

## 教育用 FPGA マイコンシステムの開発

岩河秀知<sup>†1</sup> 村岡道明<sup>†1</sup>

現在、8ビットマイコンを搭載した教育用8ビットマイコンボードはいくつか開発され商用化されているが、マイコン初学者の学習ツールとして開発されたものは少ない。本研究では、8ビットマイコンをFPGA上に実装し、一命令ごとにステップ実行を行いその動作結果を確認できる初学者用の教育用マイコンを試作した。また、本FPGAマイコンの命令セットシミュレータ(ISS)および命令をオブジェクトコードに変換するための簡易アセンブラを開発し、教育用8ビットマイコンシステムとして実現した。本システムを本学の授業の実習としてマイコン初学者に適用したところ、実習開始時のマイコンの理解度は約3割であったが、3回の実習終了後には理解度が約8割に向上し、教育教材として効果が認められた。

### A Prototype of FPGA Microcontroller System for Education

HIDETOMO IWAGAWA<sup>†1</sup> MICHIAKI MURAOKA<sup>†1</sup>

Several 8-bit microcontroller boards for education have been developed and commercialized. However, few of them are developed as a learning tool for microcontroller beginners. In this study, an 8-bit microcontroller was developed using FPGA which is an educational microcontroller prototype for beginners. That can show the result of the behavior by the step execution of each instruction. Also, an instruction set simulator (ISS) for the FPGA microcontroller has been developed as an 8-bit microcontroller system for education. When this system was applied to the microcontroller beginners as an exercise of the university class, Before the exercises, their understanding rate of the microcontroller was about 30%. However, after the completion of three exercises, the understanding rate was improved to 80%. As the result, this shows the effect of the educational tool, respectively.

#### 1. はじめに

現在、8ビットマイコンを搭載した8ビットマイコンボードはいくつか販売されているが、マイコン初学者の学習ツールとして開発されたものは少ない。教育用として開発されたマイコンとしてKUE-CHIP[1, 2]やRUE-CHIP[3]がある。KUE-CHIPは8ビットマイコンで、内部状態値はすべてマイコンボード上のLEDや7SEGに出力されるが、一度に複数の内部状態値を出力することはできず、スイッチにより1つずつ切り替えを行い確認する必要がある。RUE-CHIPは32ビットマイコンで、内部状態値はマイコンボード上のディスプレイやホストPCへの出力などをサポートしているが、これも前者と同じく一度に複数の内部状態値を出力することはできない。また、RUE-CHIPは32ビットマイコンであるため内部状態値が多く、さらに、パイプライン処理もサポートしているとのことより、初学者が学習用として使用するには難易度が高い。本研究では、初学者がマイコンを学習するための教育教材として、マイコン実行時の内部動作を確認でき、1命令毎のステップ実行時の内部動作の表示をサポートした教育用8ビットマイコンをFPGA試作した。本マイコンや周辺機器のHDL記述を論理合成し、FPGA上に実装したものであるため、以降本マイコンをFPGAマイコンと呼ぶ。

本FPGAマイコンの目標性能は、本FPGAマイコンに実装される8ビットマイコンである1989年製造LSI版H8マイコンH8/300系と同等の5~20MHzを目標とする。

また、FPGAマイコンをサポートするため、CUI版/GUI版の命令セットシミュレータ(ISS)、命令を作成するトランスレータ、FPGAマイコンや各ISS間の通信を行うインターフェースを試作することで、大人数での演習を行えるシステムを開発する。

