



のうち、どれか1つ以上の機能を実装している。システムを制御するコントローラは、1システム内で1台のみ、他は複数台存在できる。データの送受信は、データ・バスとハンドシェイク・バスとを使い、3線ハンドシェイクと呼ばれる方法を使用して、複数の機器と同時に通信できるように設計されている。第3のバスとして管理バスが用意されており、システムの管理に供される。

管理バスの信号は、5種類ある。ATN ( Attention ) は、データモードとコマンドのモードの切替えに使用される。REN ( Remote Enable ) は、各装置のリモート制御・ローカル制御の切り替えに使用される。IFC ( Interface Clear ) は、インターフェースのリセットに用いる。SRQ ( Service Request ) は、トーカーからコントローラの呼び出しに使用され、EOI ( End or Identify ) は、データ送信の終了を示す信号として使用される。前3者の信号はコントローラが出力し、後2者は主にトーカーが出力する。図2は、ATNとDAVと通信データの関係を示す。

図3は、3線ハンドシェイクのタイミングチャートを示す。リスナは、トーカーが発信するDAV ( Data Valid ) 信号の変化に合わせてハンドシェイク動作を行い、データを受信する。トーカーは、リスナが発信するNRFD ( Not Ready for Data ) 信号、NDAC ( Not Data

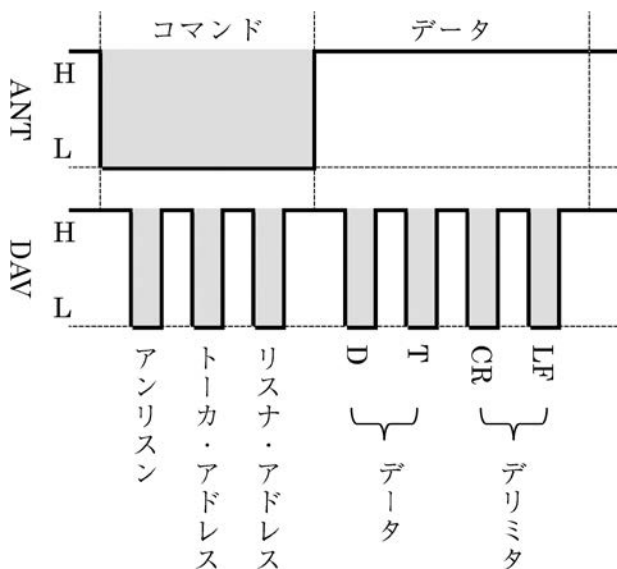


図2 データの転送

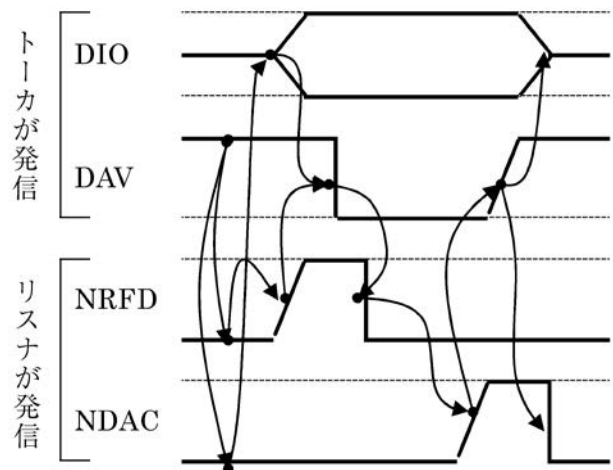


図3 3線ハンドシェイク

Accepted ) 信号の変化に合わせてハンドシェイク動作を行い、データを送信する。よって、トーカーは常にNRFD, NDAC の2つの信号を、リスナは DAC信号を監視している必要がある。

## 2.2 Ethernet<sup>2)</sup>

Internetに接続するための規格で、IEEEでは、IEEE 802.2やIEEE 802.3で規定されているSerialインターフェースである。HUBと呼ばれる機器を使用することで、事実上無制限の台数をスター接続できる。厳密に言うと、EthernetとIEEEの規格には細かな相違があるが、世間一般では同じものとして捕らえられ、Ethernetが通り名となっている。ここでも、Ethernetの規格に準じて、話を進めていく。また、Ethernetには数種類の規格が存在し、規格によってコネクタ形状が異なる。本学に限らず、一般的に広く普及しているInternetへの接続口はRJ-45タイプのコネクタである。すなわち、インターフェースは10Base-Tまたは100Base-TXに限定されるので、これに準じる。

