

論文

環境モニタリングシステムにおける 間欠動作技術を用いた省電力効果

遠藤 真明 諏訪 敬祐

フィールドサーバ（以下 FS）とは、遠隔地の自然環境や画像をモニタリングする装置である。一定時間間隔でデータサーバが FS にアクセスし、センサーデータ及び画像データを取得し、サーバ内に保存し、Web 配信する。FS では、屋外での使用を前提としたときの電源の確保が大きな課題である。そのため、本研究では、FS を太陽光発電によって動作可能にするための省電力化技術として、間欠動作を適用した場合の省電力効果を明らかにした。電源制御装置を製作し、FS の電源を制御することによって、最大 73%の省電力化を実現し、一般のカーバッテリーで最低3日間の単独動作が可能であるという結果を得た。

キーワード：環境，モニタリング，太陽光，発電，フィールドサーバ，省電力

1 はじめに

遠隔地の自然環境や画像のモニタリングを可能とする FS の装置内には、温度・湿度・日射等を計測するためのセンサー類や、植物の生育状況などを観察することのできるネットワークカメラを搭載している。武蔵工業大学横浜キャンパス内ネットワークへは無線 LAN で接続し、データ収集サーバへの観測データの送信を可能にしている。FS の主な設置場所としては、本学横浜キャンパス保全林（森林）・畑・草原等であるが、周りに十分な電源を供給する場所が少ない。しかし、ソーラーパネルとバッテリーを用いると上記課題を解決することができる。バッテリーは標準規格になっているので、海外でも調達可能であり、モニタリング装置の継続的な稼働が容易である。

FS は、図1のように FS の電源管理を行う電源基盤、画像を取得するためのネットワークカメラ、各種センサーの制御やネットワークカメラの電源制御などを行う PICNIC (Peripheral Interface Controller Network Interface Card)、及びネットワークカメラと PICNIC を無線 LAN に接続するためのイーサネットコンバータから構成される。これらは、データサーバが気象データと画像データの取得を行うとき、全ての電源が ON になり、無線 LAN の回線と接続され、動作状態となる。

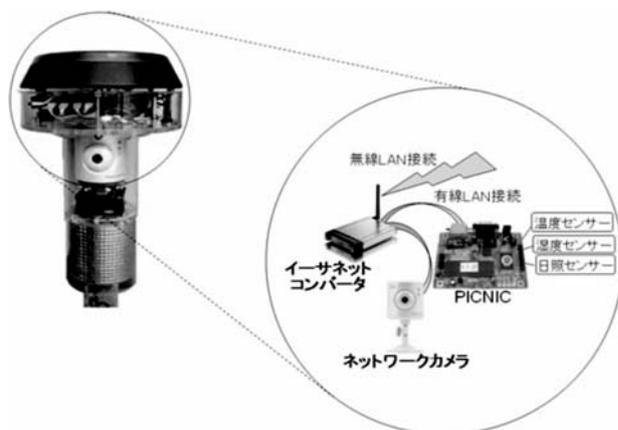


図1 FSの構成

2 間欠動作制御回路

従来の FS の電源周りの構造を図2に示す。この電源構造では、PICNIC とイーサネットコンバータは常時電源が

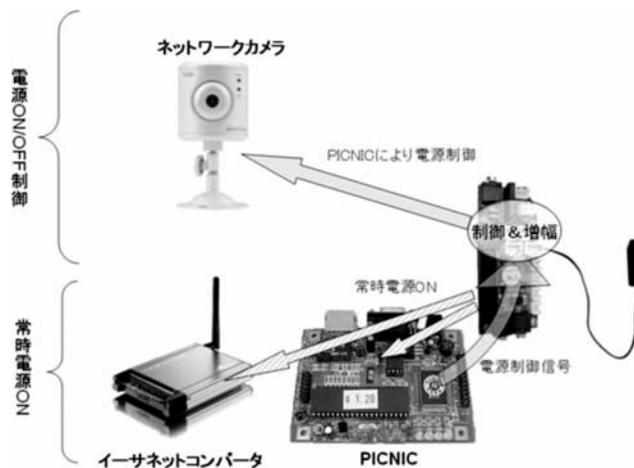


図2 従来のFS電源構造

ENDO H Masaaki
武蔵工業大学環境情報学部情報メディア学科 2005 年度卒業生
SUWA Keisuke
武蔵工業大学環境情報学部情報メディア学科教授