#### 2. FPGA マイコン

##### 2.1 概要

本FPGAマイコンのブロック図を図1に示す。

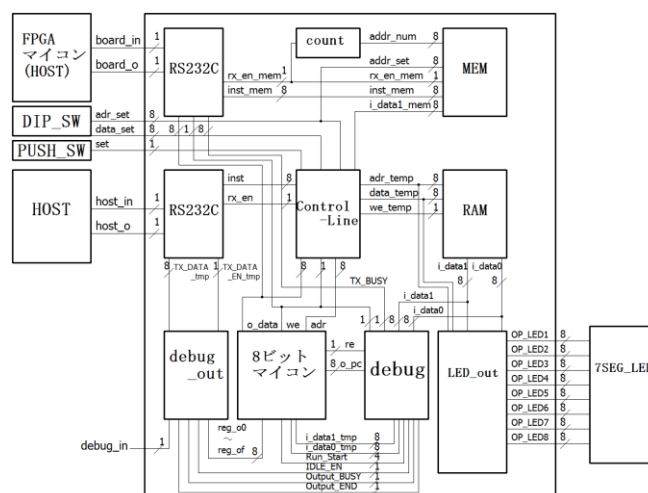


図1 本FPGAマイコンのブロック図

Fig.1 Block diagram of FPGA microcontroller

FPGAマイコンとは、日立製作所[a]が開発したマイクロコントローラであるH8/300の命令セット[4]の主要な26種類の8ビット命令をサポートし、RAM、RS232C変換ブロック、セレクタ、デバッグブロック、LED出力ブロックを追加し、FPGA上で実装することで内部状態値の出力を可能にした教育教材として特化した8ビットマイコンである。命令はFPGA上で作成することもできるが、基本的にはホストPC上で作成し、RS232C

<sup>†1</sup> 高知大学  
Kochi University

a) 現在のルネサスエレクトロニクス

通信規格を用いて FPGA に転送する。FPGA マイコンには一括実行、ステップ実行の2つの実行方式があり、方式に従った出力をホスト PC に転送する。

## 2.2 FPGA マイコンの構成

本 FPGA マイコンはホスト PC と通信を行い、ユーザーが作成した命令を FPGA マイコンに書き込み命令を実行する。

### (1) マイコン

#### a. 8 ビットマイコン

8 ビットマイコンは主にデコーダ、汎用レジスタ×16、ALU、プログラムカウンタの4つのブロックから構成されており、実行すべき命令データを読み込み、実行する。処理終了後に演算結果、アドレス、書き込みフラグ、読み込みフラグを出力し、RS232C と Control-Line (RAM) に転送する。

### (2) 周辺回路

#### a. RS232C

ホストより転送されたシリアル命令コードを8ビットの平行コードに変換する。また、8ビットマイコンの実行結果・内部のレジスタの値をシリアルに変換する。

#### b. Control-line

8 ビットマイコンが実行中は8ビットマイコンからの出力値、アドレス、書き込みフラグを RAM に転送する。8 ビットマイコンの実行前には、RS232C、DIP スイッチ、MEM からの命令コード、アドレス、書き込みフラグを入力モードに従って選択し RAM に転送する。

#### c. debug

デバッグをサポートするために、8 ビットマイコンの実行結果や内部レジスタの値を FPGA マイコンからホスト PC に転送している間、8 ビットマイコンへの命令読み込みを一時的に停止する。

#### d. debug\_out

デバッグをサポートするために、8 ビットマイコンの16個の汎用レジスタの値を1つずつ RS232C に転送し、すべてのレジスタ転送が終了すると debug に終了の合図を送る。

#### e. LED\_out

8 ビットマイコン実行中は、実行命令のニーモニック、プログラムカウンタの値、使用するレジスタの値などを 7SEGLED に表示し、実行前は RAM に設定される命令コード、格納先アドレスが表示される。

