

# カラムストアデータベースの処理性能と電力の関係について

福澤 優<sup>†</sup> 宮崎 純<sup>†</sup> 藤澤 誠<sup>†</sup> 天野 敏之<sup>†</sup> 加藤 博一<sup>†</sup>

<sup>†</sup> 奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科 〒630-0192 けいはんな学研都市

E-mail: <sup>†</sup>yu-f@is.naist.jp.jp, <sup>††</sup>{miyazaki,fujis,amano,kato}@is.naist.jp

あらまし OLAP 処理を効率化するカラムストアデータベースについて、その処理性能と消費電力との関係について報告を行う。カラムストアが、OLAP の処理において、I/O 回数、データ圧縮等により、効率的に問合せ処理が可能であることが明らかにされている。しかしながら、近年、消費電力に関しても非常に関心が高く、問合せ性能の高さだけでは不十分である。本稿では、カラムストアを利用した省電力問合せ処理を目指すための第一段階として、カラムストアデータベースの処理性能と消費電力との関係を明らかにし、潜在的な問題点について考察を行う。

キーワード OLAP, カラムストア, 問合せ処理, 消費電力

## Relationship between Performance and Power on a Column Store Database System

Yu FUKUZAWA<sup>†</sup>, Jun MIYAZAKI<sup>†</sup>, Makoto FUJISAWA<sup>†</sup>, Toshiyuki AMANO<sup>†</sup>, and Hirokazu KATO<sup>†</sup>

<sup>†</sup> Graduate School of Information Science, Nara Institute of Science and Technology  
Keihanna Science City, 630-0192 Japan

E-mail: <sup>†</sup>yu-f@is.naist.jp.jp, <sup>††</sup>{miyazaki,fujis,amano,kato}@is.naist.jp

### Abstract

### Key words

#### 1. はじめに

データベース管理システム (DBMS) は情報化社会の根幹をなし、銀行のオンラインシステムをはじめとして、企業経営の意思決定から電子商取引に至るまで、不可欠なソフトウェアである。情報爆発時代においては、データベースに格納されるデータ量が飛躍的に増加し、データベース処理を高速化することが、以前よりも強く要求されている。それと同時に、システム全体の消費エネルギー (以降では消費電力と記す) の増加が問題化している。

このような背景の下、データベース処理の省電力化の研究も徐々に進められており、OLTP 指向データベースの低消費電力化が可能であることが示されている [5]。文献 [5] では PostgreSQL を利用し、TPC-C ならびに TPC-H ベンチマークを利用し、OLTP と OLAP の性能と消費電力との関係を調査している。その結果、OLTP では性能を高めながら消費電力を下げることが可能であることが示されている。しかし、OLAP では消費電力を下げることに至っていない。また、ストレージがディスク 1 台で、ストレージの消費電力が CPU のそれに比べて無視できるほど小さいという仮定をしているが、現実の OLAP の

場合はディスクアレイを利用することが普通であり、ストレージの消費電力を無視できない場合の方が一般的である。

一方、カラムストア (column store) と呼ばれる、効率よく OLAP 等の解析問合せを行うための提案がなされている [1], [4]。PostgreSQL のような従来のローストア (row store) は、タプルを不可分なデータ構造としてディスクページ中に格納するため、更新が主体の OLTP 処理に適しているが、タプル中の特定の属性のみを処理する OLAP 処理には、計算に不要な属性もディスクから読み出すため I/O オーバヘッドが大きく、処理効率は悪い。そのため、ローストアを利用して OLAP 処理を省電力化するのは得策ではない。

本論文では、カラムストアを利用して OLAP の省電力問合せ処理を目指すための第一段階として、カラムストアデータベースの処理性能と消費電力との関係を明らかにし、潜在的な問題点について考察を行う。

#### 2. カラムストア

従来、データベースはタプルの更新を主とする OLTP を主眼として設計されてきた。そのため、タプルを不可分のデータとしてページ中に連続して格納するローストア (図 1 参照) を

