

# ユビキタス体調把握支援システムの開発を通して ～教育研究の技術支援に携わって 41 年～

山形大学工学部技術部  
計測技術室 水沼 充

## 1. はじめに

私は、山形大学勤務を工学部電子情報系分野で 41 年間に過ごしてきた。この間配属研究室や電子情報系学科(現在は電気電子工学科、情報科学科、応用生命システム工学科の 3 学科)・大学院の学生、電子情報系学科・大学院の先生、技術部職員の先輩・同僚・後輩、そして係わった米沢キャンパスの教職員の方々に恵まれ、楽しく働くことができ、無事定年を迎えることができましたことに深く感謝申し上げます。

電子工学科に採用され配属された第 4 講座(程なく第 5 講座へ名称変更)の主要な研究テーマは電子回路(電子デバイス・部品を利用して様々な電子装置やシステムを実現する技術)に関する研究、電子計算機による文字(ひらがな、漢字)・図形のパターン認識に関する研究などであった。当時の時代背景として、ハードウェアの主要デバイスはトランジスタや厚膜 IC であり、アナログ増幅回路からデジタル論理回路まで抵抗やコンデンサ等と組み合わせる回路設計、試作、実験、評価を試行錯誤的に繰り返し行うものであった。回路設計は簡単な場合には手計算で行なうが、規模が大きい場合にはコンピュータで数値計算を行った。採用当時工学部に設置されていたコンピュータは小型汎用電子計算機 TOSBAC-3400 であった。時代とともに、ハードウェアは OP アンプ IC や汎用ロジック IC、LSI 等を経て ASIC(特定用途向け IC)、FPGA(プログラマブルロジックデバイス的一种)、SoC(System-on-Chip)、1 チップマイコン等の時代となり、近年はハードウェア設計もプログラミングで行う時代になった。コンピュータはミニコンピュータ、大型電子計算機による TSS 処理、ワークステーション等を経てパソコンの小型化・高機能化や通信網の発展に伴いネットワークコンピュータや携帯情報端末の時代になり、取り扱うソフトウェアも低水準言語の機械語やアセンブリ言

語および高水準言語の FORTRAN から中水準言語の C 処理系言語および高水準言語の Java など多数の言語が存在する時代となり使い易く統合化されたシステム開発環境となってきた。電子情報通信分野では次々に生まれる新しい概念や技術の進歩が早く技術用語・概念の理解や文献調査等が追いつかない時代のなかで、如何に効率よく正確な情報を取捨選択するか、如何に考える時間や設計・試作・実験・評価する時間を確保するかが問われる時代となり、技術支援のあり方も考えさせられている。そのような節目に定年を迎えることになった。

## 2. 職務経歴と関係分野技術の変遷

### 2. 1 職務経歴

私の山形大学工学部内での主な職務経歴を以下に述べる。

1950 年：水沼充誕生。

1970 年：電子工学科第 4 講座(程なく第 5 講座へ名称変更)へ技官採用。

1973 年：山形大学工業短期大学部専攻科(電気工学専攻)修了。

1990 年：工学部改組(電気工学科、電子工学科、情報工学科が統合されて電子情報工学科へ)により電子情報工学科に配置換え。

1995 年：技術部発足により電子・情報処理系電子システム分野に配置換え。

2000 年：工学部改組(電子情報工学科が分かれて電気電子工学科、情報科学科、応用生命システム工学科、所謂電子情報系 3 学科へ)。

2004 年：国立大学法人へ移行。技術系専門職員となる。

2004 年：技術部改編により電子システム技術室に配置換え。

2007 年：技術室改編により基盤技術室に配置換え。

2008 年：技術室改編により計測技術室(電気・電子分野)に配置換え。

2011 年：定年退職を迎える。

## 2. 2 電子情報通信分野技術の変遷

私の業務に関係する電子情報通信分野の技術の主な変遷を以下に述べる。

エレクトロニクス：固体・半導体デバイスの高集積化、低消費電力化へ。

電子回路による信号処理：デジタル信号処理プロセッサの高集積化、高機能化、低消費電力化へ。

情報技術：コンピュータのハードウェアの小型化、高集積化、高機能化へ。ソフトウェアの高機能化へ。ユーザーインターフェースの操作性向上。通信網・通信技術との融合へ。通信：アナログ通信からデジタル通信へ。有線通信から無線通信・移動通信へ。

