

情報機器の内蔵センサによる消費エネルギー計測手法

石島 悌^{†1} 平松 初珠^{†1} 山東 悠介^{†1}

情報通信技術分野においても、省エネルギー対応は社会的な要請であり、それに応えるためには、サーバ機器などの消費電力や温度を適切に計測する必要がある。そこで、われわれは、サーバやUPSなどの情報機器に内蔵されたセンサを用いて、消費エネルギーに関連する値の計測手法を提案する。提案方式により、計測機器が不要となるだけでなく、測定値の継続的な記録や可視化が容易となる。そして、提案方式の有効性を調べるため、トレーサビリティを確保できる測定器での結果と比較を行った。

Energy Consumption Measurement with Built-in Sensors in IT Equipment

DAI ISHIJIMA,^{†1} HATSUMI HIRAMATSU^{†1} and YUSUKE SANDO^{†1}

It is inevitable to meet the social request of energy saving in information and communication technology. Therefore, it is very important to measure power consumption and temperature of IT equipments. In this paper, we propose an energy consumption measurement with built-in sensors in a server and a UPS. Our proposal does not need additional measurement instruments and makes it easy to record the measurement values continuously and visualize them. The correlation and the difference between this method and an accurate method with a traceable equipment is also reported.

1. はじめに

日本は必要なエネルギー資源の多くを海外からの輸入にたよっている。1970年代には二度のオイルショックを経験し、これを踏まえ、1979年には、エネルギーの使用の合理化に関する法律、いわゆる省エネ法が施行された¹⁾。これにより、幅広い産業分野において、エネルギー消費の削減が図られた。

また、近年では、環境問題に対する意識の向上や温室効果ガス排出量の削減といった環境負荷の低減の気運が高まっている。2001年には、国等による環境物品等の調達の推進等に関する法律、いわゆるグリーン購入法²⁾が施行された。国や地方自治体、大学や研究機関などの独立行政法人における物品の調達はこの法律の考えに沿ったものとなった。情報機器においても、省エネラベリング制度、トップランナー方式や国際エネルギースタンププログラムの導入³⁾など、官民をあげての取り組みが実施されている。

さらに、2011年には、発電所の稼働停止などにより、省エネルギーに対する関心が非常に高くなってきている。

このように、省エネルギーへの社会的な要請と関心が高まるなか、大学などのサーバ室やPC演習室、あるいはネットワーク機器の省エネルギー化についての研究が報告されるようになってきた⁴⁾⁻¹⁰⁾。

これらの研究では、エネルギー消費を抑える手段として、計画的に情報機器の運転を停止する方式⁵⁾、サーバ室で消費されるエネルギーの多くを占める空調の運用を改善する方式⁷⁾などが提案されている。また、それらの効果を評価するために、消費電力量や電流を計測^{4),6),8)-10)}したり、空調の改善効果を評価するために、温度分布を測定^{4),7),10)}するといったことがなされている。

省エネルギー効果の測定において、電力や温度など、消費エネルギー量に関連する値を測定することは非常に重要である。これまでの研究では、温度計や電力計、電流計など多数の測定器を用いる方法がとられてきた。

しかしながら、昨今の情報機器には、その機器の状態を把握するために、多数のセンサが内蔵されることが一般的となってきている。そこで、本論文では、これらの情報機器に内蔵されたセンサを用いて、消費エネルギーに関連する値を計測する方式を提案する。

提案方式を用いることにより、サーバ室などに多数のセンサを配置することは不要となる。さらに、センサから得られる計測値の取り込みや記録、可視化が非常に容易になる。

^{†1} 大阪府立産業技術総合研究所情報電子部
Information and Electronics Department,
Technology Research Institute of OSAKA Prefecture

本論文では、まず、2章において、情報機器にどのようなセンサが内蔵されているかを紹介する。そして、センサからの測定データを取得する方法を説明する。次に、3章において、既存研究では専用の測定器が用いられてきた、温度と電力の計測について、提案方式による結果を報告する。4章においては、トレーサビリティを確保できる測定器を用いて、提案方式を評価する。これにより、既存研究では複数の専用の測定器が必要とされていた消費エネルギー計測において、情報機器それ自身が測定器となりうることを示す。

2. 情報機器の内蔵センサと計測値の取得

本章では、提案方式で用いる、情報機器に内蔵されている各種センサならびに、そのセンサからデータを取得する方法を紹介する。そして、これらのセンサ類を活用することにより、新たに計測機器を導入することなく、情報機器の消費エネルギーに関するデータを取得する方法を説明する。