利用することにより、更新操作の効率が上げられる。

一方、蓄積された大量のデータを利用して、企業経営の意思決定支援等のための解析問合せ処理を行う OLAP が近年普及してきた。OLAP では、売上げ金額計算などの集約演算が主体で、読出し I/O が中心でかつ、タプル中の特定の属性のみが計算に利用される、という性質がある。この性質を利用し、タプル中の各属性を分離し、属性をそれぞれ別々のページに格納するカラムストア (図 1 参照) が提案された [1], [4]。なお、属性ごとに別々のページに格納する方式は、Decomposition Storage Model (DSM) [2] として知られるが、近年のカラムストアは通常、DSM を含めてデータ圧縮や上位層の DBMS での専用処理等まで拡張した全体を指している。

カラムストアでは、OLAP が読出し中心であることから、複数のページ I/O が必要となる高コストなタプルの挿入や削除の影響はほとんど無視できる。カラムストアにより、必要な属性だけを読出すことができるため、I/O コストが削減されるだけでなく、同一属性には同一値のデータを多数含むことから高いデータ圧縮が可能であり、I/O のコストをさらに減少させることができる。圧縮方法として、データを復号化せずに解読可能な連長圧縮法を利用すれば、符合化したままデータベース処理が可能である。更に、属性ごとに分解されたタプルの復元を可能な限り遅らせる遅延実体化により、カラムストア独自の最適化が可能である。

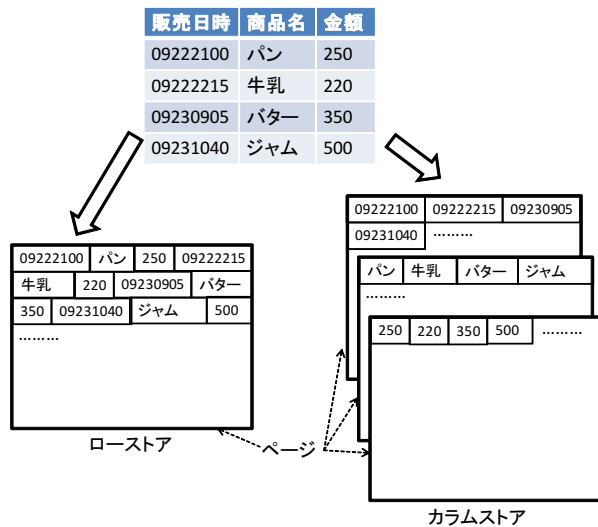


図 1 タプルの格納方式

### 3. カラムストアによる OLAP 処理と消費電力

本研究では、カラムストアを利用することにより OLAP の処理の省電力化を試みる。文献 [5] でも TPC-H を利用して OLAP の省電力化を試みているが、以下の根本的な問題がある。

- ローストアの利用
- ストレージの消費電力の無視

そもそもローストアは OLAP には向いていないことが指摘されており、1990 年代後半に、OLAP 処理に特化した Sybase IQ でカラムストアが利用された。更に、OLAP では大量のデータ

を扱うため、ディスクアレイは必須であり、CPU の消費電力以上にストレージの消費電力が大きくなるため、ストレージを含めたシステム全体の省電力化が必要である。

カラムストアには以下の三つの特長がある。

- (1) 必要なカラムのみを読出すことによる高い I/O 効率
- (2) データ圧縮による高い I/O 効率
- (3) カラムストア向けの問合せ演算処理

特長 1. はストレージの消費電力、特長 3. は CPU の消費電力、特長 2. はストレージと CPU の消費電力に影響を及ぼす。

本研究ではカラムストアの持つこれらの特長を利用し、問合せ処理性能を保ちつつ OLAP の省電力化を行うことが、最終目的である。しかしながら、これらのカラムストアの三つの特長が、いかなる問合せに対しても全てが有効であるは限らず、与えられた問合せについて、性能を維持しつつ消費電力が減少するような問合せ最適化手法を明らかにしなければならない。このためには、OLAP 問合せとカラムストアの特長に対する、消費電力と性能の関係を明らかにする必要がある。

そこで、本稿では、性能を維持しつつ消費電力を減少させる問合せ最適化のための第一段階として、カラムストアのそれぞれの特長について、性能と消費電力との関係を実験を通じて明らかにする。

