

## アクセス関連性による ストレージデータ配置の性能と消費電力

入谷 優<sup>†1</sup> 横田 治夫<sup>†1</sup>

データ量の増加に伴いストレージの省電力化が大きな課題となっている。この問題に対し、参照頻度の高いデータと低いデータで使用するディスクを変更し、参照頻度の低いデータを格納するディスクの回転を停止することで消費電力を削減する手法が幾つか提案されている。しかし、ディスクが多数存在する場合、直近でのアクセスが無かったデータを参照して作業を行う際に、多数のディスクがスピンアップし、アクセス遅延と消費電力が増大する可能性が有る。この問題に対し我々は、ファイルアクセスが近い時間で共起しているファイル同士を同じディスクに配置する新しい手法を提案する。

### The Performance and Energy Consumption of A Data Placement Utilizing Access Relations

MASARU IRITANI <sup>†1</sup> and HARUO YOKOTA<sup>†1</sup>

As the amount of data increases, the energy consumption of storages becomes a more serious problem. Some methods move data accessed infrequently to dedicated disks and despin them in order to reduce the energy consumption of disks. In these methods with many disks, however, trying to work on old data may cause many spinups increasing the access latency and the energy consumption. For this problem, we propose a new method, which moves multiple files into one disk when accesses to them have been co-occurred several times.

<sup>†1</sup> 東京工業大学 大学院情報理工学専攻

Department of Computer Science, Graduate School of Information Science and Engineering,  
Tokyo Institute of Technology

#### 1. はじめに

コンピュータシステムが扱うデータ量の増加に伴い、データセンタ等ではそれを格納するストレージの消費電力が増大している。そのため、近年ではストレージの省電力化が大きな課題の1つとなっている。<sup>1)2)</sup>

この問題に対する解決策の1つとして、データの性質からアクセス傾向が予測できる場合には Information Lifecycle Management (ILM)<sup>3)</sup> を適用する方法が考えられる。ログデータなど再度参照される可能性が低い性質を持つファイル群に対し、ストレージ間で再配置を行うルールを適用し、そのデータを格納するディスクの回転を停止させることや、テープデバイスなどの消費電力の小さいデバイスに格納することで、ストレージシステムの消費電力を削減できる。

また、データのアクセス頻度に偏りが存在することを利用した省電力化手法も幾つか検討されている<sup>4)5)6)7)8)</sup>。これらの手法では、参照頻度が高いデータと参照頻度が低いデータで格納するディスクを変え、参照頻度が低いデータを格納するディスクの回転を停止させる。これにより、アクセスの大半を占める参照頻度が高いデータに対するアクセスについては従来通りの性能を維持しつつ、システム全体の消費電力を削減できる。

例えば、MAID<sup>4)</sup> や RAPoSDA<sup>5)6)</sup> は頻繁に参照されるデータのためにキャッシュディスクと呼ばれるディスクを専用用意する。多くのアクセスをキャッシュディスクに集中させることで、それ以外のディスクの回転を停止させることができ、システム全体の消費電力を削減する。

MAID や RAPoSDA では直近のアクセスのみを用いてデータ配置が行われるが、長期的なアクセス傾向や ILM で用いられるようなファイル属性等の付加的な情報を用いることができれば、より効率的かつ高度なディスク配置が可能である。付加情報を利用したより高度なディスク配置を実現するため、これまで我々は効率的なファイルの再配置を実現する省電力化手法<sup>7)8)</sup> を提案してきた。この手法では、ファイルへ張られたインデックスに対してファイルアクセスに関する情報を付与し、その情報を元にディスク間でファイルの再配置を行うことでストレージシステムの消費電力を削減できる。

しかし、これらの省電力化手法では、参照頻度が低くなったデータを再配置する際にどのようなデータ配置にするべきかについて十分に検討されていない。例えば、参照頻度の低くなったデータを格納するディスクが多数存在するとき、ある一連の作業で必要になるファイル群が多数のディスクに対して分散してしまう。その後、暫く参照されていなかったデータ

に対して作業を行おうとすると、回転を停止していた多数のディスクをスピニングアップさせる必要が生じるため、スピニングアップ待ちによりアクセスが遅延すると同時に、スピニングアップにより消費電力が増加する。この問題を解決するためには、ディスク配置を決定する情報としてデータのアクセス頻度やファイルの属性のみを利用するだけでは不十分である。

そこで今回我々は、ファイルのディスク配置を決定する情報として、ファイルアクセスの共起に関する情報を利用する手法を提案する。この手法では、参照頻度が低下したデータを移動する際に、同じ時間帯で同時に使われること多いファイルが出来るだけ同じディスクに対して配置されるよう、ファイルの配置先ディスクを決定する。これにより、過去のデータを用いて一連の作業を行う場合であっても、スピニングアップする必要があるディスクの台数が抑えられ、ストレージシステムの消費電力とアクセス速度を改善できると考えられる。