2.1 サーバのセンサによるハードウェアモニタ

PCやサーバでは、2000年前後に発表されたモデルから、ハードウェアモニタ機能が装備されることが一般的である¹¹⁾。このハードウェアモニタ機能として、

- CPUに内蔵されたダイオードを使ったCPU温度
- マザーボード上のセンサを使った周囲温度
- クーリングファンの回転数
- CPUやバス、周辺機器に供給する電圧

を計測する機能がある。

残念ながら、以上の項目では、消費電流や消費電力を測定することは不可能である。しかし、最近発表されたサーバでは、消費電力をモニタできるものも存在する¹²⁾。

ハードウェアモニタ機能を利用するためには、モニタ機能を実装しているハードウェアごと、あるいはOSごとにソフトウェアが用意されていた。代表的なものとして、lm_sensors¹³⁾やmbmon¹⁴⁾といったソフトウェアがある。

最近では、このハードウェアモニタ機能はプラットフォームに依存しない形で実装されるようになってきた。現在よく使われているものにIPMI (Intelligent Platform Management Interface)がある¹⁵⁾。また、各種OSでも、このIPMIに対応したソフトウェアが用意されており、それを使うことによって、各種センサの情報を取り出すことができる。代表的な実装としてipmitool¹⁶⁾があり、「ipmitool sdr」とコマンドラインから入力することによってセンサデバイスのレポジトリ情報を取得できる。図1に、PCサーバ(HP ML115G5)でのセンサ情報の一部を示す。

2.2 UPS内蔵センサによるモニタリング

情報機器などを停電から保護するためのUPS (Uninterruptible Power Supply)にも、電圧や電流をモ

CPU Fan	2017.76 RPM	ok
Rear Fan	2903.60 RPM	ok
CPU Diode	35 degrees C	ok
Front Ambient	26.50 degrees C	ok
System 12V	11.93 Volts	ok
System 5V	5.12 Volts	ok

図1 ipmitoolの出力例(抜粋)

MODEL	: APC CS 500
LINEV	: 102.0 Volts
LINEFREQ	: 60.0 Hz
LOADPCT	: 34.0 Percent Load Capacity
ITEMP	: 29.2 C Internal
NOMPOWER	: 300 Watts

図2 apcaccessの出力例(抜粋)

ニタするセンサが内蔵されている。

UPSでは、入力電圧の超過、あるいは低下(停電を含む)によって、接続した機器への電源供給元を商用電源入力からバッテリーに切替えることが可能となっている。また、UPSに接続した負荷が、UPSの電力供給能力を越えていないかどうかを判断する機能が内蔵されている。

これらの機能を実現しているのは、UPSに内蔵された電圧センサや電流センサである。センサから得られた情報は、停電時に自動的にシャットダウンするためのユーティリティソフトウェアを使うことによって、サーバに取り込むことができる。代表的なものに、APC社のUPS向けに開発されたapcupsd¹⁷⁾に付属するapcaccessがある。このようなソフトウェアを使うと、

- UPSに供給される商用電源の電圧と周波数
- UPSが負荷に供給している電力(電流)
- 内蔵蓄電池の温度

などを把握できる。

UPSから負荷への供給量は、最大供給能力のパーセンテージで示される。この値が電流を示しているのか電力を示しているのかは、カタログなどからは判別できなかった。負荷への供給量が、電流を示しているのか電力を示しているのかは、UPSに内蔵されているセンサによって異なる。どのようなセンサを用い、何を示しているのかが、カタログや仕様書などで明示されていることが望ましい。このUPSでは、インバータの能力からすると、最大供給可能電流に対する現在の供給電流の割合と考えるのが妥当かもしれない。図2に、apcaccessコマンドの出力結果の一部を示す。

2.3 その他のセンサ

ハードディスクには、その障害の早期発見や故障を予測するために、SMART (Self-Monitoring, Analysis and Reporting Technology) というモニタリング

ID#	ATTRIBUTE_NAME	RAW_VALUE
1	Raw_Read_Error_Rate	0
5	Reallocated_Sector_Ct	0
9	Power_On_Hours	3999
194	Temperature_Celsius	43

図 3 smartctl の出力例 (抜粋)

