

ディスク・キャッシュ制御方式に関する一考察

1P-1

奥田弘幸*、加藤正道*、鈴木 仁**

*(株)日立製作所 システム開発研究所、 ***(株)日立製作所 旭工場

1. はじめに

筆者らは、ワークステーションや小型計算機のディスク入出力を高速化することを目的に、ディスク・キャッシュの制御方式を検討した。この制御方式の一つとして、ディスク上で連続する複数のブロック(例えば同一トラック上のブロック)をディスク・アクセスの単位として一括して入出力するディスク・キャッシュ方式の効果について考察した。本稿では実際の業務におけるディスク・アクセス・パターンをトレース・データをもとに上記ディスク・キャッシュ制御方式の効果を実験により分析した結果について述べる。

2. ディスク・キャッシュ方式

2.1 用語の定義

- (1) キャッシュ・メモリ領域の管理単位を「ブロック」と呼ぶ。
- (2) ディスク上の連続したブロックをN個単位に分割したものをディスクへのアクセスの単位とし、これを単に「アクセス単位」と呼ぶ。

2.2 制御方式の概要

以下、ディスク・キャッシュ制御方式の概要を述べる。

- (1) キャッシュ・メモリの領域はブロック単位に管理する。
- (2) 一括リード
キャッシュ・メモリ中にCPUより要求されたデータが存在しない場合、ディスクよりデータを読み込む。この時、ディスク上の同一のアクセス単位に属するブロックを、CPUからの要求の有無に係わらず一括してキャッシュ・メモリ中に読み込む。これを「一括リード」と呼ぶ。要求されなかったブロックを保持するバッファを「未要求バッファ」と呼ぶ。要求されたブロックを保持するバッファを「要求済みバッファ」と呼ぶ。未要求バッファのメモリ常駐化優先順位を要求済みバッファのそれより低く設定する為、要求済みバッファと未要求バッファを別々に管理する。また、未要求バッファ数を制限し、この上限を「未要求バッファ数」と呼ぶ。

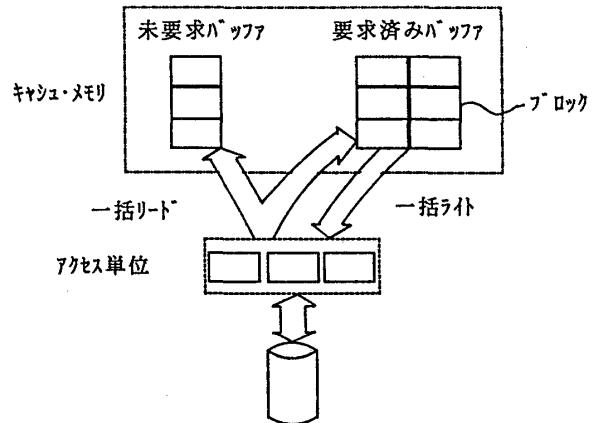


図2.1 ディスク制御方式

(3) 一括ライト

本方式のディスク・キャッシュは、ライトバック方式を前提とする。したがって、ディスクへのデータの書き込みは、キャッシュ・メモリ内のバッファが不足した時に行う。この書き込みの際、ディスクに書き込まれるブロックと同一のアクセス単位に属し、かつ、書き込みを必要とするブロックを一括してディスクに書き出す。これを「一括ライト」と呼ぶ。

3. 評価方法と結果

3.1 シミュレーションによる評価の方法

一括リード、一括ライトの有無の組み合わせにより表3.1に示す4つの場合についてディスク・キャッシュのヒット率とCPU時間を求めた。

ヒット率は、実業務のディスク・アクセスのトレース・データをもとにシミュレーションにより求めた。このシミュレーションのディスク・キャッシュ部分の処理時間を表3.1のCPUオーバーヘッドに示す。ここでは、以下のように、ヒット率を定義する。

ヒット率: CPUからのディスク・アクセス要求のうち実際にはディスクへアクセスせずディスク・キャッシュのみのアクセスで処理された要求の割合。単にヒット率といったときにはアクセス要求にはリード要求、ライト要求の両方を含む。リード要求、あるいはライト要求のみを意味する場合には、それぞれリードヒット率、ライトヒット率と呼ぶ。

3.2 結果

(1) キャッシュのCPUオーバーヘッド

表3.1 キャッシュのCPUオーバーヘッド

方式	制御方式		キャッシュのCPU時間	CPUオーバーヘッド
	一括リード	一括ライト		
(1)	無し	無し	1.00	一括ライト 0.21 一括リード 5.94
(2)	無し	有り	1.21	
(3)	有り	無し	6.94	
(4)	有り	有り	7.15	

(キャッシュのCPU時間及びCPUオーバーヘッドは方式(1)のキャッシュのCPU時間を基準に正規化した値を示す。)

表3.1に示したように一括リードの場合、アクセス単位のブロック数分のバッファを割当ててるため、CPUオーバーヘッドが一括ライトに比較して大きい。(ここで言うCPU時間にはバッファリング・アルゴリズムに伴う処理のみを含んでおり、コマンドの解析時間などは含んでいない。また、本シミュレーションではアクセス単位を32ブロックに設定している。)