図4は、この規格で使用されるUTP ( Unshielded Twist Pair ) ケーブルの結線図である。ケーブルは4組8線で構成されているが、実際には半分の2組4線しか使用されていない。信号線が少なくケーブルが細くなるため、可とう性は高く取り回しは良い。通信は、CSMA/CD ( Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection ) 方式が使用されている。これは、簡単に説明すると、

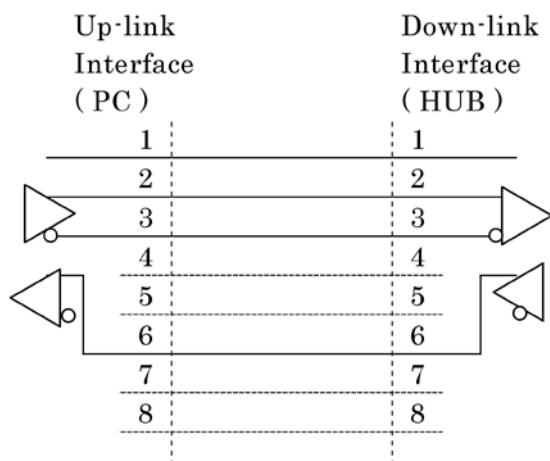


図4 UTPストレート・ケーブルの結線

- 1) データが通信されていないならば、全ての装置は通信可能である。
- 2) データの衝突が発生したら、再送信する。

と至って単純なルールに基づいている。一方で、衝突の検出とそれに関わる通信距離の制限や、再送信のタイミングの調整等の実装上解決せねばならない重大な問題を含む。

図5は、通信されるデータ(パケット)の内容を示す。Ethernetに接続される機器には、IEEE-488と同様、重複しない機器アドレス(MAC(Media Access Control)アドレス)が割り振られており、通信の際に相手を持定する情報として使用される。転送されるデータは、IP(Internet Protocol)パケット部に含まれ、そのサイズは最大1500バイトまでとなっている。よって、画像などに代表される大量のデータは、複数のパケットに細分化されたうえで送信される。

以上の様に、2つの規格の間には単なる8bit ParallelインターフェースとSerialインターフェースの違い以上に、大きな相違が存在する。アダプタは、この相違を効率的に変換することが求められる。

### 3. アダプタ仕様

本装置は、学生実験や卒業研究での使用に主眼を置いているため、各インターフェースは、即、使用出来るように必要最低限の機能のみを、環境に合わせて実装するものとする。つまり、本装置は各規格のサブセット実装となる。よって、産業分野での本格的な利用においては、機能の追加実装が要求される。設計においては、この点を念頭に置く必要がある。

#### 3.1 IEEE-488

将来への拡張も含め様々な機能が用意されている規格であるが、学生実験レベルで要求される基本的な機能<sup>3)</sup>として、コントローラ側から見た場合、以下のものを実装する。

- 1) インターフェースクリア  
接続されている全ての機器のインターフェースを初期化する。
- 2) デリミッタ設定  
送受信データの終端記号(CR, LF, CR+LF)を設定する。
- 3) リモートイネーブル  
接続された全ての機器をリモート制御状態にする。
- 4) リモートディスエーブル  
接続された全ての機器をローカル制御状態にする。
- 5) データ(文字列)送信  
コントローラから機器(リスナ)に対して、データやコマンドを送信する。
- 6) データ(文字列)受信  
装置(トーカー)から送信されたデータを受信する。

現場での使用においては、パラレルポール、シリアルポール機能が要求されると思われるが、今回の試作では必要性が低いと考え、省略する。ただし後に述べるように、拡張でき

Pre-amble (8 bytes)	送信先 address (6 bytes)	送信元 address (6 bytes)	Protocol Type (2)	IP Packet (~1500 bytes)	Frame Check Sequence (4)
------------------------	--------------------------	--------------------------	----------------------	----------------------------	-----------------------------

図5 Ethernet II frame

る余地を残す。

### 3.2 Ethernet

先に述べたように、Internetへの接続は10Base-Tまたは100Base-TXインターフェースとする。よって、コネクタはRJ-45タイプに限定される。

Internetに接続するためにEthernetインターフェース側に要求される機能(Protocol)は、以下のものが挙げられる。

1) DHCP( Dynamic Host Configuration Protocol )  
またはBOOTP ( Boot Protocol )

