

# パーソナル3次元加工機による サーバ省エネルギー化を指向したセンサの開発と課題

石島 悌<sup>1</sup>

**概要:** パーソナル市場に向けた3次元加工機に注目が集まっている。これらの加工機の代表的なものには、樹脂などを積層させて立体造形を行う3Dプリンタと、材料を削りだして造形を行う3D切削加工機がある。いずれの加工機もデザインを手にとれる形にする「デジタルなものづくり」の道具として期待されている。後者の3D切削加工機は、3D CADで用意した立体形状を造形する以外に、プリント基板CADと連携することにより、電子回路基板の作成への応用が広まりつつある。本稿では、著者が取り組んできた、サーバなどのIT機器の省エネルギー化への3次元加工機の応用事例を紹介する。電力や温度のセンシングと可視化は省エネルギー化に欠かせない要素技術である。3D切削加工機と3D CAD、プリント基板CADを組み合わせることにより、必要となるセンサを準備することが容易になる。「魔法の箱」とも称される3次元加工機により何ができ、何ができないのかを検証する。

## Development of Sensors for Energy Saving of Servers Using Personal 3-Dimensional Milling Machine

DAI ISHIJIMA<sup>1</sup>

### 1. はじめに

情報通信技術分野においても、省エネルギー対応が求められる。その動機づけには、以下のものをあげることができるだろう。一つ目は、持続可能な社会の実現、あるいは温室効果ガスなどの環境負荷の低減といった環境問題に対する意識の高まりである。二つ目は事業継続における光熱費の削減、そして三つ目は、東日本大震災以後の発電所停止によるエネルギー需給の逼迫である。

2013年夏季においては、節電について数値目標の設定はなされなかった[1]。これは、企業や家庭での省エネルギーの取り組みが浸透したためである。今年もそのような対策がなされるのであれば、電力の安定供給は確保されるとの判断がなされた。一方、関西広域連合では、これまでの省エネルギーの取り組みを定着させる意味で、2010年比で9%という節電の数値目標があげられた[2]。

利便性をできるだけ損なわずに、合理的に省エネルギー

対策を実施するためには、エネルギーに関する情報を計測する必要がある。著者の属する研究グループでは、サーバに代表される情報機器の省エネルギー化に貢献することを目的として、低コストで消費電力や温度を計測する方式[3]、その手法を利用して、サーバの省エネルギー稼働を検証する方式[4]を提案した。提案方式は、情報機器にすでに内蔵されているセンサを活用することにより、コストをかけずに消費電力や温度といったエネルギーに関するデータを取得することが可能である。

その一方で、提案方式では、電力や温度を計測するセンサの設置場所が情報機器内に限定されており、サーバ室やPC演習室など、計測対象となる室内の全体状況を把握することは困難である。そこで、多数のセンサを分散配置するために、低コストでセンサを製作することにした。

既存研究[5],[6],[7],[8],[9]で用いられているセンサや計測手法は、以下のように大きく二つに分類することができる。

- 十分な精度で計測値が得られ、それをオンライン処理できる一方で非常に高価なもの

<sup>1</sup> 地方独立行政法人 大阪府立産業技術総合研究所 業務推進課  
Duties Promotion Section, Technology Research Institute of  
OSAKA Prefecture

- 比較的安価ではあるが、測定方法や精度、誤差範囲などが明確ではなく、センサとしての性能が十分とはいえないもの

情報機器の省エネルギー化に求められるセンサの精度は、一般的な工業向け応用の計測器に使われているものと同程度であればよい。それらの計測器で用いられているセンサは、マイコンボードなどに簡単に接続することのできる IC として多数流通している。USB や Ethernet などの通信インターフェイスを持つマイコンボードにこれらのセンサ IC を接続し、必要なプログラムを作成することにより、低コストでセンサを作成することができる。

センサ用の IC は、マイコンボードに接続するための回路に組み込み、適切なシャーシ（ケース）に収める必要がある。たとえば、電力計測用のセンサであれば、絶縁性能をはじめとする安全性に配慮した回路とシャーシを用いなければならない。

サーバ室などに配置することを目的として多数のセンサを作成する場合は、回路を構成するためのプリント基板やシャーシの加工に手間がかかる。この手間が、DIY 的に電子工作でセンサを用意することの大きな障壁となっている。

電子工作におけるこれらの加工の手間を軽減する方法として、3次元（3D）加工機の利用が期待を集めている。3次元加工機を用いることによって、品質にばらつきのないプリント基板やシャーシを作成することが非常に容易となる。

本稿では、まず2章において、電子回路ならびにシャーシなどの周辺部材の作成に用いることのできる3次元加工機を紹介する。次に3章において、IT機器の省エネルギー化に求められる電力センサと温度センサについて説明し、これまでの計測結果を報告する。そして4章において、センサ用 IC とマイコンボードを用いたセンサの設計と試作品を紹介する。最後に今後の展望や課題について述べる。

## 2. 注目を集める3次元加工機

パーソナル市場に向けた、あるいは研究室単位でも導入が容易な価格帯の3次元加工機が注目を集めている。そのきっかけは、メイカーズ[10]やFabLife[11]などの書籍で、これらの道具が大きくとりあげられたことにあるだろう。本章ではこれらの3次元加工機を紹介する。