(2) 一括ライトの効果

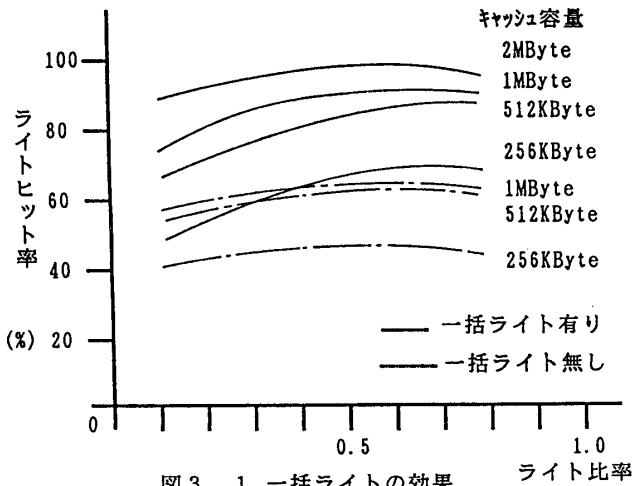


図3.1 一括ライトの効果 (一括リード無し)

図3.1に一括ライトを行った場合と行わない場合のライトヒット率を示す。最大29.3%のライトヒット率の向上が見られる。

(3) 一括リードの効果

表3.2 一括リードの効果

キャッシュ容量 (Kbyte)	リードヒット率(%)		
	一括リード		一括リードの効果 (一括リードの有無によるヒット率の差)
	有り	無し	
256	50.2	50.2	0.0
512	63.7	60.7	3.0
1024	65.5	60.7	4.8
2048	96.4	94.1	2.3

(未要求バッファの割合:キャッシュ容量の10%; (一括ライト無し))

表3.2のように一括リードのリードヒット率の

効果は最大4.8%と一括ライトに比較して小さくなっている。(ただし、図3.2ではキャッシュ容量1Mbyte、未要求バッファが40%の時、9.8%のヒット率の向上が見られる。)

(4) 未要求バッファの割合とヒット率の関係

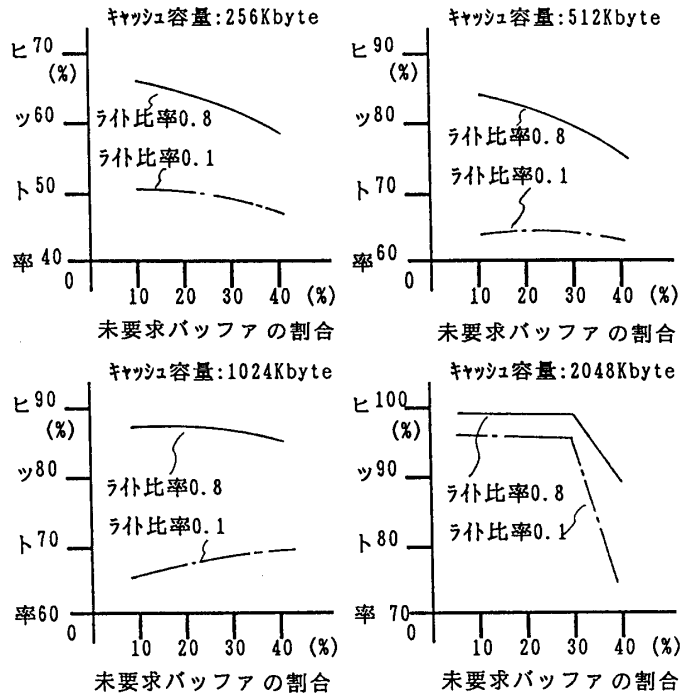


図3.2 未要求バッファの割合とヒット率の関係

・未要求バッファのキャッシュ容量に対する割合と、ヒット率の関係を図3.2に示す。キャッシュ容量が1MByteで、リードの比率が高い(ライト比率0.1)場合を除いて未要求バッファの増加と共にヒット率が低下している。これは、未要求バッファの増加に伴い要求済みバッファの割当てが減少するためである。

(ライト比率=ライト要求回数/全アクセス回数)

・キャッシュ容量1MByte、ライト比率0.1の場合のように、未要求バッファの増加に伴い、ヒット率が増加する場合もある。これは、未要求バッファに保持したデータに対するアクセス要求が多くなったためと考えられる。

4. まとめ

- (1) 一括リード/ライトの効果を確認できた。一括ライトはライトヒット率の向上効果も高く、またキャッシュのCPUオーバーヘッドも小さい。一括リードも効果は認められるが一括ライトに比較して効果が小さく、オーバーヘッドは大きい。
- (2) 一括リードの為の未要求バッファのサイズには適正値があり、大き過ぎると効果が低下する。
- (3) 今後、今回対象としなかった業務のパターンについても分析を行い、本方式の効果を検証していく。