

# インсталレーション用デジタルコントロールシステムの製作と評価

Development and evaluation of the digital control system for the installation

野上 文天  
NOGAMI Bunten

To fascinate and make them be satisfied sufficiently. when the system to have led an audience (the person ) to the installation space.

Stable control system (to control input/output) is quite indispensable.

However It is necessary to work out a basic concept, too.

In case of the time during the digital technology evolution like today, Event (such as the person detection by the sensor) are already done and a control output by the microcomputer - chip are also done. Such a small system is being brimmed in our life.

It seems for me, that they feels full enough for them (artist) who shows the direction of the times in the billow of the technology.

And seem that only few extent artist are able to points out the direction in it.

In recognize, almost of the people thinks, that the speed of the evolution of digital technology seems to exceed the ability for the individual understanding.

However, When the people with the generation who was born in the new times are seeming to enjoy a system ( the world ) willingly with no pain, The voice inside me what say possible to do compatible in our times and to exceed the ability to understand an individual etc,. It seem to my complaint,. As for the judgement in the actual screes such as this, false or good to be.

At this article, I made it developing and to evaluate for the installation creating which needs a digital control system about the present (2006) of the CPU system mainly. Also, it is the contents which using the system by the installation practice in our University (TUAD) .

## はじめに

インсталレーションにおいて観客（人）を空間へ導きそのなかで充分に彼らを魅了し満足させるためには基本コンセプトの練り上げも必要であるが、入出力を制御するための安定したコントロールシステムも不可欠である。現代のようなデジタルテクノロジー進化の中では日常的に多くのセンサーによる人検出などがされマイコンチップによる制御と出力がシステム内では行われている。そのような小さいシステムが生活の中に満ち溢れている。時代の方向を示すこの世界のアーテストたるや、テクノロジーの大波に乗るのが精一杯で、その中で方向を指し示しているのは数えるほどしかいないようと思える。誰もが異議無く認識することだと思うがデジタルテクノロジーの進化の速さは個人の追従能力を超えていくように思える。が、しかし新しい時代に誕生したいまの世代の人たちはすでにあるシステムを苦も無く使いこなし、喜びとしてそのシステム（世界）を楽しんでいるようにも見える。「個人の追従能力を超えている云々、」と言うのはテクノロジー進化への関わりが対応で出来なくなつた弱音にも聞こえたりする。

これ等実際ながれの中の判断は別として、本稿では主

に組み込みシステムの現在（2006年）におけるデジタルコントロールシステムを必要とするインсталレーション制作のために開発、評価してみた。またそのシステムを本学のインсталレーション演習で利用し、評価した内容でもある。

## 1. システム内のコントロールブロックと概要

### (1) コントロールと入出力

システムという言葉を調べると一般的には「入力・変換・出力の3から構成される単位」を意味すると言われていることが解る。すなわち入力→変換→出力と言う流れを持つまとまった仕組みのことである。インсталレーションの表現空間は観客も含めてのシステムであり、その内側に更に小さな仕組みが階層になって存在する。ここで言うコントロールブロックとは表現空間より1階層下の具体的な制御を行う仕組み内で処理を行うまとった単位のことである。たとえばスイッチやセンサー類の仕組みは空間内の変化や人の意志を取り込むことの出来るブロックで入力システムといえる。またランプやスピーカは空間内へ光や音を注ぎ込めるブロックで出力システムとなる。これ等ふたつの入力、出力の関係は通常製作者の表現意志の元に入力→変換→出力と途中に変換作業が発生する。

たとえば空間内のAポイントに人が来たらBポイントの明かりを暗くするという入力に対して出力を制御するしくみが必要な場合、ここではそれをコントロールブロック（システム）と言うことにする。

コントロールブロックは電気的に入力と出力をつなぎ、自由に出力を変化させられるような仕組みで構成される。あとから記載するが現在の組み込み用チップでは高速な演算機能やCPU自体の高速化で複雑な処理をリアルタイムで行いながら入出力できる。

入力システムから渡されるのは基本的にはデジタルデータである。

コントロールブロックはこれらをデジタルデータ処理でハードウェアとソフトウェアにより加工し、データを作成する。出来上がったデータをアナログに戻したり、そのまま出力したりするのは出力システムの役目であるが、表現目的にあったデータ形式、出力デバイスの

選択などを行い最適化する。それらの処理は音声認識や、画像認識など多岐にわたり、それらのコントロールの多様化は益々表現を豊かに変えつつある。

コントロールブロックに製作者はどの程度かかわれるかは彼のスキルとハード、ソフトを提供するその時代のインフラによると思われる。そしてこれらデジタルデバイスは供給する側の経済的なファクターや社会の中でのテクノロジーの流れにより形を変えつつ大量に生まれたり、本流から外れて消滅したりしている。

CPUの進化歴史の項目で具体的に記述するがこれらの進化速度はそうさせるエネルギーが何であれ驚異的といえる。今回のコントロールブロックの主なデバイスやテクノロジーは2006年5月に行われた「第10回組込みシステム開発技術展」を参考に選択して試作、評価を試みた。



写真-1 組み込み機器展会場

### (2) アナログとデジタル

アナログとは数や量を連続的な物理量（長さ・角度・電流など）で表現する方式で、それに対してデジタルとは数や量を有限桁数の数値で表現する方式のことを言う。

電気信号を扱う時にはいざれかの方式で処理を行う。主にセンサー入力等はアナログ信号で、CPUやDSPの演算処理などはデジタル（数値）で行う。アナログとデジタルを相互に変換するデバイスや手法をADC (Analog Digital Converter) またはDAC (Digital Analog Converter) という。入力電圧を増幅器を使い連続的な電圧に2倍増幅するのはアナログ処理であり、ADCで数値化されたデータを乗算で2倍するのはデジタル処理である。

ある条件が整うとどちらの処理系も同じ結果を得られるが、入力電圧をADする時にデジタル変換数値はその使用可能最大値によって決定される。

たとえば4ビットのADCで5Vの電圧をADした場合は以下のようになる。

4ビットで現される最大値は0～15の16段階であり、数値1に対する電圧値は $5V \div 16 = 0.3125V$ となり約0.31V毎の変化を数値化することになる。

0、1、2、3...とAD後のデジタル量を増加させていく場合はアナログのように直線ではなく階段状の電圧値になる。また信号電圧値は時間とともに変化するがADをする時間間隔が変化より長いと元の変化を取り込めないことになる。

これ等は分解能及びサンプリング時間というデバイスの仕様を現すデータで動作状態が現され、これ以外にも多くの仕様がある。インスタで使用する一般的なデバイスは分解能が8ビット～16ビット サンプリング時間は1mS～100nS程度であればサンサー等のアナログ信号を充分デジタル処理可能で目的の表現ができる。以下はMAXIM社のADC、DACのデータ例である。性能のアップも時代の要求に応じて急速にされている。

図-1 ADC例 (MAXIM)

MAX148/MAX149は、8チャネルマルチブリッカ、高帯域幅トランシーバー及びシリアルインターフェースに高速度及び低消費電力特性を有した10ビットデータ収集システムです。 $+2.7V \sim +5.25V$ 、低電力、8チャネルシリアル10ビットADC

**MAX148/MAX149**

**特長**

- 入力：8チャネルシングルエンド又は4チャネル差動
- 電圧：+2.7V～+5.25V単一
- 2.5Vリファレンス内蔵(MAX149)
- 低電力： $1.2mA(13.3kspS, 3V電源)$   
 $54\mu A(1kspS, 3V電源)$   
 $1\mu A(パワードラッシュード)$
- 4ビットシリアルインターフェース：  
SPI<sup>TM</sup>、QSPI<sup>TM</sup>及びMICROWIRE<sup>TM</sup>/TMS320コンバタブル
- ユニバーサル入力：  
ソフトウェアで設定
- パッケージ：20ビンDIP/SSOP

**型番**

PART <sup>1</sup>	TEMP. RANGE	PIN-PACKAGE	INL (LSB)
MAX148ACPD	$0^{\circ}C \text{ to } +70^{\circ}C$	20 Plastic DIP	$\pm 1/2$
MAX148BCPD	$0^{\circ}C \text{ to } +70^{\circ}C$	20 Plastic DIP	$\pm 1$
MAX148ACSD	$0^{\circ}C \text{ to } +70^{\circ}C$	14 SOJ	$\pm 1/2$
MAX148BCSD	$0^{\circ}C \text{ to } +70^{\circ}C$	14 SOJ	$\pm 1$
MAX148BCD	$0^{\circ}C \text{ to } +70^{\circ}C$	Dice <sup>2</sup>	$\pm 1$

Ordering Information continued at end of data sheet.  
<sup>1</sup>Die are specified at  $T_A = +25^{\circ}C$  only.  
<sup>2</sup>Dice are specified at  $T_A = -55^{\circ}C$  only.

