

計算機の基本構成・基本動作を教授する為の実験用マイコンの製作

大 西 孝 臣*・阿 部 司**・稲 川 清**
郡 貴 志***・川 畑 哲 治***

Manufacturing of experimental single-board-computers to teach the fundamental architecture and the fundamental behaviors of the computer

Takaomi OHNISHI, Tsukasa ABE, Kiyoshi INAGAWA,
Takashi KORI and Tetsuji KAWAHATA

Abstract

We have manufactured the single-board-computers, which are now applied as the experimental materials for the fifth grade's students.

The purpose of our single-board-computers is to help the students learn concretely about the fundamental architecture of von Neumann's model and about the fundamental behaviors of the computer: "Fetch and Execute."

1. はじめに

情報工学科では、3年生の学生実験において、計算機の内部構造を学習させる為に、既製のワンボードマイコンを用いてのアセンブリ言語の演習¹⁾を行っている。4年生以降の学生実験においても、3年生の時に学習したマイコンを教材として導入し、随時使用している。

ところが既製のマイコンの場合、経年変化を防ぐ為に回路表面に腐食防止のコーティングが施されていたり、小規模化、低コスト化の為にすべての機能がワンチップに収められている等の措置が行われている為、実装された電子デバイスやICレベルでの操作を直接行う事が出来ず、学生にとって自身が扱える規模のハードウェアであるというリアリティが薄れ、実験の主目的が“アセンブリ言語というソフトウェア”の実習にすり替わってしまい、結局ハードウェア面の応用力に欠ける学生が多くなるのが現状である。

仮に手製でマイコンを実現するとしても、従来の半田付けで学生がマイコン規模の回路を実現するのは高リスクであり、実験の主目的が回路の作

製演習へとすり替わってしまいがちである。又、1度作製した回路を使い回す事は出来ないのも、高コストで非現実的である。

一方、企業の現場では、最近市販されている安価・高性能なワンチップ・マイコンを製品に即応用したいという気運が高く、ハードウェア・ソフトウェア両面に関して偏りなく、よりクラフトマンシップに富む者に対してのニーズが強い。

そこで本稿では、上記の事柄を整理し、5年生のハードウェア実験用に製作した実験用マイコンを紹介する。

2. 実験用マイコンの概要

2.1 従来のマイコンの基本構成、学習上の問題点

ノイマン型と呼ばれる計算機のハードウェアは、そのハードウェアの規模とは無関係に、原理として、「CPU」、「メモリ」、「入出力インターフェース」の3つ構成要素から成り立っている。これ等の構成要素間でやり取りされる信号は「データ信号」、「アドレス信号」、「制御信号」の何れかに分類され、必ず各信号毎に用意された「バス」と呼ばれる共通線路を介して行き来する。この図1で表される構成が「計算機の基本構成」と呼ばれるものである。

* 助 手 情報工学科

** 助教授 情報工学科

*** 技 官 (情報工学科)

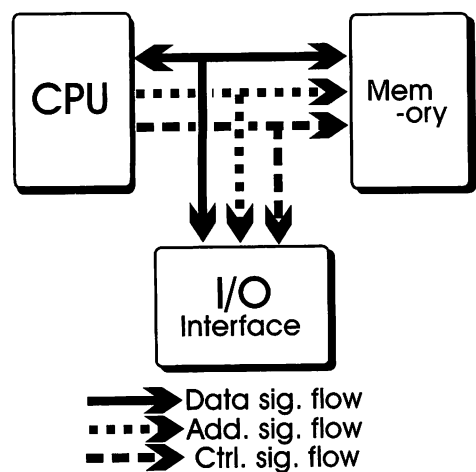


図1 計算機の基本構成

従来の既製のマイコンの場合、ハードウェア独特の知識について出来るだけユーザを意識させないままに機械語のアプリケーション・プログラムを実行出来る所までユーザを導く、「モニタ」と呼ばれる基本プログラムが用意されている。モニタ・プログラムはマイコンの電源投入時より実行され、ユーザの相手をする仕掛けになっているので、ユーザにとっての「マイコンの操作」の実態とは、モニタ・プログラムというソフトウェアとの対話となる。ユーザがモニタ・プログラムそのものの存在を認識しない限り、モニタ・プログラムというフロント・エンドにしか接していないユーザ側の“マイコン観”が原因で、CPUの機能の範疇をモニタの機能を含めた誇大なものと解釈する等の、マイコンのハードウェアに関する様々な誤解が生じる。