### 2.1 3次元加工機とラピッドプロトタイプング

3次元加工機は、迅速に試作品を作成するラピッドプロトタイプング（Rapid Prototyping: RP）の道具として、従来から使用されてきた。これらの加工機は、3D CAD でデザインしたデータを実際に手にとることのできる形に造形する装置である。最近まであまり注目されなかったのは、非常に高価で、かつ大型の装置であり、一部の施設でしか導入されてこなかったためであろう。

3次元加工機には、立体形状を積層造形するものと材料を削り出して造形するものがある。それぞれの造形方法は、足し算による造形と引き算による造形と表現することができる。

前者の積層造形手法には、光硬化樹脂に紫外線レーザーなどを照射するもの、金属粉末などを層状に敷き詰め、それをレーザーで焼結するもの[12]、熱可塑性プラスチックをフィラメント状に押出するもの[13]がある。最近、特に注目を集めているものに、この熱可塑性プラスチックを積層していく3Dプリンタ[14]がある。

後者の切削造形は、比較的やわらかい素材をカッターで切削することにより、立体形状を造形するものである。この3D切削加工機は、3次元造形だけではなく、電子回路に欠かすことのできないプリント基板（Printed Circuit Board: PCB）を作成する道具としても注目されている。

いずれの造形手法を用いた加工機もこの数年で低価格なものが販売されるようになった。このことにより、ものづくりへの心理的な障壁や参入障壁が下がることが期待されている。

これらの3次元加工機は、しばしば「魔法の箱」と称されることもあるが、その造形方法に起因する理由により、造形できない形状もある。たとえば、ピラミッド状の四角錐は簡単に造形することができる。しかしそれを倒立させた形状は、支持部なしに造形することは一般的には不可能である。

また、これらの3次元加工機は、試作のために用いることを目的としているため、造形する材料を実際の製品と違ったものにしなければならないこともある。ラピッドプロトタイプングは短時間で試作品を作ることであるが、これは実際の製品を作成する時間との相対比較によるものである。ここまでに紹介した3次元加工機を利用したことがない人が期待しているほど、短時間に造形できるとは限らない。

以上のメリットやデメリットを十分理解した上で用いるのであれば、3次元加工機は、頭の中にあるアイデアやイメージを具現化するための非常に強力な道具となりうるであろう。

### 2.2 3D 切削加工機 iModela IM-01

iModela IM-01 はローランド ディー・ジー 株式会社 が 2011 年 11 月に販売を開始したパーソナル市場向けの3D切削加工機である[15]。回転する刃物でアクリル樹脂などの比較的やわらかい材料を加工することができる。最大加工寸法は 86mm × 55mm × 26mm である。既存の3次元加工機に比べると、加工寸法が小さいなどの制約はあるが、その価格から多くのホビーユーザに受け入れられた。

また、製造元であるローランド ディー・ジー 株式会社は金属などの導電体の加工を保証外としているが、サード



図 1 3D 切削加工機 iModela IM-01

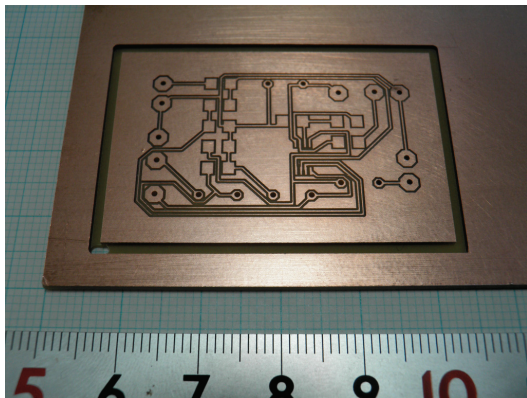


図 2 基板作成ソフトと工具で作成したプリント基板

パーティ (PCB ミリング [16]) から、その表面に金属材料である銅箔を含むプリント基板を加工するためのソフトウェアとプリント基板加工専用の工具が販売されるようになった。

PCB ミリングから販売されているソフトウェア (株式会社エーティ製「WINSTAR PCB for iModela」[17]) は、既存のプリント基板 CAD (PCB CAD) が出力する配線用のデータ (ガーバーデータ) を読み込み、iModela でプリント基板を作成するためのものである。

図 2 に、このソフトウェアと工具を用いて作成したプリント基板を示す。これは、IC の端子間隔が 0.65mm という狭ピッチの表面実装タイプのオペアンプ (Operational Amplifier: 演算増幅器) を使ったヘッドフォンアンプの基板である [18]。3D 切削加工機 iModela を使うことによって非常に精密な加工が行えることを示している好例である。

文献 [19] には、iModela を用いて、シャーシや基板を作成する記事が掲載されている。また、アクリル材料を切削して、携帯音楽プレイヤーの iPod 向けのパッシブスピーカを作成する方法も紹介されている。文献 [20] は、ここまで述べた情報をまとめた単行本である。

プリント基板 CAD には、EAGLE の無償版 [21], [22] や、CERN (欧州原子核研究機構) がそのサポートを表明し、GPL v2 ライセンスで提供されているオープンソースの