ID	Sensor (Units)	Reading
1	Fan: Fan 1 (Rpm)	6033
2	Fan: Fan 2 (Rpm)	6006
7	Voltage: 3.3V (Volts)	3.369
9	Voltage: 12V (Volts)	11.938
10	Temp: Ambient (Degrees C)	34
11	Temp: Mid Internal (Degrees C)	45
12	Temp: Bk Internal (Degrees C)	37

図 4 スイッチの自己診断出力例 (抜粋)

機能が用意されている。これは SCSI や ATA の仕様で規定されている。

SMART は、読み取りエラーの発生率や、出荷後の通算動作時間などを観測するために用いられることが多い。モニタリング項目には温度も含まれる。このモニタリング値を読み出すソフトウェアの代表的な実装に、smartmontools¹⁸⁾ に付属する smartctl がある。この smartctl コマンドの出力の一部を図 3 に示す。

最近のネットワークスイッチにも、ハードウェア診断機能の一つとして、モニタリング機能を用意しているものがある。取得できる情報は、電圧、温度、ファンの状態 (回転数あるいは動作してるか否か) などである。SNMP などですべての情報を取得できれば、継続的に可視化することができる。図 4 に、アライドテレス社の AT-x900-12XT/S のシリアルコンソールで取得した情報の一部を示す。

2.4 モニタリングデータの継続的取得

ここまで、ハードウェアモニタ機能を使って、エネルギー消費に関するデータを取得する方法を紹介した。実際には、定期的にポーリングしてログファイルに記録するといった処理が必要になる。これらは、定期的にプログラムを実行する仕組みである cron を使い、シェルスクリプトなどで処理を記述することで実現できる。

現在のところ、IPMI などで得られる情報はハードウェアモニタ機能の実装に大きく依存している。このため、監視対象ごとにデータを処理するプログラムを作りかえる必要があるかもしれない。

データを保存し続ける必要のない場合は、文献 10) に書かれているとおり、MRTG や RRDtool を用いると、一定期間のデータ管理や可視化が容易に行える。

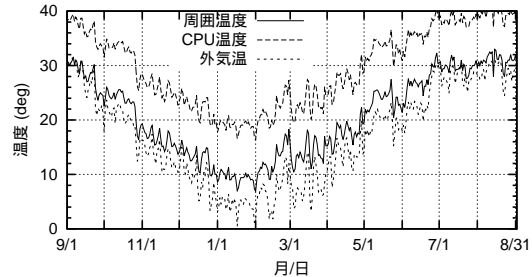


図 5 IPMI による CPU 温度と周囲温度の計測値

3. 提案方式による温度と電力の計測

本章では、提案方式により得られた計測結果として、サーバで計測した温度と UPS から得られた負荷率の変化を報告する。

3.1 サーバの温度計測

図 5 に、IPMI を用いて計測した、2010 年 9 月から 2011 年 8 月までの周囲温度 (IPMI では Front Ambient Temperature) と CPU (IPMI では CPU Diode) 温度を示す。この図では MRTG のログから一日の平均温度を一年分取り出して表示している。気象庁が公開している過去の観測記録データ¹⁹⁾ も外気温としてあわせて示す。

測定値は常時空調ではない部屋に設置した PC サーバ (ML115G5) での値である。CPU 温度は周囲温度よりも 9 度程度高い。周囲温度と外気温の間には相関関係がみられ、その差の平均は 3.7 度である。なお、夏期は部屋の温度が上がりすぎないように空調を動かしているため、周囲温度は外気温に近い値を示している。

3.2 サーバの消費電力

図 6 に 2011 年 3 月の APC CS500 の負荷率を示す。この図も MRTG で記録したログから、2 時間ごとの負荷率の平均値を取り出して表示している。この APC CS500 には、前述の PC サーバ (ML115G5) ともう一台の PC サーバ、そして、ルータやスイッチを接続している。

3 月 12 日に負荷率が減少しているが、これは、この日に一台の PC サーバをシャットダウンしたためである。負荷率はおよそ 59% から 38% に減少した。これは停止した PC サーバの負荷率がおよそ 21% であることを示している。この UPS の定格出力は 300W・500VA なので、停止した PC サーバの消費電力は 63W・105VA 前後であると考えられる。