アダプタをInternetに接続したときに、自動的に初期設定を実行させる。このプロトコルの実装によって、Internetの煩わしい設定を意識せずに接続できる。

2) ARP ( Address Resolution Protocol )

パケットを送信する先のMACアドレスを解決する。これが実装されていないと、送信先が解決できない。

3) TCP/IP( Transmission Control Protocol/  
Internet Protocol )

確実なデータ転送機能を提供する。

4) Telnet

Internet上に接続された端末より直接接続できる機能を提供し、機器の詳細な初期設定などが可能となる。

そのほか、HTTP ( Internet Browserからアクセス・操作できる機能)、ICMPやSNMP (Internet上での管理機能)、SMTP (エラー電子メールなどの送信機能)、UDP/IP (高速データ転送機能)などが実装されると、Internet機器としては申し分ない。一方、従来の方法論では、以上の機能を実装した装置は、それなりの大きさのサーバとなるため、小型化が問題点になる。

### 3.3 ソフトウェア

当初、2種類のインターフェースのブリッジは、CPLDやFPGAのようなハードウェアで実装することを考えた。しかし、シリアルポール・パラレルポール機能実装やハードウェア

機能拡張の余地を考え、ワンチップマイコンの搭載とソフトウェアによる対応とした。よって、ワンチップマイコンには以下の性能が要求されることとなった。

- 1) 2つのインターフェースを接続するに足る、十分な数の入出力ポートを持つこと。
- 2) 高速なデータ変換・タイミング処理が可能な、動作クロックであること。
- 3) プログラムROMは、将来の拡張を見据えて、十分に余裕があること。
- 4) 十分な容量の内部RAMを持ち、外部RAMを必要としないこと。
- 5) 十分な数のレジスタを備え、RAMアクセスが、極力必要されないこと。
- 6) 消費電力が小さいこと。

## 4. 設計

### 4.1 Ethernet

Ethernetインターフェースには、前記3.2節の要求機能を満たし、かつ小型・低消費電力である、Xport™ ( Lantronix社製 )を採用する。大きさは、ほぼRJ-45コネクタサイズのデ

表1 Xport 基本仕様

アーキテクチャ	CPU	DSTni-EX (16bit, 88MHz)
	SRAM	256 kbytes
	Flash ROM	512 kbytes
シリアルI/F仕様	インターフェース	CMOS、 調歩同期式
	伝送速度	300～921kbps
	パリティ	奇数、偶数、なし
	ビット長	7,8 bit 1,2 stop bits
ネットワークI/F仕様	プロトコル	TCP/IP, UDP/IP, ARP, ICMP, SNMP, DHCP, BOOTP, TFTP, Telnet, HTTP, SMTP
通信互換	Ethernet Version 2.0 / IEEE 802.3	
電源	入力電圧	DC 3.3V
	消費電流	約270mA
サイズ	16.25 × 13.5 × 33.9 mm	
重量	9g	

バイス形サーバである。表1は、Xportの主な仕様を示す<sup>4)</sup>。今回要求されるプロトコル群の全てが実装されている。ファームウェアは内蔵のフラッシュメモリに記憶されているため、アップデートも可能である。外部出力は、3 pinのCMOS 3.3Vシリアルインターフェースであり、Programmable I/O (PIO)モードとRS-232Cモードが選択できる。今回は、多様なデータを転送する都合から、RS-232Cモードで使用する。

#### 4.2 IEEE-488とデータ変換部

Xport™のRS-232C出力とAdapterのIEEE-488出力との間に介在し、データ変換とタイミング生成を行うワンチップマイコンは、3.3節の要求機能に併せて、前節4.1の設計より以下の仕様も要求される。

- 1) Serial インターフェース  
1 ch 以上使用可能
- 2) Parallelインターフェース  
8 bit 3 port 以上使用可能

以上の要求仕様を満たすデバイスとして今回は、H8シリーズ(ルネサステクノロジー社製)を採用する。

表2は、H8シリーズの基本性能を示す<sup>5)</sup>。要求仕様を十分に満足しているだけでなく、

表2 H8/3048 シリーズ 基本仕様

CPU	汎用レジスタ	16bit × 16本	
	動作周波数	18 / 16 MHz	
	address空間	16 Mbytes	
memory	( bytes )	ROM	RAM
	H8/3048	128 k	4 k
	H8/3047	96 k	4 k
	H8/3045	64 k	2 k
H8/3044	32 k	2 k	
Interrupt	3 Level、7本		
WDT	1 ch		
Serial I/F	調歩／クロック同期式、2 ch		
I/O port	入出力70本、入力8本		
A/D	10 bits、8 ch		