PCB CAD である KiCad[23], [24], [25] を使うことができる。本格的にプリント基板を作成するのであれば、KiCad などのプリント基板 CAD を使って設計を行い、専用の工具とソフトウェアの組み合わせを用いるべきである。

次節以降では、専用のソフトウェアや専用の工具を用いることなく、iModela とそれに付属するソフトウェアで、電子工作に必要なシャーシ加工やプリント基板作成が可能であることを検証する。

### 2.3 iModela によるアクリル材料の加工

電子工作におけるシャーシの加工で必要となるものは、基本的には穴あけである。電磁ノイズの影響を考えると、シャーシの素材はアルミニウムなどの金属材料を使うことが望ましいが、iModela ではアルミニウムの加工は難しい。電子工作向けのシャーシはアルミニウムに限らず、アクリルや ABS、ポリスチレンといった樹脂材料でも十分な場合が多い。本節では、iModela に付属するデザインソフトウェアである iModela Creator を使った、アクリル材料の加工事例を紹介する。

iModela Creator は、2D のドローツールに深さ方向のデータを付加した 2.5D のデザインソフトウェアである。指定した場所への穴あけ、折れ線や曲線で指定した経路に沿って材料を切る、閉じた経路 (始点と終点在同一である一連の経路) の内側あるいは外側を一定の深さまで掘るといった操作を行うことができる。

前述のとおり、シャーシの加工では穴あけが基本であるが、iModela Creator で提供されている、穴あけ・切る・掘るといった操作をひととおり検証することを目的として、アクリル板の加工を行った。単純に加工を行うだけでは、仕上り具合を検証するには不十分である。そこで、「イメージをカタチにする」道具である iModela を用いて、基本的な道具の一つである「ハサミ」を作成することとした。

図 3 に iModela Creator で作図したハサミの形状を示す。ハサミは二つの部品から構成され、それらを重ね合わせるにより一つのハサミとなる。用いる素材であるアクリルの厚みは 2mm であり、持ち手の部分はそのまま 2mm のままである。刃の部分は重ね合わせるため、1mm の厚さになるように「掘る」加工を行う。二つの部品が重なる支点部分については、片方の部品は  $\phi 2\text{mm}$  の穴をあけ、もう片方の部品はその穴にぴったりと入る出っぱりを設けている。この出っぱりは iModela Creator の「島残し」加工で作成する。「島残し」は指定した部分を切削せずそのままにし、周囲を指定した深さまで「掘る」という加工である。

