

計算機室における省エネルギーのための 消費電力可視化システム

西垣 桂^{†1} 辻井 高浩^{†2} 砂原 秀樹^{†1,†3}

計算機室運用の省エネルギー化のためには、消費電力の把握が重要である。奈良先端科学技術大学院大学 (NAIST) では計算機室の消費電力監視を行なっているが、監視用インターフェースが管理者向けであるため、エンドユーザが消費電力を把握するためには工夫が必要である。本研究ではユーザの省エネ意識を向上させる要素を取り入れた消費電力可視化システムについて検討・試作し、実際に NAIST の計算機室の消費電力可視化を行なった。

A Monitoring System of Power Consumption for Saving Power in Computer Rooms

KATSURA NISHIGAKI,^{†1} TAKAHIRO TSUJII^{†2}
and HIDEKI SUNAHARA^{†3,†1}

For power saving of computer room operations, it is effective to monitor power consumption. Nara Institute of Science and Technology (NAIST) monitoring has been done in the computer room power, however, the interface of the monitoring system is for system administrators so it is difficult for the average user. This study examined the prototype system of the power visualization that improve user awareness of energy conservation. We also monitored the power consumption of NAIST computer room and we discussed how to reduce power consumption based on monitoring results.

^{†1} 奈良先端科学技術大学院大学
Nara Institute of Science and Technology

^{†2} 奈良先端科学技術大学院大学情報科学センター
Nara Institute of Science and Technology Information Technology Center

^{†3} 慶応義塾大学メディアデザイン研究科
Keio University Graduate School of Media Design

1. はじめに

大学や企業の計算機室には大規模な計算機やそれを冷却するための空調装置が設置されている。経済産業省の IT 電力消費予測¹⁾によると、機器の消費電力と機器を冷却するために利用する電力は増加傾向にある。環境問題が大きく取り上げられ、それに伴って IT 機器の消費電力の節減への要請が強まっている今、システム管理者が計算機室消費電力を把握し、エネルギーを削減できるか判断することは重要である。

奈良先端科学技術大学院大学 (以下、NAIST) では、計算機室の消費電力監視が行なわれており、管理者用画面からは消費電力情報をリアルタイムで取得することができるようになっている。学生や教職委員のような管理者以外のユーザに対しても電力消費に関する報告が web ページで行なわれているが、これらのユーザが自由に消費電力情報を参照することができていないのが現状である。計算機室の省電力化のためには、管理者による計算機室運用の最適化も必要であるが、計算機室のリソースを利用しているエンドユーザが電力削減を心がけることも必要であると考えられる。特に NAIST の研究室で個人に割り当てられている常用ワークステーションは iMac による仮想デスクトップ環境であるため、エンドユーザによる端末の使用が計算機室のサーバの消費電力の増加につながっている。

また、監視結果を元に消費電力削減策を考案・実施することも重要である。どのように対策すれば消費電力を削減できるのか監視結果から考案する際には、ある程度の量の監視結果を比較したり消費電力以外のデータを参考にすることが望ましい。また、考案した対策方法が実行可能であり、消費電力削減にかかるコストに見合う省電力効果が見込めるのかという問題もある。

そこで、本研究では計算機室における省エネルギーのための消費電力可視化システムについて検討する。このシステムには 2 つの目的があり、1 つは計算機室に設置されている各機器の消費電力を監視し、見やすい形でユーザに提供することである。システム管理者だけでなく機器を利用しているユーザに対しても今どれだけ電力を消費しているのかということを見せることにより、エネルギー節減に対する意識を高めることができると考えられる。また、取得したデータを元に消費電力削減策の考案・実施することも目標とする。今回は予備実験として NAIST の計算機室において消費電力データ等を取得・可視化した結果を報告する。