ON になっており、ネットワークカメラは PICNIC による電源制御が可能になっている。しかし、ネットワークカメラの PICNIC による電源制御は自動制御ができないため、PICNIC のポートの入出力設定を Web ブラウザ上で手動により制御を行わなくてはならない。この構造だと FS 全体の電源を制御して間欠動作を行うのは困難である。

本研究では、FS を間欠動作させるため図 3 に示す RTC (Real Time Clock) 搭載電源制御装置を製作した。この装置は、電源を入ると RTC が自動的に 1 秒単位で時を刻み、指定した時刻になると PIC (Peripheral Interface Controller) の 5V 電源出力を ON/OFF するようになってい。さらに、この装置には、FS の電源が切断されても RTC 内のタイマーが初期化されないように、予備バッテリーにてタイマーを保護する機能が付いている。この電源制御装置を FS 内の電源基盤に接続することにより、FS の間欠動作を可能にした。電源制御装置を使用したときの電源構造を図 4 に示す。

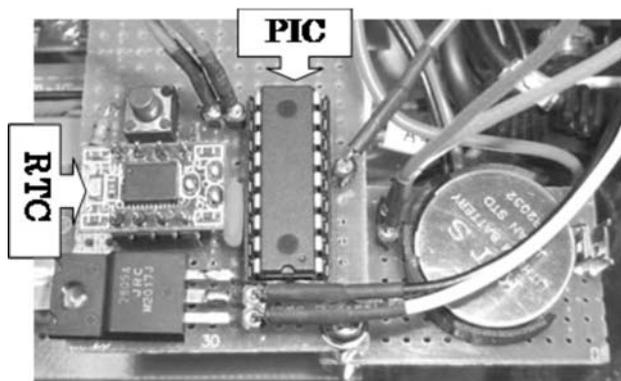


図 3 RTC 搭載電源制御装置

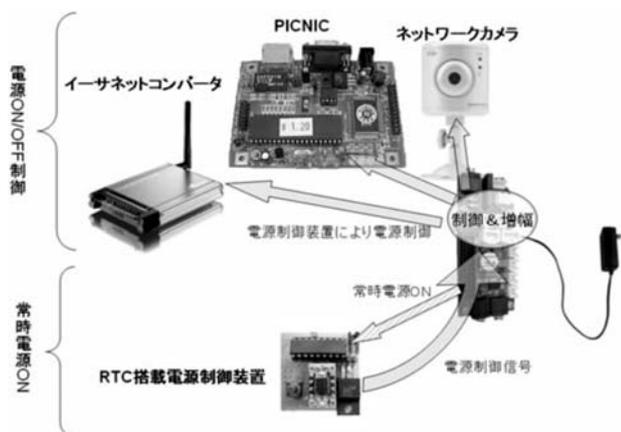


図 4 電源制御装置搭載時の FS 電源構造

電源制御装置は図 5 のフローチャートのように動作する。

①FS に AC アダプタを接続すると、RTC の電源が ON になる。

- ②電源制御装置に搭載された PIC が RTC の初期化 (クリア) を行う。同時に FS の電源を OFF にする。
- ③RTC が自動的に 1 秒ずつカウントアップする。
- ④PIC では常に RTC のカウントを監視しており、FS 電源 ON の設定時刻かの判断を行う。設定時刻でなかったら何もせず、FS の電源を OFF にしたまま監視を続ける。
- ⑤もし、④で FS 電源 ON の設定時刻だったら PIC が FS の電源を入れる。
- ⑥RTC が自動的に 1 秒ずつカウントアップする。
- ⑦FS 電源 OFF の設定時刻かの判断を行う。設定時刻でなかったら何もせず、FS の電源を ON にしたまま監視を続ける。
- ⑧もし、⑦で FS 電源 OFF の設定時刻だったら PIC が FS の電源を切り、③へ戻る。