図 4 に切削加工が終わり、二つの部品を組み合わせで完成したハサミを示す。コピー用紙程度のものでは、実際に切ることが可能である。

ここで示したハサミを作成することにより、iModela と

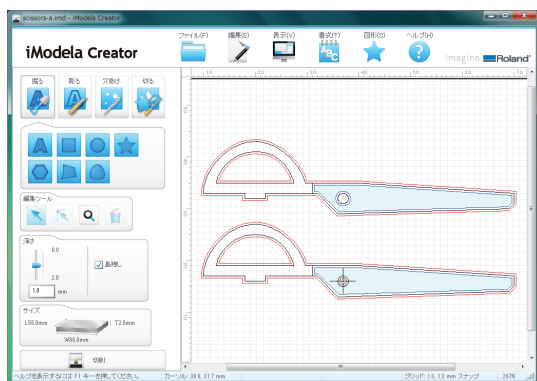


図 3 iModela Creator によるハサミの作図

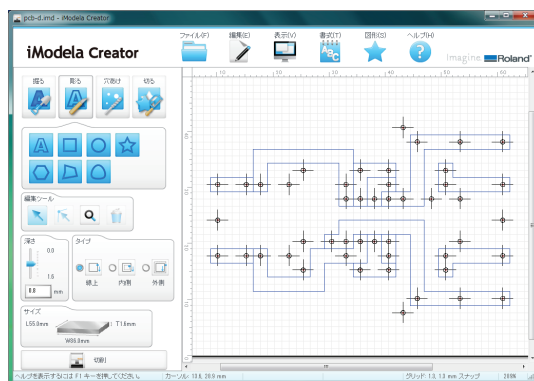


図 5 iModela Creator での基板作成

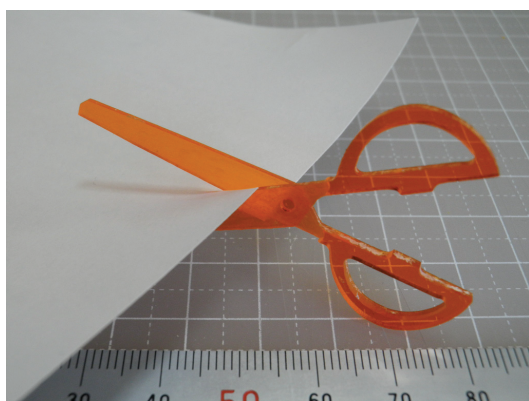


図 4 iModela で作成したハサミ

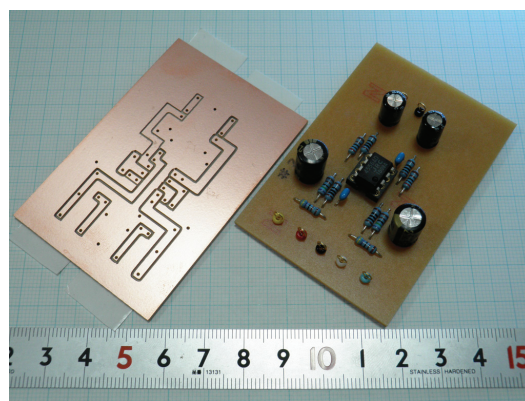


図 6 iModela で作成した基板とヘッドフォンアンプ

付属ソフトウェアの基本的な操作方法を習得することができる。これに必要な各種のデータは、チュートリアルとしてまとめて公開する予定である。

## 2.4 iModela によるプリント基板の試作

前述のとおり、プリント基板加工用のソフトウェアや専用の工具を用いることにより、複雑な回路のプリント基板を作成することが可能である。しかし、4章で述べるセンサ用の回路はさほど複雑なものではなく、部品のピンとピンの間に回路パターンを形成するといった高精度の加工は不要である。そこで、それらのセンサ回路と同程度の部品点数で構成できる回路のプリント基板を作成した。

プリント基板の作成にも、付属のソフトウェアである iModela Creator を用いた。iModela Creator には、指定した折れ線や曲線で構成される経路上を一定の深さまで「彫る」機能がある。配線したい部分の周囲を「彫る」で切り離し、それ以外の部分はベタアースとして残すことにより、回路パターンを作成した。

作成する基板は、センサではなく、それよりやや複雑な回路構成となる、オペアンプを使ったヘッドフォンアンプを題材とした。部品点数は 17、穴あけは 48 カ所である。

部品の配置は、高級オーディオアンプで見られるように、左右のチャンネルで対称となるようにし、音質に配慮したレイアウトとした。オペアンプは IC ソケットで取り換え

ることができ、その違いによる聴き比べも可能である。

図 5 に、iModela Creator による基板図面を、図 6 に作成した基板と完成したヘッドフォンアンプを示す。

## 3. 情報機器の省エネに求められるセンサ

サーバに代表される情報機器の効果的な省エネルギー化を図るためには、それらのエネルギーに関する諸量を測定する必要がある。具体的には、消費電力と温度の測定が重要となる。本章では、情報機器のエネルギー諸量を計測するために必要となるセンサ、ならびに計測器はどのようなものであるかを説明する。そして、そのセンサとして著者の属する研究グループが提案した内蔵センサによる測定方式を紹介する。

### 3.1 情報機器の電力計測

ある機器が消費する電力は、その機器に印加した電圧とそこに流れる電流の積を計算することによって計算できる。直流で動作する機器の場合は、まさしくそのとおりで、デジタルマルチメータ（いわゆるテスタ）を用いて電圧と電流を測定すれば簡単に求めることができる。

また、白熱電球などの家電製品においては、商用電源電圧が 100V で一定であるとの仮定が妥当であれば、クランプセンサなどで電流を計測し、電流値に 100 を乗じることによって簡単に電力を求めることができる。

しかし、情報機器をはじめとする昨今の電子機器では、そこに流れる電流はひずみ波であり、電流計で得られた値に電源電圧を乗じた値は、実際の消費電力とは一致しないことが多い。

電源電圧に電流を乗じた値に対する、実際の消費電力の比を力率という [26]。情報機器では力率が 0.6 から 0.9 程度のものであり、それは機器ごとに異なる値となる。また、同一の機器であっても動作条件によって力率は変化する。

以上のことから、情報機器が消費する電力を精度よく測定するためには、ひずみ波形に対応した電力計を使用することが望ましい。

また、市販されている電力計の中には、その誤差範囲や測定精度が示されていないものがある。このような測定器を用いることは、その測定の信頼性を大きく損ねることになる。電力量計の規格である JIS C 1211 では、力率が 0.5 までの場合の誤差は 2.5% 以下であることが求められている。サーバ室などでの測定では、そこまでの精度は不要かもしれないが、用いる計測器の誤差範囲などを確認しておくことが望ましい。既存研究 [6], [9] では、十分な精度を持つ測定器が使われたことが報告されている。

### 3.2 情報機器の温度計測

温度測定方法の規格である JIS Z 8704 によると、情報機器を含む一般的な工業向けの応用では、温度計測の誤差を  $\pm 2$  度程度に抑えることが望ましいとされている。現在、広く使われている温度計は、この要求事項を満たしていると考えてよい。もちろん、温度計についても、その計測結果の信頼性を損ねないように、測定に使用したものの誤差範囲や精度を確認しておく必要がある。

### 3.3 内蔵センサによるエネルギー諸量の計測

最近市販されている情報機器には、さまざまなセンサが内蔵されている。著者の属する研究グループでは、これらのセンサを用いることにより、新たに測定機器を導入することなしに、コストをかけずに消費電力や温度を計測する方式を提案し、その精度も実用上問題がないことを示した。

