

電力見える化によるサーバ室の電力分析

杉浦 徳宏

三重大学 総合情報処理センター

sugiura@cc.mie-u.ac.jp

概要：三重大学総合情報処理センターでは、2012年4月から電力見える化システムを導入し、全関係個所の電力計測を行い、消費電力削減に取り組んでいる。本稿では、特に主サーバ室について、IT機器による消費電力量と空調の消費電力量の関係について PUE や COP を用いて調査分析を行った。また、これらをもとに空調電力の削減に成功したので、報告する。

1 はじめに

昨今、省電力化の要求はますます高まっている。東日本大震災以降、電力単価は上がり続けており、環境の観点よりも、電気代削減のために消費電力削減取り組まなければならない差し迫った状況になっている。また、近年構築されるようになった高効率データセンターでは、PUE[1]を公表している場合が多くみられるようになった。PUEは、The Green Grid[2]が提唱するデータセンターの全消費電力量と純粋にIT機器が消費する電力量の比を定式化したもので、データセンターのエネルギー効率を表す指標である。

さて、電力削減に取り組むためには、継続的な電力計測を行い、電力の使用状況を随時把握できるように、いわゆる「電力見える化」を行う必要がある。そこで、三重大学総合情報処理センターでは、2012年4月に電力見える化システムを導入し、全関係個所の電力見える化を開始した。また、特にサーバ室については、他箇所よりも詳細な電力計測を行い、また、効率評価のため温湿度や外気温の計測も行っている。この取り組みにおいて、主サーバ室のエアコンが効率的な運転を行っていない場合があることを発見し、改善に取り組んだ結果、消費電力削減に成功した。以下では、導入した電力見える化システムの詳細と運用及び分析について主サーバ室を中心に詳解する。

2 電力見える化システム

2.1 導入範囲

三重大学総合情報処理センターは、棟内に主サーバ室とPC教室3室(全124台)、事務室、教

職員用の居室等を保有している。主サーバ室には、インターネット及びキャンパスネットワーク用のスイッチ群と多数のサーバを収容している。主サーバ室の最大ピーク電力は、2014年7月で約22[kW]である。

また、キャンパス内の別棟に、PC教室2室(全173台)、サーバ室の分室1室がある。さらに、市内別キャンパスにサーバ室の分室1室がある。以上が、当センターの管理管轄すなわち電気代を負担している部分となり、今回の電力見える化の対象範囲である。尚、教育用端末については、図書館等への設置分があるが、電気代が設置場所負担となっているため、対象範囲とはしなかった。

2.2 電力見える化システムの全体概要

本システムでは、電力計測用にパナソニック社製のネットワーク対応の電力計測機器「エネルギーモニター」シリーズを使用した。また、「見える化」部分は市販のシステム等を購入せず、手製スクリプトによりMRTGに組み組んでグラフ化を行った。一般に電力見える化システムにおいては、電力計測機器よりも「見える化」部分に多くの費用がかかっているため、電力計測機器のみに抑えることで安価な導入が可能である。尚、電力計測点は、全体で36点である。

3 主サーバ室の電力計測方法

電力計測は、分電盤内にカレントトランスと呼ばれる電流センサを取り付けることで行われる。まず、分電盤には2種類あり、電灯用と動力用に分けられる。電灯用は、一般家庭用の電力引き込みと同じく単相三線式で相接続の方法により100Vと200Vを同時に取り出すことができる。

IT 機器類(100V, 200V)や、照明(200V)は通常こちらに接続される。動力用は、三相三線式の 200V を分電供給する。通常、空調機等に用いられる。主サーバ室の場合、電灯用分電盤が 4 機、動力用分電盤が 1 機である。分電盤は、上流の電気室に接続される主幹ブレーカ(50~250A)と、下流に分配する 15A~30A 程度の分岐ブレーカで構成される。分電盤全体の電力計測を行うには、主幹ブレーカで一括で計測を行うか、すべての分岐ブレーカ単位で計測し、ソフトウェアによって合算処理することになる。分岐ブレーカ単位で計測すれば、より詳細なデータ採取が可能となるが、分岐ブレーカは分電盤あたり数十個程度あるため、計測点数が非常に多くなり導入費用が増大することとなる。このため、主サーバ室の場合には、電灯用分電盤は基本的に主幹ブレーカで計測することとし、分岐ブレーカについては主サーバ室外への電力供給を行っていた一点のみ、減算処理するため計測することとした。また、動力用分電盤は、3つの分岐ブレーカがあり、それぞれ別系統のエアコンへ電力供給を行っているため、分岐ブレーカ単位で計測することとした。