本論文では、提案手法の概要について述べた後、本手法を適用した場合におけるストレージシステムのアクセス速度と消費電力の改善について性能評価を行う。性能評価の結果、本手法を適用することにより、単純に参照頻度が低くなったファイルの配置先ディスクをハッシュ値から決定する場合に比べて、スピニングアップ回数を 7% 削減し、消費電力を 1%、平均アクセス時間を 12% 削減できることが分かった。

## 2. 関連研究

複数ディスク間におけるデータ配置を工夫することでファイルシステムやストレージシステムを省電力する手法については、多くの研究がなされている。その中で、データのアクセス頻度に偏りが有ることを利用した省電力化手法としては MAID<sup>4)</sup> やその改良手法である RAPoSDA<sup>5)6)</sup> が挙げられる。これらの手法では、頻繁に参照されるデータを格納するキャッシュディスクと呼ばれるディスクを用意し、多くのディスクアクセスをキャッシュディスクに集中させ、その他のディスクの回転を停止させることでストレージの消費電力を削減することができる。しかしながら、アクセス頻度の低いデータを配置するディスクの決定については、MAID では十分に検討されていない。RAPoSDA においては、再配置の際にディスクの回転状況を考慮することで、再配置によるスピニングアップ回数を削減しているが、複数データ間の関連性を用いたデータ配置については検討されていない。

また、これまで我々が提案してきた省電力化手法<sup>7)8)</sup> は、ファイルシステム上のファイルに対して張られたインデックスに対してファイルのアクセス頻度に関する情報を付与する。この情報を利用してファイルの再配置を行うことで、ファイルシステムを構成するディスク群の消費電力を削減する。

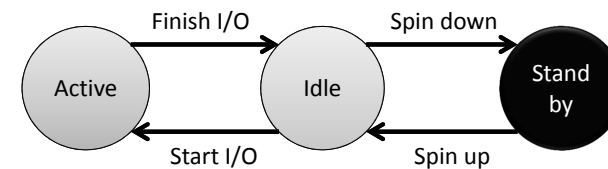


図 1 ハードディスクの状態遷移図  
Fig. 1 The State Chart of a Hard Disk

ファイルアクセスの関連性を用いてデータアクセスを高速化する手法としては、アクセス履歴を元にした自動プリフェッチについての研究がなされている。確率グラフを用いた手法<sup>9)</sup> では、あるファイルの次にどのファイルがアクセスされたかをグラフに記録し、その情報からあるファイルの次にアクセスが有る可能性が高いファイルを事前に予測する。また、Trie を用いて連続したファイルアクセスのパターンを記録する手法<sup>10)11)</sup> も提案されている。この手法では、連続するファイルアクセスのパターンが発生した回数を Trie の各ノードに対して記録し、これまでの一連のアクセスを元にその木を辿ることで、次にアクセスが発生する可能性が高いファイルを予測する。

提案手法では、ファイルアクセスログを一定時間で区切ったものを 1 つのトランザクションと見做し、相関関係マイニングアルゴリズムによりファイルアクセスの共起を抽出する。これと同様の方法を用いてファイル同士を関連付ける研究としては COFI 法<sup>12)</sup> が挙げられる。この手法は、ファイルアクセスログから同一時間帯に共起しやすいファイル群を相関関係マイニングアルゴリズムによって抽出し、仮想ディレクトリとしてユーザに提示する。

## 3. ディスクの消費電力

ここでは一般的なハードディスクにおける消費電力の特性について述べる。

ハードディスクの状態には、大きく分けてアクティブ (Active) 状態、アイドル (Idle) 状態、スタンバイ (Standby) 状態の 3 つが存在する。3 つの状態の関係を表した状態遷移図を図 1 に示す。アクティブ状態は、ディスクに対してデータの読み書きを処理している状態である。アイドル状態では、ディスクに対するデータの読み書きは発生していないものの、次のデータアクセスに備えてディスクを回転させている状態である。スタンバイ状態は、アイドル状態であったディスクがスピニングダウンによって回転を停止させている状態である。

アイドル状態においてディスクに対するアクセスが発生するとディスクはアクティブ状態へ移行し、アクセス処理が完了すると元のアイドル状態に戻る。スタンバイ状態からアイド

ル状態に復帰するにはディスクの回転を再度開始させるスピニングアップが必要となる。スピニングダウン、スピニングアップは何れもその完了に一定の時間を要する。

次に、ハードディスクの各状態における仕様の例を表 1 に示す。

表 1 ハードディスクの各状態の仕様例<sup>13)</sup>  
 Table 1 An Example Specification of Hard Disk States<sup>13)</sup>