このように、UPS の負荷率を計測することにより、その UPS に接続した機器の消費電力の変化を把握することができる。

3.3 サーバ室などでの応用

本論文では、一台のサーバで計測した温度および一

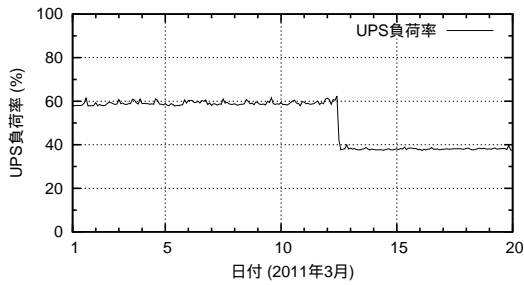


図 6 UPS 負荷率の変化

台の UPS で計測した電力の結果を報告しただけである。しかし、提案方式はサーバ室のように複数のサーバや UPS を設置した環境でも使用できる。この場合、各サーバに温度計が内蔵されていることになるので、サーバ室内の温度分布の計測への応用が期待できる。たとえば、温度分布測定からサーバ室の熱だまりの発生などを検知し、ファンなどで気流を起こし、温度分布を平準化するということが可能になる。

また、サーバ室内で複数の UPS での電力計測を行うことによって、UPS に接続されているサーバの総消費電力量を積算することも可能となる。提案方式は、サーバや UPS 自身を計測器として活用しているため、多数の計測機器は不要となり、結果として計測にかかるコストを大幅に削減することが可能である。

4. 誤差とトレーサビリティについて

市販されているテスト、電力計、温度計といった計測機器は、測定誤差範囲などが表示されている。さらに、性能証明書などをメーカーに要求した場合、その精度あるいは誤差が国家標準とどのような関係でつながって標準器により校正されているかを明示してくれる。このように国家標準との関係が明確になっている状態を、計測器のトレーサビリティが保たれている状態という。

デジタル計測機器では、その誤差は指示値に含まれる誤差 (rdg) と分解能 (dgt) で示される。たとえば、「 $\pm 1.5\% \text{rdg} \pm 5 \text{dgt}$ 」のように仕様書などに掲載されている。この計測機器で 100.0V という値が得られたとすると、指示値の誤差は 1.5V、分解能は 0.5V であり、測定したい真値は 98.0V から 102.0V の間にある。

提案方式で使用しているハードウェアモニタ機能では、このような誤差範囲は示されておらず、また、校正なども実施されていないので、測定した値にどれだけの誤差があるかが不明である。

そこで、本章では、電力計測とその誤差要因について検討する。まず、ノートパソコンの AC アダプタやデスクトップ PC 用の電源に負荷を接続し、そのときの消費電力の測定結果を説明する。これと同時に、簡

易電力測定器を使って、間接的に UPS による電力測定と、電力計測機器との相関を調べる。そして、温度測定における誤差について説明する。

4.1 交流回路の波形と電力

交流回路において、負荷が消費する電力 P は、印加した電圧の瞬時値 $v(t)$ と流れる電流の瞬時値 $i(t)$ の積を積分した値、

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T v(t) \cdot i(t) dt \quad (1)$$

で表される。ここで T は電圧の周期である。

電圧および電流が正弦波であり、それらの実効値をそれぞれ V と I とし、 V と I の位相差が ϕ とすると、電力 P は

$$P = VI \cos \phi \quad (2)$$

と書くことができる。ここで $\cos \phi$ は力率と呼ばれ、電圧と電流の波形と位相の一致度を示している。なお、実効値 V と瞬時値 $v(t)$ の関係は

$$V = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T (v(t))^2 dt} \quad (3)$$

である²⁰⁾。

つまり、電圧も電流も正弦波であり、かつ、その位相差が既知であり、さらに電圧が一定であるという仮定のもとでは、電流を測定すれば、それは電力を測定したことに等価である。

しかし、内部では直流で動作している電子機器の電源に供給される電流 $i(t)$ は一般的には正弦波にはならない²¹⁾。このため、電力は式 (2) のような単純な形で表すことが不可能である。また、電圧や電流が非正弦波の場合は、力率は、皮相電力 $V \cdot I$ に対する電力 P の比、 $P/(V \cdot I)$ で計算する。

さらに、交流電圧や交流電流を測定する計測器では、内部で直流に整流した平均値に正弦波の波形率を乗じた値を表示するものがある。そのような測定器で正弦波ではない電圧や電流を計測すると、表示される値は、上に書いた実効値である V や I とは異なったものとなる。

情報機器の電力を計測する場合は、以上の点に配慮した計測器を用いることが重要となる。トレーサビリティを確保できるパワーメータ (電力計) を用いればこれらの問題は回避できる。