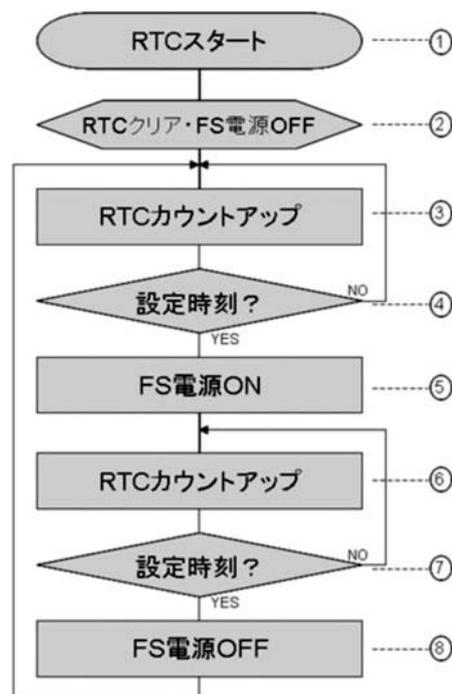


図 5 電圧制御フローチャート

基本的に RTC の動作は無限ループであり、常に時間を刻み続ける。現在時刻が、設定時刻か否かの判断や、FS の電源 ON/OFF 制御に関しては、電源制御装置に搭載されている PIC で行っている。

3 実験概要

3.1 間欠動作比率に対する積算消費電力の測定

FS を既存の設定で動作させたときと、RTC 搭載電源制御装置の PIC のプログラムを書き換えて様々な時間間隔で間欠動作させたときについて、積算消費電力を測定した。ここで、積算消費電力は、一定時間内の消費電力の累積値である。RTC 搭載電源制御装置の PIC には、10 分

間中何%の時間割合で電源を ON にして動作をさせるかをプログラミングする。実験によれば、データサーバから FS へのアクセスは一瞬なので、無線 LAN のリンク接続の時間を含め FS の電源が入ってから 2 分あればデータの蓄積に支障はない。よって、計測間隔は 10 分間中 20% (2 分間) 動作から 10% (1 分間) ずつ増やしていき、10 分間中 100% (10 分間：連続) 動作までとする。それぞれの状態で 24 時間動作させたときの積算消費電力を測定する。

積算消費電力の計測には、図 6 のワットアワーメータ SHW3A を用いた。この計測器は、コンセントと FS の AC アダプタとの間に接続して使用し、1W 単位で積算消費電力を計測できる。積算消費電力計で計測される電力は AC アダプタの積算消費電力と FS の積算消費電力の和である。



図 6 間欠動作比率に対する積算消費電力実験の概要図

3. 2 間欠動作比率に対する動作時間の測定

まず、電源として満充電したカーバッテリー (電圧 13V, 5 時間容量 28Ah) を用いる。FS に実装されている RTC 搭載電源管理装置は間欠動作比率 100% になるように設定しておく。図 7 のようにバッテリー電圧ロガーをカーバッテリーの正負両端子に接続し、続いて FS を出力電圧ロガーに接続する。そして、それぞれをパワーコントローラに接続し、FS の動作を開始させ、出力電圧ロガーの電圧値が 13V になったとき、実験を開始する。その後、出力電圧ロガーの電圧値が 11.5V を下回ったときを実験終了とし、総動作時間を記録する。計測間隔は前実験と同様、10 分間中 20% (2 分間) 動作から 10% (1 分間) ずつ増やしていき、10 分間中 100% (10 分間：連続) 動作までとする。電圧ロガーは日置電機株式会社のデータミニシリーズ 3635-06 を使用した。実際の実験風景を図 8 に示す。

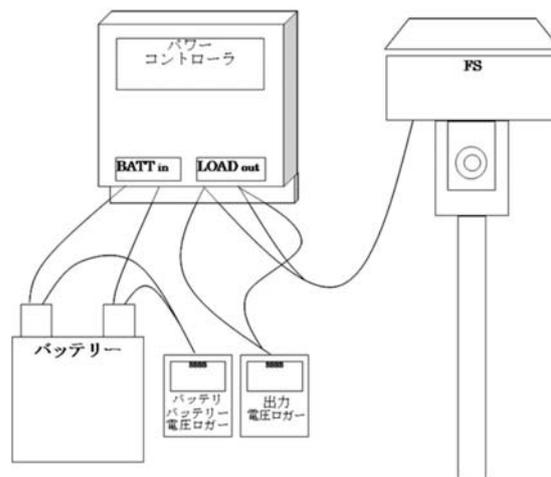


図 7 動作時間測定の実験概要図

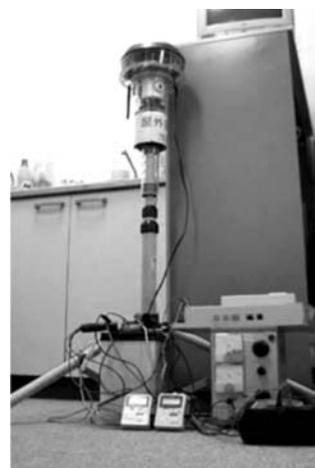


図 8 実験風景

4 実験結果

4. 1 間欠動作比率に対する積算消費電力の測定

間欠動作比率に対する 24 時間の積算消費電力を図 9 に、100% 動作時の積算消費電力を基準としたときの間欠動作比率に対する電力削減率を図 10 に示す。図 9 の理論値は以下のようにして求めた。