**標準動作回路**

19-0727 Rev. 6.2/87

**MAXIM**  
+5V、ローパワー、電圧出力  
シリアル12ビットDAC

#### 概要

MAX531/MAX538/MAX539は、低消費電力の電圧出力12ビットデジタルアナログコンバータ(DAC)で、+5V單一電源で動作します。またMAX531については+5V電源でも動作します。MAX538/MAX539の消費電流は僅か140µAで、MAX531については内部リフレンス電流も含めて僅か260µAとなっています。MAX538/MAX539は8ビンDIP及びUSOPパッケージで、MAX531は14ビンDIP及びUSOPパッケージで供給されています。全製品ともオフセット電圧、ゲイン、リニアリティが内部調整されているため外部調整は必要ありません。

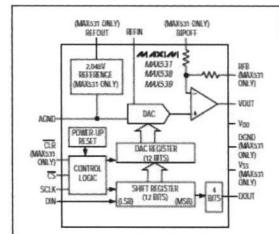
MAX538/MAX539は+1に固定されており、MAX539は+2に固定されています。MAX531の内部オフセット電圧は+1または+2に設定でき、さらにユニバーサル及びバイポーラの出力電圧が可能です。このMAX531は外付け抵抗及びオペアンプ無しで4量程乘算型DACとしても使用できます。

パラレルデータ入力用には、MAX530のデータシートを参照下さい。

#### アプリケーション

バッテリ駆動テスト機器  
デジタルフィルタセット及びゲイン調整  
バッテリ駆動/リモートコントロール  
機械及びモーションコントロール  
セルラーフォン

#### ファンクションダイアグラム



MAXIM

#### 特長

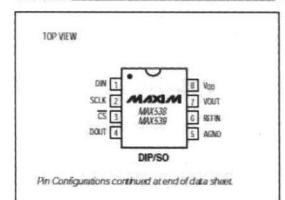
- +5V單一電源動作
- バッファード電圧出力
- 内部リフレンス：2.048V(MAX531)
- 消費電流： $140\mu A(\text{MAX538}/\text{MAX539})$
- INL： $\pm 1/2\text{LSB}(\text{max})$
- 単調性保証(全温度範囲)
- 柔軟な出力選択：  
 $0V \sim V_{DD}(\text{MAX531}/\text{MAX539})$   
 $V_{SS} \sim V_{DD}(\text{MAX531})$   
 $0V \sim 2.0V(\text{MAX531}/\text{MAX539})$
- 8ビンSOP/DIP(MAX538/MAX539)
- パワーオンリセット
- デジタルデータ出力

#### 型番

PART	TEMP. RANGE	PIN-PACKAGE	ERROR (LSB)
MAX531ACPD	$0^{\circ}C \text{ to } +70^{\circ}C$	14 Plastic DIP	$\pm 1/2$
MAX531BCPD	$0^{\circ}C \text{ to } +70^{\circ}C$	14 Plastic DIP	$\pm 1$
MAX531ACSD	$0^{\circ}C \text{ to } +70^{\circ}C$	14 SOJ	$\pm 1/2$
MAX531BCSD	$0^{\circ}C \text{ to } +70^{\circ}C$	14 SOJ	$\pm 1$
MAX531BCD	$0^{\circ}C \text{ to } +70^{\circ}C$	Dice <sup>3</sup>	$\pm 1$

Ordering Information continued at end of data sheet.  
<sup>3</sup>Dice are specified at  $T_A = +25^{\circ}C$  only.

#### ピン配置



Maxim Integrated Products 1

図-2 DAC例 (MAXIM)

### (3) CPUの進化歴

1971年に4004と言うチップが作成されてから現在に至るまでその性能は加速度的に上昇進化して来ている。下図はインテルのチップの進化の様子である。また他のメーカーでも同時期にチップを開発して市場に出してきているが、現在の市場はインテルがかなりの主導権を握っているようである。8080から8086時代にかけてモトローラの6800やザイログのZ80等組み込み用のCPUチップも生産されていた。

当時組み込み用のCPUとしてはそれらのチップがROMとRAMを外部にもってコントロール用基板が設計され、ソフト(組み込み用ファーム)開発することで産業用の計測機器や、溶接ロボットなどの制御部が開発されていた。PCに使用されたチップの流れとは別の進化をした組み込み機器用のCPUはROM、RAM、IO等を全てチップ内に入れ込んだ1チップCPUという流れになり各社が開発のしのぎを削っている。

今回の制御用のCPUはSH2(ルネサス)というチップを使用する。SHシリーズの流れ等以下にまとめる。これ等以外にもNEC U78kシリーズ Ti M340シ

リーズ、R8cシリーズ（ルネサス）H8シリーズ（ルネサス）DSPICやPICI8シリーズ（マイクロチップ）などがあり、用途に合わせたチップの選択に不自由はない。

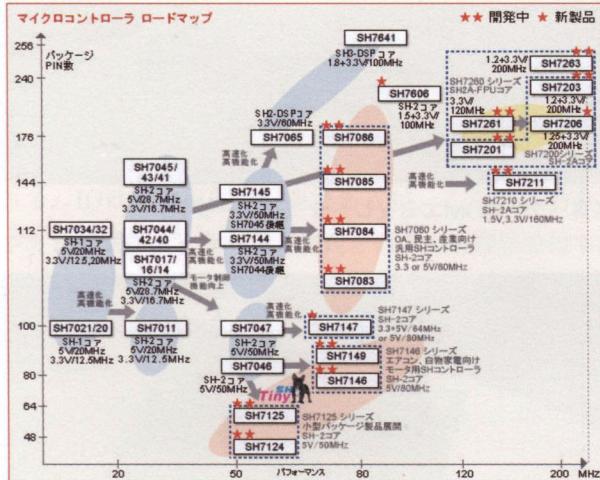


図-3 SHシリーズロードマップ(ルネサスHP)

初期インテル系 CPU 開発履歴例				
年	Bit 数	名称	トランジスター数	動作クロック Hz
1971	4	4004	2250	0.75M
1972	8	8008	3500	—
1974	8	8080	6000	—
1975	8	8085	6500	—
1978	16	8086	—	13M
1982	16	80286	—	13M
1985	32	80386	—	28M
1989	32	80486	—	120M
1993	32	Pentium	—	330M
1997	32	Pentum II	—	750M
1999	32	Pentum III	—	950M
2000	32	Pentum IV	—	2350M

図-4 インテル系CPU開発歴

またそのファーム開発（組み込みソフト開発）は1970年代（8080時代）とは大きく変化してきている。8080時代はソフトを開発しデバッグするのにICE（インサーキットエミュレータ）と言うCPUの中をのぞく機器を接続し開発をしなければならなかつた。ICEは非常に高価でもあり大型な器機であったので、誰もが簡単に使えるようなものではなかつた。使いこなすには開発しようとするCPUの仕組みを（アーキテクチャ）理解する必要があり、動作処理もアセンブラーというCPUを動かす言葉も同時学習する必要があつた。アセンブラーは

CPUごとに供給されていたのでCPUを変更する場合はほとんど最初からの設計になってきた。当時のICEとZ80CPUボード等の写真を以下に示す。

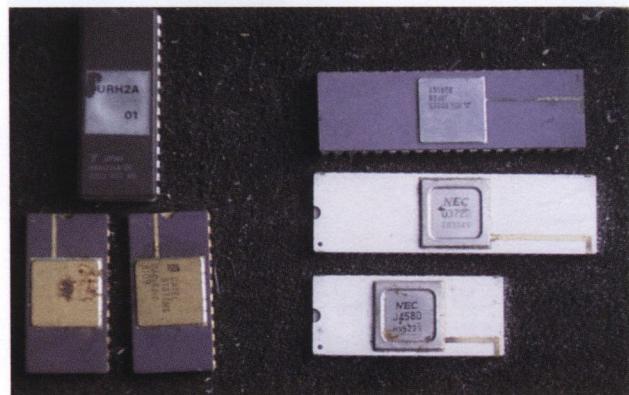


写真-2 8086CPU (NEC)



写真-3 MZ80K（シャープ）

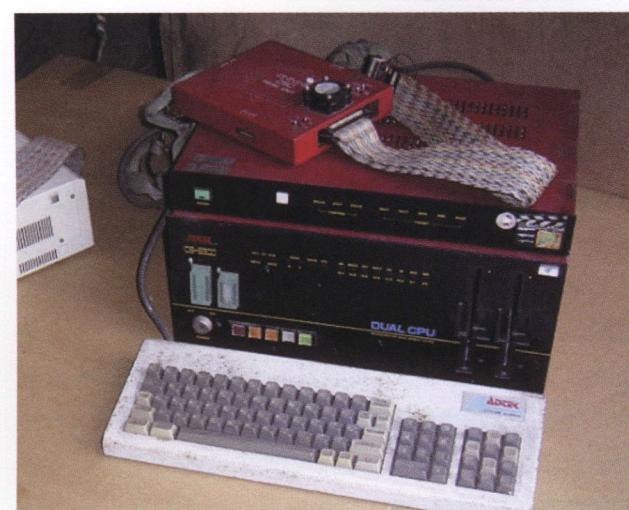


写真-4 ICE IDS8400 (アドテック)