製品名	HGST Hitachi Deskstar 7K2000
アクティブ時消費電力	11.1 W
アイドル時消費電力	7.5 W
スタンバイ時消費電力	0.8 W
スピニングダウン時消費エネルギー	35.0 J
スピニングアップ時消費エネルギー	450.0 J
スピニングダウン時間	0.7 秒
スピニングアップ時間	15.0 秒

この例では、スタンバイ状態におけるディスクの消費電力は、アクティブ状態及びアイドル状態における消費電力と比較してそれぞれ 13 分の 1、9 分の 1 以下である。このことから、出来る限り多くのディスクをスタンバイ状態にすることが出来れば、ディスクによる消費電力を大きく削減できることが分かる。

その一方で、スピニングダウンしたディスクに対してアクセスが発生した場合には、スピニングアップまで 15 秒の待ち時間が必要となる。また、スピニングダウンとスピニングアップにはそれぞれ 35J、450J のエネルギーが必要である。よって、積極的なスピニングダウンは深刻なデータアクセスの遅延だけでなく、消費電力の増大をも引き起こす可能性が有る。

このため、ストレージの省電力化手法では、アクセスの有るディスクをアイドル状態に保ちながら、どれだけ多くのディスクをスタンバイ状態にできるかが焦点となる。

#### 4. ストレージシステムの概要

本手法を適用する対象となるストレージシステムは、アクセス頻度に応じてデータの配置先を変更し、ディスクアクセスを偏らせることで省電力化を実現するシステムである。このようなストレージシステムでは、最終アクセスから一定時間後にスタンバイ状態へ移行させることで消費電力を削減することができる。その手法の概要を図 2 に示す。

ファイルに対するアクセスが発生すると、そのファイルのアクセス頻度に関する情報が参照される。アクセス頻度に関する情報として、例えばアクセス回数の集計開始時刻とその時

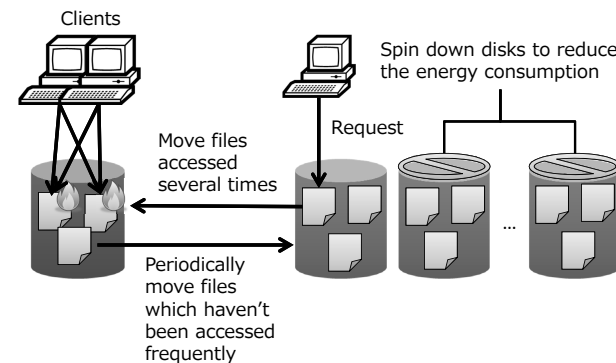


図 2 本手法の適用対象となる省電力化手法  
 Fig. 2 The Target of Our Proposal

刻以降でそのファイルに対して発生したアクセスの回数の組、等が考えられる。その情報からアクセス頻度が高いと判断された場合、アクセス頻度が高いファイルを格納するためのディスク群から 1 つを選び、そのディスクへファイルを移動する。

また、このシステムはある時刻からアクセスが無かったファイルのリストを保持しており、定期的にそのリストの中は走査される。アクセス頻度が高いファイルを格納するディスクに在るにもかかわらず一定時間アクセスが無かったファイルに関しては、アクセス頻度が低くなったと判断して、アクセス頻度が低いファイルを格納するディスクから 1 つを選んで、ファイルをそのディスクへ移動する。

このように、アクセス頻度の高いファイルはアクセスが発生した際に、アクセス頻度の低くなったファイルは定期的に、それぞれ再配置を行うことで、アクセス頻度に応じたデータ配置が実現されている。この結果、多くのアクセスはアクセス頻度の高いファイルを格納しているディスクに集中するため、それ以外のディスクをスピニングダウンさせスタンバイ状態へ以降させることで、ファイルアクセスの大部分については応答時間に影響を与えないままディスクによる消費電力を削減できる。

#### 5. 提案手法の概要

前述したストレージシステムにおいて、ある一連の作業で同時に使われるファイル群が多数の回転を停止しているディスクに格納されている場合、それらのファイルを利用した作業を行おうとすると多数のディスクをスピニングアップさせる必要が生じる可能性が有る。多数の