## 3. 技術職員として教育研究の技術支援に携わって

### 3. 1 教育支援

学科(教育プログラム)において担当した、あるいは係った主な学生実験テーマについて以下に述べる。

電子回路実験：論理回路、OP アンプ回路など。

電気・電子工学実験：正弦波発振回路など。

電子情報工学実験：アナログ信号処理。

生命情報システム工学実験：AD/DA コンバータ回路など。

### 3. 2 研究支援

配属研究室で係った主な研究テーマを以下に述べる。

中津山研究室(中津山幹男先生、西塚典生先生、渡部慶二先生、長橋宏先生、神長裕明先生、王碩玉先生、高橋一清先生、加藤正人技官、杉本皆子技官)：ローカルコンピュータネットワークの端末の通信制御、多端子対分布定数型変成器の特性改善、ファジィ理論の応用、電子回路の応用、画像処理・理解などに関する研究。

高橋研究室(高橋一清先生、神長裕明先生、王碩玉先生)：電子回路応用などに関する研究。

土屋研究室(土屋政光先生、金子勉先生)：研究室業務支援。

高橋研究室(高橋一清先生、横山道央先生、庄野和宏先生)：超低消費電力断熱的論理回路、体調把握支援システム開発などに関する研究。

新関研究室(新関久一先生、齊藤直先生)：研究室業務支援。

横山研究室(横山道央先生)：ユビキタス体調把握支援システム開発などに関する研究。

## 3. 3 計測技術室を通しての活動

地域貢献業務(理科実験教室指導員や科学フェスティバルスタッフなど)や学部内イベント(計測機器展示会)に積極的に取組み、また、技術研修、技術発表会等にも積極的に参加し自己研鑽に努めてきた。