## 4. 実験

カラムストアの特長について、性能と消費電力との関係を明らかにするために、C-Store [4] を利用し、ベンチマーク実行時の CPU の消費電力、ならびにストレージ (ハードディスク) の消費電力の計測を行う。比較のためにローストアである MySQL に関して同一の実験を行う。

実験に利用した計算機は、CPU に Intel PentiumD (2.8GHz)、メモリ 2GB、ハードディスクには SATA インタフェースの HGST Deskstar 500GB のモデルを搭載し、OS には Ubuntu Linux 10.10 を搭載している。電力測定には、低電流回路にはシャント抵抗、高電流回路には電流クランププローブ SANWA CL-22AD を使用して、日置電機 LR-8400 を用いて電流と電圧から消費エネルギーを求めた。

なお、実験に使用した問合せは、以下の文献 [4] で利用されたものと同一である。なお、MySQL については、これらの問合せに対して、性能向上に有効と考えられる属性全てに索引を付けた。

Q1.

```
SELECT l_shipdate, COUNT (*)
FROM lineitem
WHERE l_shipdate > D
GROUP BY l_shipdate
```

Q2.

```
SELECT l_suppkey, COUNT (*)
FROM lineitem
WHERE l_shipdate = D
GROUP BY l_suppkey
```

Q3.

```
SELECT l_suppkey, COUNT (*)
FROM lineitem
WHERE l_shipdate > D
GROUP BY l_suppkey
```

Q4.

```
SELECT o_orderdate, MAX (l_shipdate)
FROM lineitem, orders
WHERE l_orderkey = o_orderkey
AND o_orderdate > D
GROUP BY o_orderdate
```

Q5.

```
SELECT l_suppkey, MAX (l_shipdate)
FROM lineitem, orders
WHERE l_orderkey = o_orderkey
AND o_orderdate = D
GROUP BY l_suppkey
```

Q6.

```
SELECT l_suppkey, MAX (l_shipdate)
FROM lineitem, orders
WHERE l_orderkey = o_orderkey
AND o_orderdate > D
GROUP BY l_suppkey
```

Q7.

```
SELECT c_nationkey, sum(l_extendedprice)
FROM lineitem, orders, customers
WHERE l_orderkey = o_orderkey
AND o_custkey = c_custkey
AND l_returnflag = 'R'
GROUP BY c_nationkey
```

各問合せごとの実験結果を、図 2～8 に示す。それぞれのグラフには、実行時間ならびにディスクの消費電力、CPU の消費電力を示している。また、1 秒あたりのエネルギー、すなわち電力については、表 1 にまとめた。なお、“CStore” はデータ圧縮ありの場合の CStore、“CStore-UN” はデータ圧縮なしの場合の CStore、“MySQL” はローストアである MySQL での結果である。

#### 4.1 考察

図 2～8 から分かるように、Q2 と Q5 を除いてカラムストアの消費電力ならびに処理性能が、ローストアの MySQL よりも良いことが分かる。しかしながら、Q2 と Q5 のグラフから、完全一致問合せかつテーブル中の複数のカラムを利用するものは、カラムストアが不利であることが分かる。これは、ローストアでは 1 回の索引の探索により、条件に合致する全ての属性値が得られるが、カラムストアでは索引の探索の後に、対応する