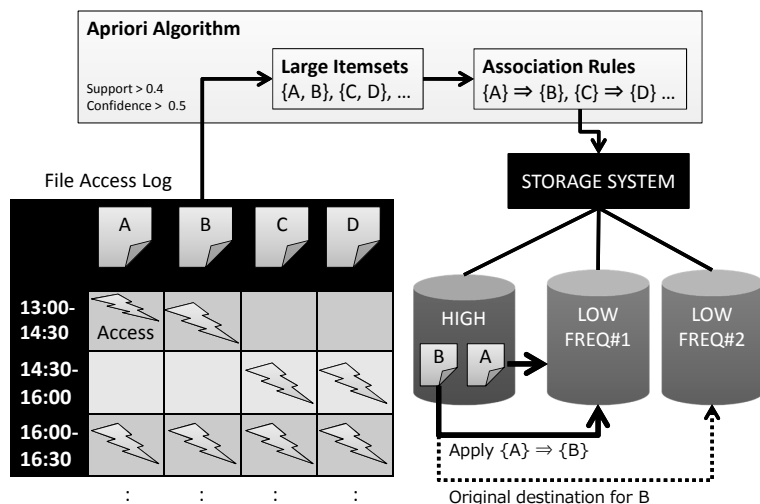


図 3 本手法の概略図  
 Fig.3 Overview of Our Proposal

ディスクによるスピナップは、その数が増えるにつれファイルアクセスの待ち時間とディスクの消費電力を増大させる。逆に、同一作業で使われることが多いファイル群を出来る限り同じディスクに格納することができれば、作業に必要なファイルアクセスによるスピナップの数を抑制することが可能になり、ファイルアクセスに必要な時間とディスクの消費電力の両方を削減できる。これは特に定期的な作業に使われている等、アクセス頻度が周期的に増減を繰り返すようなファイル群に対して有効である。

同一作業において使われる可能性が高いファイル同士は、同一時間帯に参照され易い。逆に、アクセスが複数の時間帯で一定回数以上共起しているファイル同士は同一作業において使われている可能性が有り、今後も同一時間帯で共に利用される可能性が高い<sup>12)14)</sup>。そこで提案手法では、参照頻度が低くなったファイルを専用のディスクへ移動する際にファイルアクセスの共起に関する情報を利用する。本手法では、同一時間帯におけるファイルアクセスの共起が一定回数以上発生しているファイル同士をファイルのアクセスログから抽出し、それらのファイルのアクセス頻度が低くなり再配置される際には、同じディスクに配置されるようディスク配置を決定する。

本手法は、ファイルアクセスの共起関係を抽出するにあたって相関関係マイニングを用い

る。本稿では相関関係マイニングアルゴリズムとして Apriori アルゴリズム<sup>15)</sup> を利用した場合について述べる。

Apriori アルゴリズムは、複数のアイテムを含む多数のトランザクションに対して、頻出アイテムの集合やアイテム同士の相関関係を抽出する際によく用いられる効率的なアルゴリズムである。Apriori アルゴリズムにおける相関ルールの抽出では、トランザクション中で出現率がある一定の閾値を越える相関ルールが抽出される。その閾値は最小サポート値 (minimum support) と呼ばれる。抽出された相関ルールがどの程度確からしいかは、信頼度 (confidence) によって表現される。例えばある相関ルール  $X \Rightarrow I$  の信頼度は、条件  $X$  を満たすトランザクションが相関ルール  $X \Rightarrow I$  を満たす割合である。

本手法で Apriori アルゴリズムを利用してファイルの再配置先ディスクを決定する方法について、その概要を図 3 に示す。本手法では、ファイルアクセスログを元にファイル同士の共起関係を抽出する。まず、ファイルアクセスログからディレクトリに対する参照を除去し、ファイルに対する読み書きのアクセスのみを抽出する。その後、ファイルアクセスのあった時間帯を一定時間毎に区切り、その 1 つ 1 つの時間帯をトランザクションと見做して、ファイルアクセスログに対して Apriori アルゴリズムを適用する。このとき、ある程度出現頻度が高くかつ正確なルールが抽出されるよう、Apriori アルゴリズムに対し最小サポート値と信頼度の下限の条件を与える。これにより、ある一定の時間内で同時に参照され易いファイル同士の関連を抽出することができる。このとき、Apriori アルゴリズムで抽出される相関ルールの最大長は 2 とし、全ての相関ルールが 2 つのファイル A, B 間での相関ルール  $\{A\} \Rightarrow B$  の形式で表現されるものとする。この相関ルールは一定期間毎に再計算されて更新される。

ここで得られた相関ルールは、参照頻度が低くなったファイルをまとめて再配置するために利用される。あるファイル A の参照頻度が低く、アクセス頻度が低くなったデータを格納するディスクに対して再配置することを考える。このとき、A を左辺に持つ相関ルール  $\{A\} \Rightarrow B$  が存在し、かつファイル B も参照頻度が低いと判断された場合、ファイル A とファイル B を同じディスクへ再配置する。これにより、相関ルールから得られた共起情報を利用して、同一作業に使われ易いデータを同じディスクに対して格納することが可能となる。