## 4. ユビキタス体調把握支援システムの開発を通して

### 4. 1 システム開発に係る要素技術

開発を進めてきたユビキタス体調把握支援システムの構成を図1に、腕輪型体調把握機能モジュールを図2に示す[1][2][3][4]。

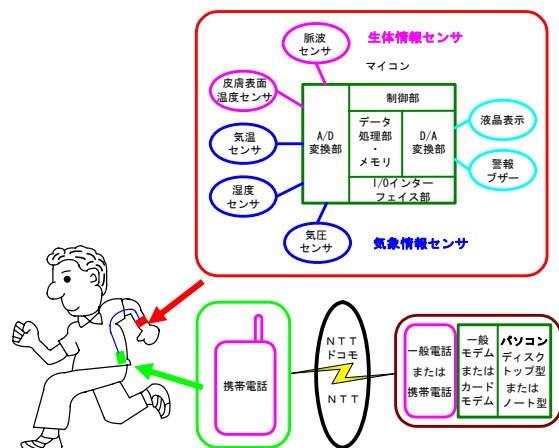


図1 ユビキタス体調把握支援システム

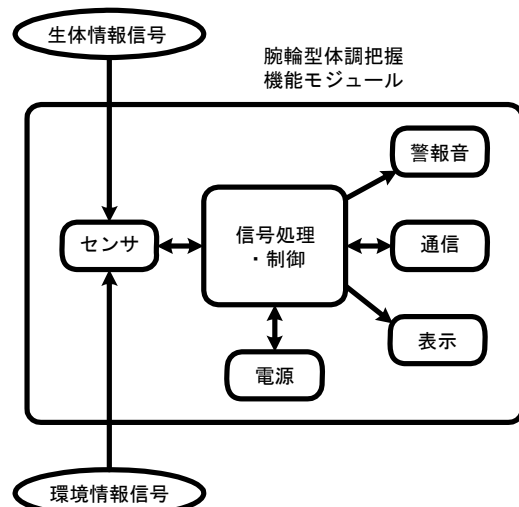


図2 腕輪型体調把握機能モジュール

システム設計にあたっては 41 年間積み上げてきた要素技術を総合的に駆使することの必要性を大いに感じた。

図2において、センサ信号として以下を想定した。

生体情報信号：光電容積脈波、皮膚表面温度。  
環境情報信号：気象情報（気温、湿度、気圧）、位置情報（GPS、高度）、電波情報（携帯電話、無線通信）。

要素技術として、以下を想定した。

生体情報センサ部：光電容積脈波センサ（光センサとして LED とフォトダイオード（あるいはフォトトランジスタ））、皮膚表面温度センサ（温度センサ IC）。

環境情報センサ部：気象情報（気温、湿度、気圧）センサ、位置情報（GPS、高度）センサ、電波情報（電界強度）センサ。

信号処理・制御部：マイクロプロセッサあるいはマイクロコントローラ。

内部のデジタル回路：超低消費電力回路技術である ADCL (Adiabatic Dynamic CMOS Logic) 回路を組込んだ ASIC。

内部のアナログ回路：増幅回路、電流電圧変換回路、フィルタ回路、発振回路、LED 駆動回路などにはアナログ低周波回路として CMOS 回路を組込んだ ASIC。

アナログ高周波回路として CMOS 回路 + 外付け素子 (L、C) を組込んだ ASIC。

通信部：携帯電話制御回路、微弱無線回路 (Bluetooth、ZigBee など)。

表示部：LCD、LED。

警報音部：警告音出力、音声出力。

電源：電池交換不要のエネルギーハーベスタ技術、エネルギー回収技術を活用した交流電圧電源および直流電圧電源、乾電池電源。

マイクロプロセッサ（あるいはマイクロコントローラ）向けプログラミング開発環境：アセンブリ言語、C 処理系言語など。

#### 4. 2 システム開発の経緯

私は過去に低消費電力電子回路（デジタル回路、アナログ回路）に関する研究、コンピュータを駆使したシステム設計に係ってきた。応用生命システム工学分野の配属研究室には、複数の生体信号を常時非侵襲計測する小型、安価でかつスマートな多機能モジュールなどを用いた体調管理支援システムを開発・研究するプロジェクトがあって参加し、

教員の指導をいただきながら関連研究に携わってきた。

#### 4. 3 プロトタイプ試作

##### 4. 3. 1 腕輪型体調把握機能モジュール（プロトタイプ I）

プロトタイプ I（写真 1、図 3）は携帯電話用モデムを利用したデータ通信システムとして、市販の携帯電話データ・ロガー（KDL-2）

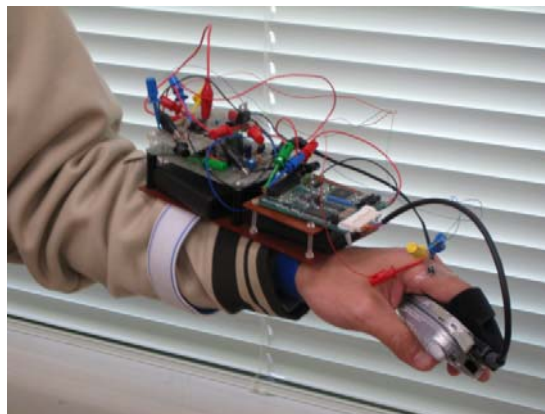


写真 1 プロトタイプ I

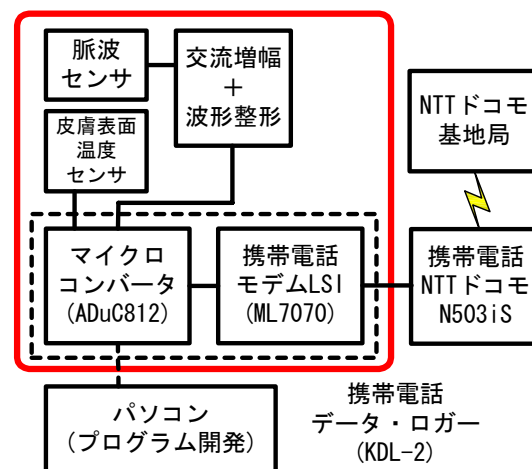


図 3 ブロック図 (乾電池電源は除く)