著者の研究室では、3 台のサーバと 2 台のクライアント PC を動かしており、それらを停電から保護するため、無停電電源装置 (UPS: Uninterruptible Power Supply) に接続している。この UPS は APC (シュナイダーエレクトリック) 社の Smart-UPS 750 RM である。この UPS には、温度センサと電力センサが内蔵されている。これらのセンサを用いて、温度と消費電力の計測を行った。その結果を図 7 と図 8 に示す。

室温の計測は 2013 年 3 月 20 日から 5 月 15 日まで行い、一日ごとに最低気温と最高気温を図 7 に図示した。この期間は、寒暖を繰り返しながら気温が上昇していく時期であり、図 7 にはそのとおりの結果が現れている。

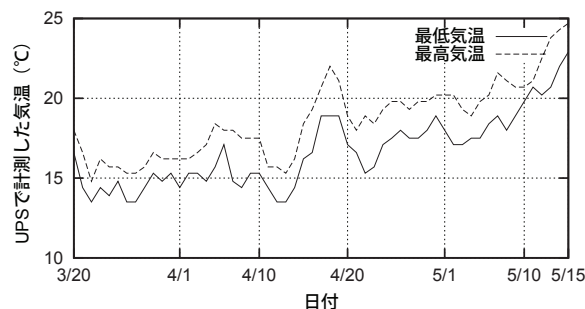


図 7 Smart-UPS 750 RM で測定した室温

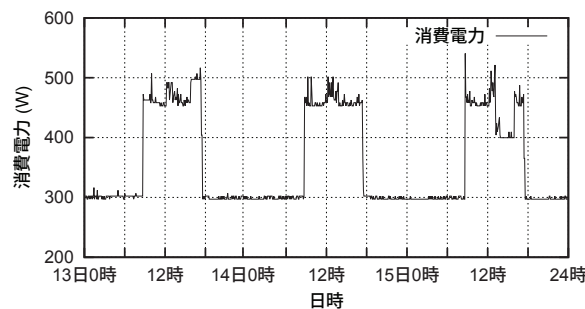


図 8 Smart-UPS 750 RM で測定した消費電力

図 8 は、UPS に接続した 5 台の計算機の消費電力の合計値の変化を、2013 年 5 月 13 日から 15 日までの 3 日間記録したものである。2 台のクライアント PC は、出勤してから退勤するまでの間だけ動かしている。クライアント PC を動かしている時間帯は、それ以外の時間帯と比較して 180W 程度消費電力が増えている。このことから、2 台のクライアント PC の合計消費電力は変動があるもののおよそ 180W であることがわかる。15 日の午後、UPS が示す消費電力が 400W 程度となっている期間があるが、これは Windows Update にともない、片方の PC を停止した時間帯である。3 台のサーバは 24 時間連続運転をしており、これらの消費電力は 300W でほぼ一定であることがわかる。

## 4. マイコンボードを用いたセンサの設計

情報機器に内蔵されたセンサでは測定できないデータを収集するために、安価なセンサ IC とマイコンボードを用いたセンサを新たに製作することにした。用いたマイコンボードはオープンソースハードウェアとして知られる Arduino UNO R3 である [27], [28], [29], [30], [31]。

このマイコンボードには、6 チャンネルのアナログ入力ポートがある。このアナログ入力に各種センサ IC を接続することにより、さまざまなセンシングが可能となる。本章では、これを利用した温度センサと電力センサを紹介する。

用いたセンサ IC を図 9 に示す。左から順に、温度センサであるナショナルセミコンダクタ社の LM35DZ [32]、同じ

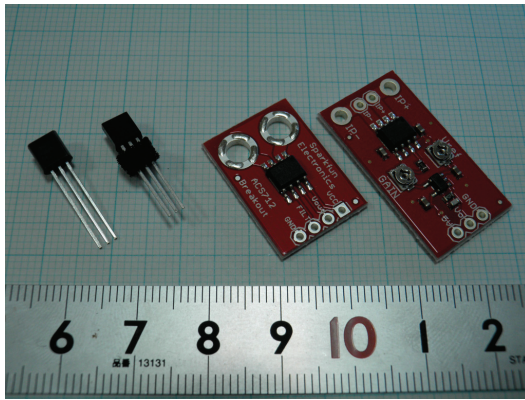


図 9 温度センサと電流センサ

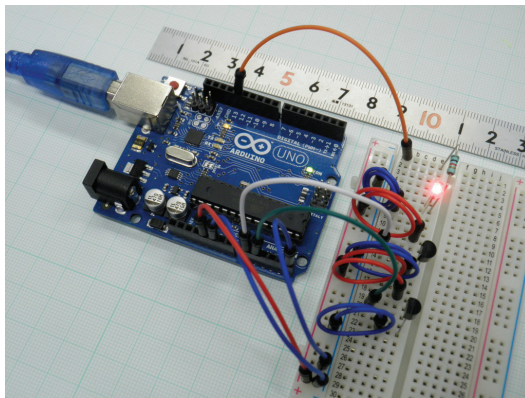


図 10 Arduino と LM35, TMP36 による温度計測回路

く温度センサであるアナログデバイズ社の TMP36[33]、ホール素子を用いた電流センサである Allegro 社の ACS-712[34]、同じく電流センサの次段にプリアンプを接続した高感度型の電流センサである。