2. NAIST での消費電力監視の現状と考察

本章では、NAIST での消費電力監視の現状を述べ、それを元に本研究で検討する消費電力可視化システムに求められる点について考察する。

2.1 NAIST における消費電力監視の現状

現在、NAIST の計算機室は 2 つあり (B102 計算機室, B103 計算機室)、それぞれの部屋で消費電力センサによる監視が行なわれている。各分電盤に電力センサをとりつけて消費電力を計測している他、各ラックに温度センサを 1 つずつ取り付けて監視を行なっている。それぞれのデータは管理用画面から閲覧することができ、現在時刻における消費電力データを表示したり、過去のデータをファイルやグラフとして出力したりすることができる。現在時刻における消費電力データの表示については、計算機室のマップ上に消費電力が表示され、定期的にデータが更新されるようになっている。しかし、過去のデータを比較したい際やグラフとして出力したい場合の操作は煩雑なものとなっている。また、これらの画面は学生や教職員が自由に閲覧することはできず、消費電力データが必要な場合は管理者に問い合わせる必要がある。

2.2 エンドユーザの省エネ意識向上のために

本研究には、消費電力データをエンドユーザにも把握してもらうことで、システムを利用する立場の人のエネルギー削減に対する意識を向上させる狙いがある。エンドユーザの省エネ意識を高めるには、まず自分たちがどれだけの電力を消費しているのか理解してもらう必要がある。しかし、現在 NAIST で利用しているインターフェースは、消費電力データが単に表示されるものであり、これをエンドユーザの省エネ意識向上に役立てるには工夫が必要である。例えば、ユーザが web ブラウザから手軽にアクセス出来るようにしたり、複数のグラフを重ねて表示できるようにすることで、取得したデータの関連性を分かりやすくするなどの工夫が考えられる。また、消費電力の値を見るだけではその電力が膨大なのかどうかエンドユーザにとってはイメージしづらいということも考えられる。これに対しては例えば、消費電力を CO₂ 濃度や電力コストなどの身近な値に換算したのも見せることによって、どれだけの電力を使っているのかイメージがしやすくなると思われる。

2.3 消費電力削減策の検討・実施のために

本研究のもう 1 つの目的として、取得したデータを元に消費電力削減策を検討する。単に消費電力を監視するだけでは、どうすれば消費電力を削減できるか判断が難しいため消費電力とあわせて、消費電力削減のために役立てることができるデータも取得することが望ま

しい。例えば消費電力削減の具体的な方法として、エアフローの改善、空調機の設定温度コントロール、負荷分散における発熱量の分散などが考えられるが、これには室内の温度分布や各機器の負荷状況などを知る必要がある。1 つは空調を適切な温度に設定して、空調の消費電力を削減する方法である。実際に空調温度を最適化して消費電力を削減した例として、東京大学情報基盤センターにおける計算機室の空調環境最適化³⁾ が挙げられる。この事例だと、計算機室内の温度分布データを取得し、それを元に機器を冷やしすぎないに温度設定の見直しを行なっている。

2.4 本研究の流れ

以上の考察を踏まえて、本研究の流れを以下に示す。

- 消費電力等データ収集
- エンドユーザに向けての web インターフェース
- 消費電力削減策の検討・実施

まず準備段階として、消費電力データや消費電力削減のために参考とするデータを収集する。次にエンドユーザに消費電力データを分かりやすく提供する web インターフェースを構築する。また取得したデータを元に、具体的な電力削減策を検討・実施し、その効果について考察を行なう。

3. 消費電力可視化システムの設計・実装

本章では、2.3 で示した機能要求を満たすような設計と実装方法について述べる。

3.1 システム構成

本研究で作成する消費電力監視ツールの全体像を図 1 に示す。消費電力・温度のデータ取得には SNMP (Simple Network Management protocol)²⁾ を利用する。監視対象の機器には電力センサ・温度センサがとりつけられている。センサ情報にデータ収集用サーバからアクセスし、取得したデータをデータベースに格納する。そして、データを Web ブラウザ上で閲覧可能な状態にするというのが、可視化システム構築の流れである。これを以下の 2 つのサブシステムに分割する。