4.2 AC アダプタの電流波形と消費電力

電流波形が正弦波ではない歪み波となる負荷の電力を調べるため、表 1 に示す機器を用いて、波形と電力を計測した。

電力の測定には、デジタルパワーメータだけではなく、手軽に消費電力を測定できる簡易電力測定器、いわゆるワットモニタも併用した。これにより、ワットモニタの測定値が信頼に値するかどうかを判定できる。

表 1 実験に使用した機器

項目	形式・仕様
測定対象	Panasonic AC アダプタ CF-AA1527C1 定格出力 15.1V 2.8A
電力計	横河電機 デジタルパワーメータ 2523
ワットモニタ	サンワサプライ TAP-TST8
オシロスコープ	Tektronix DPO4034

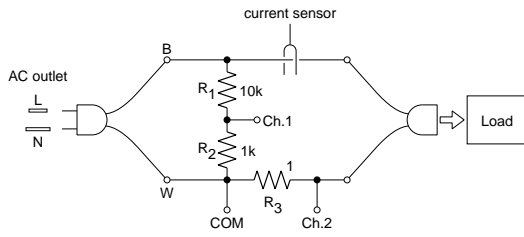


図 7 波形測定回路

まず、デジタルパワーメータを商用電源に接続する。そしてデジタルパワーメータの計測用コンセントにワットモニタを接続する。ワットモニタ自身の消費電力が十分低く、誤差がなければ、デジタルパワーメータとワットモニタの表示は等しくなる。

次にワットモニタと AC アダプタの間に図 7 に示す回路を接続し、印加される電圧と電流波形を観測した。抵抗 R_1 と R_2 は、それぞれ 10k と 1k を用いた分圧回路であり、 R_2 の両端電圧をオシロスコープのチャンネル 1 に入力した。抵抗 R_3 は 1 の抵抗であり、この両端電圧をチャンネル 2 に入力した。 R_3 の両端電圧は、AC アダプタの消費電流に相当する。オシロスコープの電源は、絶縁トランスを介して商用電源に接続し、漏電や地絡などの事故が起こらないようにした。

AC アダプタには、負荷としてノートパソコンではなく、33 の抵抗を 0~4 個並列接続した。現実の負荷であるノートパソコンではなく、抵抗を用いたのは、計測値の揺らぎを減らすためである。AC アダプタの出力は直流なので、負荷はノートパソコンであっても抵抗であっても本質的な違いはない。

表 2 に、デジタルパワーメータで計測した電圧と電流の実効値、皮相電力、電力、力率、そしてワットモニタで計測した電力を示す。負荷抵抗を増やしていくと、AC アダプタの消費電力はほぼ比例して増加する。

この結果から、使用したワットモニタの計測値はデジタルパワーメータでの計測値と大きな差がないことがわかる。また、測定中に電圧が変動していることもわかる。電圧が変動しているということは、電流測定だけでは、電力測定に電圧の変動成分が誤差として加算されることを意味している。そして、力率は負荷を増やした場合でも 0.6 程度と小さい値となっている。



図 8 AC アダプタの電圧・電流波形

図 8 に負荷抵抗が 4 本ときの AC アダプタの電圧と電流波形を示す。電流波形は大きく歪んでいることがわかる。このことは、表 2 で力率が低いことと矛盾しない。

4.3 力率改善を用いたスイッチング電源

前節で示したノート PC 用の AC アダプタは、その電流波形が大きく歪んでいたが、これは印加した 60Hz の正弦波の奇数次高調波を多く含んでいるためである。一般的なスイッチング電源の入力電流はこのような傾向である。

電流に高調波が増えると、それは電源系統にノイズとして漏洩する。このノイズが多いと電源系統のトランスなどに悪影響を与える恐れがあり、また、他の電子機器に誤動作などの悪影響を引き起こす可能性がある。

そこで、最近では、スイッチング電源の入力電流ができるだけ正弦波に近くなる、すなわち、高調波成分が少なくなるような回路構成をとることが増えてきた。このようなスイッチング電源では、入力電流の波形が電圧波形に近くなるため、結果として力率が改善され、1 に近くなる。このような回路構成をスイッチング電源における力率改善 (PFC: Power Factor Correction) と呼ぶ²²⁾。

力率改善はノイズの低減に役立つだけでなく、電源系統での損失低減にも役立つ。力率が低い負荷では、回路に流れる電流が大きくなる。電源系統で発生する抵抗性の損失は電流の 2 乗に比例して大きくなるため、力率の高い、すなわち、余分な電流を必要としない負荷のほうが、損失は小さくなる。