## 6. 性能評価

提案手法について、ソフトウェアシミュレーションによる評価を行った。

## 6.1 評価環境

シミュレーションには、引田ら<sup>16)</sup>が開発を行っているディスクシミュレータを利用した。シミュレーションに用いたディスクモデルの仕様を表 2 に示す。評価におけるワークロードとしては、当研究室で利用されているファイルサーバのログを FAccLog<sup>17)</sup> により取得したものを利用した。このワークロードの詳細を表 3 に示す。

表 2 ハードディスクの各種パラメータ  
 Table 2 Parameters for Hard Disks

参考モデル	HGST Hitachi Deskstar 7K2000
容量	2 TB
プラッタ数	5
ディスク回転数	7200 RPM
ディスクキャッシュ	4 MB
データ転送速度	134 MB/s
アクティブ時消費電力	11.1 W
アイドル時消費電力	7.5 W
スタンバイ時消費電力	0.8 W
スピンドウン時消費エネルギー	35.0 J
スピンドアアップ時消費エネルギー	450.0 J
スピンドアダウン時間	0.7 秒
スピンドアアップ時間	15.0 秒

表 3 ワークロードの各種パラメータ  
 Table 3 Parameters of The Workload

期間	2011 年 2 月 1 日 0 時 0 分 0 秒 ~ 同月 28 日 23 時 59 分 59 秒
ファイル数	36392 ファイル
アクセス数	408116 件
ファイルサイズ	全て 1MB と仮定
アクセス種別	全て読み込みと仮定

## 6.2 評価対象

評価は以下の 4 つの手法を対象とした。

**STRIPE** 各ディスクに対して均等にファイルを配置する。ディスクはスピンドアダウンさせない。

**SPINDOWN** 各ディスクに対して均等にファイルを配置する。10 秒以上アクセスの無

いディスクはスピンドアダウンさせる。

**FREQ SPINDOWN** においてファイルのアクセス頻度に応じファイルの再配置を行う。アクセス頻度が低くなったデータを再配置するディスクは、各ファイルに付与されたキーのハッシュ値から決定する。

**FREQ + REL** FREQ に提案手法を適用し、アクセス頻度が低くなったデータを再配置するディスクをファイルアクセスの共起情報から決定する。

FREQ + REL と FREQ では、16 台のディスクのうち 2 台をアクセス頻度の高いファイル、残りの 14 台をアクセス頻度の低いファイルを格納するために用いる。また、ファイル数の極端な偏りは複数ディスクを利用する利点を失わせるため、ファイルの移動はキューによって管理され、各ディスクが格納するファイル数は常に均等になるよう制限を設ける。

FREQ + REL での Apriori アルゴリズムで抽出するルールの最小サポート値と信頼度の下限は、それぞれ 0.02 と 0.4 とした。ただし、アクセスログが十分な長さ取得できていない間は、アクセスログの時間帯を区切って作られるトランザクションの数が最小サポート値に対して小さくなり過ぎるため、その場合の最小サポート値については最小共起回数が 2 となるような値を設定した。また、ファイルアクセスログからのアクセス共起の抽出は、24 時間毎にそれまでのファイルアクセスログを用いて行うものとした。ファイルアクセスログの解析は、ファイルに対するリクエストが無い時間帯にメモリ上で実行されるものとし、その計算時間と負荷によるアクセス時間と消費電力への影響は無視できるものと仮定した。

## 6.3 評価項目

評価項目は、スピンドアアップ回数及びアクセス時間と消費電力である。それぞれの定義を以下に示す。

**スピンドアアップ回数** ワークロードの開始から終了までに全ディスクがスピンドアアップした回数  
**平均アクセス時間** 1 回のファイルアクセスがクライアントから要求されてから全てのデータの読み出しが完了するまでの平均時間

**消費電力** ストレージシステムを構成する全てのハードディスクがワークロードの開始から終了までに必要とした消費電力の総和

## 6.4 スピンドアアップ回数に関する評価結果

スピンドアアップ回数の評価結果を図 4 に示す。

単純に一定時間以上アクセスの無かったディスクをスピンドアダウンさせる場合 (SPINDOWN) では、96487 回のスピンドアアップが発生していることが分かった。これは、SPINDOWN においてファイルアクセスの 4 分の 1 弱でスピンドアアップが必要となっていることを示している。