写真-5 PROICE180 (岩崎)

```
C:\>コマンドプロンプト
C:\$dir /w
ドライブ C のボリューム ラベルがありません。
ボリューム シリアル番号は 1437-42E6 です

C:\$ のディレクトリ

.rnd           abc.txt          [altera]
AUTOEXEC.BAT  AUTOEXEC.OLD    [CPLD-PROJECT]
[CLIENT]       CONFIG.SYS      [Documents and Settings]
[j3x.log]      [del1]          [FPGA]
[GCC]          [IMA_CAPT]     [MPUSB5In.log]
[PIC-PROJECT]  [PICASM]       [Lpic.asm]
[Program Files] [Renesas]     [SUIB30]
[temp]         [tmp06]        [WINDOWS]
[WorkSpace]    [よく使う部品2004] [デスクトップ]
[ホームページ愛信フォルダ]  7 個のファイル   1,847 バイト
                           21 個のディレクトリ 27,030,278,144 バイトの空き領域

C:\$ver
Microsoft Windows XP [Version 5.1.2600]

C:\$
```

写真-6 DOSプロンプト  
(XPのコマンドプロンプト)

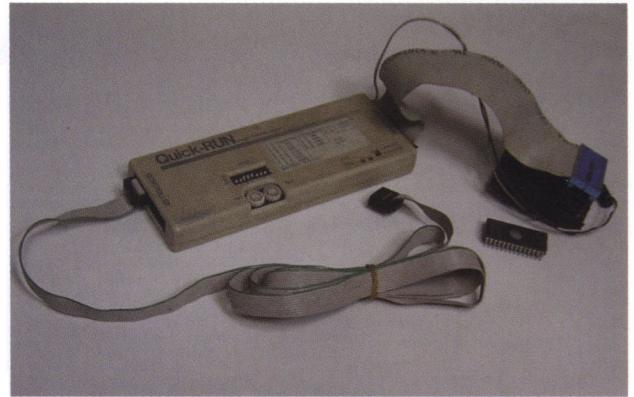


写真-7 ROMエミュレータ (カノーブス)

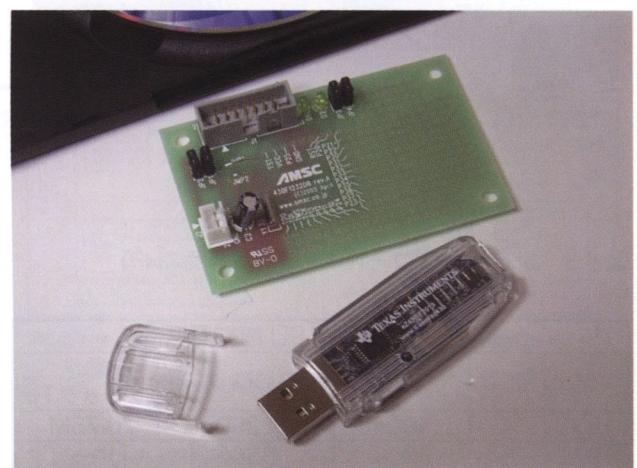


写真-8 TMS430開発キット (TI)

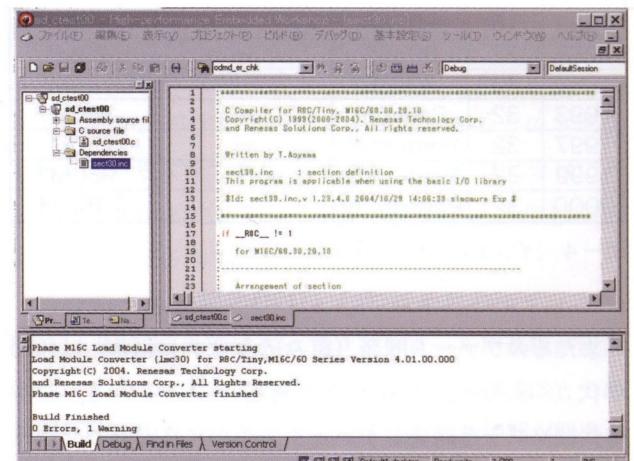


写真-9 R8c開発環境プロジェクト画面

#### (4) 組み込みシステム

組み込みシステムとは産業機器や家電製品などに内蔵される、特定に機能を実現するためのコンピュータシステムのことであるベデッドシステム (Embedded system) とも言う。PC等のシステムとは異なり特化した

たCPUとプログラム格納用のROM、スラッシュ ROM、メモリー、IO等によりコンパクトに構成される。

たとえば携帯電話、デジタルカメラ、自動車、炊飯器、冷蔵庫、自動販売機など現代に使われているほとんどの機器に内蔵されている。システムの使用される機器に応じて特化されたハードやソフトが開発される。たとえば炊飯器であればSWと温度検出用センサーと電力コントロールパワーデバイスのハードにSW、温度低制御のファームウェア（ソフト）を開発すれば目的を達せられる。IOは8本程度で可能であるが、ここにLCD表示やカレンダータイマーなど便利さのために機能追加すれば、更にRTCやLCDコントローラなどデバイスやIOポートを増やす必要がある。ソフトも単純でOSを使わず開発できる範囲である。

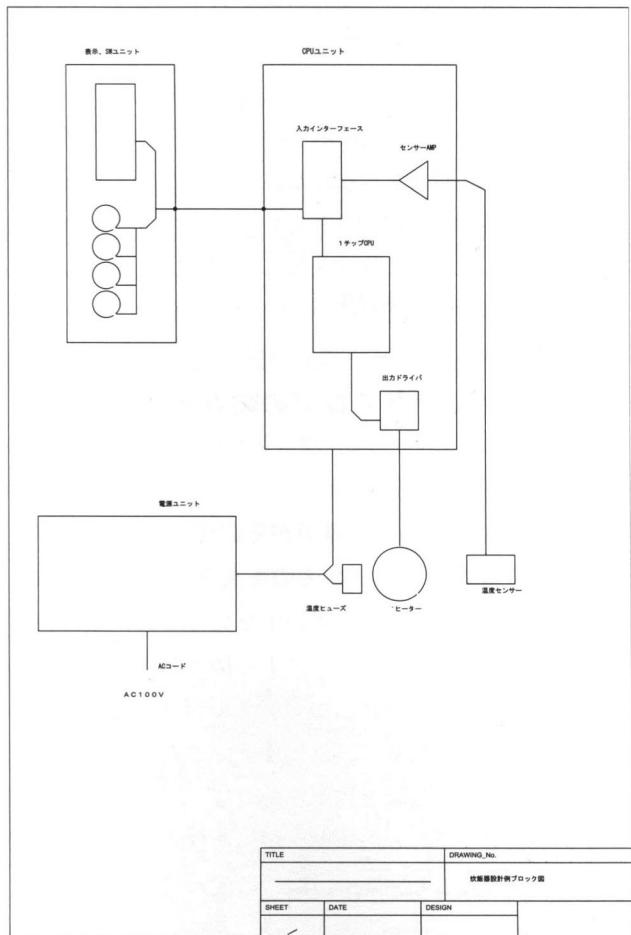


図-5 炊飯器設計例

しかし携帯電話やデジタルカメラ等になると制御すべき内容が多くなり操作も複雑になるのでOSを使い各TASK毎に複数のプログラマーによって開発される場合が多い。また製品のカラー表示や、応答性の必要もありCPUの能力は高く求められる。OSをつむことでメモリやROMを多く必要とする。さらに短期間での開発のため投入するマンパワーも多くそれらをまとめるため仕様の共通化とOSは必要条件となってくる。更に多くの機能を必要とする場合は複数のCPUやOSを組み合わせる大規模組み込みシステムを使用する。

前項でも書いたがCPUの進化に伴い高速、大容量メモリやIO、デバイスを1チップに収めたデバイスが生産されほとんどのシステムで使用されるようになってきている。

又組み込みシステムではSWとかセンサー入力に対する処理をすばやく行い出力を制御するような動作が必要とされる場合が多くそれを実現するためのリアルタイムオペレーティングシステム（RTOS、Real-time operating system）が使われる組み込みシステム用CPUは以下のようなデバイスやOSが開発されている。  
CPUチップ：8051、8085、Z80、6800、V60、PIC、AVR、H8、SH M16C、R8C など  
OS：Linux、FreeBSD、VRTX、Windows CE,ITRON など。

## （5）リアルタイムオペレーティングシステム（RTOS）

RTOSはリアルタイムオペレーションのために開発されたOSである。CPUはひとつの処理しか実行できないのであるが、見かけ上複数の処理（プログラム）が同時にされているように見える事ができる。高速にプログラムを切り替えながら実行させる仕組みをRTOS内で作り、処理に必要なタスク（プログラム）数だけRTOSに管理させる。これ等の切り替えはSW入力等のイベントによりタスク切り替えを行う方法と、決まった時間でタスクを切り替える方法がある。イベントドリブン型とタイムシェアリング型といいそれぞれ特徴がある。システムにあわせたRTOSが供給されている。以下はZ80系CPU用に開発された初期のTROSの特徴と制御例である。これを見ると14のタスク（プログラム）を同時処理が出来、タイマーが16個使える能力があったことが分かる。