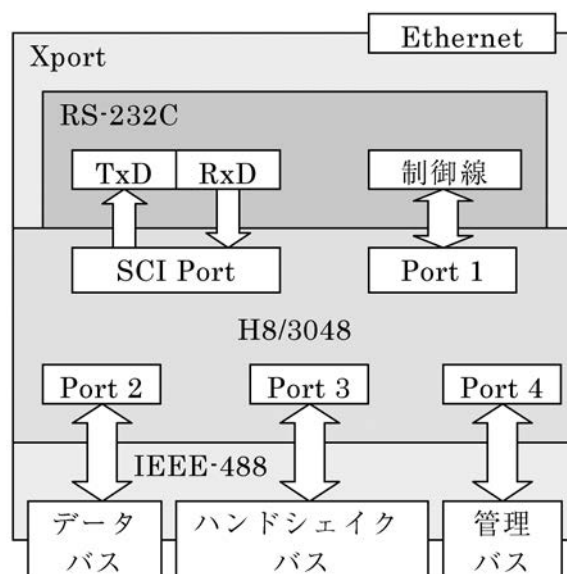


図6 Interface Adapter ブロック図

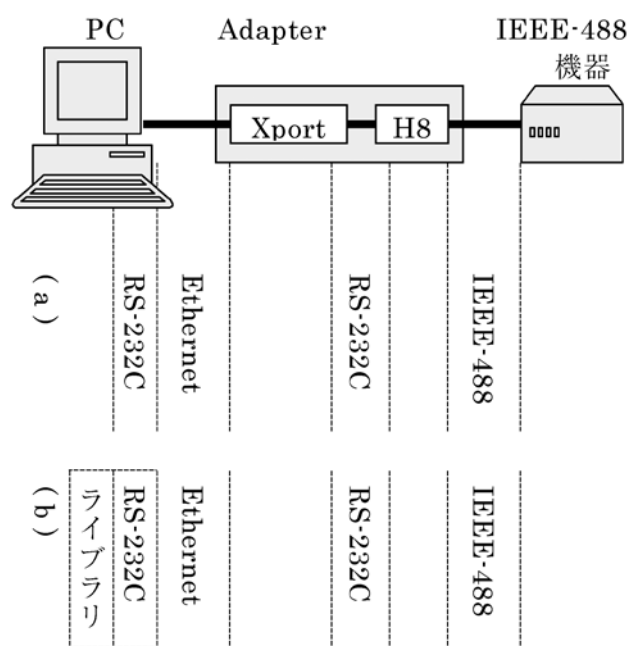


図7 RS-232C 関数のラッピング

familyが充実しており、内蔵メモリの容量やport数の相違から目的にあった最適のものが選択できる。今回はデバイスやその開発環境入手のし易さやからH8/3048を採用する。

図6は、ここまでの設計を元に描かれたIEEE-488-Ethernet Interface Adapterのブロック図である。

#### 4.3 ソフトウェア

図7 (a)は、図6のブロック図を元に描かれたAdapter内外の信号の流れである。XportとH8/3048は、RS-232Cで接続されている。この

ままでは、コントローラPCでプログラミングを行う際、RS-232C通信関数を使用することが求められてしまう。そこで、図7 (b) のように、ユーザライブラリを準備してRS-232C関数をラッピングし、ユーザからはIEEE-488関数で直接制御しているかのように見せかけて、解決する。ライブラリの対応言語は、汎用性の点からC言語とする。

## 5. 試作・試験・試用

写真1は、前章の設計を元に試作されたアダプタである。筐体(アルミケース)のサイズは、200×40×150 mmと比較的小型である。金属筐体を使用することで、電磁シールドの効果も期待している。また、外部電源が確保出来ない場所でも使用できるように、バッテ