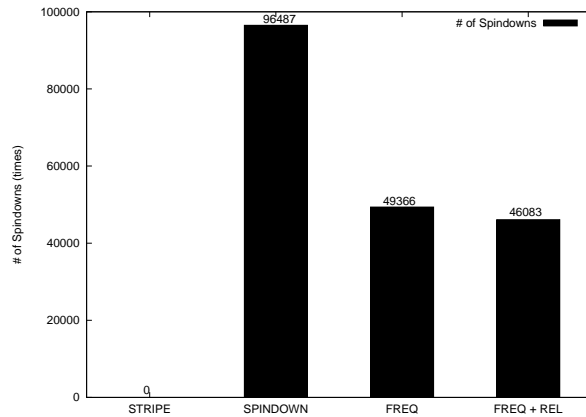


図 4 スピンアップ回数  
 Fig. 4 The Number of Spinups

RELOCAITON は、ファイルをアクセス頻度に応じてディスク間で再配置することにより SPINDOWN からスピンアップ回数を 48.8% 削減することができている。これは、頻繁に参照されるファイルへのアクセスが特定のディスクに集中することにより、他のディスクをスピンアップさせる必要が有る場合が減少しているからであると考えられる。

更に、提案手法を適用することで FREQ から更に 6.7% スピンアップ回数を削減できることが分かった。これは、ファイルアクセスの共起情報を元に関連するファイル群がまとめて再配置され、同一作業に用いられるファイルの分散が抑えられた結果だと考えられる。

この結果から、ファイルアクセスの共起情報を元にしたディスク配置によって、ディスクのスピンアップ回数がある程度削減できると言える。

#### 6.5 アクセス時間に関する評価結果

平均アクセス時間の評価結果を図 5 に示す。

ディスクをスピンドウンさせた後でそのディスクに対してアクセスが発生した際には、そのディスクのスピンアップを待つ必要が有る。スピンアップ待ちを必要としたファイルアクセスが平均アクセス時間を押し上げるため、スピンドウンを行わない STRIPE 以外における平均アクセス時間は STRIPE と比べて長くなっている。

FREQ ではファイルのアクセス頻度に応じてファイルを再配置することでスピンアップ回数が抑制された結果、スピンアップ待ちによる平均アクセス時間の増加幅が小さくなるた

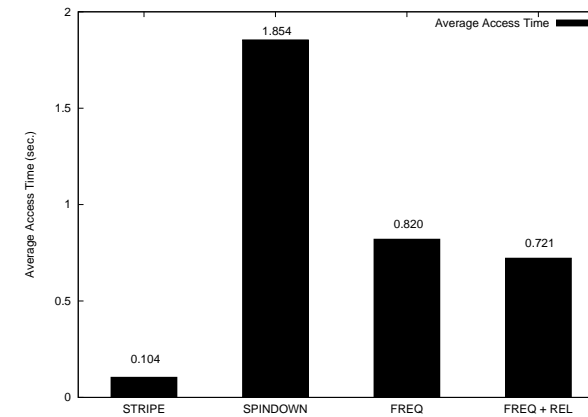


図 5 平均アクセス時間  
 Fig. 5 Average Access Time

め、SPINDOWN と比べて 55.7% 平均アクセス時間が短くなっている。

更に提案手法を適用することにより、データの再配置を行う場合の平均アクセス時間を FREQ から 12.0% 削減できることが分かった。これは、アクセス共起情報を利用して関連度の高いファイルが同じディスクに格納されたことによりスピンアップ回数が抑制された結果、スピンアップ待ちによるアクセス詰まりがある程度解消されたからであると考えられる。

次に、アクセス時間が長かったアクセスの数を図 6 に示す。

STRIPE ではスピンアップによるアクセス時間の増加が無いいため、殆どのアクセスは 1 秒以内で処理されるが、それ以外の手法ではスピンアップ時間である 15 秒よりも長い時間を必要とするアクセスも存在する。SPINDOWN と FREQ を比較すると、FREQ におけるアクセス時間の長いファイルアクセスの数は SPINDOWN の場合と比べて遥かに小さい。これは、アクセス頻度に応じたファイルの再配置によって多くのアクセスが回転状態にあるディスクに集中し、スピンアップで待たされるファイルアクセスの数が減少しているためであると考えられる。

また、提案手法を適用することによってアクセス時間の長いアクセスの数を FREQ から更に減少できることが分かった。その差はアクセス時間がより長いものほど顕著であり、アクセス時間が 1 秒以上であったアクセスの数は提案手法により 7.9% 減少したが、10 秒以上であったアクセスの数は 18.8%、15 秒以上であったアクセスの数は 42.9% 減少してい