これらは当時の必要とする仕様は満足させていたと思うが、最近のRTOSはタスク数256タイマー 256本にTCPIPプロトコルスタックやUSBハンドラなどさまざまな機能が付いて開発されている。

#### 1-2 RTM-X80 の特徴

- 'RTM-X80' は、Z80系CPUのリアルタイムモニタで次のような特徴があります。
- 最大 16 個のタスクを管理(内 2 個は予約済み)
- 最大 16 個の I/O を管理(内 1 個は予約済み)
- 16 レベルの割込み処理(I/O の数に対応)
- 16 個のソフトウェアタイマを搭載
- 標準 Z80 に加え、KLC580A16, TMPZ84C015 に対応済み
- リモートデバッガとしてハイパーZ80(RTM-X80版)搭載

図-6 RTM-X80の特徴

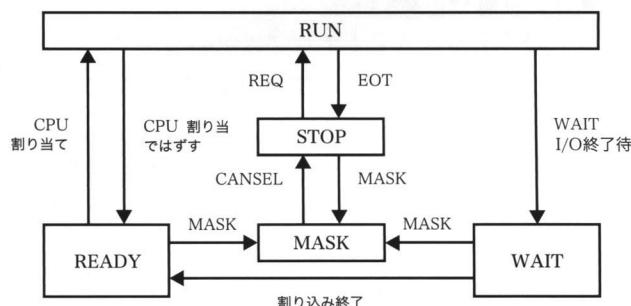


図-7 RTM-X80の動作イメージ

#### (6) システムの応答速度

今まで述べたようにデジタルシステムには入力に対して出力するまでに処理時間が発生する。たとえばボタンを押したら投影されている画像を変えたいとき瞬時（0秒）には出来ない。もし瞬間に見たとしてもそれは人の応答速度より早いからそのように見えるのである。例としてボタンから画像までの処理と時間を一般的なシステムで表してみた。

この表によると、ボタンが押されてから最終画像表示まで0.61秒必要であることがわかる。この時間をシステムの応答速度と言い、内部のシステムやデバイスにはまた別の意味の応答、処理速度が定義される。このシステムの応答速度は変化入力に対する作品の表現の反応になるのでこの機関によって印象が大分左右される。人が作品に接近してきたときに反応をすべきところを、過ぎ去ってしまいそうなときに反応しても作品としても充分な効果を出せない。それらはシステムの応答速度の設計と評価のまずさによるものである。

もちろんここに上げたセンサー、ランプ出力程度のシステムではこのようなことは起こりえないのであるが、システムの性能UPに伴い複雑なインターフェースや処

理を行わせマルチのシステムを組んだときはシステムのボトルネックに充分注意する必要がある。(今回帆評価システムではシリアル通信速度がネックになった)

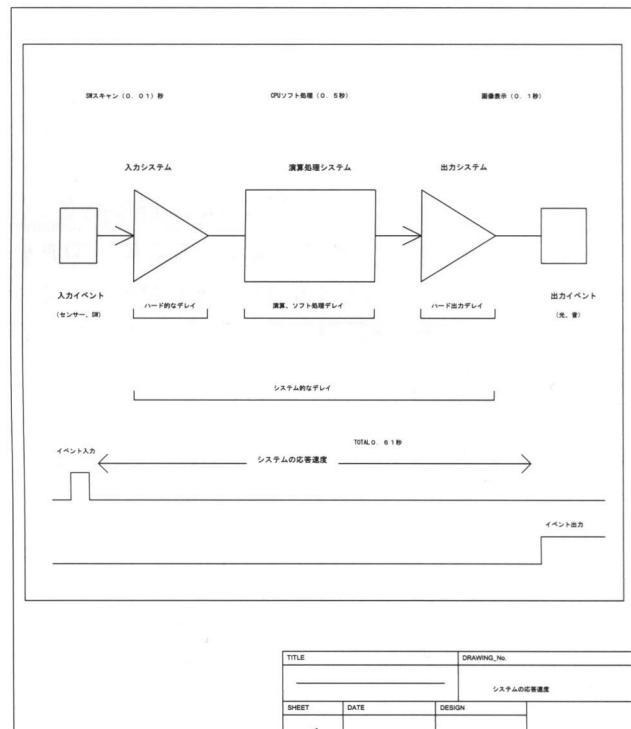


図-8 システムの応答速度

#### 2. デジタルテクノロジの現在とこれからの方向

IT革命と言われつつ世界中がそのデジタルテクノロジの開発と現代の生活そのものを変革するように急スピードで進みつつある。日常の中を見ると携帯電話やデジタル家電とブロードバンドによる個と個またはシステムとシステムを常時接続してデジタルデータを交換するようなインフラ（環境）が急ピッチで進んでいる。日常の中の社会変革は時間を数年さかのぼってみることで誰しもが確認できることだと思うが、それらを基礎から支える組み込み機器の環境や、現状の流れに絞って考察してみたい。

前項でも述べたが、組み込み用のデバイスの流れは1チップ化されその中にCPUやIOデバイスをシステムに合わせて自由に組み込めるデバイスと、その開発環境がこれから組み込みシステムの変化に対応可能であろう。組み込み機器に要求されるスペックは低消費電力、

高速処理、小型化、と従来の技術のままでは到底応えられないものである。チップの開発技術者や、実装技術者、デザイナーまでが夜を徹して少しでも先へ、としのぎを削っている。それらの過激な先頭争いの様子はメールマガジンや無料で配達されてくる各メーカーの技術資料や、アプリケーションノートを2、3月連続してみてみると良くわかる。一個のデバイスが開発されたアナウンスが有ったと思うと1月も待たず機能アップしてリリースされる。また開発用の環境も月単位でバージョンアップを重ねている。この流れの中に身をおいた後、半年もチェックを怠ると先端の開発についていけないことは明白であるが、ここでは2006年の組み込み機器展での主な流れと感じたものをのべさせてもらうことにする。

まず装置の中に組み込まれることが前提でありそのためには、出来るだけ形状が小さくかつ電池駆動のシステムなどは消費電流が少ないと、さらに複雑な処理が多くなるので処理能力が大きいことが求められる。これ等は相反する項目なのだが組み込むシステムの内容により適度なところでバランスされることになる。ここで上記の3項目を満たすデバイスと開発環境がFPGAによるシステムの作成になるかと思われる。

あらかじめシリコンチップに必要なセルを配置してソフト開発のように機能を組み立てこれ等を実現する。以下はCPUやIO部を自由にカスタマイズして1チップ内に収めることの出来る開発環境の例である。複数のCPUで分散処理システムを組むことも容易である。この環境はCPUのIPとCPUのソフト開発とFPGAのカスタマイズと、デバック環境を全て統合環境として持っている。

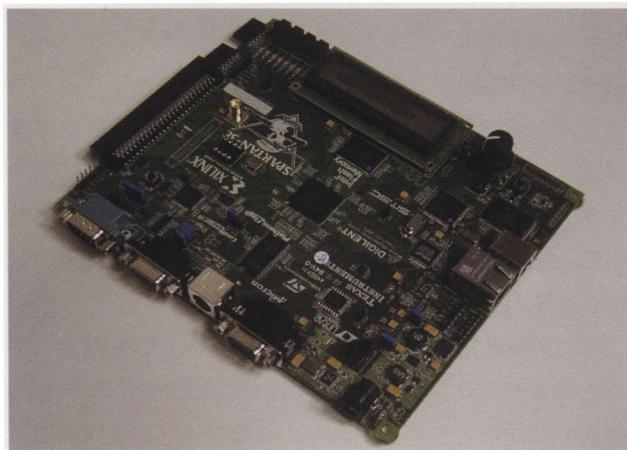


写真-10 開発キット例（ザイリンクス）

この環境を購入すれば以後はCPUや周辺のデバイスのIP、ドライバーなどはライセンスフリーで使用できる。またFreeなCPUのIPコアもありスキルさえあればFPGAの中に自由にカスタマイズして組み込める。

### 3. 開発したシステム

#### (1) 概要

今回のコントロール部は出来るだけ多くのチャンネル入力とデータの演算を分散したCPUで行えるようなシステムを検討した。最終的なインスタでの処理イメージは人に取り付けたセンサーからのデータを高速演算し、処理後外部の出力デバイスへつなげるものとした。アナログ入力が8CH、各チャンネル毎に演算やデータの分析アルゴリズムを持つ。メインのCPUはSH2と周辺のCPUにCPUコアが供給されるMacrobrase（Xilinx）の2チップ、及びPICで構成する。