- (1) データ収集部分
SNMP でデータを収集し、データベースに格納する
- (2) データ表示部分
Web ブラウザからグラフ等を簡単に作成できるインターフェースを作成する指定されたデータをデータベースから検索し、グラフに整形して画面に表示する

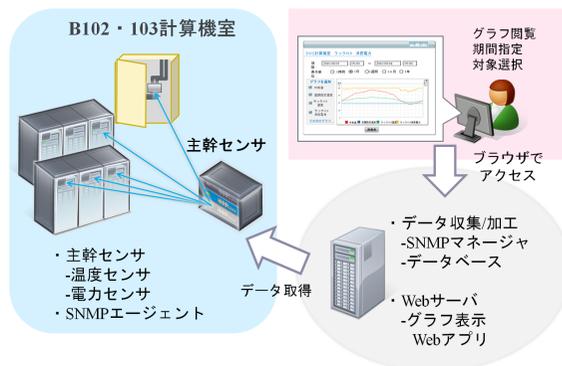


図 1 消費電力可視化システム全体図

3.2 設 計

本研究における消費電力可視化システムのために工夫する点について述べる。

3.2.1 データ収集部分

データ収集部分では、取得したデータをグラフを描画するために適した形で保存する。本学の計算機室ではすでにセンサ情報の収集が行なわれているが、監視画面で適切にセンサがグループ分けされておらずデータの取得やグラフの作成の際に大量の項目を選択する必要がある。そこで、個々のセンサ情報を適切にグループ化しておくことで、グラフ描画のための作業を簡略化できるようなデータフォーマットを考える。グループ化のイメージを図を 2 に示す。

まず、B102 計算機室と B103 計算機室をあわせた計算機室全体を最も大きいグループとして設定する。その下に、各計算機室をまとめたグループがあり、その下に隣接して配置されているラック群のグループ、ラック単体という風に小さなグループを作成する。最も小さいグループとしてセンサ単体の IP アドレスや OID 等の情報を登録する。登録したセンサ情報とグループ情報の対応表をつくり、グラフを描画する際にグループが選択された場合は、そのグループ名をキーに属するセンサを探すというかたちで、グループ化を実現する。このようにグループ化することで、各計算機室の消費電力の合計やラック群ごとのまとめたデータを操作する際に個々のセンサを 1 つずつ選択する手間が省ける。また、SNMP で取得したデータは日時とセンサ名と値の組で保存しておく。

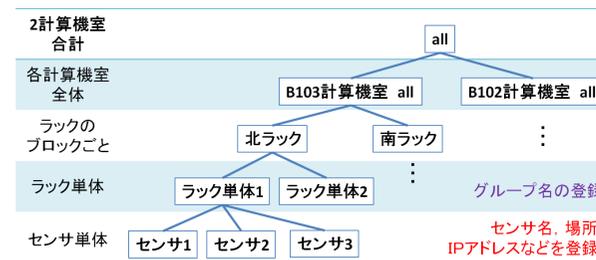


図 2 センサ情報のグループ化

3.2.2 データ表示部分

データ表示部分については、ユーザが web ブラウザから入力または選択した値をキーにして、データベースを検索し、該当するセンサや期間のデータを取得する。その後、取得したデータをグラフ描画ツールに渡し、生成されたグラフを web ページに表示するようにする。

ブラウザにグラフを表示する際にかかる時間については、選択したセンサが多い場合や長い期間にわたるグラフを描画した場合に長くなるのが考えられる。これについては、生成されたグラフをしばらくの間キャッシュしておくことで解決できる。特に利用頻度が高いグラフについてはユーザが自分でグラフを描画する必要がないようにあらかじめ専用のページを設けて定期的に新しいグラフを表示するような仕組みにしておけば、ユーザの待ち時間を減少させることができると考えられる。

