

## 論文の内容の要旨

論文題目      アプリケーションの入出力挙動特性を利用したストレージシステム  
省電力技法に関する研究

氏      名      西川   記史

人類が生成するデジタルデータの量は日々増加している。IDCのレポートによれば、電子的に生成され蓄積される情報及びコンテンツの量は、2015年には7ゼットバイトを超えると予測されている。これら爆発的に増加するデジタルデータはセンサデータアーカイブや検索エンジン、顧客情報管理(オンライントランザクション処理システム)などのデータインテンシブアプリケーションにより管理・利用され、大規模なストレージに格納される。そのため今後ストレージの出荷容量の急増が予想されている。一方、データセンタにおけるIT機器の電力消費量の増加は著しく、データセンタの省電力が強く求められている。すなわち、デジタルデータの増加とも相まって急増するストレージの消費電力の削減は、データセンタにおける最重要の課題の一つとなっている。特に、アプリケーション実行時のストレージ省電力に関しては未だ検討されていない。

これまでも多くのストレージ省電力手法が報告されているが、いずれもストレージレベルの入出力頻度に従いディスクを停止する等の手法により省電力を実現している。しかし、実際に入出力を発行するのはアプリケーションであり、ストレージレベルの入出力情報のみでは的確に省電力制御することは難しい。このためアプリケーションが長期間入出力を行わない場合でもストレージを稼働し続け電力を削減できない、あるいはアプリケーションが短期間で入出力処理を再開するにも関わらずストレージを省電力状態に移行しアプリケーションの性能劣化を引き起こす等の可能性がある。

データセンタでは、主にオンライントランザクション処理(OLTP)や意思決定支援システム(DSS)など、多くの入出力を伴うデータインテンシブアプリケーションが稼働している。これらアプリケーションの入出力の特性は、例えばOLTPではランダムな入出力、DSSでは一括読み取りなど、アプリケーション毎に異なる。そこで、アプリケーションの入出力挙動特性を用いることによりストレージに対する入出力の傾向を把握し、それをストレージの省電力に利用する新たな省電力手法を提案する。提案手法はアプリケー

ションの入出力挙動に合わせてストレージの省電力を実行するため、実行中のアプリケーションの性能を劣化させることなく、従来の手法と比較し高い省電力効果を得ることが期待できる。

ストレージのコンポーネントの中では、ハードディスクドライブ(HDD)の消費電力が最も高い。代表的なデータインテンシブアプリケーションであるOLTPが稼働している環境にて、提案手法の省電力の可能性及び効果を検討する。一般にOLTPでは入出力が頻繁なため、OLTP実行中のHDDの省電力は困難とされているが、OLTPの入出力挙動特性を詳細に解析することにより、実行中のOLTPにおいてもほとんど入出力がなされないデータがあることを示し、HDDの省電力の可能性があることを明らかにする。得られた入出力挙動特性を基にHDDの省電力を試み、5台のHDDを用いた実測により数%のランザクションスループットの低下でHDDの消費電力を20%以上削減できることを確認した。

次に、提案手法をストレージに拡張し、アプリケーションレベルとストレージレベル双方の入出力挙動を利用した省電力手法を検討する。つまり、アプリケーションレベルの入出力挙動の分類とそれに基づく適切なストレージ省電力手法の選択による省電力を試みる。ファイルサーバ、OLTP、及びDSSの入出力トレースをストレージ上で再生、消費電力を実測し、従来手法と比較してストレージ消費電力を大幅に削減できることを確認した。

近年データセンタで用いられるストレージは、構成するディスク数やメディア種類(HDDやSolid State Disks (SSD))、RAIDレベル等様々なRAID構成を取る。今日RAIDは容量効率や信頼性、性能に重点を置いて構成されているが、新たにストレージの省電力の観点からのRAID構成を議論する。複数のRAID構成の電力及び性能をシミュレーションにより比較し、少数のドライブを用いたRAID0+1構成がRAID5構成より省電力効果が高いこと、及びアプリケーションにより消費電力削減のためのRAID構成が異なることを確認した。

また、データセンタで増大し続けるデータの入出力性能の確保と管理コストの低減を目的とした階層データ管理をストレージ省電力に取り入れ、データの利用者が求める性能要件を満たしつつストレージを省電力する手法を検討する。さらに、提案手法を用いた省電力ストレージ管理機構の実装を示す。データ統合・解析システム(DIAS)を用いて評価した結果、提案手法が性能要件を満たしつつ消費電力を75%削減できることを確認した。

以上、本論文では、提案手法が、アプリケーションの入出力挙動を用いてストレージに対する入出力の傾向を把握することにより、アプリケーションの性能低下を抑えつつストレージの消費電力を大幅に削減できることを確認した。また、HDD、ストレージ、及びDIASを用いた実測により、提案手法が様々な規模のストレージに広く適用可能であることを確認した。