いずれのセンサ IC も温度や電流といった測定対象に比例した電圧をアナログ値で出力するものである。これらの IC を Arduino UNO R3 のアナログ入力に接続し、A/D 変換した値に比例定数を乗じることによって、温度や電流値を得ることができる。その値は、Arduino UNO R3 の USB インターフェイスを経由してサーバに送信し、サーバ側でこれを蓄積することにした。

#### 4.1 温度センサの製作

図 10 に温度センサと Arduino UNO R3 を接続した回路を示す。この回路では、電子回路のラピッドプロトタイプングに使われるブレッドボード（ソルダレス・ブレッドボード）を用いた。実際に長期間にわたって温度計測を実施するには、ブレッドボードでは信頼性に問題がある。この回路は 2 章で紹介したプリント基板 CAD や 3D 切削加工機をもちいてプリント基板に回路を作成し、しっかりとしたシャーシに収納する予定である。なお、図 10 では LED が点灯しているが、これはマイコンボードの動作を確認するためのもので、1 秒周期で点滅させている。

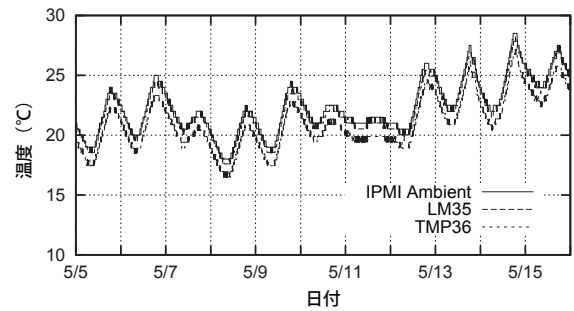


図 11 内蔵センサと LM35, TMP36 による温度計測

図 10 の温度センサが正しく動作していることを検証するために、サーバに内蔵されている温度センサとの比較を行った。その結果を図 11 に示す。測定した期間は 2013 年 5 月 5 日から 5 月 15 日までの 11 日間である。測定対象は著者の自宅に設置したサーバに内蔵されたセンサ（図 11 の IPMI Ambient）と、その部屋の室温である。それぞれの温度の差は、温度センサの誤差範囲内に収まっていることがわかる。

Arduino UNO R3 の A/D 変換回路は 10 ビットの分解能を持っている。入力電圧範囲は 0V から電源電圧である 5V までである。このため、アナログ入力の分解能は、5V を 1024 で割った値である 4.88mV である。

温度センサに用いた LM35DZ も TMP36 も計測した温度と出力電圧の比例定数は  $0.1\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{mV}$  ( $10\text{mV}/^{\circ}\text{C}$ ) である。このため、A/D 変換後の温度の分解能は  $0.488\text{ }^{\circ}\text{C}$  である。分解能が不足する用途では、温度センサ IC の出力を利得が 5 倍から 10 倍程度のプリアンプで増幅すればよい。そのような回路はオペアンプを用いることにより簡単に製作できる。プリアンプを用いれば、温度分解能を  $0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$  や  $0.05\text{ }^{\circ}\text{C}$  未満に改善することができる。この程度の回路であれば、2 章で紹介したヘッドフォンアンプよりも単純な回路で構成でき、やはり 2 章で紹介した 3 次元加工機で容易に作成可能である。

#### 4.2 電力センサの設計

電力を計測するためには、負荷である情報機器に流れる電流と印加している電圧の瞬時値を適切なサンプリングレートで A/D 変換し、積分を積和で計算することが求められる。

Arduino UNO R3 のアナログ入力の最高サンプリングレートは、実測したところおよそ  $110\mu\text{s}$  であった。50Hz あるいは 60Hz の商用電源電圧と負荷電流を精度よく計測するためには、波形ひずみの影響を考慮して、十分なサンプリングレートで A/D 変換する必要がある。

情報機器に流れる負荷電流はひずみ波形となるが、そのようなひずみ波形では、高調波成分はその次数が高くなるにつれ、小さくなっていく。仮に 60Hz のひずみ波形を 10

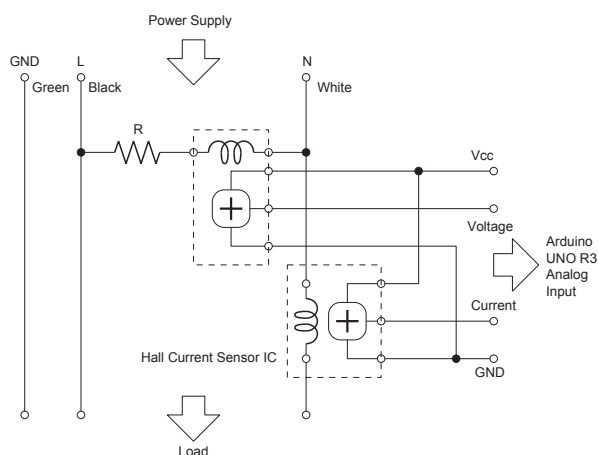


図 12 ホールセンサ IC を用いた電力計測回路

次高調波 (600Hz) まで測定するとすれば、サンプリング周波数は 1.2kHz とする必要がある。このときのサンプリングレートは  $833\mu\text{s}$  である。