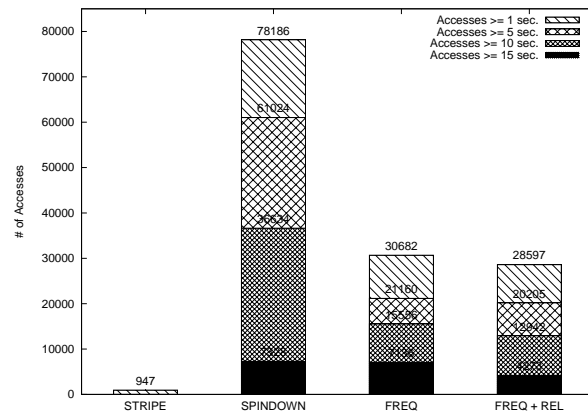


図 6 アクセス時間の長いアクセス  
 Fig.6 Accesses Taking Long Time

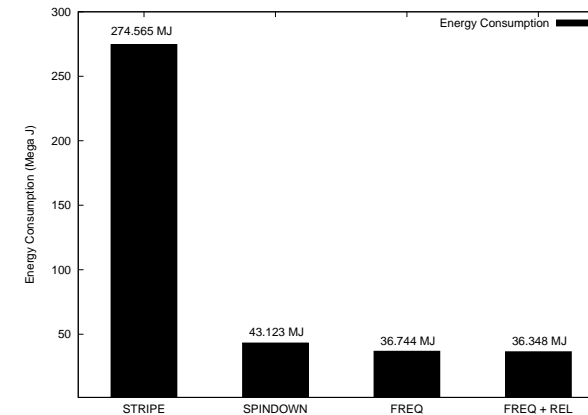


図 7 消費電力  
 Fig.7 The Energy Consumption

ることが分かった。

以上の結果から、提案手法によるアクセス時間の削減には一定の効果が見られ、特にアクセス時間が長時間となるアクセスの数を大きく削減することが可能であると言える。

### 6.6 消費電力に関する評価結果

各比較対象におけるディスクの消費電力を図 7 に示す。

ワークロードでは深夜を中心にファイルアクセスが殆ど無い時間帯も存在するため、スピンドウンを実施するだけでもディスクの消費電力は大きく削減された。また、アクセス頻度に応じてファイルを再配置することによって、単純にスピンドウンする場合と比べて更に 14.8% 消費電力を削減できることが分かった。

更に、提案手法を適用することで、1.0% 程度消費電力を削減できることが分かった。消費電力に関しては、スピンドアップ回数の削減幅ほど大きな削減は見られなかった。これは、スピンドアップ 1 回を削減することによって削減できる消費電力がストレージシステム全体の消費電力と比較して小さかったことが原因であると考えられる。

### 6.7 考察

今回の評価結果から、提案手法を適用することでストレージ省電力化手法におけるディスクのスピンドアップ回数が抑制され、その結果としてアクセス時間及び消費電力が共に改善されることが分かった。特に、提案手法はアクセス時間が長時間となるアクセスの削減に大き

な効果を示した。

平均アクセス時間と消費電力から算出された電力比平均スループットを図 8 に示す。

この評価で、FREQ + REL は二番目に高い値を示した STRIPE より 8.8% 高い値を示している。これは、提案手法を適用した省電力化手法では、スピンドウンを行わない場合と比べてアクセス速度は低下する一方、その差を上回る省電力化を実現できていることを意味している。このことから、性能と消費電力を共に考慮に入れた場合には FREQ + REL が他の手法と比べてより高い電力効率を示していると言える。

## 7. まとめと今後の課題

今回我々は、ストレージの省電力化手法において参照頻度の低いデータをまとめて再配置する際に、データの共起関係を利用してディスク配置を決定する手法を提案した。この手法を適用することでディスクのスピンドアップ回数とアクセス遅延を削減しつつ、消費電力を削減できることを示した。

今後の課題について述べる。今回の性能評価では、1 日毎に共起関係をログから抽出する方法を用いたが、実際のファイルシステムでは、ログからの共起関係の抽出に長時間を必要とする場合も考えられる。また、共起情報についても今回は一箇所で管理することとしたが、多数のディスクが存在する場合には、その情報を分散して管理することが望ましい。よ

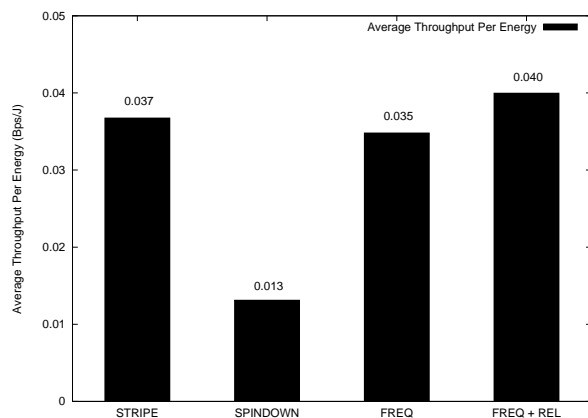


図 8 電力比平均スループット

Fig. 8 Average Throughput Per Energy

り効率的な共起関係の抽出とその情報の管理方法については、今後の課題である。

また、共起関係の抽出における最小サポート値と信頼度の閾値についても、今回の性能評価では手動での設定であったが、ファイルシステムに対する参照状況などから動的にそれらのパラメータを決定する手法についても検討が必要である。

