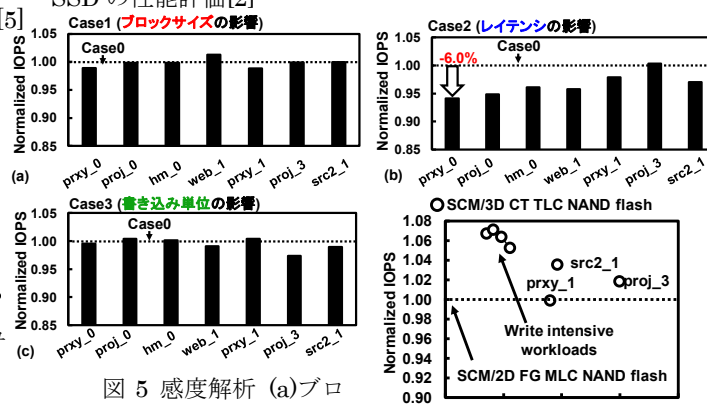


図5 感度解析 (a)ブロックサイズ, (b)レイテンシ, (c)書き込み単位による影響[2]

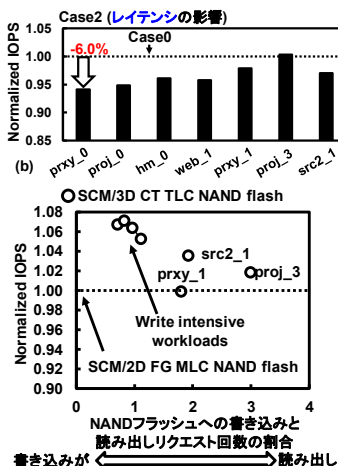


図6 NAND型フラッシュへの書き込みと読み出し回数の割合が与える性能への影響[2]