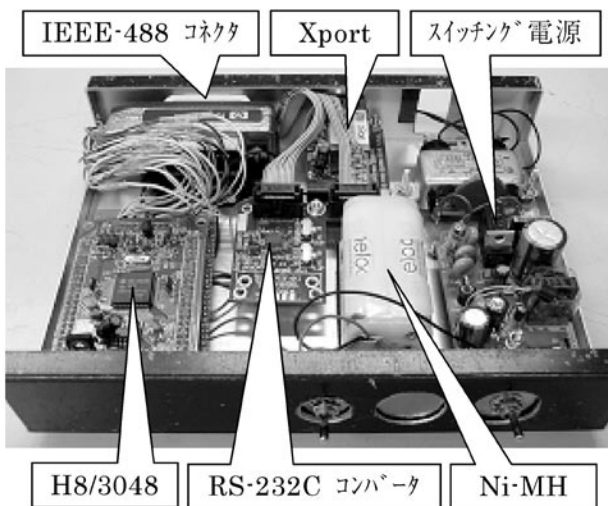


写真1 IEEE-488 - Ethernet Interface Adapter

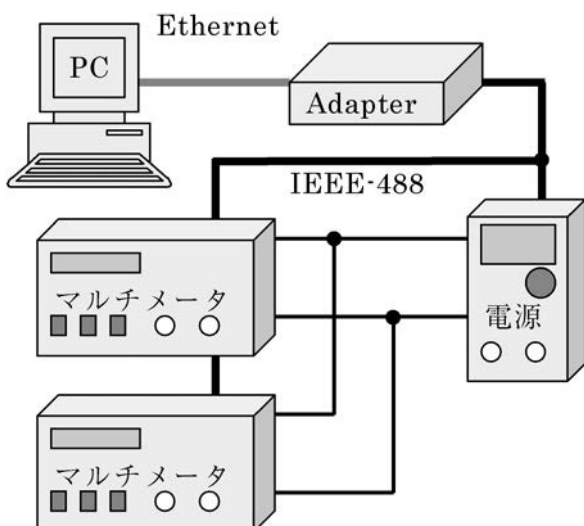


図8 試験・評価回路

リ(Ni-MH乾電池)による内部電源も用意されており、5時間程度の無電源連続稼動も可能である。内部は機能別に3枚の基盤から構成されており、故障時の検査・交換等のメンテナンスが行い易いよう配慮されている。

本装置は通信アダプタであるため、その位置付け上、信頼性と安定性が求められる。そこで以下の2つの試験により、評価した。図8は、試験装置の概略図である。本装置は屋内での利用を前提としているため、試験環境は共に室内、距離は約20m(同一建屋内の同一フロア、Switch・Switching HUB 各1台を介在)としている。

### 5.1 ビットエラーレート試験

まず通信の信頼性を評価するために、ビットエラーレート試験を実施した。コントローラ(パソコン)から直流電源に対して設定値を送信し、2台のデジタルマルチメータに計測させる。マルチメータが計測した直流電圧をコントローラに送信させ、設定値と比較してエラーチェックを行う。表3は、実験条件を示す。

### 5.2 連続稼動試験

次に本装置の安定性を確認するために、連続稼動試験を実施した。ビットエラーレート試験と同様の測定を、1時間毎に1回実行させてエラーチェックを行う。これを長時間実施して試験とした。表4は、実験条件を示す。