## 謝 辞

本研究の一部は、日本学術振興会科学研究費補助金基盤研究 (A)(#22240005) の助成により行われた。

## 参 考 文 献

- 1) HITACHI: Growing need for energy-saving storage. [http://www.hitachi.com/rd/yrl/people/greenit\\_storage/01.html](http://www.hitachi.com/rd/yrl/people/greenit_storage/01.html).
- 2) Raffo, D.: Is storage top energy hog in data centers? <http://searchstorage.techtarget.com/news/1285060/Is-storage-top-energy-hog-in-data-centers>.
- 3) Golshani, F.: EIC's Message: Multimedia Information Lifecycle Management, *IEEE Multimedia*, Vol.11, p.1 (online), DOI:<http://doi.ieeecomputersociety.org/10.1109/MMUL.2004.1289033> (2004).
- 4) Colarelli, D. and Grunwald, D.: Massive arrays of idle disks for storage archives,

*Proceedings of the 2002 ACM/IEEE conference on Supercomputing*, Supercomputing '02, Los Alamitos, CA, USA, IEEE Computer Society Press, pp.1–11 (online), available from (<http://portal.acm.org/citation.cfm?id=762761.762819>) (2002).

- 5) 引田諭之, 横田治夫: プライマリ・バックアップ構成を有効利用したストレージシステムの省電力化手法の提案, *DEIM Forum 2010 E6-4* (2010).
- 6) 引田諭之, Hanh, L.H., 横田治夫: 複数ディスクからなるストレージシステムの省電力化手法における電力削減効果の比較および評価, *DEIM Forum 2011 D10-1* (2011).
- 7) 入谷 優, 横田治夫: アクセス頻度情報を利用したインデックスによる消費電力への影響, *DEIM Forum 2011 C10-4* (2011).
- 8) 入谷 優, 横田治夫: アクセス頻度情報を付与したインデックスによるデータベースの省電力化手法, 情報処理学会 第 73 回全国大会 (2011).
- 9) Griffioen, J.: Performance Measurements of Automatic Prefetching, *In Proceedings of the ISCA International Conference on Parallel and Distributed Computing Systems*, pp.165–170 (1995).
- 10) Kroeger, T.M. and Long, D.D.: Predicting File System Actions from Prior Events, *In Proceedings of the USENIX 1996 Annual Technical Conference*, pp.319–328 (1996).
- 11) Kroeger, T. and Long, D. D.E.: The Case for Efficient File Access Pattern Modeling, *IEEE*, pp.14–19 (1996).
- 12) 小田切健一, 渡辺陽介, 横田治夫: 頻出ファイル集合のアクセス時間を考慮した仮想ディレクトリ生成手法, 第 2 回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム (DEIM2010) (2010).
- 13) Technologies, H. G. S.: Deskstar 7K2000 & Ultrastar A7K2000 Specification v1.4. [http://www.hitachigst.com/tech/techlib.nsf/techdocs/5F2DC3B35EA0311386257634000284AD/\\$file/USA7K2000\\_DS7K2000\\_OEMSpec.r1.4.pdf](http://www.hitachigst.com/tech/techlib.nsf/techdocs/5F2DC3B35EA0311386257634000284AD/$file/USA7K2000_DS7K2000_OEMSpec.r1.4.pdf).
- 14) 吳 怡, 渡辺陽介, 横田治夫: ファイル RMC 操作に基づくタスク間関係を用いたファイル検索, *DEIM Forum 2011 A9-2* (2011).
- 15) Agrawal, R., Imieliński, T. and Swami, A.: Mining association rules between sets of items in large databases, *SIGMOD Rec.*, Vol. 22, No. 2, pp. 207–216 (online), DOI:<http://doi.acm.org/10.1145/170036.170072> (1993).
- 16) 引田諭之, Hanh, L.H., Hung, K.K., 横田治夫: ストレージシステムにおける省電力効果検証のためのシミュレータ, 情報処理学会研究報告 (2010).
- 17) だいくネット: FAccLog Ultimate. [http://www2s.biglobe.ne.jp/~masa-nak/fal\\_down.htm#FALULT1](http://www2s.biglobe.ne.jp/~masa-nak/fal_down.htm#FALULT1).