

アプリケーションを含めた IT サービスのエネルギー効率指標の提案

五十嵐和人[†] 大田原 実[†] 原 聖宣[†]

[†] 株式会社日立製作所 〒 244-0817 神奈川県横浜市戸塚区吉田町 292 番地
E-mail: †{kazuto.igarashi.mk,makoto.oohara.ob,kiyonori.hara.zq}@hitachi.com

あらまし データセンターにおける消費電力量は年間 10 % ずつ増加しており、電力コストは過去 10 年間で約 8 倍に増加した。このため、データセンターの省電力化の実現に向けて、データセンターにおけるエネルギー効率を示すための様々な指標が検討されてきた。データセンター全体のエネルギー効率を示す指標 PUE(Power Usage Effectiveness) によって、付帯設備に対する省電力の意識が高まり、外気や地下冷気の適用など新方式の開発が進んでいる。また、サーバのエネルギー効率を示す指標 ITEESv(IT Equipment Energy Efficiency for servers) によって、エネルギー効率もサーバ選択の観点の一つとなっている。一方で、BigData や AI, IoT などの IT サービスが拡大している中では、設備や機器のエネルギー効率に加えて、ハードウェアの効率的な利用が必要となり、アプリケーションまで含めたエネルギー効率が求められるようになると考えた。本研究では、ハードウェアの効率的な利用を示すために、IT サービスがユーザに提供する価値と、それを実現するために IT 機器が消費する電力量でエネルギー効率を求める指標を提案する。

キーワード エネルギー効率, 省電力化, データセンター, IoT

1. はじめに

企業活動を支える IT システムにおいて、企業が IT 資産を自ら保有せずに、事業の変化に柔軟に対応するために、データセンターへの需要が増えている。そのため、データセンターで使用する電力量は年間 10 % ずつ増大しており、世界全体のエネルギー需要に対して約 2 % を占めるに至っている。その結果、データセンターにおける電力コストは、過去 10 年間で約 8 倍に増加した。

このため、データセンターの省電力化に向けて、グリーン IT 推進協議会 (現グリーン IT 推進委員会) などによって、データセンターのエネルギー効率を示す指標の検討・策定が続けられている。データセンターの空調や照明などのファシリティでの消費電力に関しては、米国において IT とデータセンターの資源効率の改善に取り組んでいる The Green Grid が、データセンター全体のエネルギー効率を示す指標 PUE(Power Usage Effectiveness) [4] を提案し、国際規格となっている。この指標によって、データセンターのファシリティに対する省電力の意識が高まり、空調機器の省電力化、さらに外気や地下冷気の適用など新方式の開発が進み、PUE の値の改善が進んでいる。

また、サーバマシンのエネルギー効率に関しては、ISO/IEC JTC 1/SC 39 で日本が提案し、国際規格となっている、電力あたりの能力を示す指標 ITEESv(IT Equipment Energy Effectiveness for servers) [3] がある。この指標によって、データセンターにおいてサーバマシンを導入する際に、性能や価格に加えて、エネルギー効率の観点でも製品の選定が行えるようになった。

企業活動における IT システムの使われ方において、いままでは、人や店舗などを単位としたデータ処理が主流であった。その一方で、IoT(モノのインターネット) が普及していく中で、インターネットにつながる多くのモノから大量のデータが集ま

るため、データが大幅に増加している。

それに加えて、Big Data や AI などに代表されるデータ分析においては、分析対象のデータの増大だけでなく、それらのデータの組み合わせや、そこから知見を得るための分析の繰り返しが必要で、データ処理が爆発的に増大している。

このような状況において、ハードウェアのエネルギー効率の向上だけでは、限られたエネルギー供給の中で爆発的に増加するデータ処理の要求を満たすことは難しい。ハードウェアの使い方の工夫による消費電力の削減は、従来から様々な研究が行われてきた [5] [6]。