Arduino UNO R3 のアナログ入力には、サンプルアンドホールド回路が入っており、この回路で用いられているコンデンサに蓄積されている電圧は、測定の誤差要因となりうる。そこで、電圧ならびに電流をアナログ入力で処理する際には、この蓄積された電圧を放電する処理が必要となる。

そのためには、アナログ入力の一つを 0V (GND) に接続し、計測したい電圧あるいは電流を入力する前に、0V に接続されたアナログ入力の値を空読みすればよい。

このため、電圧と電流の一組のデータをサンプリングするためには、0V の空読み、電圧のサンプリング、0V の空読み、電流のサンプリングという処理が必要となる。前述のとおり、Arduino UNO R3 のサンプリングレートはおおよそ  $110\mu\text{s}$  であり、一連の動作にはおおよそ  $450\mu\text{s}$  を要する。これは、10 次高調波成分を考慮したサンプリングレートである  $833\mu\text{s}$  の半分程度であり、Arduino UNO R3 で十分な処理が可能であることを示している。

電力の計測のために図 12 の回路を設計した。電圧の計測は商用電源の L 側 (電圧が印加されている側) と N 側 (中性線: 電源側で接地されており、電圧が印加されていない側) の間に数 kΩ 程度の抵抗  $R$  とホールセンサ IC の電流端子を直列に接続したものをを用いる。電圧はこの  $R$  に流れる電流としてホール素子で検出する。電流は中性線に流れるものを検出する。ホールセンサ IC そのものは、電流入力端子とホール素子が絶縁されており、Arduino 側の端子に触れても感電や漏電の危険はない。

また、電源端子に接地極付きの 3 極コンセントを用いることにより、ホールセンサ IC は必ず中性線側に接続できる。このように安全性に配慮したセンサを製作すれば、だれもが安心して電力を計測することができる。

Arduino UNO R3 には 2k バイトしかメモリが搭載され

ていない。そのため、電流、電圧のそれぞれについて 150 サンプル程度しかデータを取得することはできない。それでも、10 次高調波成分を考慮しても 3 周期分のデータを取得することができる。実際に電流と電圧の瞬時値を取得し、そこから電圧と電流のそれぞれの実効値、平均値、高調波ひずみ率、有効電力、皮相電力、力率などを計算するプログラムを作成する予定である。もちろん、回路についても基板 CAD と 3 次元加工機を用いて今後作成する。シャーシは樹脂性のものとなるが、これは逆に感電などの危険を防止する観点からは非常に有用である。

## 5. まとめと今後の課題

本稿では、サーバ室などで利用できる電力センサならびに温度センサの設計と試作、そして、それらを製作する道具として 3D 切削加工機を紹介した。センサは設計、あるいはブレッドボードを用いた試作段階であるが、既存研究で用いられているものよりずっと低コストで製作できる。

3D 切削加工機についても、センサの製作に利用可能であることを調査した段階ではあるが、十分な機能と性能を有していることがわかった。本稿で紹介したものよりも精密な加工を行う場合は、サードパーティ製の専用工具が必要であることもわかった。

今後、実際に 3D 切削加工機を用いてセンサと周辺部材を作成し、センサによる計測を行う予定である。センサ IC そのものは、そのデータシートにより十分な精度を持っていることがわかっているが、実際にマイコンボードと組み合わせ、実運用した段階でも十分な性能を有することを確認する必要がある。

本稿で紹介した温度センサと電力センサは、それぞれブレッドボードによる試作と、回路図ならびに必要なプログラムの検討までしかできていないが、これらはプリント基板 CAD である KiCad と 3D 切削加工機を用いて実用品を作成する予定である。そして、これらのセンサをだれでも自作できるように必要なデータは公開する。

まずセンサを数個作成し、試験運用を行ったのち、実際のサーバ室などに配置し、継続的に計測データを蓄積、検証する予定である。

## 参考文献

- [1] 電力需給に関する検討会合：2013 年度夏季の電力需給対策について (online), 入手先  
[http://www.kantei.go.jp/jp/singi/electricity\\_suply/20130426/taisaku.pdf](http://www.kantei.go.jp/jp/singi/electricity_suply/20130426/taisaku.pdf) (参照 2013-05-16).
- [2] 関西広域連合：今夏の電力需給対策について (online), 入手先  
[http://www.kouiki-kansai.jp/data\\_upload/1366884150.pdf](http://www.kouiki-kansai.jp/data_upload/1366884150.pdf)
- [3] 石島 梯, 平松 初珠, 山東 悠介, 岩田 晋弥: 内蔵センサを活用した情報機器の消費エネルギー計測手法, 情報処理学会論文誌, Vol. 54, No. 3, pp. 1120-1130, 2013.
- [4] 石島 梯, 平松 初珠, 山東 悠介, 岩田 晋弥: CPU クロッ