《積算消費電力理論値の算出方法》

まず FS 本体の 1 時間あたりの積算消費電力は、事前の実験から以下のとおりである。

- FULL 動作時…9.3Wh
- スリープ (電源制御装置のみ ON) 時…0.2Wh
- AC アダプタ…0.7Wh

例えば、間欠動作比率 (FULL 動作している時間の割合) が 20% の時は、10 分間中 2 分間は FULL 動作し、8 分間はスリープ状態になる。よって 10 分間の積算消費電力 P_1 (Wh) は式 (1) となる。

$$P_1 = (9.3 \div 60 \times 2) + (0.2 \div 60 \times 8) \dots\dots (1)$$

実際はFSにACアダプタを接続して実験を行うので、ACアダプタの消費電力を加算する必要がある。その時の積算消費電力 P_2 を式(2)に示す。

$$P_2 = (9.3 \div 60 \times 2) + (0.2 \div 60 \times 8) + 0.7 \div 6 \dots\dots (2)$$

そして、24時間動作させた時の積算消費電力 P_3 の理論値は式(3)のようになる。

$$P_3 = \{(9.3 \div 60 \times 2) + (0.2 \div 60 \times 8) + 0.7 \div 6\} \times 6 \times 24 \dots\dots (3)$$

式(3)より、間欠動作比率を α (小数值)とした時の、間欠動作比率に対する24h積算消費電力 P_4 の理論値は、式(4)で求めることができる。

$$P_4 = [(9.3 \div 60 \times \alpha \times 10) + \{0.2 \div 60 \times (10 - \alpha \times 10)\} + 0.7 \div 6] \times 6 \times 24 \dots\dots (4)$$

図9及び図10より、間欠動作比率20%としたときの積算消費電力は、間欠動作をしない時(間欠動作比率100%時)の積算消費電力より、73.2%削減ができた。さらに間欠動作比率を小さくすれば電力削減率が上がると思われたが、20%未満になると、無線LANのリンク接続が間に合わなくなり、極端にデータの取得が難しくなるので、測定は行っていない。

実験より、ほぼ理論値どおりの結果が得られた。間欠

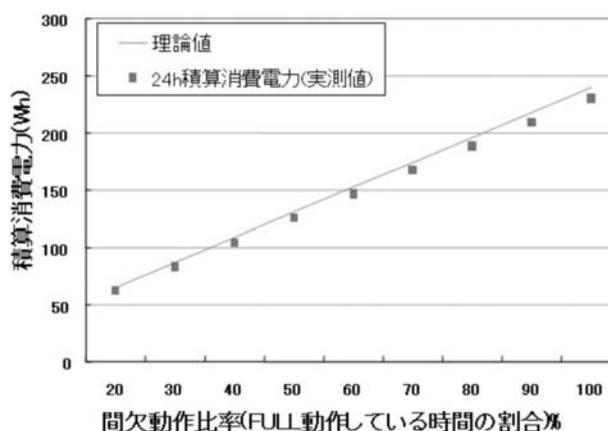


図9 間欠動作比率に対する24h積算消費電力

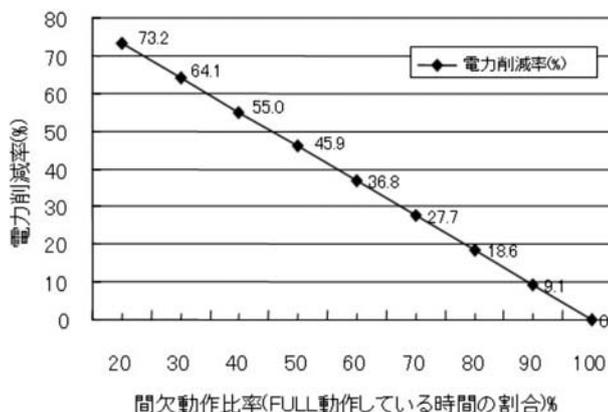


図10 間欠動作比率に対する電力削減率

動作比率を大きくするにつれて、理論値と実測値の差が大きいのは、積算消費電力計SHW3Aの最小計測電力値が0.1Wであることによる測定誤差が原因であると考えられる。