近年では、データベース内のデータの配置を制御することにより、ソフトウェアの大幅な性能低下を起こすことなくソフトウェア実行中のストレージの消費電力量を削減できることが示されている [1]。これは、同程度の性能をもつアプリケーションであっても、アプリケーション部分の工夫によってエネルギー効率が異なることを意味する。

なお本論文で使用するアプリケーションとは、OS やミドルウェア、ユーザに応じて作成したプログラムなど、IT サービスを実現するためのコンピュータソフトウェア全体を意味する。

本研究では、アプリケーション部分の工夫によるエネルギー効率の違いを評価するために、アプリケーションも含めた IT サービスとしてのエネルギー効率を評価できる指標を提案し、本指標を適用した評価について検証する。

本論文の構成を以下に示す。2 節では関連研究についてまとめる。3 節では本指標の概要と計算方法を示し、4 節において本指標の計算例及び比較例を示し、5 節で本論文をまとめる。

2. 関連研究

アプリケーションを含めた IT サービスのエネルギー効率に類するものとしては、The Green Grid が Data Center energy

Productivity(DCeP) [8] を提案している。これは、データセンター内で稼働している全ての IT 機器の性能を求め、それぞれの性能を積み付けして合計することでデータセンター全体のエネルギー効率とするものであり、性能の測定には、ネットワークの通信量や Standard Performance Evaluation Corporation(SPEC) が提供する SPECint [9] などの指標をプロキシとして使用する方法を提案している。この指標はサーバやストレージなどの使用比率で性能を計算する方法を提唱しており、アプリケーション部分の工夫の入る余地のないものである。

3. 提案指標

これまでの性能指標は、ハードウェアの性能を中心としたものが一般的である。例えば、サーバにおいては単位時間当たりの計算量やメモリ転送量、ストレージにおいてはシーケンシャルやランダムなアクセスにおける I/O per Second(IOPS) などがあり、これらの指標はハードウェアに密着した性能を示す。一方で 1 節で述べたように、アプリケーションによるハードウェアの使い方の工夫で、消費電力が異なってくる。そのため、上記のような今までの性能指標では、アプリケーションまで含めたエネルギー効率を表現することができない。

そこで本研究では、アプリケーションとそのアプリケーションを利用するユーザの関係を考え、ユーザが求める成果を提供するためのアプリケーションを含めた IT による仕掛けを IT サービスと定義し、その IT サービスがユーザに対して提供する、価値のある成果物に着目した。

実際の企業活動にける業務で使用する分析システムでは、IT サービスに求める価値のある成果物として、具体的に下記のようなものが考えられる。

- 前日の売り上げデータをもとにした翌日の仕入れ計画書
- 工作機械のセンサー情報をもとにした故障予測

このような、ユーザが IT サービスから受け取るユーザにとって価値のある成果物と、その成果物を生成するために使用したエネルギーの割合を、その IT サービスのエネルギー効率と定義する。

測定対象の消費電力量は、成果物を生成するために IT 機器が消費した電力量とする。IT 機器とは、サーバマシン、ストレージアレイ、スイッチなどの物理的な IT 機器を指す。

3.1 算出式

本エネルギー効率 (以降、EE(Energy Effectiveness) と表現する) は下記のように表す。

$$EE = AO/EC \quad (1)$$

ここで AO は Application Outcome であり、IT サービスが生成する成果物の量を表す。AO の測定には、公平性のため、ベンチマークプログラムを使用する。使用できるベンチマークプログラムの条件としては、測定の公平性を規するため、万人が実行でき、再現性のあるもので、そのベンチマークプログラムの成果物が明確に示していることが求められる。

本指標に Application Outcome を使用するのには、IT サービスの利用者にとって、その IT サービスを適用する目的である

成果物を明確にすると同時に、成果物を生成するためのアプリケーションのプロセスを規定せず、ハードウェアの使い方などの工夫の効果を測定するためである。

また、EC は Energy Consumption であり、Application Outcome を生成するために使用した IT 機器の電力消費量 (kWh) を表す。