- ク制御によるサーバのピークエネルギー消費削減の試み, 情報処理学会研究報告, Vol. 2012-IOT-19, No. 10, pp. 1-6, 2012.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] 松井 加奈絵, 石原 知洋, 池上 洋行, 落合 秀也, 砂原 秀樹: イベント会場における消費電力データの計測実験方法に関する一考察, 情報処理学会研究報告, Vol. 2013-IOT-21, No. 1, pp. 1-3, 2013.
- [10] クリス・アンダーソン: MAKERS 21世紀の産業革命が始まる, NHK 出版, 2012.
- [11] 田中 浩也: FabLife—デジタルファブリケーションから生まれる「つくりかたの未来」, オライリージャパン, 2012.
- [12] 中本 貴之: 金属 RP による微細・複雑形状の造形事例, 大阪府立産業技術総合研究所テクニカルシート, No. 07009, 2007 (online), 入手先  
 <<http://www2.tri-osaka.jp/trics/TechnicalSheet/download.do?no=7009>> (参照 2013-05-16).
- [13] 吉川 忠作: プラスチック・ラビッドプロトタイプング装置, 大阪府立産業技術総合研究所テクニカルシート, No. 08007, 2008 (online), 入手先  
 <<http://www2.tri-osaka.jp/trics/TechnicalSheet/download.do?no=8007>> (参照 2013-05-16).
- [14] ルナヴァースト: Lunavast PrusaV2 3D プリンターキット (online), 入手先  
 <<http://lunavast.com/?pid=49936789>> (参照 2013-05-15).
- [15] ローランド ディー. ジー. 株式会社: 無限の想像力をカタチに iModela iM-01 発表 (online), 入手先  
 <[http://www.rolanddg.co.jp/news/2011nr1005\\_imodela.html](http://www.rolanddg.co.jp/news/2011nr1005_imodela.html)> (参照 2013-05-16).
- [16] PCB ミリング: 基板加工機・超硬エンドミル・改造部品販売 (online), 入手先  
 <<http://www.pcbmilling.biz/>> (参照 2013-05-16).
- [17] 株式会社エーティ: WINSTAR PCB for iModela (online), 入手先  
 <[http://www.a-t.co.jp/winstarpcb\\_imode.html](http://www.a-t.co.jp/winstarpcb_imode.html)> (参照 2013-05-16).
- [18] 道間 健一, 服部 武司: 実習・3D 切削加工機 (iModela) によるプリント基板製作の勘所, CQ 出版社エレクトロニクスセミナー, No. ES12-0151, 2013.
- [19] 須原 誠司: この 1 台で 0.1mm 精度の穴あけ, 樹脂の削り出し, 文字入れが可能にケースも部品も基板も! ホーム切削機械 iModela 活用, エレキジャック, No. 23, CQ 出版, 2012, pp. 69-73.
- [20] 須原 誠司: コンパクト 3D 切削マシンで作る My プリント基板, CQ 出版, 2013.
- [21] 渡辺 明禎: プリント基板 CAD EAGLE でボード作り, CQ 出版, 2013.
- [22] 後閑 哲也: EAGLE によるプリント基板製作の素, 技術評論社, 2009.
- [23] KiCad: KiCad EDA Software Suite (online), available from <<http://www.kicad-pcb.org/display/KICAD/KiCad+EDA+Software+Suite>> (accessed 2013-05-16).
- [24] kicad.jp: オープンソースの PCB CAD 『KiCad』の日本ユーザ コミュニティ, 入手先  
 <<http://kicad.jp/>> (参照 2013-05-16).
- [25] つちや 裕詞, 米倉 健太: タダのツールでプロっぽく! 宅配ピザみたいにネットで注文自宅です印刷基板が作れる時代がきた!, トランジスタ技術, Vol. 50, No. 5, CQ 出版, 2013, pp. 86-90.
- [26] 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.
- [27] Arduino: Arduino is an open-source electronics prototyping platform based on flexible, easy-to-use hardware and software. (online), available from <<http://arduino.cc/>> (accessed 2013-05-16).
- [28] 山之上 卓, 小田 謙太郎, 下園 幸一: Arduino と Android と Wiki を使ったセンサネットワークシステム, 情報処理学会研究報告, Vol. 2012-IOT-19, No. 1, pp. 1-6, 2012.
- [29] Arduino: Arduino UNO (online), available from <<http://arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardUno>> (accessed 2013-05-16).
- [30] 神崎 康宏: Arduino で計る, 測る, 量る, CQ 出版, 2012.
- [31] 高橋 隆雄: たのしい電子工作 Arduino で電子工作をはじめよう!, 秀和システム, 2011.
- [32] National Semiconductor: LM35 Precision Centigrade Temperature Sensors (online), available from <<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm35.pdf>>(accessed 2013-05-15).
- [33] Analog Devices: Low Voltage Temperature Sensors TMP35/TMP36/TMP37 (online), available from <[http://www.analog.com/static/imported-files/data\\_sheets/TMP35\\_36\\_37.pdf](http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/TMP35_36_37.pdf)> (accessed 2013-05-15).
- [34] Allegro MicroSystems, LLC: ACS712: Fully Integrated, Hall-Effect-Based Linear Current Sensor IC with 2.1 kVRMS Voltage Isolation and a Low-Resistance Current Conductor (online), available from <<http://www.allegromicro.com/Products/Current-Sensor-ICs/Zero-To-Fifty-Amp-Integrated-Conductor-Sensor-ICs/ACS712.aspx>> (accessed 2013-05-15).