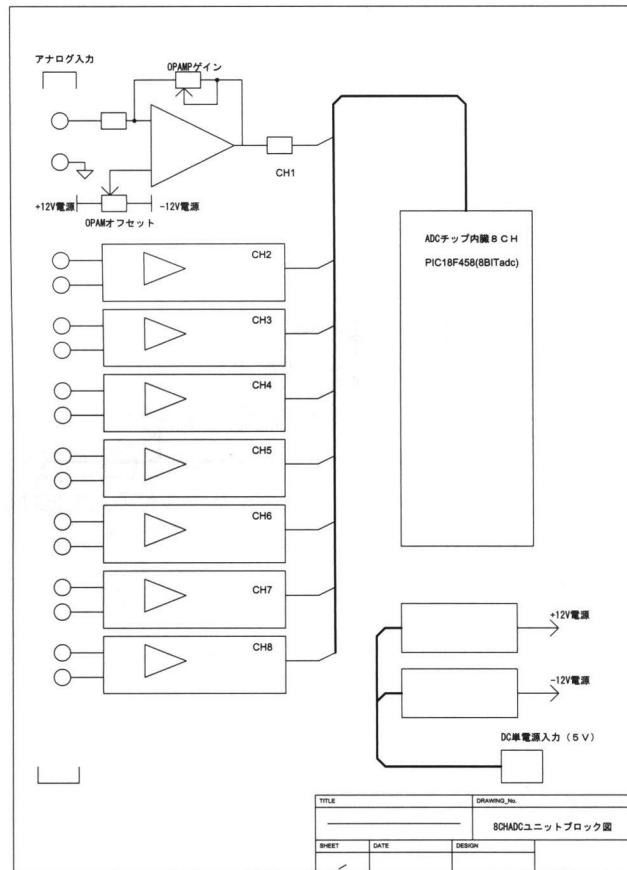


図-9 アナログ入力部ブロック図

## (2) 入力システム

今回の評価対象ではないが、今まで述べたようにシステムとしては情報の取り込み口になるので大まかな流れと処理内容を述べる。アナログ入力で8CH DC 0 V～5 Vの電圧入力に変換したのちデジタル変換する。分解能は12Bitまたは8 Bitで変換速度は約10Khzである。デジタルに反映されてしまえば処理は全て同様に行える。

アナログ部は使用するセンサーによりゲインとオフセットの調整をアナログ回路を組むことで対応調整する。またスイッチ接点入力を8ないし10Bit設ける。

## (3) 出力システム

出力はデータ処理したコントロール用のシリアルデータポートを3CH設ける。更にデバッブ用に1CHとJTAGポートを設ける。実際の出力デバイスはシリアルデータでコントロールされる空気圧制御装置、16個のランプの点滅装置、でインテリジェントなシステムである。

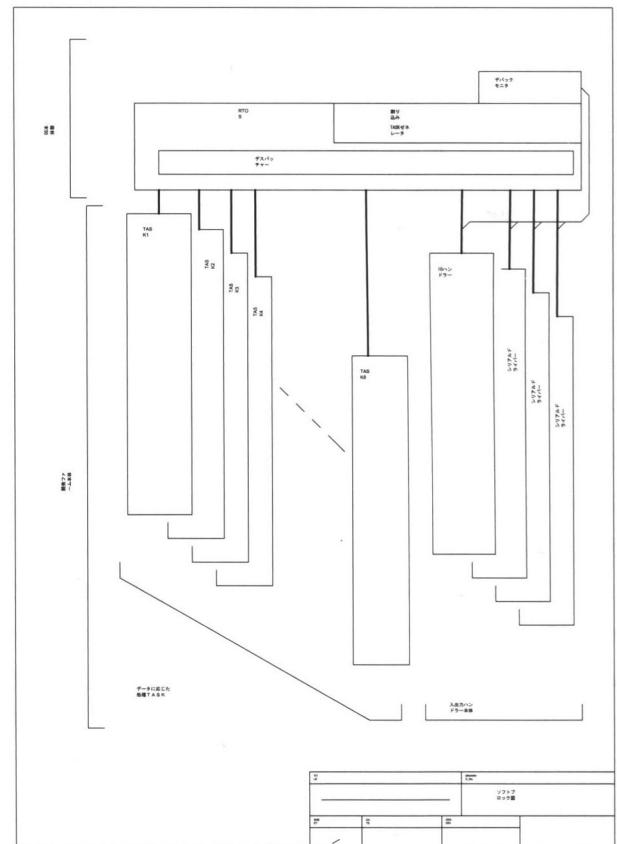


図-11 ソフトブロック図

## (4) コントロールシステムと処理アルゴリズム

今回の処理システムはRTOS (UITRON) を組み込み、入力ごとにタスク内で目的とする演算処理を行う。そのアルゴリズムは各センサーに対応したものになるがそれらの概要は以下インスタへの応用で述べる。入力は8CHになるので8タスクがデータ処理用に割り当てられ、更にSWオペレーション用のIOハンドラーが1タスクと出力用シリアルドライバーが3タスクで合計12タスクの構成で制作される。

## (5) CPU選択

メインCPUはルネサスのSH 2 (7045F) を使用する、組み込みに特化して設計されたCPUで多くのファミリーがある。サブCPUにはPIC (18F452) とXilinx社のMicroBlazeはFPGA内に組み込みマルチのCPUで動作させる。

すこし専門的な内容になるがここでCPUを複数 (マルチプロセッサシステム) 使うことにあたってその特性、構成の特性などを述べておく。前項で述べたように組み込みシステム機器の能力や、開発スパンは非常に高度で、

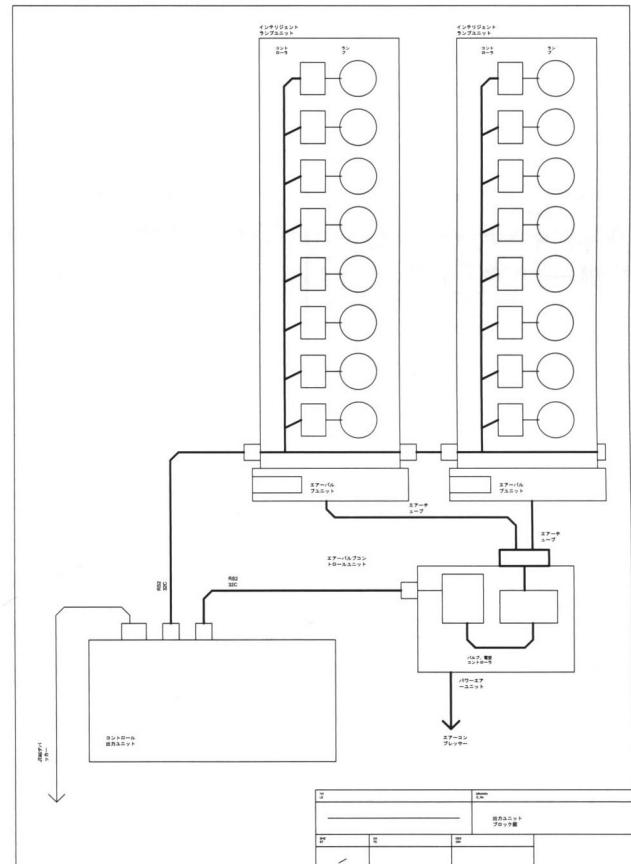


図-10 出力部ブロック図

能率のよいことが求められる。それらに対応する意味でプロセッサーを複数もつ事が考えられているが、そのプロセッサの持ち方は現在次の様なものがある。仕事の分担の仕方として同じ仕事を共通に分散する手法と別々の仕事を受け持つ場合である。それぞれ負荷分散と機能分散という。

更にマルチプロセッサーのハードを説明する時に用いられるヘテロジニアスとホモジニアスという言葉がある。ヘテロジニアスはプロセッサが異質な結合をしているシステムでホモジニアスは等質な結合をしているシステムである。それぞれ機能分散と、負荷分散のシステムとしてベースが設計されている。今回のシステムのプロトタイプはアーキテキチャの異なるプロセッサをバス結合せずに行うヘテロジニアスタイルで処理の分散方法も機能分散型である。これ等の評価が終了してFPGA内で全てのコア（プロセッサー）を構築できるシステムに移項する場合は、ホモジニアスタイルの構成で、負荷分散のシステムも評価して見たいと検討している。FPGAの容量に依存するがこのメーカーの評価ボードでは3タイプ大中小のプロセッサコアが供給されて評価可能である。

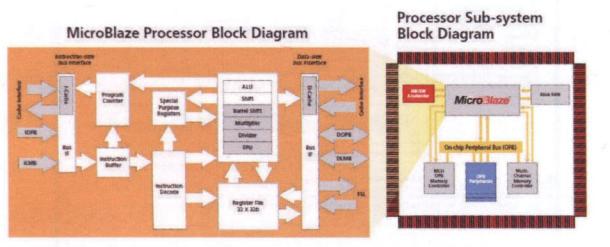


図-12 プロセッサ用ブロック図  
(MicroBlazeProcessor : XILINX)

## (6) 周辺回路設計

入力系のアナログ回路はオペアンプで構成する。センサー入力レベルが現時点では最終確定していないので、プラスマイナスの2電源を使用した物にしておく。スピードと精度のためにゲインとオフセット各々調整可能な回路とした。