4.2 間欠動作比率に対する動作時間の測定実験

間欠動作比率に対する動作時間の変化を図11に、非間欠動作時の時間を基準としたときの動作時間比率を表1に示す。図11の理論値は以下のようにして求めた。

《動作時間理論値の算出方法》

まず、式(4)をもとに、それぞれの間欠動作比率での24h積算消費電力を算出する。この実験では、ACアダプタを使用しないので、24h積算消費電力 P_5 は式(5)となる。

$$P_5 = [(9.3 \div 60 \times \alpha \times 10) + \{0.2 \div 60 \times (10 - \alpha \times 10)\}] \times 6 \times 24 \dots\dots (5)$$

式(5)より、定格電圧(12V)で除算し電流Iを算出する式は式(6)となる。

$$I = P_5 \div 12 \dots\dots (6)$$

次に、実験で使用するカーバッテリー(電圧13V、5時間率容量28Ah)の能力の何割までを利用するかを決める必要がある。バッテリーはその種類によって利用してよい割合、つまり、「何割までなら使用しても、充電して元の状態に復帰することができるか」という性能条件が決まっている。このバッテリーの場合、5割とする[1]。つまり、カーバッテリーが満充電時に供給電源無しの状態でFSを動作させることのできる時間Tは式(7)のように導き出せる。

$$T = 28 \times 0.5 \div I \times 24 \dots\dots (7)$$

式(7)より、各間欠動作比率に対する動作時間の理論値を算出した。

図11及び表1より、間欠動作比率を20%としたときは、非間欠動作時の動作時間に比較し、約3.6倍となった。この場合、完全無日照時のFS動作時間はおよそ3日

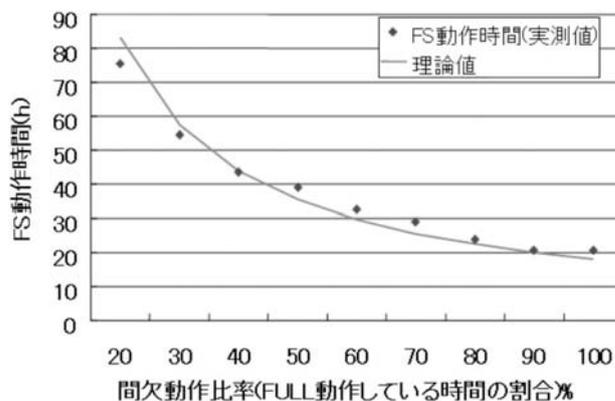


図11 間欠動作比率に対する動作時間

表1 非間欠動作時の動作時間を基準とした動作時間比率

間欠動作比率	FS 動作時間(h)	動作時間比率
20%	75.3	3.6 倍
30%	54.7	2.6 倍
40%	43.5	2.1 倍
50%	38.9	1.9 倍
60%	32.5	1.6 倍
70%	29.1	1.4 倍
80%	23.9	1.2 倍
90%	20.8	1.0 倍
100%	20.7	1.0 倍

となる。また、間欠動作比率90%としたときは、非間欠動作時の動作時間とほぼ一致した。これは、無線のリンク接続を開始するときに、比較的大きな電力を必要とすることが要因であると考えられる。

この結果から、FSを間欠動作比率20%で間欠動作させた場合、天候の悪い日が3日ほど続いても、ソーラーパネルとバッテリーで単独動作させることが可能であることが明らかとなった。

5 間欠動作による環境モニタリングシステムの運用結果

本研究を進めるにあたり、一番重要な点は、本来の目的である観測データの取得が正常に行われるか、ということである。本研究で間欠動作を行い、消費電力を大幅に抑えることができたとしても、データの取得が正常に行われなければならない。間欠動作比率20%時の観測データの取得状況を図12に示す。無線LANのリンクアップが間に合わず、連続したデータの取得ができていないこ

07:00	21.87	19.76	22	0
07:10	21.45	19.34	21	0
07:20	21.45	19.76	22	0
07:30	21.03	19.76	20	1
07:40	21.45	19.76	23	1
08:00	22.29	19.76	21	0
08:10	22.71	19.76	20	1
08:20	22.29	19.76	22	0
08:30	22.29	19.76	22	2
08:40	22.29	20.18	21	1
08:50	22.29	19.34	21	2
10:00	22.29	20.18	21	2