PUE や COP 算出の際に必要な IT 機器の総消費電力量は、4 機の電灯用分電盤の電力量をソフトウェアにより合算することによって求める。同様に、空調の総消費電力量は、動力用分電盤の 3つの分岐ブレーカの電力量の合算によって求める。尚、主サーバ室の空調機は、3系統の一般オフィス用エアコンのみで調湿器はない。また、後述するサーキュレータについては、電灯系への接続となるため、IT 機器の一部として計測されている。

4 エネルギー効率指標

4.1 計測条件

本分析のおいての諸条件は次のとおりである。外気温については、主サーバ室付近の屋外においても計測を行っているが、簡易的な計測機で誤差があるため、津地方気象台のデータを採用した。尚、主サーバ室から津地方気象台までは直線距離で約 1km であり、同一の環境条件とみなすことが

できる。主サーバ室内の室温については、26℃を維持するよう適宜調整している。

4.2 エネルギー効率指標

本稿では、エネルギー効率指標として PUE と COP を定義し用いる。

(1)PUE (Power Usage Effectiveness)

PUE は、PUE: A Comprehensive Examination of the Metric [1] によると、

$$PUE = \text{データセンターの総消費エネルギー} / \text{IT 機器の総消費エネルギー}$$

と定義される。厳密な PUE を計測することは設備的に困難な場合も多いため[3]、PUE の算出や評価にあたっては、各値の算出条件を明確にしておく必要がある。本稿では、

$P1 = \text{IT 機器の総消費電力量}$

$P2 = \text{空調機器の総消費電力量}$

とし、

$$PUE = (P1 + P2) / P1$$

と定義する。厳密な PUE との違いでは、照明や入退室管理用電力が考慮されていないこと、UPS の消費電力(損失)が IT 機器側に含まれていることがあげられる。尚、照明は常時消灯し、入退室についても最小限に抑える運用を行っているため、影響は軽微であると考えられる。

空調機器の消費電力は外気温と密接な関係があるため、PUE は外気温により大幅に変動する。従って、一般的には 1 年間の平均を求め、PUE としている[3]。本稿では、年間だけでなく月次の指標としても用いる。PUE は、値が小さいほどエネルギー効率が高いことを意味し、最小値(最良値)が 1.0 である。

(2)COP (Coefficient of Performance)

COP は、本来 JIS B 8616 に定められた空調機の能力を示す成績係数で、

$$COP = \text{冷房能力} / \text{消費電力}$$

と定義される。本稿では、COP を主サーバ室全体の総合的な空調能力の評価指標として用いることとし、単純に

$$COP = P1 / P2$$

と定義する。COP は、値が大きいほどエネルギー効率が高いことを示す。

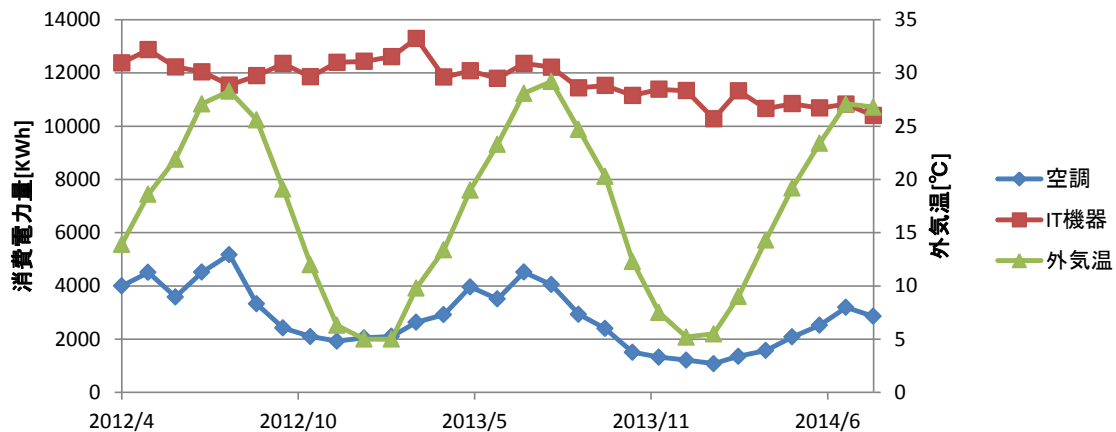


図1 消費電力量と外気温の変化

この定式化では、空調の冷房能力は内部発生熱量である IT 機器の消費電力と等しいという前提であり、外部からの流入熱量に対する仕事が全く含まれていないため、エアコン単体の能力の評価値としては不適切である。IT 機器の消費電力が一定の場合でも、外気温が高い場合には、COP はエアコン装置が持つ COP よりも小さくなり、外気温が低い場合には、大きくなることになる。室内への流入出熱量と外気温との関係及び、外気温とエアコン装置の運転効率との関係については、定式化したいと考えており、今後の課題とする。