3.3 実 装

以上の設計を元に、今回は消費電力データ収集部分の実装と、可視化部分については簡易的な実装を行なった。

3.3.1 実装環境

今回、実際に消費電力の監視を行なった環境について以下に示す。

- センサ類
 - センサ：CEC 中央電子株式会社 LM01-TH2
 - サブユニット：EW05 サブユニット EW05-DTHU

- データ収集・web サーバ

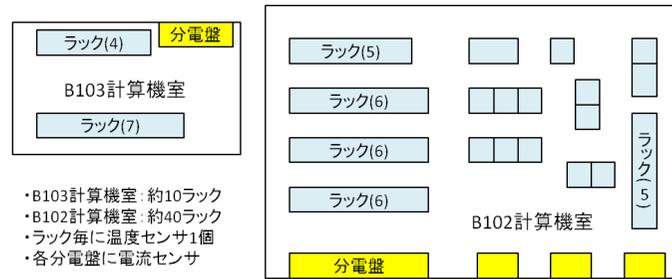


図 3 NAIST 計算機室略図

- プロセッサ: Intel(R) Pentium(R) 4 CPU 1.80GHz
- OS: NetBSD 5.0.2
- Web サーバ: Apache2.0

センサ類については、各計算機室にすでに取り付けられているものを利用した。センサデータはサブユニットに集約されている。外気温については Live E! のカレントデータページ (<http://live-e.naist.jp/data/getLatestDataAll/>) にアクセスして取得する。また、実験を行なった NAIST の計算機室の規模を図 3 に示す。

3.4 実装

データベースはセンサ情報、グループ情報、センサ・グループ情報の対応表の 3 つのテーブルを作成した。データベースの構造は以下のようにした。

- センサ情報テーブル: { センサ ID, センサ名, 設置場所, IP アドレス, OID, コミュニティ名 }
- グループ情報テーブル: { グループ ID, グループ名 }
- センサ・グループ対応テーブル: { グループ ID, グループに属するセンサ ID }

SNMP で情報を収集するスクリプトは Perl で記述した。取得したデータの保存とグラフの描画には RRD Tool を利用する。RRD (Round Robin Database) とは、データが一定量以上蓄積された場合、もっとも古い値から上書きしていく仕組みのデータベースである。この仕組みにより、データベースのサイズが一定に保たれるため、長期運用の際のデータベースの肥大化を考慮する必要がない。RRD に格納するデータは日時、値の組で保持し、センサ名をつけた RRD に格納されるようにした。格納するデータの個数は、10 分おきに取得した実測データを 600 個、1 時間毎の平均・最小・最大値を 600 個、1 日毎の平均・最小・

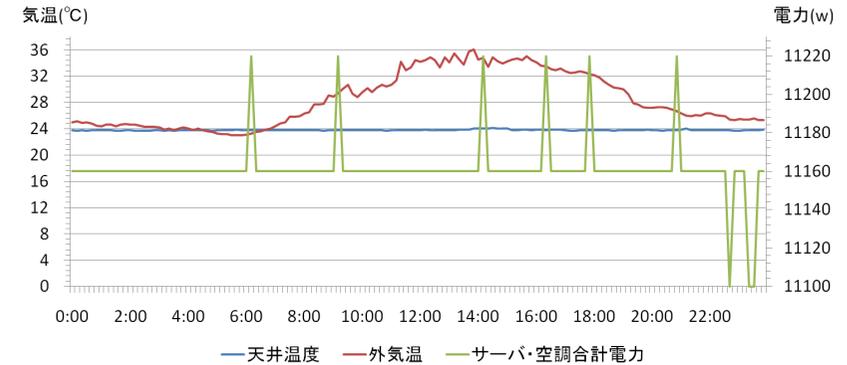


図 4 B103 計算機室の室温と消費電力 (1 日分)