この力率改善回路を用いた ATX 電源の 12V 出力に負荷抵抗を接続し、表 2 同様に消費電力や力率などを測定した。その結果を表 3 に示す。使用した ATX 電源は KEIAN の KT-F500-12A (1XA) である。

表 3 から、この電源は消費電力がおよそ 30W を越えると力率が 0.9 以上となっていることがわかる。力率が改善され、電流波形が正弦波に近づいていることを確認するため、波形を観測した。結果を図 9 に

表 2 デジタルパワーメータとワットモニタの計測値の比較

負荷個数	電圧 (V)	電流 (A)	皮相電力 (VA)	電力 (W)	力率	ワットモニタの表示 (W)
AC アダプタなし	102.3	0.024	2.5	0.1	0.067	0.0
0 (無負荷)	102.1	0.038	3.9	1.6	0.419	1.5
1	101.9	0.167	16.9	9.4	0.556	9.2
2	101.9	0.285	28.8	16.8	0.584	16.7
3	101.8	0.398	40.4	24.5	0.606	24.2
4	101.4	0.507	51.8	32.4	0.595	31.9

表 3 PFC 電源の負荷特性

負荷抵抗	抵抗値	電圧 (V)	電流 (A)	皮相電力 (VA)	電力 (W)	力率	ワットモニタの表示 (W)
0		101.3	0.153	15.5	9.7	0.625	9.5
33 × 2	16.5	101.3	0.254	25.7	21.7	0.844	21.6
33 × 4	8.25	101.1	0.341	34.4	31.4	0.911	31.2
15 × 4	3.75	102.4	0.546	56.0	54.4	0.973	54.2
33 × 2 + 15 × 4	3.06	102.5	0.643	66.1	63.8	0.967	63.7
33 × 4 + 15 × 4	2.58	102.4	0.749	76.5	73.3	0.957	73.1

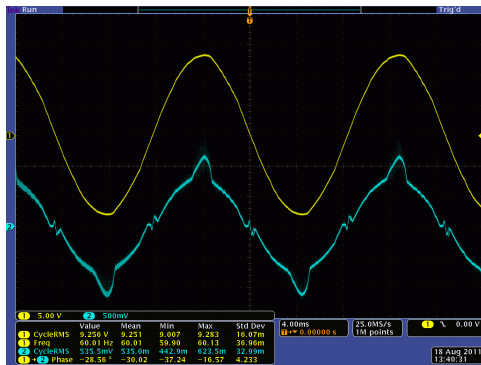


図 9 PFC 電源の電圧・電流波形

示す。電流波形は歪んではいるものの、正弦波に近くなっている。

なお、力率改善回路を搭載したスイッチング電源は、入力電圧が正弦波であることを仮定して設計されていることが多い。このため、バッテリー駆動時に、インバータ出力が正弦波ではないUPS で用いると、UPS が過負荷の警告を出したり、UPS あるいは電源が故障することもある。

入力電圧が正弦波であることを仮定しているものは、このようなスイッチング電源だけではない。多くの電球型 LED ランプやインバータ方式の蛍光灯なども正弦波でない電源を接続すると故障の可能性がある。このような照明器具には「調光器非対応」と書かれている。多くの調光器はサイリスタやトライアックなどの半導体素子を用いて、位相制御やスイッチングを行うため、出力が正弦波ではなくなる。

このように、電源が正弦波であることを仮定している電子機器には、正弦波出力型の UPS を用いることが重要である。今後のパワーエレクトロニクス素子や

回路構成の進歩により、これらの問題は解消される可能性がある。事実、一部の電球型 LED ランプやインバータ蛍光灯は調光器に対応している。

4.4 UPS 負荷率とワットモニタの相関

これまでの結果から、ワットモニタが表示する電力値はデジタルパワーメータの値と大きな差がないことがわかった。そこで、ワットモニタを用いて、UPS 負荷率と電力の関係を調べた。測定では、商用電源に接続したワットモニタに図 7 の波形観測用回路を接続し、その負荷として UPS を接続した。UPS の負荷は前述の PC サーバ (ML115G5)、もう一台の PC サーバ、ノート PC を用いた。測定項目は、UPS の負荷率、ワットモニタが示す消費電力、回路電流の実効値と平均値である。結果を表 4 に示す。

UPS に PC サーバ (ML115G5) とルータを接続しているときの波形を図 10 に、さらに、もう一台の PC サーバとノート PC を追加で接続したときの波形を図 11 に示す。波形の観測には絶縁型入力を持つ、フルーク社の Fluke192 スコープメータを用いた。