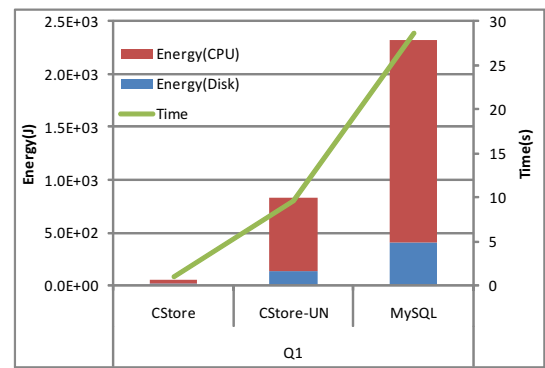


図 2 Q1 の実行結果

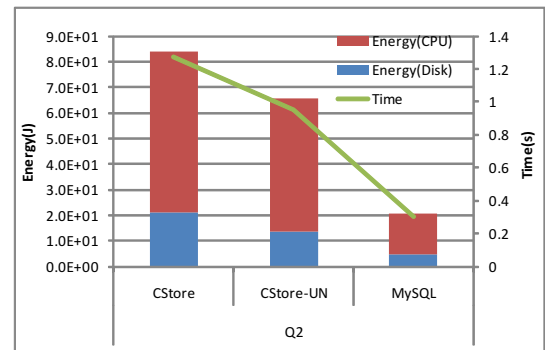


図 3 Q2 の実行結果

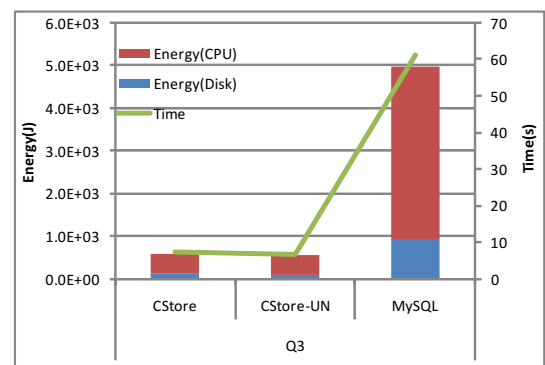


図 4 Q3 の実行結果

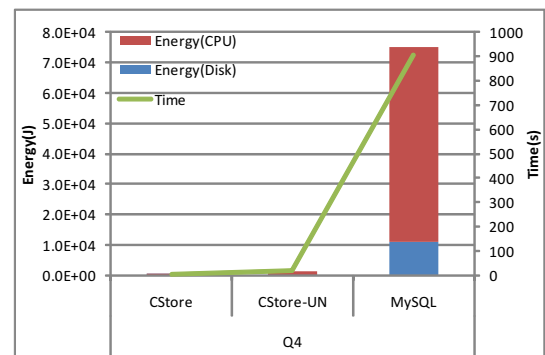


図 5 Q4 の実行結果

他の属性を読む必要があるからである。圧縮を行っていない場合は、簡単な計算で対応する他の属性を読むせるが、圧縮を行っている場合は、対応する他の属性の位置が簡単な計算で求められないため、I/O のコストとデータの解凍を行う CPU の

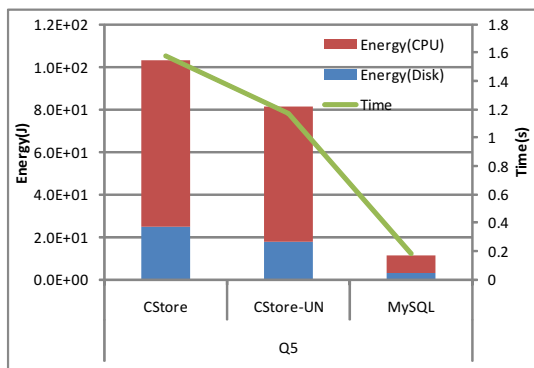


図 6 Q5 の実行結果

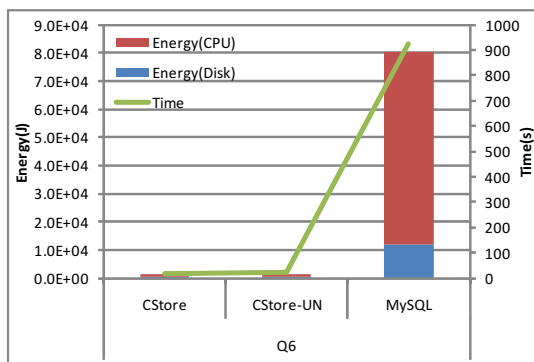


図 7 Q6 の実行結果

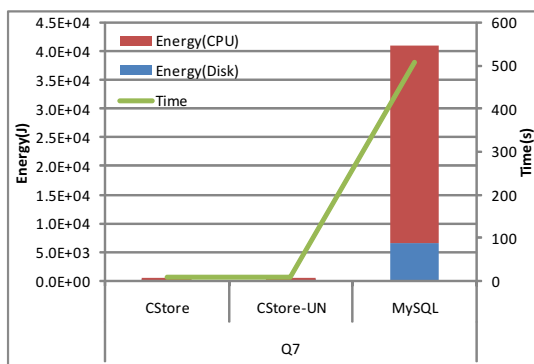


図 8 Q7 の実行結果

表 1 各問合せの電力 (単位: W)