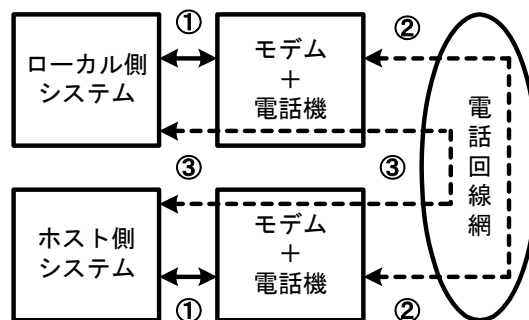


図 4 電話機とモデムを利用したデータ通信

を用い、生体情報センサのみ搭載しているモジュールである[4]。

プロトタイプ I のデータ送信は携帯電話モデムを利用している。電話機とモデムを利用してデータ通信を行うには、少なくとも 3 種類の通信経路を必要とし、それぞれに通信プロトコル(規約)がある。図 4 において、①は、ローカル側またはホスト側システムとモデム間の通信経路で物理的な通信経路である。モデムを制御してダイヤル・アップや通信終了等を制御するプロトコル(AT コマンド)で通信し、使用者は AT コマンドを使うことができる。②は、回線通信経路で物理的な通信経路である。電話機から基地局・電話回線網を経由して通信相手の電話機と回線側プロトコルで通信し、使用者側からは見えない。③は、ローカル側システムとホスト側システム間の通信経路で仮想的な通信経路である。データのやり取りをするプロトコル(通信内容)で通信し、使用者が自由に決めることができる。図 4 で、固定電話の場合には固定電話用モデムを、携帯電話の場合には携帯電話用モデムを用いる。本方法は多量のデータをまとめて送る場合に適していた。プロトタイプ I と携帯電話をローカル側に、ホスト側にパソコン(アナログ電話用モデム内蔵)と固定電話を用いて通信を行った。ホスト側のパソコンには WindowsXP/2000/Me/98 に標準で付属しているハイパーターミナルを用い、ローカル側のプログラム開発は ANSI 規格準拠 C コンパイラ(評価版、KEIL 社から入手)を用いてパソコン上でを行い、開発したプログラムをマイクロコンバータ ADuC812 にダウンロードして(マイクロコンバータ内蔵フラッシュ ROM に書き込んで)から実行する。図 3 の携帯電話データ・ロガーで、マイクロコンバータと携帯電話モデム LSI (ML7070)との間はすべて AT コマンドによって通信制御が行われる。携帯電話モデム LSI の AT コマンドによるローカル側の発呼、着呼動作は次のようになる。

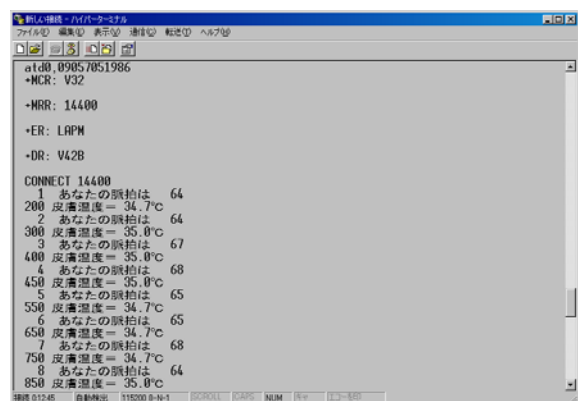
#### (i) 発呼動作

マイクロコンバータから携帯電話モデム LSI への発呼動作は「ATD0238\*\*\*\*\*<改行>」と接続相手先の電話番号を出力すると携帯電話はダイヤルを開始し、相手側との接続が確立するとリザルト・コードと呼ばれるメッ

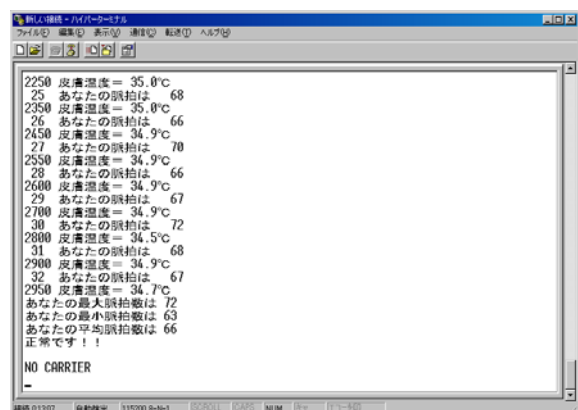
セージが返ってくる。リザルト・コードには、「CONNECT(接続した)」、「NO CARRIER(接続できない、接続が切れた)」、「BUSY(話し中)」などがある。接続確立後はデータモードとなりモデムに入ってくるコードはすべてデータとみなされ、そのまま相手側に送信される。ただし、文字列「+++」(エスケープ・シーケンス)は特殊な AT コマンドで、この文字列が入ってくるとデータモードからオンラインコマンドモードとなる。オンラインコマンドモードで「ATH0<改行>」と出力すると接続は切断されてメッセージ「NO CARRIER」が返ってくる。