電流の計測には、実効値型の共立電気計器製 2012R と平均値整流型の DT-830B を用いた。表 4 の I_{rms} が実効値での値、 I_{mean} が平均値型での値である。平均値型では値が小さく出ており、測定器の選定も誤差要因となることがわかる。

負荷率に UPS の定格出力である 300W を乗じた値は、ワットモニタが示す消費電力に近い値となることがわかる。この結果と、ワットモニタの表示値がデジタルパワーメータに近い値となったことから、負荷率は UPS に接続した情報機器の消費電力を反映していることがわかる。

UPS 負荷率の評価では、実稼働しているサーバを用いた。このため、サーバの負荷変動によって消費電力も変動している可能性がある。この可能性を排除する

表 4 UPS の負荷と電力の関係

負荷率	電力 (W)	I_{rms} (A)	I_{mean} (A)
40.0	113	1.201	0.8
51.0	147	1.637	1.1
60.0	194	2.307	1.5
71.0	229	2.737	1.8

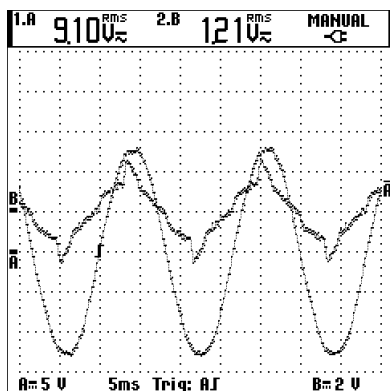


図 10 負荷率 40%時の電圧・電流波形

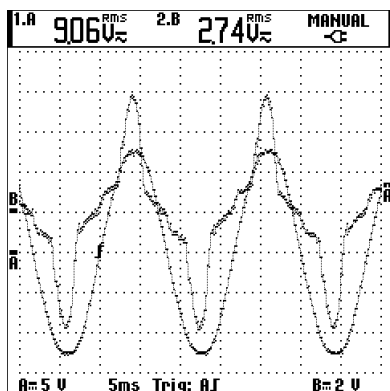


図 11 負荷率 71%時の電圧・電流波形

ために、AC アダプタや ATX 電源での測定と同様に抵抗などのダミー負荷を用いた実験を行うべきである。

4.5 温度測定における誤差

ハードウェアモニタ機能で用意されている温度計測においても、計測した値に誤差が含まれる。温度計測に用いているセンサ IC の型番がわかれば、その誤差はデータシートに明記されている。たとえば、温度センサとしてよく用いられたナショナルセミコンダクタの LM79 であれば、その誤差は ± 3 度である²³⁾。

ハードウェアモニタ機能で計測できる温度は、その温度センサが配置された場所の温度である。情報機器によって、温度センサの種類や配置場所は変わるので、同じ環境に配置した複数の情報機器で得られる温度は違った値となるだろう。

サーバラックなどに同一機種が並んでいる場合は、温度センサおよびその位置が統一されていることにな

るため、サーバによる温度の違いを比較することには意味がある。このような条件であれば、サーバ室内の熱だまりなどを調べることは容易であろう。

もし、異なる情報機器が混在する場合は、温度計を別途用意した上で比較しておくことが必要となる。たとえば、サーバ前面の吸気口や背面の排気口での温度計での測定値と、ハードウェアモニタ機能によって取得した値との関連づけを事前に実施しておくべきである。

これは、前節までに述べた電力測定と同じである。温度計との比較や校正が終われば、ハードウェアモニタ機能を活用して、温度の時系列変化や空間分布を把握することが可能となる。

5. おわりに

本論文では、サーバや UPS などに内蔵されているセンサを活用することにより、温度や消費電力といった、エネルギーに関するデータを取得する手法を提案した。これらのセンサを用いると、特別な計測機器は不要であり、かつ、データを継続的に蓄積し、可視化することも非常に容易である。おおがかりな計測機器を導入する前に、これらのセンサを活用することは検討に値する。

次に、提案方式の評価を目的として、オシロスコープとデジタルパワーメータを用いて、電流波形や消費電力を計測した。用いた計測機器は、それぞれのメーカーに校正書類を発行してもらうことにより、計測機器のトレーサビリティを確保できるものである。この測定により、使用した簡易電力測定器が表示する値は、デジタルパワーメータでの計測値とほぼ一致することがわかった。また、UPS の負荷率と消費電力との相関がみられた。