Query	CStore	CStore-UN	MySQL
Q1	61.0	85.7	81.1
Q2	66.1	69.3	69.4
Q3	82.5	85.7	81.2
Q4	66.9	67.3	82.7
Q5	65.2	69.5	62.7
Q6	71.1	70.2	86.8
Q7	67.9	68.4	80.8
平均	68.7	73.7	77.8

コストが必要となるからと考えられる。Q7 の場合も完全一致問合せを含むが、結合演算のコストが相対的に高いため、ローストアの MySQL は、カラムストアよりも消費電力、処理性能ともに劣っている。

電力の観点から見ると、Q1 から Q7 の平均電力が CStore-UN

が 73.7W、MySQL が 77.8W となった。つまり、処理時間が同じであれば、圧縮ありのカラムストアが、平均的に最もエネルギー効率が高いと言える。ただし、ローストアが得意とする完全一致問合せ (Q2、Q5) に関しては、カラムストアとそれほど差のない電力であることが分かる。

この実験の結果から、省電力 OLAP を行うためには、カラムストアの利用だけで最適な消費電力にならないことが判明した。このことから、省電力 OLAP には、カラムストアとローストアの両方を利用する必要がある。カラムストアとローストアを両立させて OLAP 処理を高速化する研究には Fractured Mirror [3] があるが、省電力化に関しても同様なアプローチが必要であると考えられる。ただし、問合せ最適化には、処理時間だけでなく消費電力のファクタを加味する必要がある。

## 5. おわりに

本論文では、カラムストアを利用した省電力 OLAP 問合せ処理を目指すための初期段階として、カラムストアデータベースの処理性能と電力との関係を明らかにすることを試みた。その結果、省電力 OLAP 問合せには、ローストアとカラムストアのハイブリッドシステムが必要であることが判明した。

今後、各リレーショナルオペレータの処理性能と消費電力の関係をより詳細に調べ、最適化のための問合せプランに対する消費電力の予測方法を検討していく必要がある。これに基づき、省電力 OLAP 処理のための最適化手法を提案していきたい。

## 謝 辞

本研究の一部は、科研費補助金基盤研究 (A) (課題番号: 22240005) ならびに若手研究 (B) (課題番号: 21700111) の支援による。ここに記して謝意を表す。

## 文 献

- [1] Daniel J. Abadi, Samuel R. Madden, and Nabil Hachem. Column-Stores vs. Row-Stores: How Different Are They Really? In *Proc. of ACM SIGMOD 2008*, pages 967–980, 2008.
- [2] George P. Copeland and Setrag N. Khoshafian. A DECOMPOSITION STORAGE MODEL. In *Proc. of ACM SIGMOD 1985*, pages 268–279, 1985.
- [3] Ravishankar Ramamurthy, David J. DeWitt, and Qi Su. A Case for Fractured Mirrors. In *Proc. of VLDB 2002*, pages 430–441, 2002.
- [4] Michael Stonebraker, Daniel J. Abadi, Adam Batkin, Xuedong Chen, Mitch Cherniack, Miguel Ferreira, Edmond Lau, Amerson Lin, Samuel Madden, Elizabeth J. O’Neil, Patrick E. O’Neil, Alex Rasin, Nga Tran, and Stanley B. Zdonik. C-Store: A Column-oriented DBMS. In *Proc. of VLDB 2005*, pages 553–564, 2005.
- [5] Zichen Xu, Yu-Cheng Tu, and Xiaorui Wang. Exploring power-performance tradeoffs in database systems. In *Proc. of ICDE 2010*, pages 485–496. IEEE, 2010.