CPU間の接続は専用のシリアルチャンネルまたはI2Cで行う。CPU電圧による差異がある場合はレベルシフターを使う。シリアル出力はRS232Cが一般的なので、ドライバーを追加して汎用のシリアルポートとした。

## (7) 制作、ハードデバック

以下に制作基板の写真とブロック図をしめす。CPUPCBとFPGAボード (MicroBlaze) は既製品を使用した。PICのボードは以前開発したボードを改造した。現状では各CPUブロックが別々のボードに乗った機能確認用のみのプロトタイプのレベルであるが、最終的には1ボードにまとめる予定である。アナログ入力部はPICボードに実装した。出力部はメインCPUボードに実装した。全体としては3ブロックになり、相互接続はI2C、シリアルで行う。各ブロック毎にデバッブ用のポートを持つ。

全体としてのシステムデバッブはメインCPUボードのRS232Cデバッブポートで統合して行う。

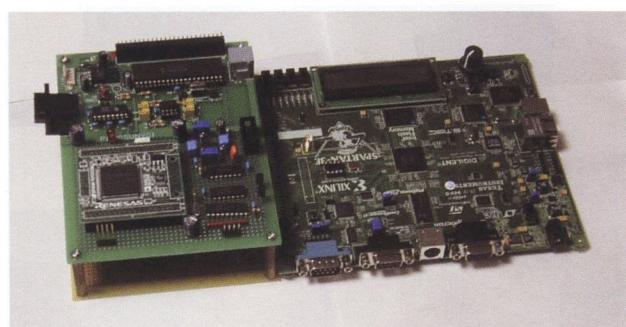


写真-11 制作基板プロトタイプ

## (8) 開発用ソフトと基本モニター

組み込みシステムでCPUが異なる場合、初期のハードデバッブやある程度動き出すまではCPUにあわせた環境で行う必要がある。メインCPUはSH 2を使用し、RTOSを載せるのでC言語でコンパイラはGCCを使う。MacroBraze (サブCPU) はFPGA内に組み込むCPUなのでHDLと専用のコンパイラを使う。PICボードはCCSIncのCコンパイラである。共通の言語であるはずのCであるが実際に供給される関数や制限などが今回かなり異なるのでそれらを踏まえた使用が必要になってきている。普通組み込み機器の初期デバッブは、メモリーとIOがアクセスできてプログラムのRUN、モニターのコマンド待ちをIOとハードリセットで行える程度で充分役に立つ。今回はこのモニターを徐々に拡張してゆき外部のCPUのアクセスやRTOSへのつなぎに発展させる。RTOSが動き出したら各タスクごとに外部の割り当てたCPUに同様なモニターを組み込み通信させる。各モニタはCPUはそれぞれが持っているIO、デバ

イス、などによりカスタマイズする。

今回のマルチCPUシステムの最終イメージは図-13であるが、開発時間の関係で必要最小限の物となる。以下にデバイスと開発言語、モニター予定を示す

- 1 : メインCPU : SH2      Gccミニモニター  
RTOS      シリアル
- 2 : サブCPU (TCP/IP)      CCS C      ミニモニター      I2C
- 3 : サブCPU (USB/IF) CCS C      ミニモニター      I2C
- 4 : FPGA内 (MacroBraze) HDL, GCC CCS C  
ミニモニター      シリアル
- 5 : サブCPU (汎用IO) CCS C      ミニモニター      I2C

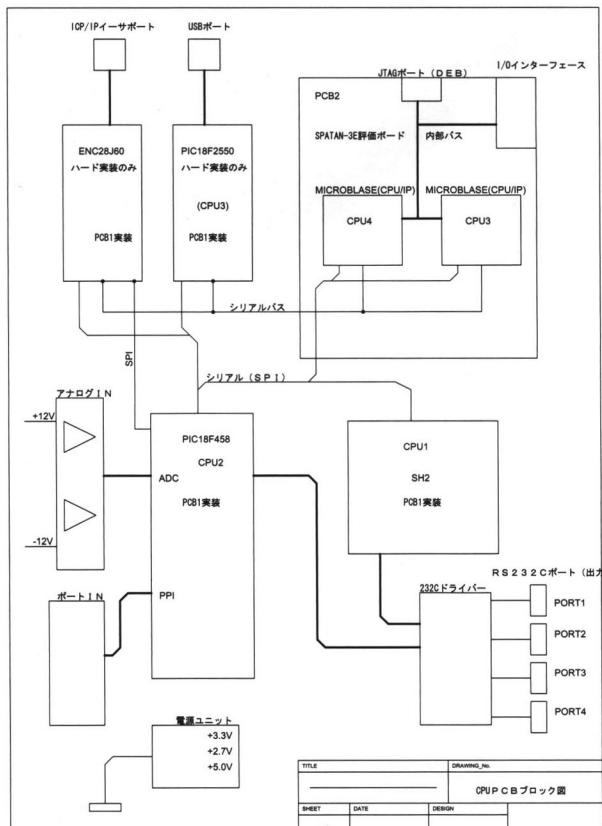


図-13 全体ブロック図（マルチCPUシステムの最終イメージ）

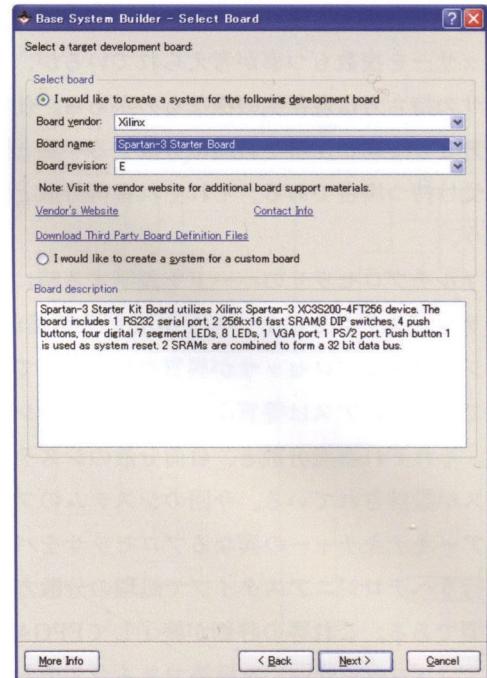


写真-12 EDKプロジェクト作成画面

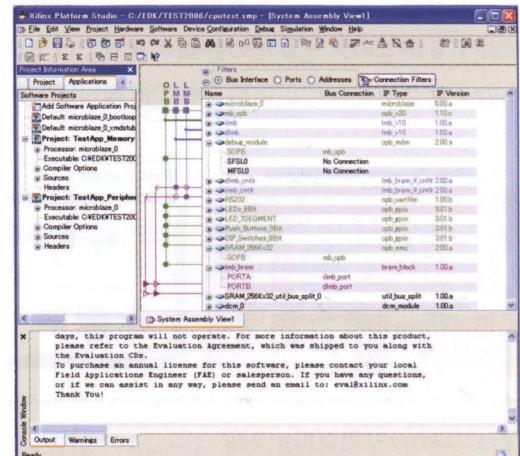


写真-13 EDK8.2プロジェクト画面

## 4. インストレーションへの応用

### (1) システムを充分生かす表現と制作

今回のCPUシステムの特徴はデバイス内の特化したインターフェースを利用して幅広く共通のインターフェースを持たせたことである。但し今回はTCP／IPとUSBは外のAP開発が間に合わないため、実装のみでファームやAP確認は次回に持ち越す予定である。また人からのデータをリアルタイムで取り込むセンサーブロック制作、評価に多くの時間が必要なため既存の測定器を使用し、そのデータをオペレーターが入力するシス

テムにした。血圧計の3データ（最高、最低血圧、及び脈拍数）が該当し、これ以外の表面温度3CH、2次元加速度センサー2CHはリアルタイムでアナログ処理後入力できる。最終的にはコロトコフ音分析とデータパタンマッチを行い出力内容を可変にしたいが、ハードの一部のみの実装となる。出力は人の血流を演算により視覚化させた表現形態を取る。血圧計の3データがリアルタイムで取り込めないところはデータ入力した時点での動作をさせ、あたらしいデータに書き換わるごとにその動作になる。以下のブロック図のようにシステムがリアルタイム応答する条件であるが、今回は暫定的な処理でシステムのみを評価することになった。（このブロックは本来はオープンにならない予定）

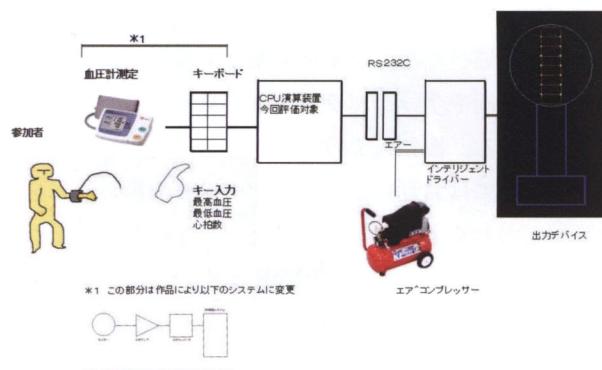
内部のRTOSとTASKはセンサーごとにデータ演算され通常の応答（10MS）では十分な余裕を持つ。DSPの使用までは必要なくCPUのソフト演算で対応できる。