事前に条件を揃えておけば、提案方式は、既存研究における、専用の測定器を複数個用いる計測手法を代替しうるものである。さらに、情報機器自体が計測器となるため、測定値の時系列変化や空間分布の把握においてコストメリットが高い。

提案方式の有用性をより明確にするためには、デジタルパワーメータと UPS を直接接続して、抵抗などのダミー負荷を用いた計測が必要である。そして、大学のサーバ室や PC 演習室など、大規模な環境での評価を実施したい。

参 考 文 献

- 1) エネルギーの使用の合理化に関する法律(昭和五十四年六月二十二日法律第四十九号), <http://law.e-gov.go.jp/htmldata/S54/S54HO049.html>
- 2) 環境省: グリーン購入法について, <http://www.env.go.jp/policy/hozen/green/g-law/index.html>
- 3) 資源エネルギー庁: 省エネルギー政策について・トップランナー制度, <http://www.enecho.meti.go.jp/policy/saveenergy/save03.htm>
- 4) 小原 泰弘, 岡本 忠男, 宇多 仁: JAIST におけるサーバールーム構築: 負荷と電力消費の関係, 空調, インターネットと運用技術シンポジウム 2009 (IOTS2009) 論文集, pp. 31-36, 2009.
- 5) 西垣 桂, 齊藤 明紀: 省電力のための運休スケジュール参照機能を持つ機器監視システムの試作, 情報処理学会研究報告, Vol. 2010-IOT-8, No. 2, pp. 1-6, 2010.
- 6) 櫻田 武嗣, 萩原 洋一: 大学ネットワーク機器更新のための消費電力の簡易測定, 情報処理学会研究報告, Vol. 2010-IOT-10, No. 1, pp. 1-5, 2010.
- 7) 岡本 昌幸, 小林 俊満, 赤井 光治, 久長 穰, 小河原 加久治: サーバー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 (IOTS2010) 論文集, pp. 25-29, 2010.
- 8) 繁田 浩功, 間下 以大, 竹村 治雄: 大学施設における消費電力の可視化~大阪大学 CMC グリーン IT プロジェクト~, 情報処理学会研究報告, Vol. 2011-IOT-12, No. 19, pp. 1-5, 2011.
- 9) 櫻田 武嗣, 萩原 洋一, 新 善文: キャンパスネットワークの省電力化と管理省力化の取り組み, 情報処理学会研究報告, Vol. 2011-IOT-12, No.29, pp. 1-6, 2011.
- 10) 西垣 桂, 辻井 高浩, 砂原 秀樹: 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, 情報処理学会研究報告, Vol. 2011-IOT-12, No. 35, pp. 1-6, 2011.
- 11) 飯山 健一: 440BX チップ・セットのマザー・ボード構成, トランジスタ技術, Vol. 36, No. 9, CQ 出版, 1999, pp. 178-182.
- 12) DELL 株式会社: Dell テックセンター Blog, ipmitool でのサーバ消費電力の確認方法, <http://ja.community.dell.com/techcenter/b/weblog/archive/2011/05.aspx>
- 13) Lm_sensors - Linux hardware monitoring, <http://www.lm-sensors.org/>
- 14) 清水 良文: Mother Board Monitor Program for X Window System, <http://www.nt.phys.kyushu-u.ac.jp/shimizu/download/xmbmon/READMEj-xmbmon205.html>
- 15) Intel: Intelligent Platform Management Interface, <http://www.intel.com/design/servers/ipmi/>
- 16) Duncan Laurie: IPMITool, <http://ipmitool.sourceforge.net/>
- 17) Apcupsd a daemon for controlling APC UPSes, <http://www.apcupsd.com/>
- 18) smartmontools, <http://smartmontools.sourceforge.net/>
- 19) 気象庁: 過去の気象データ検索 <http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/>
- 20) 押本 愛之助, 岡崎 彰夫: 電気・電子工学概論, 第3章「交流回路」, pp. 44-74, 森北出版, 1987.
- 21) 佐藤 守男: 特集 最新・電源回路設計技術のすべて, トランジスタ技術スペシャル, No. 28, CQ 出版, 1991.
- 22) 森田 浩一: 力率改善回路の目的と種類, グリーン・エレクトロニクス, No. 3, pp. 59-68, CQ 出版, 2010.
- 23) National Semiconductor: LM79 - Microprocessor System Hardware Monitor, <http://www.national.com/pf/LM/LM79.html>