2. 2 実験用マイコンの基本構成

本稿での実験用マイコンでは、図1の構成より更に、メモリであるRAMのデータを直接操作する為のハードウェア（DIPスイッチ、LED）を設け（図2）、RAMとの間にバスを接続した（図3、図4）。なお図2のバス①とバス②の用途は混合出来ないで、2つのバスの利用を手動により時分割しなければならない。バス②を使用する時は、CPUに対してバスの使用を要求する為の信号を送り、バス①を使用する時はトライステート・バッファでバス②を切断する仕掛けを用意した。

このRAMを直接操作するハードウェアが存在する事で、人力のビット操作で扱える程度の規模ならば、モニタ・プログラム無しに直接、機械語

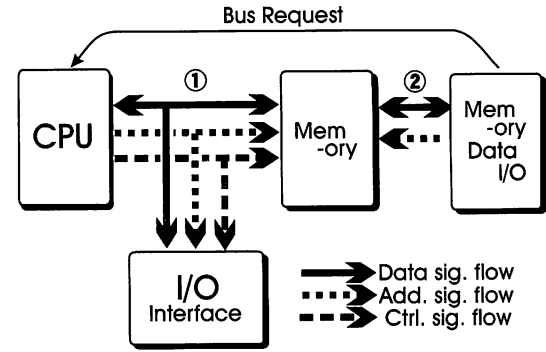


図2 実験用マイコンの基本構成

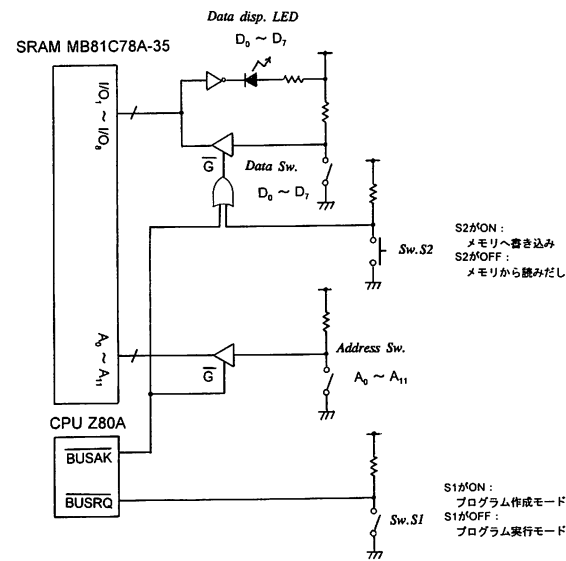


図3 アドレス線・データ線の取り扱い

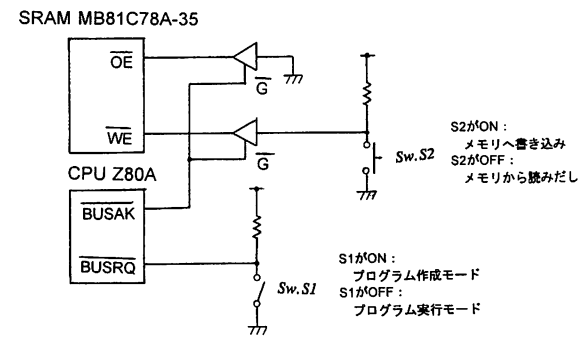


図4 制御信号線の取り扱い

のアプリケーションを入力・実行する事が出来る。
又、ROMライターを用いて機械語プログラムを書き込んだROMを準備し、マイコンに実装させて実行させるという手段や、RS-232Cによる通信機能も用意したので、モニタ・プログラムの様な人力の操作のみでは入力出来ない比較的大規模の機械語プログラムについても、デスクトップ・パソコン等からのクロスアセンブルやクロスコンパイルという方法を通じて対応出来る。

2. 3 実験用マイコンの実現

本稿での実験用マイコンの外観を図5に示す。

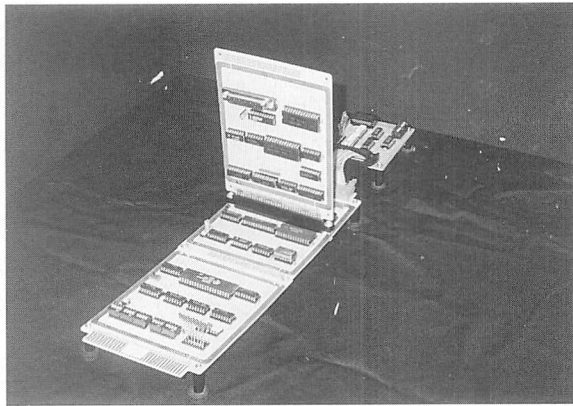


図5 実験用マイコンの外観

使用している主な素子は以下の通りである。

- ・CPU：ZILOG Z0840004PSC(Z80)
- ・SRAM：FUJITSU MB81C78A-35
(8kword x 8bit, CMOS)
- ・EEPROM：HITACHI HN58C65P-25
(8kword x 8bit, CMOS)
- ・パラレル入出力インターフェース：
NEC D8255AC-5(PPI8255A)