表3 ビットエラーレート試験条件

室温	20℃
試験時間	200 min
計測回数	12,000回
総転送bit数	5,184,000 bit

表4 連続稼働試験条件

室温	4～20℃
試験時間	4,320 min
計測回数	72回
総転送bit数	29,952 bit

### 5.3 模擬学生実験

アダプタの使い勝手を評価するために、模擬学生実験を行った。

<模擬実験テーマ>

図9のように各機器を接続し、コンデンサの充電特性を計測するプログラムを作成せよ。測定は1秒間隔で50回とする。

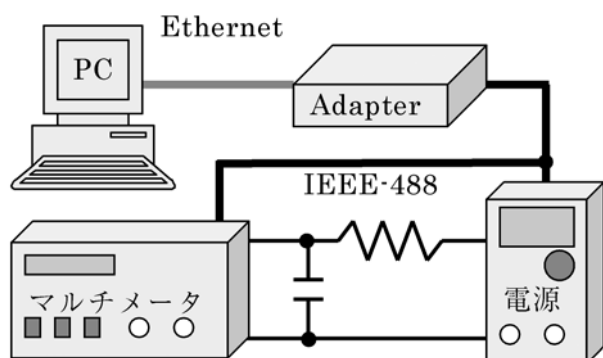


図9 模擬学生実験回路

## 6. 試験結果・試用結果

### 6.1 試験結果

表5は、試験結果を示す。本試験条件においては、ビットエラーレート試験、連続稼働試験共に、エラーは発生せず、高い信頼性・安定性を示した。学生実験程度の使用であれば全く問題は無いといえる。一方、今回の試験条件はかなり限定されているため、産業現場での使用にあたっては、より厳しい環境・条件での試験結果が求められると考える。

表5 試験結果

ビットエラーレート試験	
エラービット	0 bit
連続稼働試験	
エラー回数	0 回

### 6.2 模擬学生実験による試用

リスト1は、作成した自動計測プログラムの一部(制御部分)である。プログラムからはRS-232CやInternetの存在は見え、従前のシステムの取扱いと全く同一である。以前は、N88-BASIC (86) で実験・実習していたため、プログラミング上の様々な制限が存在していたが、それらが無くなり、むしろプログラミングし易くなっている。

リスト1 模擬学生実験プログラム(抜粋)

```
int main (int argc, char* argv[])
{
//— 宣言・初期化 省略 —

//— ここから模擬実験プログラム —

//— インターフェースクリア
ibh_ifc ();
cout <<"インターフェースクリア"<< endl;

//— リモートイネーブル
ibh_set_ren ();
cout <<"リモートイネーブル ON"<< endl;

//— アドレス指定—デジマル
Adrtbl[0]=8;
Adrtbl[1]=EOF;

//— デリミタ—LF
ibh_setdelimit (4);

//— デジマル初期化
ibh_char_byteout (Adrtbl,4,"CLS");
cout <<"デジマル初期化"<< endl;

//— デジマルオートレンジ ON
ibh_char_byteout (Adrtbl,20,"VOLT:DC:RANG:
AUTO ON");
cout <<"デジマル AUTO RANGE ON"<< endl;
//— デジマル直流電圧

ibh_char_byteout (Adrtbl,19,"SENS:FUNC
#VOLT:DC#");
cout <<"デジマル直流電圧"<< endl;

//— アドレス設定—電源アダプタ
Adrtbl[0]=2;
Adrtbl[1]=EOF;

. . . . .
```

環境によっては、今回用意した関数と関数名や変数の取扱いが異なるほうが都合の良い場合がある。その際は、関数名を変換するヘッダーファイルやマクロを用意して、関数名のさらなるラッピングを掛ければ簡単に解決できる。

## 7. まとめ

従来から使用されてきたIEEE-488 インターフェースを持つ計測機器をInternetに対応させるためのIEEE-488-Ethernet Interface Adapterを提案・試作・評価した。Adapterは、期待通りの性能を発揮し、実用性が確認された。また製作費も1台当たり2万円以下と非常に安価におさめられた。

今後は、今回実装を見送ったパラレルポール・シリアルポールの実装を行い互換性をより高くする、CPUの余力を利用してAdapterにPCMCIAやUSBインターフェースを追加装備しデータロガー機能を実装することなどが提案される。

最後に、本報告をまとめるに当たり、製作・実験に尽力し、議論に参加・協力してくれた卒業研究生諸氏に感謝する。

## 参考文献

- 1) 岡村勉夫：I/F BOOKS 標準デジタル・バス(IEEE-488)とその応用, CQ出版社1981.
- 2) インターフェース編集部編：インターフェース増刊Vol.32 Ethernetのしくみとハードウェア設計技法, CQ出版社 2006.
- 3) 電気情報工学科：平成17年度 電気情報工学科 4年生 電気情報工学実験テキスト
- 4) [http://www.lantronix.jp/products/ds\\_xport.shtml](http://www.lantronix.jp/products/ds_xport.shtml)
- 5) [http://japan.renesas.com/fmwk.jsp?cnt=h8\\_family\\_landing.jsp&fp=/products/mpumcu/h8\\_family/](http://japan.renesas.com/fmwk.jsp?cnt=h8_family_landing.jsp&fp=/products/mpumcu/h8_family/)

(小山工業高等専門学校、電気情報工学科、  
imanari@oyama-ct.ac.jp)