#### (ii) 着呼動作

携帯電話モデム LSI の自動着信の RING 回数を 2 とした場合、「ATS0=2<改行>」と出力すると自動着信許可の状態になる。この状態でホスト側から電話がかかってくるとメッセージ「RING RING」とリング信号のリザルト・コードが返ってきた後メッセージ「CONNECT(接続した)」が返ってきて接続が確立される。



```
atd0,09057051986
+MCR: V32
+HRR: 14400
+ER: LAPM
+DR: V42B
CONNECT 14400
1 あなたの脈拍は 64
200 皮膚温度 = 34.7℃
2 あなたの脈拍は 64
300 皮膚温度 = 35.0℃
3 あなたの脈拍は 67
400 皮膚温度 = 35.0℃
4 あなたの脈拍は 68
450 皮膚温度 = 35.0℃
5 あなたの脈拍は 65
550 皮膚温度 = 34.7℃
6 あなたの脈拍は 65
650 皮膚温度 = 34.7℃
7 あなたの脈拍は 68
750 皮膚温度 = 34.7℃
8 あなたの脈拍は 64
850 皮膚温度 = 35.0℃
```



```
2250 皮膚温度 = 35.0℃
25 あなたの脈拍は 68
2350 皮膚温度 = 35.0℃
26 あなたの脈拍は 66
2450 皮膚温度 = 34.9℃
27 あなたの脈拍は 70
2550 皮膚温度 = 34.9℃
28 あなたの脈拍は 66
2600 皮膚温度 = 34.9℃
29 あなたの脈拍は 67
2700 皮膚温度 = 34.9℃
30 あなたの脈拍は 72
2800 皮膚温度 = 34.5℃
31 あなたの脈拍は 68
2900 皮膚温度 = 34.9℃
32 あなたの脈拍は 67
2950 皮膚温度 = 34.7℃
あなたの最大脈拍数は 72
あなたの最小脈拍数は 63
あなたの平均脈拍数は 66
正常です!!
NO CARRIER
```

図 5 プロトタイプ I の通信例

動作実験においてホスト側のハイパーターミナルに出力された皮膚表面温度および脈拍数を図5に示す。

#### 4.3.2 腕輪型体調把握機能モジュール (プロトタイプII)

プロトタイプII(写真2、図6)は生体情報センサ(脈波(脈拍)、皮膚表面温度の各センサ)、気象情報センサ(気温、湿度、気圧の各センサ)、入出力制御・信号処理用マイコン、液晶表示部、警報ブザー、乾電池電源から構成される[5]。生体情報センサ(写真3、図7)として、脈波(脈拍)、皮膚表面温度の各センサを、気象情報センサ(写真4)として、気温、湿度、気圧の各センサをそれぞれ設計・試作した。使用したマイコン(H8/3052F)のプログラム開発は Best Technology 社の GCC Developer Lite を用い、マイコンに書き込む ROM ライターソフトには H8WriteTurbo を用いた。AKI-H8/3052F は 5V 動作でフラッシュメモリ 512kB、RAM8kB、10 ビット分解能×8CH の A/D 変換器を持ち、計測には 3CH を使用した。計測値はマイコン I/O ボード上の液晶表示器に表示される。プロトタイプIIは携帯電話(NTT DoCoMo の mova)と接続され、生体情報と気象情報を携帯電話メールとして指定された宛先に送られる。脈波(脈拍)センサには、光電反射型指サック脈波センサ(日本精密測器(株)製)を用い、交流増幅回路、波形整形回路を設計・試作した。皮膚表面温度センサには、温度センサ素子 LM35DZ(NS 製、0~100℃、公称精度±2.0%、+10mV/℃)を用い、増幅回路を設計・試作した。体温域をカバーした温度範囲に対応した直流電圧を出力する。デジタル温度計 TX10-02(横河メータ&インスツルメンツ(株)製、K 熱電対プローブ 900-30 付き)と比較した実験では 0.5℃以内(18.3℃~26.4℃)の誤差であった。気温センサには、温度センサ素子 LM35DZ(NS 製、0~100℃、公称精度±2.0%、+10mV/℃)を用い、増幅回路を設計・試作した。-50℃~+50℃に対応した直流電圧を出力する。デジタル温度計 TX10-02 と比較した実験では 1.0℃以内(18.3℃~26.4℃)の誤差であった。湿度センサには、湿度センサユニット素子 CHS-UGS(TDK 製、計測範囲 5~95%RH、公称精度±5%RH)を用いることにより計測された相対湿度が直読できる直流電圧として出

力される。市販の温湿度・気圧計 BA-9116 と比較した実験では 2%RH 以内の誤差であった。気圧センサには、集積化圧力センサ XFPM-115KPAR(フジクラ製、計測範囲 15~115kPa・abs、総合精度±2.5%FS/0~85℃)を用い、入力圧力に対応した直流出力電圧を使った計算式で気圧(絶対圧)を算出する。温湿度・気圧計 BA-9116 と比較した実験では 7hPa・abs 以内の誤差であった。