最大値を 600 個アーカイブすることにした。

取得するデータ数は、図 3 の B103 計算機室は温度データ 1 個、電力データ 19 個、B102 計算機室は温度データ 55 個、電力データ 123 個である。Web ブラウザから操作する画面は HTML と PHP で記述した。ユーザがチェックボックスでセンサまたはグループを選択し、テキストボックスに描画する期間を入力して描画ボタンを押すとグラフが描画されるようにする。入力されたセンサ・グループ名と期間を引数に RRD Tool の graph コマンドを呼び出してグラフを描画する。最後に、作成したグラフが Web ブラウザ上に表示されるようにする。

3.5 実装結果について考察

本研究で取得したデータのうち、B103 計算機室の 1 日分の合計消費電力と室温のグラフを図 4 に示す。また、B102 計算機室の 1 日分の室温、サーバ類消費電力、空調消費電力をまとめたものを図 5、外気温、室温、空調消費電力をまとめたものを図 6 に示す。図 7 は、計測を開始した 7 月 1 日から 1 月 20 日までの B102 計算機室の室温・サーバ消費電力・空調消費電力と外気温をグラフ化したものである。

B103 計算機室は空調消費電力とサーバ類の消費電力を別々に取得することができないため、機器の消費電力と空調の消費電力の合計となっている。そのため、図 4 ではそれぞれの値の関連性が分かりづらいが、B102 計算機室については相関の分かりやすいデータを取得することができた。

図 5、図 6 からわかるように、室温は多少外気温に影響をうけているものの、室温は十分安

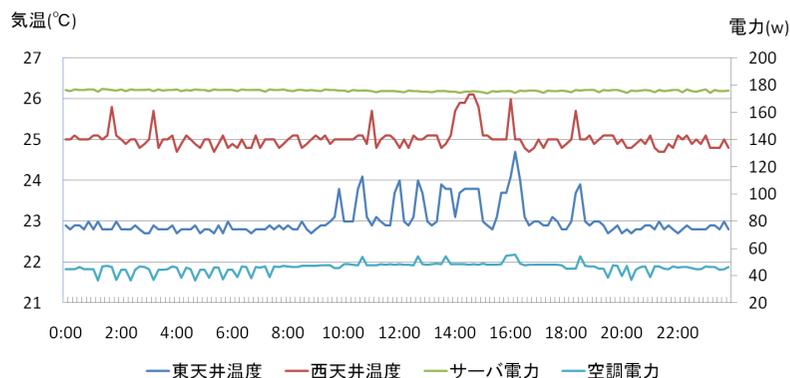


図 5 B102 計算機室の室温と消費電力 (1 日分)

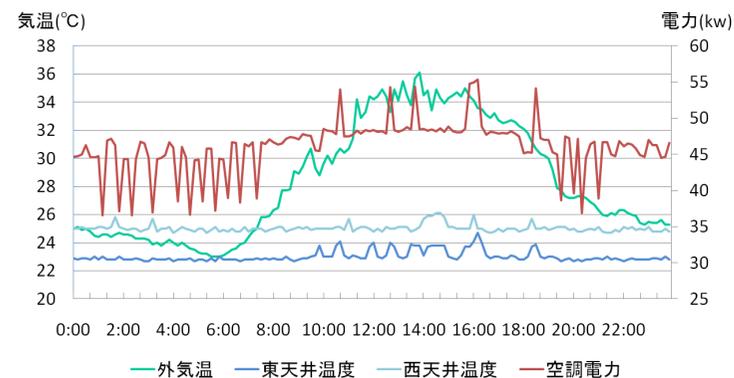


図 6 B102 計算機室の室温と空調消費電力・外気温 (1 日分)