エネルギー効率 EE は、値が高いほどエネルギー効率が良いことを表す。また、測定結果を比較できるのは、同一のベンチマークプログラムを使用して測定した場合である。

4. 評価

提案指標の有効性を確認するために、AO を測定するためのベンチマークとして TPC-H^(注1) を使用してエネルギー効率を測定し、比較例で評価する。

4.1 測定例

今回の AO の測定で使用する TPC-H は、Transaction Processing Performance Council(TPC) が公開している RDBMS 向けのベンチマークである。このベンチマークは、卸売業者における経営戦略の意思決定を支援するシステムを模したものであり、商品や顧客、取引のデータなどをもとにして、意思決定のための 22 種類のレポートを作成するものである。本測定における Application Outcome の 1 単位は、TPC-H を実行することによる 22 種類のレポート作成とする。

評価対象のハードウェアおよびソフトウェアの構成は、表 1 および表 2 の通りである^(注2)。

表 1 ハードウェア構成

#	機器	概要
1	Server	Hitachi BS2000
2	CPU	32 x Intel Xeon Processor E7-8870
3	Memory	8TB
4	Storage	16 x Hitachi Unified Storage 150 each with 100 x 900GB 10Krpm SAS Disks, 4 x Hitachi BR1600E each with 15 x 600GB 10Krpm SAS Disks, Total Disk Storage 1,476,000GB

表 2 ソフトウェア構成

#	ソフトウェア	概要
1	OS	Red Hat Enterprise Linux 6.2
2	DBMS	Hitachi Advanced Data Binder 01-02

TPC-H の実行回数は 1 回であるため、Application Outcome(AO) は 1 である。また、ベンチマークの実行で消費した電力量 Energy Consumption(EC) は 1,916kWh である。今回の測定では、この消費電力量はベンチマークを実行するサーバ

(注1): TPC-H は Transaction Processing Performance Council の商標です。

(注2): Intel Xeon は、米国およびその他の国における Intel Corporation の商標です。Linux は、Linus Torvalds 氏の日本およびその他の国における登録商標または商標です。Red Hat は、米国およびその他の国で Red Hat, Inc. の登録商標もしくは商標です。

及びストレージの定格消費電力から計算して求めている。上記 AO および EC の値から、下記の通りエネルギー効率 EE を計算可能である。

$$EE = \frac{1}{1,916} = 0.0005219$$

以上の計算結果から、本指標が実際の IT サービスにおいて測定可能であることが確認できた。

4.2 実測例による比較評価結果

アプリケーションの工夫の違いによるエネルギー効率の違いが評価できることを示すために、アーキテクチャの異なる 2 つの DBMS (Hitachi Advanced Data Binder および HiRDB Server) 上でベンチマークを実行し、本指標の計測を行う。

ソフトウェア部分の違いによるエネルギー効率の違いを明確にするために、それぞれの DBMS は同一のハードウェア上で実行する。今回の測定では、エネルギー効率が異なることをより詳細に比較するため、TPC-H のベンチマークの一部分である Power Run に着目し、この Power Run の 1 回の実行を Application Outcome の 1 単位と見なすことでエネルギー効率 EE を比較した。

評価対象のハードウェアおよびソフトウェアの構成は、表 3 および表 4 の通りである^(注3)。

表 3 ハードウェア構成

#	機器	概要
1	Server	Hitachi HA8000/RS220AN2
2	CPU	Intel Xeon Processor E5-2699v4
3	Memory	192GB
4	Storage	Hitachi VSP F400 with 4 x 6.5TB Flash Module Drives, Total Disk Storage 42.24TB

表 4 ソフトウェア構成

#	ソフトウェア	概要
1	OS	Red Hat Enterprise Linux 6.6
2	DBMS 1	Hitachi Advanced Data Binder 04-01
3	DBMS 2	HiRDB Server Version 9 09-66