### (3) メモリ

#### a. RAM

Control-line からの入力値に従って、アドレスが示す場所にデータの読み書きを行う。2ポートメモリとして使用される。

#### b. MEM

2台目の FPGA マイコン、またはホスト PC からの入力値に従って、アドレスが示す場所にデータの読み書きを行う。2ポートメモリとして使用される。

## 2.3 FPGA マイコンの機能仕様

以下に FPGA マイコンの入力仕様、実行モードの仕様、出力仕様を示す。

### (1) 8 ビットマイコンの命令仕様

本 FPGA マイコンは、H8 マイコンの主要な 8 ビット命令 26 命令をサポートしている。命令セットの一覧を表 1 に示す。

表 1 FPGA マイコンの命令セット一覧

Table 1. List of instruction set of FPGA microcontroller

op	ニーモニック	op	ニーモニック
16'h0000	NOP	16'h3xxx	MOV S
16'h5470	RTS (ReTurn from Subroutine)	16'hfxxx	MOV LD
		16'h2xxx	MOV LR
		16'h9xxx	ADD D
16'h0180	IDLE	16'hbxxx	SUB D
16'h0exx	ADD R	16'hexxx	AND D
16'h1exx	SUB R	16'hcxix	OR D
16'h16xx	AND R	16'hdxix	XOR D
16'h14xx	OR R	16'h5axx	JMP
16'h0a0x	INC	16'b0111 0000 0xxx xxxx	BSET
16'h1a0x	DEC		
16'h178x	NEG		
16'h15xx	XOR R	16'b0111 0010 0xxx xxxx	BCLR
16'h138x	ROTR (Rotate Right)		
16'h128x	ROTL (Rotate Left)	16'h55xx	BSR (Branch to SubRoutine)
		16'h46xx	BNE (Branch Not Equal)

### (2) 実行モード

本 FPGA マイコンは一括実行、ステップ実行の2つの実行方式をサポートしている。各実行方式について以下に示す。

#### a. 一括実行

IDLE 命令が実行されるまで演算を続けるモード。

#### b. ステップ実行

1 命令だけを実行するモード、FPGA 上の PUSH スイッチを押すことで次の命令が実行される。

### (3) 出力仕様

本 FPGA マイコンはホスト PC と FPGA 上の 7SEGLED へ内部状態値を出力する。7SEGLED への出力は常に PC、命令コード・ニーモニック、Z フラグを出力し、ホスト PC への出力は2つの出力方式を備えている。各出力方式について以下に示す。

#### a. 通常出力

ストア命令が実行されたとき、ホスト PC へストア値を出力するため、高速に処理を行うことができる。

#### b. デバッグ出力

a. の出力に加え、1 命令毎に 8 ビット汎用レジスタ×16 の出力を行うため、内部状態値の確認が可能である。ストア値と汎用レジスタ値は、それぞれ異なるポートから並列に出力される。

## 3. 命令セットシミュレータ(ISS)

本 FPGA マイコンのプログラムデバッグ環境として CUI/GUI 版の ISS を開発した。本 ISS は、FPGA マイコンがサポートしている全 26 命令をホスト PC 上で模擬を行う。以下に本 ISS の概要と機能仕様を示す。

### 3.1 ISS の機能仕様

本 ISS は、本 FPGA マイコンのシミュレーションをマイコン学習者と対話的に行うためのシミュレータ[5]である。FPGA マ

アイコンと ISS の仕様を表 2 に示す。

表 2 FPGA マイコンと ISS の仕様

Table 2. Specification of FPGA microcontroller and ISS

機能仕様		FPGAマイコン	ISS(CUI)	ISS(GUI)	
入力	バイナリファイル	✓	✓	✓	
	テキストファイル	✓	✓	✓	
	トランスレータ上での作成命令	✓	✓	✓	
	手入力	✓	—	✓	
出力	7SEGLED	✓	—	—	
	GUI	✓	—	✓	
	CUI	—	✓	—	
	テキストファイル	—	✓	—	
機能	実行モード	一括実行	✓	✓	✓
		ステップ実行	✓	✓	✓
	汎用レジスタの出力	✓	✓	✓	
	すべての内部レジスタの表示	—	✓	✓	
	実行前後の内部値の比較	—	✓	—	
2,10,16進数の出力	—	✓	✓		
性能	速度	約9.5MIPS	約2KIPS	約0.85KIPS	