定化されており、エアコンの能力が足りているということが推測できる。温度と計算機器の消費電力については、計算機器機の省エネ設定がほとんど無いためか、消費電力の変動がほぼ一定であるため温度への影響が少なく見える。また、午後 16 時～午前 11 時頃については、空調は計算機の廃熱に対してだけ働けば良いが、午前 11 時～午後 16 時の外気温が上がる時間帯には外から入ってくる熱も冷やすために消費電力が増えていることが考えられる。図 7 をみると、7 月～9 月の気温の高かった時期は空調の消費電力が上下しているが、10 月～12 月にかけて室温よりも外気温が低くなり、消費電力が安定している。12 月に入ってから省電力と室温があがっているが、これはシステム更新のために新旧システムの同時稼働が始まった影響からである。

この結果を受けて、消費電力削減のアプローチについて考察を行なった。簡単に実施できる省電力化策として、空調の設定温度をあげることが考えられる。実際に NAIST では空調の設定温度調整による省エネ効果実験を行っており、空調の設定温度を 2 変化させた場合、約 8 パーセントの省電力効果が得られている。現状の空調の設定温度を下げるには、室温が低くなるのが望ましい。今回の実験結果から、室内の温度は安定しているものの日中は外気温に影響を受けて温度が高くなってしまいう問題があった。これに対して、壁に断熱材を追加する等の断熱対策を施せば、日中に室温が高くなる現象を軽減でき、空調の設定温度を上げて計算機器の動作保証温度内におさまるようにできる可能性がある。また、各ラックの温度データから特定のラックの温度が常に高いことがわかった。これ

に対してはラックファンを取り付けて局所冷却することで、全体の温度設定を上げる際に動作保証温度を超えてしまわないようにすることが考えられる。また、データ収集を開始した夏期では空調の設定温度よりも室温のほうが高くなっていて、冬期では外気温のほうが室温よりも低い時間帯の方が多くなった。このことから、例えば冬期には外気導入を行えば十分な電力削減につながると考えられる。

4. 今後の課題

可視化部分の実装については、今回は簡易的に済ませたため、今後は要求事項にあげたようにエンドユーザに対して分かりやすく消費電力データを提供するインターフェースを実装したいと考えている。

消費電力削減へのアプローチについては、今回の実験で消費電力と温度データを取得することで、消費電力削減の検討にある程度役立てられることが分かった。しかし、実際に得たデータを見ると多くの計算機が制限温度を十分に下回るよう冷却されていることに対し、特定の計算機の温度が制限に迫っているという状況を確認した。この機器の温度を集中的に下げることができれば、空調の設定温度を現状より高く設定しても全ての計算機器の温度が制限内に保たれると考えられる。

局所冷却のためには、センサ数についても課題があると考えている。今回の実験環境では各ラックにセンサが 1 個しかついていない状態であったが、これは山口大学でも外気導入

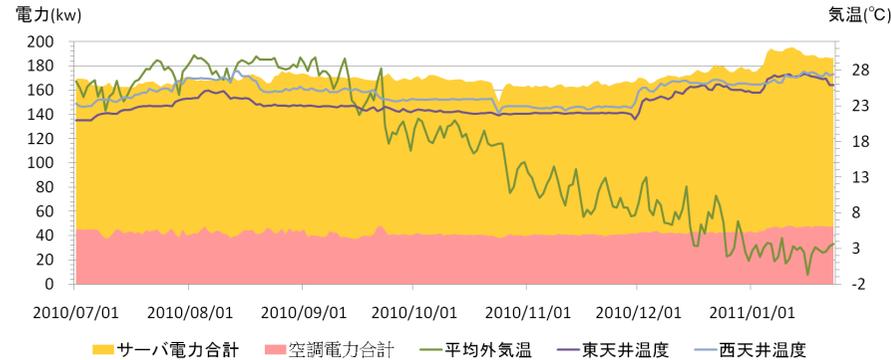


図 7 B102 計算機室の室温と消費電力・外気温（半年分）

事例⁴⁾の場合と比べると少ない。センサはラック内で最も温度が高いと思われる場所に設置されていたが、計算機で行なわれている処理や機器の移動などによる環境変化によって、ラック内の最高温度が適切に取得できていない可能性がある。ラック内の詳しい温度分布を知ることができれば、ラック内で温度が高い部分を集中的に冷却することによって消費電力を削減できる可能性がある。しかし、ラック内の詳細な温度分布を把握できるだけのセンサを取り付けるとコストがかかってしまうため、コストをできるだけ抑えて詳細に温度データを取得できるよう工夫したいと考えている。