図12 20%間欠動作時のデータ取得状況 (正常に行われなかった例)

データの取得が正常に行われず、データの欠損が生じている。

と分かる。運用試験を繰り返した結果、正常なデータの取得を可能にするためには、間欠動作比率を30%以上とすることが望ましいという結果が得られた。

現在は、図13のように、屋外で間欠動作をさせ、ソーラーパネルとバッテリーだけで単独動作をしている。また、屋外運用時の電圧変化を図14に示す。夜間や雨天時などは、ソーラーパネルによる発電が行えない。バッテリーの出力電圧が11.5Vを下回った時は、バッテリー保護回路により出力をOFFにすることが出来る。



図13 屋外での単独動作の様子

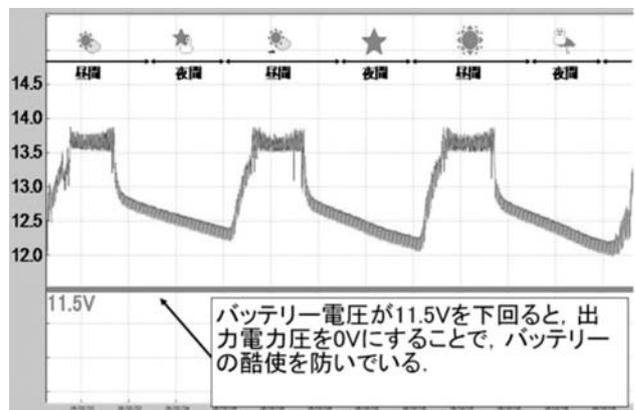


図14 屋外運用時の電圧変化

6 おわりに

本研究を通して、RTC搭載電源制御装置を使用し、FSの電源制御をすることによって、最大で73%の省電力化を実現した。一般のカーバッテリーでも最低3日間の単独動作が可能であるという結果が得られた。しかし、3日間という時間は梅雨の季節を考慮すると、不十分な動作時間である。また、冬季は日照時間が短く、太陽光で発電できる電力が少ない。よって、どのような外部環境においても安定動作をさせるのであれば、最低でも

3. 15A のソーラーパネル 2 枚, カーバッテリー (電圧 13V, 5 時間率容量 28Ah) 2 個を用いた太陽光発電システムを構築する必要がある。

また, バッテリーの容量はバッテリー電解液の温度によって大きく変化する。この実験は, 15°C~25°C と, バッテリーにとって良い環境下で行ったものである。この装置を屋外に設置して使用した場合は, 単独動作時間が短くなることが予測される。よって, 今後は様々な環境下での動作実験による評価及び解析が必要である。

謝辞

本研究は, 武蔵工業大学環境情報学部環境情報学科吉崎研究室と 2004 年度から共同で研究を進めたものである。討論, 実験に協力いただいた吉崎真司教授及び研究室諸氏に深く感謝する。

参考文献

- [1] 桜井薫 小針和久 角川浩, 「初めての太陽光発電～一枚のパネルから～」, パワー社出版, 1994. 6
- [2] 鈴木美朗志, 「たのしくできる C&PIC 実用回路」, 東京電機大学出版局, 2004. 9
- [3] 後閑哲也, 「C 言語による PIC プログラミング入門」, 株式会社技術評論社, 2005. 12
- [4] 舞鶴電脳工作室,
(<http://machidapc.maizuru-ct.ac.jp/machida/>)
- [5] 初心者のためのポイント学習 C 言語,
(<http://www9.plala.or.jp/sgwr-t/index.html>)
- [6] 信州大学 PIC マイクロコントローラ演習,
(http://cai.cs.shinshu-u.ac.jp/sugsi/Lecture/pic/d_top.html)
- [7] 共輪商会, (<http://www.kyorin1.co.jp/>)
- [8] 中央農業総合研究センター,
(<http://narc.naro.affrc.go.jp/>)
- [9] Microchip Technology Inc. 社,
(<http://www.microchip.com/>)
- [10] CSS, (<http://www.datadynamics.co.jp/ccs/picc.html>)
- [11] 趣味の電子回路工作,
(<http://www.hobby-elec.org/>)
- [12] 秋月電子通商, (<http://akizukidenshi.com/>)
- [13] TriState, (<http://www.tristate.ne.jp/>)