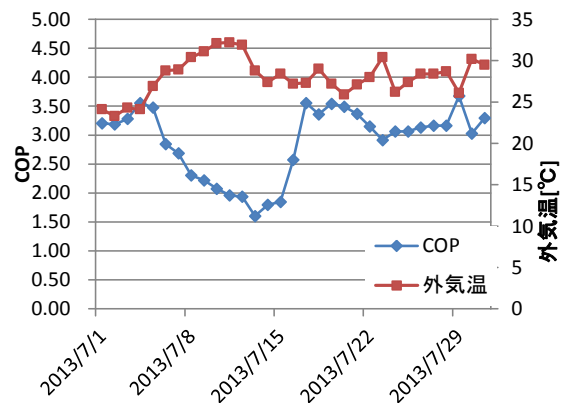


図2 2013年7月のCOPと外気温

5 分析結果と改善効果

5.1 年間の総消費電力量

図1に、2012年4月から2014年8月までの各月のIT機器と空調の消費電力量と外気温の関係を示す。IT機器の消費電力が減少傾向にあるが、これは、物理サーバから仮想サーバへと移行を進めたことで、物理サーバ数が減少しているためである。また、空調の消費電力は、IT機器の消費電力と外気温に大きく依存して変動していることが読み取れる。しかし、どの程度効率的であるかは非常にわかりにくい。そこで、前述のPUEやCOPといった評価指標を用いることになる。

表1に、2012年度及び2013年度の各消費電力と年間のPUEを示す。尚、後述する改善効果を明確にするため、年度の期間は当年9月から翌年8月までの1年間とする。

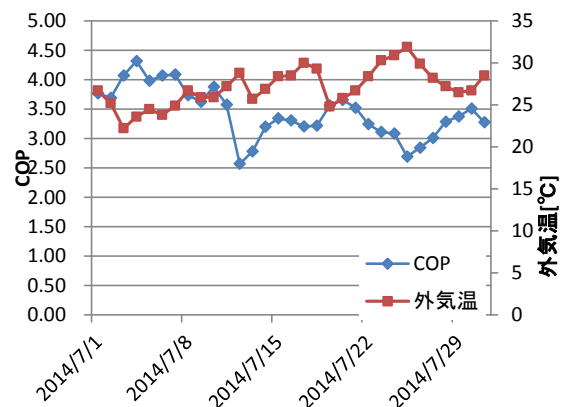


図3 2014年7月のCOPと外気温

表 1 年間総消費電力量と PUE

	IT 機器の 総消費電 力量 [kWh]	空調の 総消費電 力量 [kWh]	年間 PUE
2012 年度	147,150	35,507	1.24
2013 年度	131,878	24,034	1.18

年間 PUE の値は非常に小さく、最新の高効率データセンターに近い値となっているが、算出条件が違うため、絶対値としての評価には注意が必要である。本稿では、専ら電力効率改善の指標として、相対評価するために用いる。

5.2 空調運転効率の問題の発見と改善

図 2 に、2013 年 7 月の日ごとの外気温と COP の関係を示す。この期間、IT 機器の消費電力にほぼ変化はないため、7/6~16 の間、著しく空調の消費電力が増大し、運転効率が落ちていることがわかる。原因を調査したところ、3 系統あるエアコンが、均等に負荷分散して運転しておらず、1 もしくは 2 系統に大きく偏っていたことが判明した。この 3 系統のエアコンは、完全に独立したシステムとなっているため、こうした偏り運転が発生する可能性がある。また、エアコンは能力の 50~70% を超えると運転効率が低下し、100% 運転時では著しく運転効率が下がるという運転効率特性となっている。従って、偏り運転によって負荷が

100% 近くになっている系統がある場合には、空調全体としての運転効率は大きく低下することになる。尚、この状況においても室温は問題なく維持されているため、運転の偏りに気づくことは大変困難である。電力見える化システムを導入し、3 系統のエアコンの電力を個別に計測し、常時監視することで、この問題の発見することができたといえる。

さて、2013 年 7 月末にこの問題が発見されたことで、翌 8 月から 3 系統のエアコンが均等に負荷分散して運転されるよう試行錯誤しながら改善を行った。具体的には、3 系統のエアコンの設定温度、風量、風向の調整を行った。次に、サーキュレータを 6 台設置し、主サーバ室内の冷気と暖気を考慮して積極的な導風を行った。しかし、時折、偏り運転が発生するため、安定した状況になるまで 3 週間程度の試行錯誤を要した。

5.3 改善効果

図 3 に、1 年後の 2014 年 7 月の日ごとの外気温と COP の関係を示す。図 2 との比較により、2014 年 7 月においては、全体的に COP が高く、偏り運転の発生頻度も抑えられていることがわかる。尚、偏り運転が発生した場合には、手動にて調整を行っているため、土日や夜間の場合には対応できない。従って、偏り運転を完全には排除できておらず、自動調整等を今後の課題として検討していきたい。