また、今回は取得したデータをもとに手動で空調の設定温度を変更したが、今後は空調機の自動コントロールをしたいと考えている。季節や時間帯によって手動で空調の設定温度を変えることは可能ではあるが、例えば一時間置きであるとかその日の天候や気温にあわせてきめ細かに設定温度を変化させるには、手動での設定変更は人的コストがかかりすぎるという問題がある。取得したデータを元に自動で空調制御するにすれば、気温の高い日の日中は設定温度を下げるが、室温より外気温が低くなるような夜間には設定温度を上げる、または送風モードに切替えるなど、省電力運用が期待できる。

今回は触れなかったが、計算機処理の分散によって処理で発生する熱を分散することについても考えている。これについては、現在収集しているデータに加えてロードアベレージの取得や CPU やメモリの使用率等のデータを収集して消費電力との関連性を見たいと考えている。また、消費電力削減方法として外気導入を検討する場合に備えて、湿度データも取得することが望ましいと考えられる。

5. ま と め

計算機室の消費電力削減のためには、現在どれだけの電力を消費しているのか把握し、無駄な電力使用を減らすように心がけることが重要である。計算機室の消費電力削減にはシステム管理者だけでなく、エンドユーザにも無駄な電力消費をしないよう意識させることが有効であると考えられる。特に、仮想デスクトップ環境等のエンドユーザが計算機室のリソースを遠隔で利用する環境化においては、エンドユーザの機器の利用が計算機室の消費電力増加につながる。このようなユーザに対して消費電力データをわかりやすく見せるとで省エネルギー意識を向上させることができ、消費電力削減効果が期待できると考えられる。また、システム管理者が消費電力を把握し、消費電力削減策を検討・実施することも求められる。監視結果から消費電力削減策を検討するにはある程度の量の監視データの比較や、消費電力以外のデータを参考にするのが望ましい。監視データから考察した結果、実施できる対策があるか、また対策コストに見合った省エネ効果が得られるのかという問題も考えられる。本研究では計算機室消費電力可視化システムの検討・試作を行なった。計算機室の消費電力と温度データを収集し、web インターフェースに表示し、ユーザが閲覧可能な状態にした。今回はデータ収集部分と簡易的な可視化ツールを実装し、実際に NAIST の計算機室の消費電力監視を行なった。また、実際に NAIST の計算機室で消費電力監視を行なったところ、熱だまりが発生していることや外からの熱の遮断が不十分であることが分かった。今後は、エンドユーザ向けの可視化部分の実装と、取得したデータを元に空調の温度制御の自動化を行なう予定である。

参 考 文 献

- 1) 経済産業省/グリーン IT 推進協議会.“日本・世界における IT の電力消費予測”. グリーン IT イニシアティブ第 2 回発表資料, p.8, May, 2008
- 2) J. Case.“RFC1157 A Simple Network Management Protocol (SNMP)”. RFC1157, Performance Systems International, May, 1990
- 3) 平野光敏 他.“東京大学情報基盤センターにおける計算機室の空調環境最適化”. 第 22 回全国共同利用大型計算機センター研究開発連合発表会論文集, vol.2000, No.1, pp.90-100, January, 2000
- 4) 岡本昌幸 他.“サーバ室の空調に関する省エネルギーの取り組みについて”. インターネットと運用技術シンポジウム 2010 論文集, pp.25-29, December, 2010