プロトタイプIIでのデータ送信は携帯電話操作擬似信号によるメール送信を用い、生体情報と気象情報を電子メールとして指定

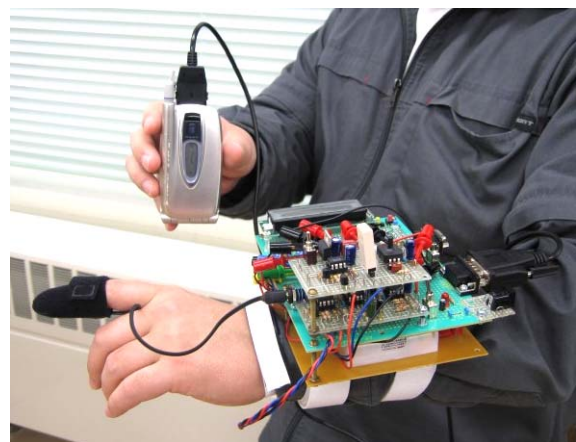


写真2 腕輪型体調把握機能モジュール

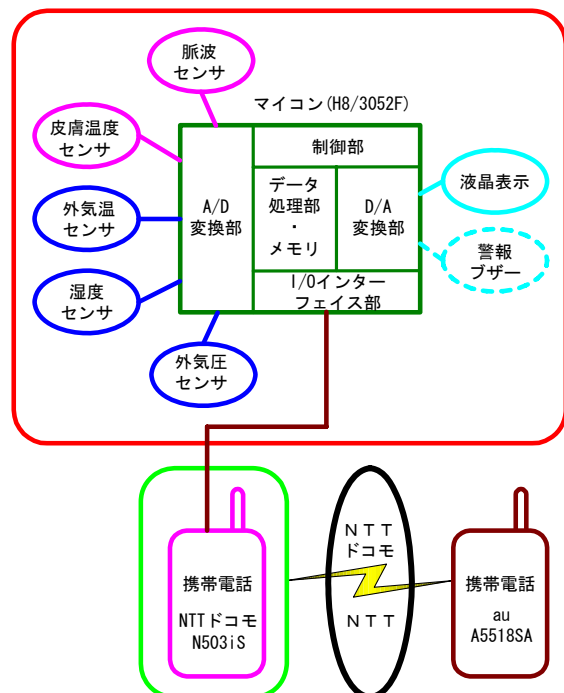


図6 ブロック図(乾電池電源は除く)

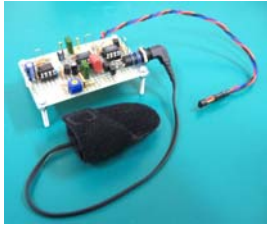


写真3 生体情報センサ

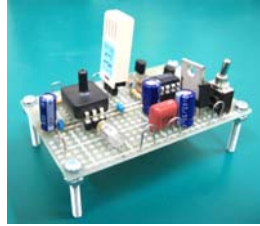


写真4 気象情報センサ

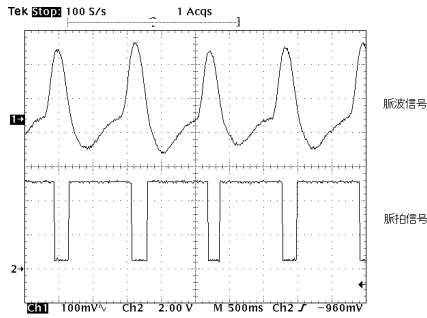


図7 脈波(脈拍)センサの出力信号波形

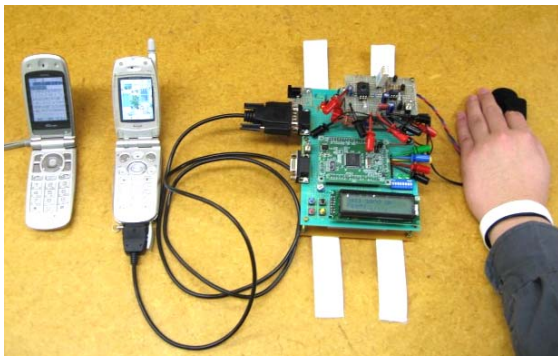


写真5 プロトタイプIIの通信実験例

された宛先アドレスに送る(写真5)。携帯電話の操作を外部端末で実現する場合、端末を接続した時のPDC方式の携帯電話の操作、動作、外部接続端子仕様、シリアル信号フォーマット等が公開されている[6]が、現在では本手法で使用できる携帯電話はNTT DoCoMoのmovaなどの機種のみとなった。本手法では外部制御端末用シリアル信号の通信条件は調歩同期とし、データフォーマットはスタート1、データ8、パリティ1、ストップ1の11ビット構成で、通信速度は600bps±1%、パリティは偶数パリティとなっている。外部制御端末から送出されるシリアル信号フォーマット(表1)は8バイト構成で、外部制御端末入力要求は、ヘッダ部、外部制御端末入力要求ヘッダ、識別コード、テーブル種別、