表 5 は、2 つの DBMS それぞれでの AO と EC の値、およびエネルギー効率 E の算出結果を示している。Power Run の実行回数は 1 回であるため、AO の値は 1 である。

表 5 エネルギー効率 EE 測定結果

#	DBMS	AO	EC	EE
1	Hitachi Advanced Data Binder	1	0.295	3.39
2	Hitachi HiRDB Server	1	3.07	0.326

DBMS 1 のエネルギー効率 EE は DBMS 2 に対して約 10 倍の値であり、エネルギー効率の観点では DBMS A のほうが性

能が高いことを示している。

この比較例では、同じ Application Outcome に対して、アプリケーションを構成する DBMS の選択によって、エネルギー効率を上げることができることが分かる。このように、本指標によってアプリケーションの違いによるエネルギー効率の違いを評価することが可能である。

5. ま と め

BigData や AI, IoT などの利用が拡大していく時代において、筆者らは、ハードウェア性能の向上に加えてアプリケーションまで含めたエネルギー効率を考えると、高効率な省エネルギー性の評価につながると考えた。そこで本研究では、エネルギー効率を測る範囲を IT サービスとし、その IT サービスがユーザに提供する価値と、その IT サービスを実現するために IT 機器が消費する電力量でエネルギー効率を求める指標を提案した。本指標により、アプリケーションを含めた工夫が、単純に処理速度の向上だけに留まらず、最適なエネルギー管理技術へと広がっていくと考える。

本論文で提案した指標は、高効率なデータセンターや IT サービスの実現に向けて有効な指標であると考えており、本指標を国際規格化する活動を推進しているところである。本指標の普及によって、ハードウェアの省エネに加えてアプリケーションによる省エネが促進され、持続可能な IT サービスの提供が可能となり、SDGs [10] の実現に向けての推進指標となることを期待する。

6. 謝 辞

本研究の一部は、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「エネルギー・環境新技術先端プログラム / 革新的な省エネルギー型データベース問合せコンパイラの研究開発」及び「IoT 推進のための横断技術開発プロジェクト / 先進 IoT サービスを実現する革新的省エネルギー型ビッグデータ基盤の研究開発」の結果得られたものです。

文 献

- [1] Nishikawa, Nakano, Kitsuregawa, "Application Sensitive Energy Management Framework for Storage Systems" IEEE TRANSACTIONS ON KNOWLEDGE AND DATA ENGINEERING, VOL. 27, NO. 9, 2015, pp. 2335-2346,
- [2] グリーン IT 推進協議会, データセンタ エネルギー効率指標【DPPE】パンフレット, 2012
- [3] ISO, ISO/IEC 30134-4:2017 Information technology - Data centres - Key performance indicators - Part 4: IT Equipment Energy Efficiency for servers (ITEEsv), 2017
- [4] ISO, ISO/IEC 30134-2:2016 Information technology - Data centres - Key performance indicators - Part 2: Power usage effectiveness (PUE), 2016
- [5] E. Pinheiro and R. Bianchini, "Energy conservation techniques for disk array-based servers," in Proc. 18th Annu. Int. Conf. Supercomput., 2004, pp. 68-78.
- [6] E. Otoo, D. Rotem, and S.-C. Tsao, "Dynamic data reorganization for energy savings," in Proc. 22nd Intl. Conf. Sci. Statist. Database Manage., 2010, pp. 322-341.
- [7] Transaction Processing Performance Council, "TPC-Energy Specification," http://www.tpc.org/tpc_documents_current_versions/pdf/tpc-energy_v1.5.0.pdf

(注3): HiRDB は、株式会社日立製作所の登録商標です。

- [8] The Green Grid, "A FRAMEWORK FOR DATA CENTER ENERGY PRODUCTIVITY," WHITE PAPER #13
- [9] Standard Performance Evaluation Corporation, "SPEC's Benchmarks," <https://www.spec.org/benchmarks.html>
- [10] United Nations, "Sustainable Development Goals," <https://sustainabledevelopment.un.org/sdgs>