## （2）制作の動作イメージ

外形的には人のデータをサンプルする場所と隠れたところにある今回のコントローラ、更に最終出力の光による血流シュミレーション表示となる。当初は水柱での気泡のコントロールと内部発光するランプによりこれ等の最終デバイスを検討していたが、今回の展示場所の問題や、必要な駆動元の問題から簡略化した表示とコントロールにした。

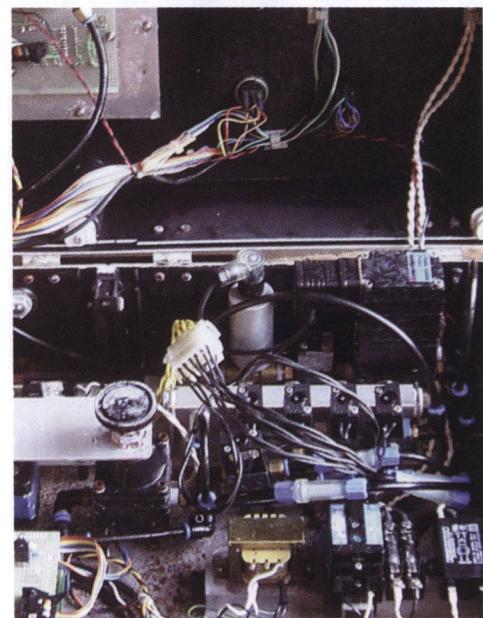
上記の入力部の暫定部分と最終出力部分は次のチャンスを待とうと思うが、コントロールシステムの評価自体にはおおきな障害は無くおこなわれた。

以下に初期動作イメージ図を示す。



## （3）作品用周回路、

血圧計は市販品を使用し温度センサー、上腕に取り付ける加速度センサーは概開発の回路を使用する。また出力用に用意したエアーコントロールデバイス等（今回作品未使用）の写真を以下に示す。



## 5. 今後へのシステムの可能性等

### （1）開発システムの進化と表現の多様化の追従性

前項にも記述してあるがPCやマイクロコントローラをツールとして使う環境は益々オープンになってきて、表現そのものとは異なる角度からアクセス（使いこなす）する能力もある時期必要となってくる。進化中のテクノロジーを自己能力の中で使用できるのはややもするとそのことのみにエネルギーを注入してしまいがちである。表現の幅が広がり、人の感覚を簡単にアクセスするこれ等デジタルテクノロジーを使った表現は昨今多いが、このテクノロジーとアート（表現）ふたつのバランスをどう取るかが制作のなかで必要と思われる。

本稿はテクノロジーを意識したものであるが、表現と言うスタンスに立った場合これ等デジタルテクノロジー以外にも可能な世界があることは言うまでも無い。

しかしデータ通信にはインターネットや携帯電話を現代人は使用して、よほどのことが無い限りモールス符号や、パンチカードの読み取りでは行わない。時代を遡っ

て見れば時代ごとのテクノロジーは確実に全盛を持ちそして次の時代にそぐわなくなれば自然と消滅してゆく。CPUや開発システムの変容は前に述べたがここに在るシステムは現時点でのもので設計評価したコントロールシステムである。同様な開発を行っている他大学内研究センターで開発されているシステムの写真を以下に掲載させていただいた。(慶應大学システム例)

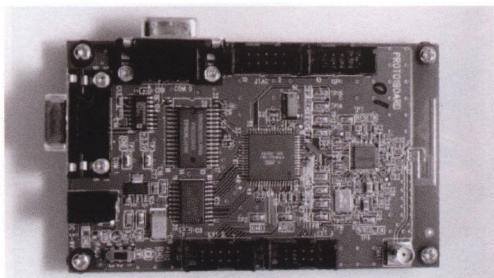


写真-15 メイン基板

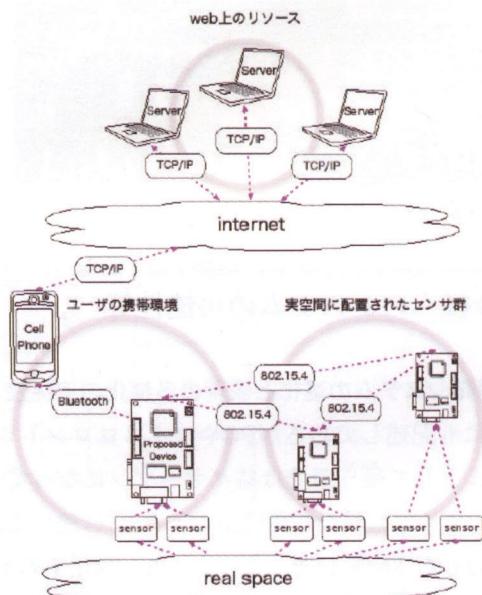


図-15 アプリケーション例



写真-16 ボードシステム

## (2) 産業用システムと比べる安定性

使用温度範囲、使用デバイスのスペックのちがい、安全率（余裕度）、動作試験の内容、ドキュメントのちがいなどにそれらが見えてくる。

組み込み機器のコントローラはその用途により信頼性や使用デバイスにかなり差がでてくる。デバイスの例で言うとミニタリースペックとして軍隊用の機器に使うものがあり、又コマーシャルタイプとして家電などの一般向けのものもある。更に宇宙や放射線機器用の対放射線用のデバイスもある。

これらは使用目的に合わせて部品が選択される。また設計時の動作マージン（余裕度）やエラー時の対応処理をどの程度考えるかも用途によって変わってくる。たとえばホビーレベルでのファーム開発は動作のみに着目してコードが書かれ、想定外のケースに対する分析と処理はそれほど行われない。機器が動作異常になった場合は電源を再投入することで対処できるケースが多いからである。しかしオペレータが関与できない信頼性の高いシステムの場合は正常動作の記述コードに対する異常処理のコードは10～20倍の量になる。

完成時の動作テストはオペレーションや、入力の組み合わせなど時間をかけて全てのケースで行われる。また再生産や大量生産が念頭にある機器はドキュメント（書類）の制作と管理が充分に行われ、ホビーレベルのように1セットのみを制作する場合とは大きく異なる。インスタレーション用の小規模なシステムと産業用のシステムは同じ土俵では比較できないが、少なくとも通常の環境で動作できれば充分システムとしての役目は果たしていると思える。

## (3) タスク分割でのソフト制作可能性

前項でも述べたが、作業を分割して複数人で行う必要性は完成時期や全体をバランスよく見極めるために必要なことである。複数人で行うとき作業をスムーズに進行させるためにはお互いの処理とデータの交換の仕方を充分確認しておく必要がある。開発の大きなプロジェクトではSEとの確認やソフト仕様書などを読み下すことで各自の作業を進められるが、今回のような規模の小さい開発では、お互いが全体を理解して、不明（グレイ）なところが無いよう進める必要がある。

今回のデータの渡し方はメモリアドレス上の固定長

データとフラグにより行った。各タスクはデータを参照する時にフラグを見て他のタスクが使用中で無いときにアクセスする。また自分の状態をフラグに反映させておき、データ処理が終了したらフラグを元に戻して終了する。この処理と自分の仕事のみを行うプログラムを書いていけばよいのである。

各タスク管理はOSの仕事だが、OSも含めて出来上

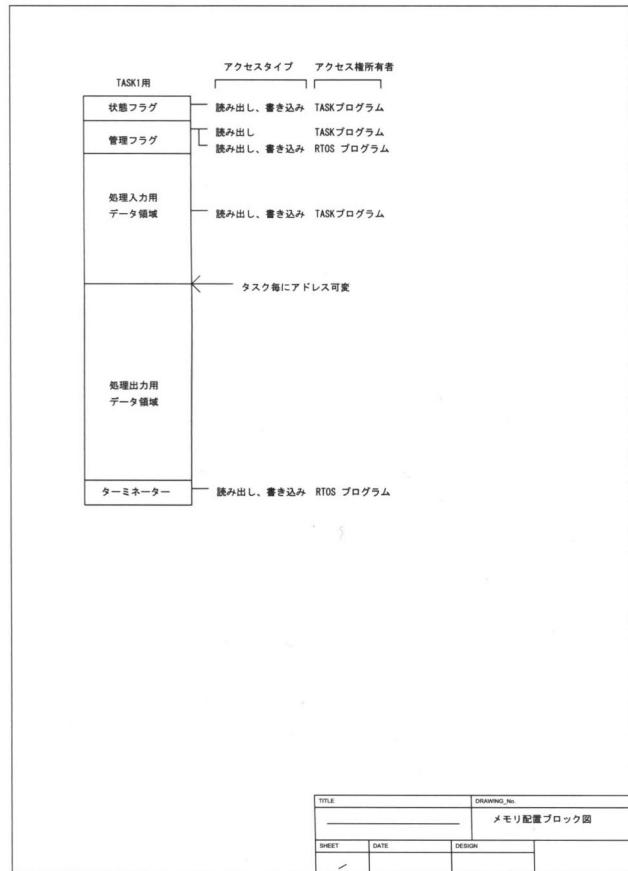


図-16 メモリ配置



図-17 ヨロトヨフ分析メーカー・カタログ例

## 血行動態をトレースするKSG

## 血行動態をトレースするKSG

KSGの流れは、まずKSGの基礎知識、次に、肺の大きさは心臓の容積に影響し、各肺の拡張量と相関します。コロコフ音第1拍～第3拍に際しては、心臓の吸収力・運動の能力が強くなるに伴うされ、どちらか異常がみられる場合、やめ立上り下り歩行などに現れがります。また、第3拍～第5拍では右肺血管が最も活動的で、腹筋運動、膝屈曲運動などによって強く活動され、それに異常が現れる場合、その発現率は高い現れがあります。通常、理屈はそれをS型グラフで見ます。第1拍～第3拍、第3拍～第5拍がS型になります。加えて、ときに第3拍～第5拍まで直線で走行する現れになります。