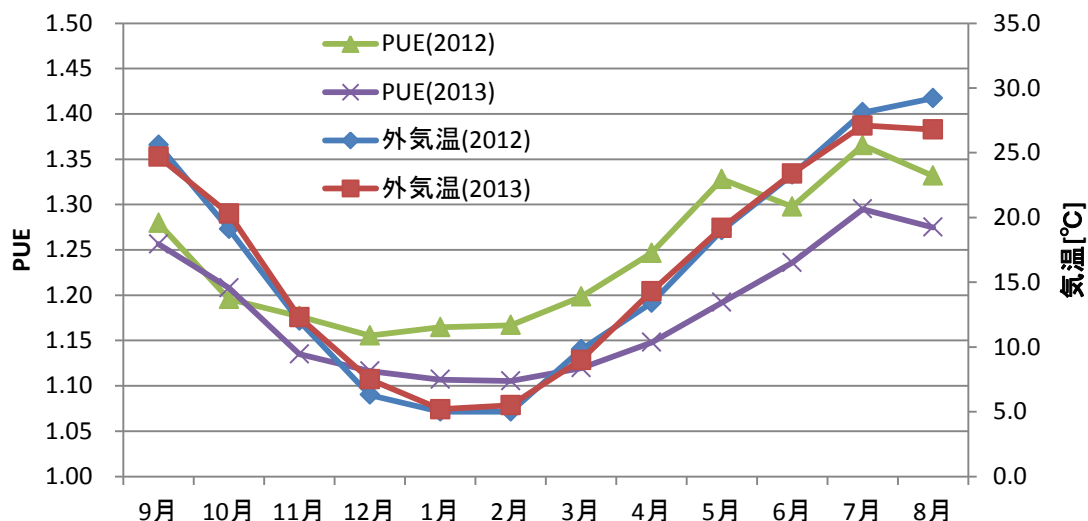


図 4 2012 年度と 2013 年度の月間 PUE と外気温

図4に、2012年度と2013年度の同月でのPUEの違いを示す。改善策を講じた2012年の9月以降、年間を通してPUEは概ね向上していることがわかる。9,10月では2012年度とあまり変わらないが、これらの月では2012年度のPUEが比較的小さかったため改善効果が表れなかったと推測される。また、冬季にPUEが向上しているのはサーキュレータによる攪拌効果によるものと推測される。冬季にはエアコンの運転が抑制されるため、室内にホットスポットが発生しやすかったが、攪拌効果により対流が促進され、室外への熱量流出が大きくなったものと推測している。

この結果、前述の表1のとおり、年間PUEは、1.24から1.18へと向上した。

1年間の全消費電力量すなわち電気代の削減効果については、IT機器の消費電力自体が約10%減少しているため、前年度と同程度の消費電力量に換算して算出する必要がある。そこでCOPが一定と仮定し換算を行った場合の電力量削減効果は、5.0[%]となった。電気代に換算すると、単価を本学の基準である19.5[円/kWh]とした場合、約17万円の削減となる。

5 おわりに

本稿では三重大学総合情報処理センターにて電力見える化システムを導入し、電力計測及び電力削減に取り組み、年間で5.0%程度、17万円分の改善に成功したことを報告した。本稿では、主サーバ室について、エネルギー効率の向上による削減分だけを抽出して分析を行ったが、電力削減にとっては根本的に機器数を削減したり、高効率品に変更することが大きく貢献する。2013年度の主サーバ室におけるIT機器の消費電力量は、前年度よりも10%程度削減されており、これは前述のとおり仮想サーバへの移行により物理サーバを停止したことによるものである。これら全体を削減として評価した場合には、15%の削減を達成していることになる。

電力見える化システムによってエアコンの運転状態が把握できるようになったが、エアコンの設定やサーキュレータの調整など手動になっている部分があり、今後自動化したいと考えている。また、PUEやCOPは外気温に大きく依存しているため、一日の中でも変動していることになる。

今後、PUEやCOPの外気温との関係を明らかにし、定式化していきたいと考えている。

謝辞

電力見える化システムの導入と運用にご尽力いただいた三重大学総合情報処理センター伊藤篤氏に感謝いたします。

参考文献

- [1] The Green Grid, <http://www.thegreengrid.org>, 2014/10/27 確認
- [2] PUE: A Comprehensive Examination of the Metric, <http://www.thegreengrid.org/Global/Content/white-papers/WP49-PUEAComprehensiveExaminationoftheMetric>, 2014/10/27 確認
- [3] 日本データセンター協会, PUE 計測・計算方法に関するガイドライン Ver.2.5 /JDCC ES-002 Ver.2.5 ダイジェスト版, <http://www.jdcc.or.jp/facility/index.html>, 2014/10/27 確認