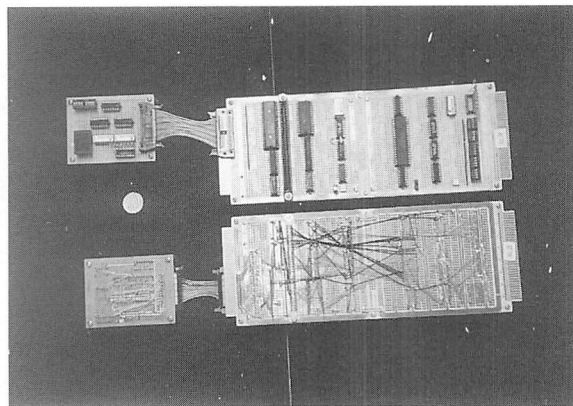


図6 主ボードの外観

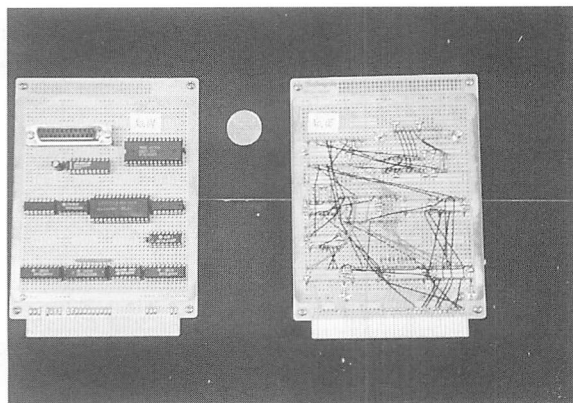


図7 拡張ボードの外観

- ・シリアル通信用インターフェース：
NEC D8251AFC(USART8251A)
- ・タイマ兼カウンタ：
SHARP LH0082A(Z80A-CTC)

本マイコンは「主ボード(図6, 回路図は図10)」と「拡張ボード(図7, 回路図は図11)」で構成される。

主ボードにはCPU, SRAM, EEPROM, パラレル・インターフェースが実装されており, 拡張ボードには, シリアル・インターフェース, タイマ兼カウンタが実装されている。電源は5V DC単電源で, 主ボードのみでも動作出来るが, 拡張機能を拡張ボードの形にし, 主ボードにあるカードエッジ・コネクタを通じて接続する事も出来る。カードエッジには, データ・バス, アドレス・バスやCPUからの主な制御信号, 電源を端子に用意した。従って, 図7の拡張ボードに限らず, 必要に応じ, 増設メモリを実装した拡張ボード等も接続出来る。

本マイコンでのIC等の端子間の配線には, ワイヤ・ラッピングを採用した。学生が主ボードに対してラッピングによる配線を行う様子を図8に示す。

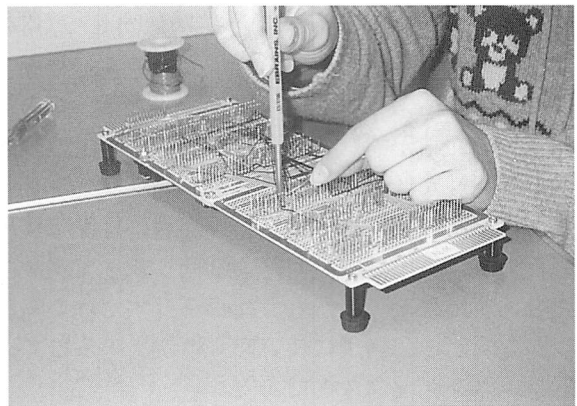


図8 ラッピングの様子

ラッピング・ワイヤの被覆は最低4色を用意し, その内1色はデータ信号線, 1色はアドレス信号線, 残りの2色は制御信号線に割り当て, 基本構成間でやり取りされる3種類の信号線の存在を分かり易くしている。

これ等4色の内, データ線やアドレス線, 制御信号線の1色は残し, 残りの制御信号線1色のみを学生に配線させる。主ボードにおいて学生に配線させるのは, 主ボードの部分回路図である図9の中で, 実線で示された線路である。学生が配線する制御信号線は, 3つの構成要素間でやり取り