表1 携帯電話の外部制御端末用シリアル信号フォーマット

種別	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	備考
外部制御端末入力要求	1	1	1	1	0	0	1	0	ヘッダ部
	0	0	0	0	0	0	1	0	外部制御端末入力要求ヘッダ
	0	0	0	0	0	0	0	1	識別コード:m7~m0: 注1参照
	0	0	0	0	m7	m6	m5	m4	
	0	0	0	0	m3	m2	m1	m0	
	0	0	0	0	A	B	C	D	テーブル種別、ABCD: 注2参照
	0	0	0	0	a7	a6	a5	a4	制御コード: a7~a0:注3参照
	0	0	0	0	a3	a2	a1	a0	

(注1) m7~m0: 識別コード, 0~0: 共通識別コード, その他: 予約。

(注2) ABCD: テーブル種別, 0001: 半角テーブル, 0010: 全角テーブル, 0011: 制御テーブル, 1001: 長押し制御テーブル, その他: 予約。

(注3) a7~a0: テーブル種別毎に制御コードが定義されている。

制御コードとなっている。識別コードとして共通識別コード(半角、全角、制御、長押し制御テーブル使用時)があり、テーブル種別として半角、全角、制御、長押し制御の各テーブル、予約があり、制御コードとして、各テーブルにおけるコードが定義されている。例えば、ダイヤルボタン“1”の操作信号を外部制御端末から携帯電話に送る場合には送信コード列は“F2 02 01 00 00 03 02 01”(16進表示)となる。外部制御端末から携帯電話を使う場合には携帯電話のボタンを押す“操作擬似信号”を順次携帯電話に送信することによって携帯電話を用いたメール送信ができる。本方法は少量のデータを電子メールとして送る場合に適している。

#### 4.4 小型化・低消費電力化・高機能化へ向けての関連要素技術

##### 4.4.1 断熱的論理回路

私らは、断熱的論理回路は従来のCMOS論理回路と比較してより低消費電力特性を持

つことを指摘している[7]。断熱的論理回路では、電気エネルギーを断熱的に容量性負荷に供給し、また回収するために電源電圧は直流電圧ではなく、三角波電圧または正弦波電圧を用いることにより、MOS トランジスタのチャンネルで消費されるエネルギーを低減し、容量性負荷に蓄えられた電荷をグラウンドに流出することなく電源に回収して、再利用する。実用的な断熱的論理回路として、私らは断熱的ダイナミック CMOS 論理(ADCL)回路を報告しており、ADCL 回路では、安定な出力信号が得られる、相互接続ができる、貫通電流がないなどの特徴がある[7]。

比較的演算時間の遅い腕輪型体調把握機能モジュールに組み込むデジタル回路技術として、超低消費電力特性を持つが、出力電圧が電源電圧に追従して出力するために伝播遅延時間が比較的長い特性を持つ ADCL 回路が適している[7][8]。

#### 4. 4. 2 集積回路化

現在、国公立大学・高専では VDEC(東京大学大規模集積システム設計教育研究センター)を利用した IC 設計・試作ができるようになってきている。配属研究室では携帯型体調把握機能モジュール向け低消費電力 CMOS 演算増幅回路の集積回路化が進められている。また、超低消費電力特性を持つ実用的な ADCL 回路として、集積化された加減算器[9][10]や算術論理演算ユニット ALU[11]は VDEC を利用して試作されている。腕輪型体調把握機能モジュールの信号処理・制御部のデジタル回路は ADCL NOT、ADCL NAND、ADCL NOR、ADCL D-FF などの基本回路や ADCL ALU などを用いて集積回路化を進めてきた。これまで集積回路設計、試作、評価を行ってきた各種 ADCL 集積回路を IP コア回路として利用する。

#### 4. 4. 3 市販電子デバイス利用

マイクロプロセッサ(あるいはマイクロコントローラ)などの電子デバイスや利用技術、周辺技術の進歩は早く高機能化、小型化、高集積化、低消費電力化が進み用途別に市販されている。それら市販の電子デバイスを用いて腕輪型体調把握機能モジュールのプロトタイプを試作し、機能を検証する。