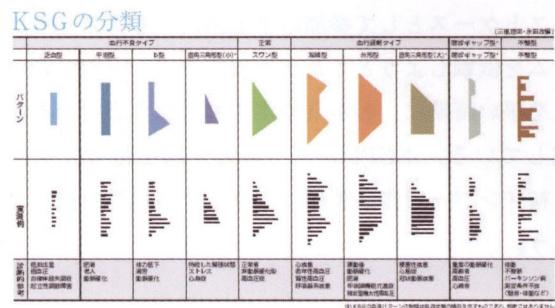
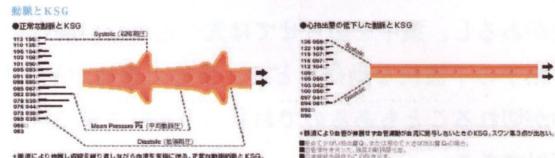
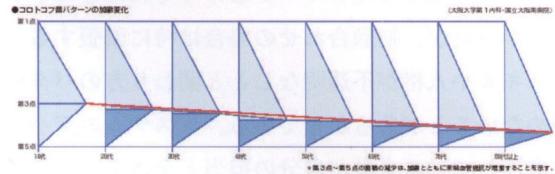


図-18 コロトコフ分析例

がったプログラムをシステムに入れ込み動作確認するの  
は人の作業になる。統合環境としてのソフトはありそれ  
を使うのだが、システムを最終的に動かし、作品をまと  
めていくのは製作者の責任である。

以下にタスクごとの演算と最終出力へのデータの渡し方とプロトコフ音の分析機器メーカー資料とを簡単に紹介しておく。データのタイプ分析とリアルタイム処理演算でシュミレーション出力する。

## (4) 擬似プロジェクトによる少人数グループでの相互理解と反省と目標

今回のシステム開発のCPUボードハード設計、ソフト設計は私が担当したがハード制作と、各タスクのプログラム開発は依頼した。細かいところでのミスマッチはいつもの通り発生するのだが、大きな流れの進行を阻害するようなことはなく、おおむね合格点である。

細かいところでのミスマッチとはフラグステータスの理解の違いからバグが発生し、理解できれば少しの変更で対処できるようなものであり、大きな流れの進行を阻害とはそのまま進めてはシステムが初期設計どおりの完成の目安が立たないようなトラブルである。この場合は

最初からやり直す必要がある。どこまでやり直すかはケースによる。

何回か一緒にやったグループなのでそれほどのトラブルは無かったが、初顔合わせの場合は特に緊張する。相手のスキルや人格が不透明なことと関わり方のパターンが読めないことがあるからである。システムのデバック時は参加している全員が自分の担当と全体を冷静に見る必要があるし、集中を切らせては先へ進まない場合がある。相手の不愉快な動作などで、自分の感情が乱され、集中が切れることがあるのでお互いの人格にまで言及した所以である。

テストケースとして参加の学生諸氏にもタスクのプログラムを依頼しようとしたが実現できず、実現の環境つくりを早い時期に、わかりやすくおこなう必要があると反省している。本CPUシステムの完成を待って次回は全員初メンバーで作品製作にトライする目標を持ちたいと思う。

#### (5) ハード設計とOS系の開発、ヒューマンインターフェース部、出力部（表現）

CPU部のハードはプロト制作なので、機能のみの確認用複数基板である。最終的にもう一回1PCB化するために再評価が必要である。

インプリメントしたOSとCPUIP等は供給されている環境によるので、ハードが完成すればトラブル無く再投入できる。

ここまでではシステムの共通部分なので、制作ごとに同じものが使える。ヒューマンインターフェース部、出力部（表現）は制作作品の内容により設計が変化する。

今回計画したのは人の体内で動いている生命現象の一部をサンプルして外部にデータとして取り出し、スケーリングやデフォルメをして出力デバイスで正確に表現することであった。入力が生命内の物理現象であり、処理が係数演算であり、出力がデバイスによる正確な生命内現象のトレースとも言い換えられる。市販の血流計、呼吸機等調べたが、センサー部の処理からデータ処理まで充分にデバックされて、実際の医療現場で実用になっているシステムはその開発歴史の重みを汲み取ることが出来る。

それらに比べたら本システムは生まれたての赤子のようなものだが、生まれた時期が現代と言うことでデジタ

ルテクノロジーに関しては引けを取っていないと自負する。また医療用機器レベルの性能を持たせることも目標になっていた。

又、赤外センサーによる脈拍の検出が最終調整時に実現出来たので一部リアルタイムでの応答も試みることが出来た。

これ等のことを見た結果制作したデータ処理システム（CPUユニット）は次につなげる開発が出来たと思える。入力ユニットのセンサー技術などは評価不充分、出力表現部分も環境などの対応により充分なものではなかったと思える。

しかし作品と言うよりコントロール部システムの評価という意味では有効であった。

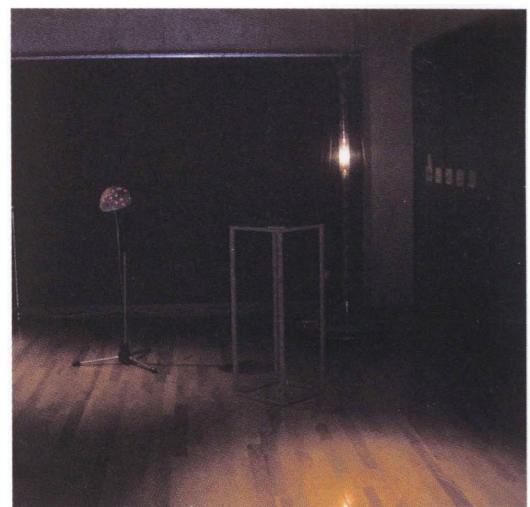


写真-17 展示会場



写真-18 展示作品

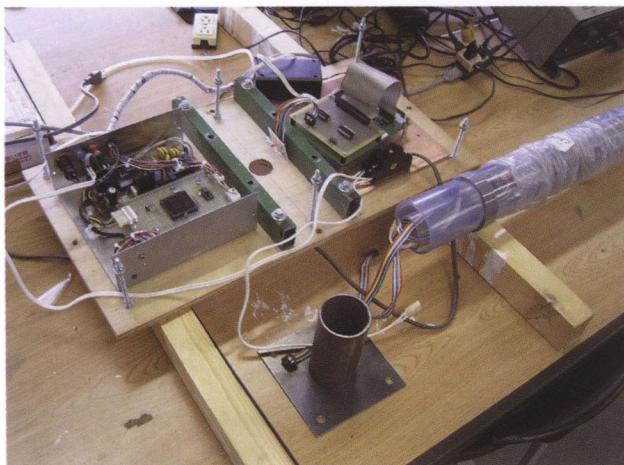


写真-19 組立て風景

---

## 終わりに

評価内容が多岐にわたり項目ごとの制作評価と、実際の最終作品での鑑賞というレベルでの評価が充分でないが、システムとしてハードをまとめあがられたことは評価の第一歩だと思える。実際にはファーム開発と、入力部、出力部を再チェックしてフィードバックを何回かかる必要がある。

制作の内容が大型して複雑になると一個人では到底不可能になりプロジェクト化した作業によらざるをいないが、今回多くの方に協力を頂いた。制作に伴うプロト開発に時間を割いてくださったM氏、CPLD評価ボードを時間内に供給してくださったP社殿に、またファーム開発のテストケースになってくださった各氏や一緒に作品つくりを行ってくれた芸工大の学生諸君に楽しい関係ばかりではなかったことのお詫びと、一緒にやれたことの感謝を充分にここで表しておきたいと思います。

---

## 執筆者

野上 文天 デザイン工学部 情報デザイン学科  
NOGAMI Bunten School of Design/Department of Informatique Design  
非常勤講師  
Part-time Lecturer  
サンアートマン代表  
CEO Sanatman Ltd