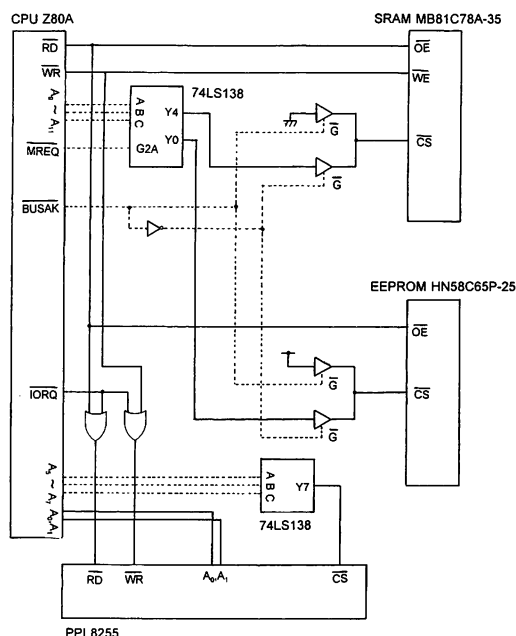


図9 主ボードの部分回路図

される信号の内、計算機の動作を理解する為には最も重要で、適切に配線しなければマイコンが満足に動作出来ない箇所である。配線の分量は、学生が原理を理解した上で配線・評価出来、仮に学生が誤配線しても、教師が回路の症状からその原因を追跡出来る程度にした。

ラッピング・ワイヤを用いる手法では、専用のICソケットのポスト1箇所より4、5本程度までの配線が出来るので、半田付けの様に配線の為に基板の面積が消費される事が無く、学生の誤配線の可能性が低減される。又、一度ラッピングした配線を基板を傷める事無く、容易に外す事が出来るので、半田付けの回路より低リスクで実験回路を実現出来る。しかも、配線を外すだけで実験回路を次回の実験班に使い回す事が出来るので、低ランニング・コストである。

3. 実験の概要

3.1 実験指導書・事前説明

実験指導書は、出発点としての図1のノイマン・モデルを意識する構成にした。図10の全体回路図等も、図2に対応させる形で実験指導書に載せてある。2.3節にある「主な素子」に関する資料等も指導書に載せた。

実験当日の事前説明では、実験用マイコン、特に主な素子の周辺にある回路が学生の技量で取り扱える範囲の部品や回路構成からなる事を理解させ、IC間の信号線の接続状況について説明する。

3.2 実験の実施

図9の部分の内、まず「CPU=メモリ間」を配線させ、簡単な無限ループの機械語プログラムを実行させ、ロジックアナライザを用いて、CPUの端子からアドレス信号、データ信号、制御信号を数枚のタイミングチャートの形でプリント・アウトさせる。そのタイミングチャートから、実験用マイコンの各サイクル、各ステート毎の動作を口頭で説明させる。その結果、学生は、計算機の基本動作であるフェッチ=エクゼキュートの原理や、DRAMのリフレッシュ割り込み等の実際について学習出来る。

続いて「CPU=パラレル・インターフェース間」、拡張ボードを接続して「CPU=タイマ兼カウンタ間」と段階的に配線させ、テスト・プログラムを作成、実行させる。その結果、学生は、インターフェースやタイマ割り込み等の実際について学習出来る。

3.3 実験報告

実験報告書では、プリント・アウトさせたタイミングチャートを添付させ、信号レベルで、実験用マイコンの各サイクル、各ステート毎のフェッチ=エクゼキュートの様子を報告させる。その際、例えばインストラクション・フェッチ時において、機械語のオペコードがメモリから「なんとなくCPUへ」行くのではなく、CPUの中のインストラクション・レジスタへ行って、デコードされるであろうという様に、CPUの内部構造を意識した具体的な所まで考察出来る様、指導する。

4. おわりに

本稿では、現在5年生のハードウェア実験での教材として使用しているマイコンの製作について述べた。本稿で製作した教材は、ラッピングワイヤを採用しており、学生に回路の配線を実際に行わせる為、ノイマン型計算機の基本構成や計算機の基本動作であるフェッチ=エクゼキュートの概念をより具体的に教授出来る。

参考文献

- 1) 竹田仰, 基礎からのマイコン制御 Z80シングルボードコンピュータの入門と実践, 日本システムインテグレーション, 1989
- 2) 相原隆文, 初歩のデジタル回路3 手作り