#### 4. 4. 4 ソフトウェア開発環境

腕輪型体調把握機能モジュールを動作させるソフトウェア開発も重要であり、C 処理

系言語などの統合化されたシステム開発環境を用いる。

#### 4. 4. 5 現在の第三代そして将来の第四世代携帯電話への適用

開発した腕輪型体調把握機能モジュールで用いた携帯電話は第二世代の PDC デジタル方式(NTT DoCoMo の mova など)で 2012 年終了予定)であるが、現在は第三代の CDMA デジタル方式(NTT DoCoMo の FOMA など)が主流である。腕輪型体調把握機能モジュールの第三代携帯電話への適用、および標準化が進められている第四世代携帯電話への適用が課題として残っている。

### 5. おわりに

私もその一人であるが、団塊世代の大量退職時代に入っており、中高年者が軽作業や軽スポーツ(ウォーキング、ジョギング等)に接する機会も増えている。そのような状況のもとで健康維持は重要で、生体情報を非侵襲的にかつ常時計測し、異常時には本人はもとより家族やかかり付けの医師等に知らせるシステムの要望は高い。私の配属研究室で進めている「いつでも・どこでも、いつまでも、安全・安心通信」を目指したユビキタス健康管理システムの開発の一環として、私らは携帯電話による通信機能を付加したユビキタス体調把握支援システムの開発を進めてきた。ユビキタス体調把握支援システムの開発を通して、使われている電子情報通信技術の重要性をあらためて深く認識するとともに、41 年間に亘って教育研究の技術支援に携わって来られたのは望外の幸せと思っている。

### 謝辞

41 年もの長い間、目まぐるしく発展を続けてきた電子情報通信分野の環境のなかで、技術支援業務に対応できたのは、技術部職員の先輩・同僚・後輩、そして研究室・学科(教育プログラム)の先生方、そして研究室の学生諸君をはじめ多くの関係した方々の力添えによるものであり深く感謝致します。特に、現在ご指導頂いております大学院理工学研究科応用生命システム工学分野の横山道央准教授には研究・技術等に関して多くの示唆やご教示をいただきましたことに深く感謝致します。

## 参考文献

- [1]山形大学工学部応用生命システム工学科  
(応用生命システム工学分野)横山道央研  
究室ホームページ(URL:<http://ceyoko.yz.yamagata-u.ac.jp/yokoyama/index.html>  
)
- [2]水沼,横山,高橋,“超低消費電力携帯型体  
調把握支援システム”,2004年電子情報通  
信学会総合大会講演論文集,A-19-1,  
pp. 381,2004.
- [3]水沼,“脈波センサ・断熱的論理回路・音  
声出力を用いた携帯型体調把握支援シス  
テムの開発”,合同技術研究会報告,生物学  
技術研究会報告第15号,生理学技術研  
究会報告第26号,pp. 92-93,2004.
- [4]水沼,横山,“雪国・寒冷地域向けユビキ  
タス体調把握支援システムの開発”,平成  
18年度米沢市研究奨励補助金事業研究課  
題成果報告書,2007.
- [5]水沼,“気温・湿度・気圧センサを搭載し  
た腕輪型体調把握機能モジュール”,平成  
21年度東北地区国立大学法人等技術職員  
研修概要集,0-5,pp. 40-41,2009.
- [6](株)NTTドコモ,“自動車携帯電話サー  
ビスを利用するための技術参考資料(ディ  
ジタル方式)”,第3.2版,20040609.
- [7]高橋,水沼,“断熱的ダイナミック CMOS 論  
理回路”,電子情報通信学会論文誌,  
VOL. J81-C-II,NO. 10,pp. 810-817,1998.
- [8]水沼,高橋,“断熱的ダイナミック CMOS 論  
理回路 IC の試作”,電子情報通信学会 1998  
年総合大会,C-12-37,1998.
- [9]水沼,池田,高橋,“断熱的ダイナミック  
CMOS 論理回路を用いた拡張型 4 ビット加  
算/減算器集積回路”,電子情報通信学会技  
術研究報告,ICD99-27,1999.
- [10]K. Takahashi, M. Yokoyama, K. Shouno,  
M. Mizunuma, ” Sub-One Volt DC Power  
Supply Expandable 4-bit Adder/  
Subtractor System Using Adiabatic  
Dynamic CMOS Logic Circuit Technology”,  
Proceedings of the ITC-CSCC 2002,  
pp. 1543-1546, July 2002.
- [11]K. Takahashi, S. Hashimoto, M. Mizunuma,  
” An Ultra Low Power Expandable 4-bit ALU  
IC Using Adiabatic Dynamic CMOS Logic  
Circuit Technology”,
- Proceedings of the ITC-CSCC 2000,  
pp. 937-940, July 2000.