表 2 は、本 ISS における入力、出力、機能、動作性能を示しており、実現可能な項目をチェックマークで示している。以下に入力仕様、実行モードの仕様、出力仕様の詳細を示す。

### (1) 入力仕様

本 FPGA マイコンに対応する機械語命令コードをテキストファイル、バイナリファイルに記述、または、トランスレータを用いて命令を作成後、通信インターフェースを用いることで、ISS に命令を読み込ませることができる。これは FPGA マイコンと同じ入力仕様であり、ISS でシミュレーションした命令を直接 FPGA マイコンに転送し使用できる。GUI 版 ISS では、FPGA マイコン同様手入力をサポートしている。

### (2) 実行モード

本 FPGA マイコンと同様に、一括実行モードとステップ実行モードの 2 種類の実行モードをサポートしている。各モードの仕様については、FPGA マイコンにおける実行モードの仕様と同じである。

### (3) 出力仕様

FPGA マイコンが出力できるすべての内部値に加え、FPGA マイコンがサポートしていない内部状態値も出力することができ、各内部状態値を 2, 10, 16 進数で表示する機能や、命令の実行前と実行後で変化した値を色付けすることで、理解しやすい表示となっている。また、命令メモリの内部状態値も 16 進数表記で表示される。CUI 版/GUI 版特有の機能を以下に示す。

#### a. CUI 版

命令の実行前と実行後の内部状態値を比較することができ、また、CUI 上に出力された実行結果はファイルに保存することができるため、実行結果を後日比較することもできる。

#### b. GUI 版

ISS 上で命令を手入力することができ、命令を実行中でも書き換えが可能であり、テクニカルタームや、表示内容、ツールの使い方などが説明されていることに加え、視覚的に内部状態

値を確認できるため、初学者が理解しやすい。

## 3.2 ISS の実行例

本 ISS のうち、CUI 版の ISS は C 言語で作成しており、実行結果は CUI 上に表示される。GUI 版の ISS は C#言語で作成しており、結果は GUI 上に表示される。CUI 版の ISS の実行例を図 2、GUI 版の ISS の実行例を図 3 に示す。

```
(1) F002: MOV_LD R:0 IMM:02
```

```
(実行前)
z フラグの値 : 0
2進数表示
Rd[0]:00000000// IMM:00000010
10進数表示
Rd[0]: 0 IMM : 2
16進数表示
Rd[0]: 0x00 IMM : 0x02
```

```
(実行後)
z フラグの値 : 0
2進数表示
Rd[0]:00000010// IMM:00000010
10進数表示
Rd[0]: 2 IMM : 2
16進数表示
Rd[0]: 0x02 IMM : 0x02
```

```
PCの変化: 0 → 2
```

```
R[ 0]: 2 | R[ 1]: 0 | R[ 2]: 0 | R[ 3]: 0 |
R[ 4]: 0 | R[ 5]: 0 | R[ 6]: 0 | R[ 7]: 0 |
R[ 8]: 0 | R[ 9]: 0 | R[10]: 0 | R[11]: 0 |
R[12]: 0 | R[13]: 0 | R[14]: 0 | R[15]: 0 |
```

図 2 CUI 版 ISS の実行例

Fig.2 Execution example of ISS (CUI version)

図 2 は CUI 版 ISS の実行例である。機械語命令(F002)が、命令ニーモニック(MOV\_LD)、使用するレジスタ(R:0)、IMM(02)16 に解読されている。

この命令を実行する際に使用するレジスタ、IMM の値と Z フラグが表示されており、それぞれの実行前、実行後の値が 2, 10, 16 進数表記で比較されている。図 2 の下部では PC の変化と内部汎用レジスタ状態を表しており、内部汎用レジスタの値が変化した場所が赤く色が変わる仕様となっている。

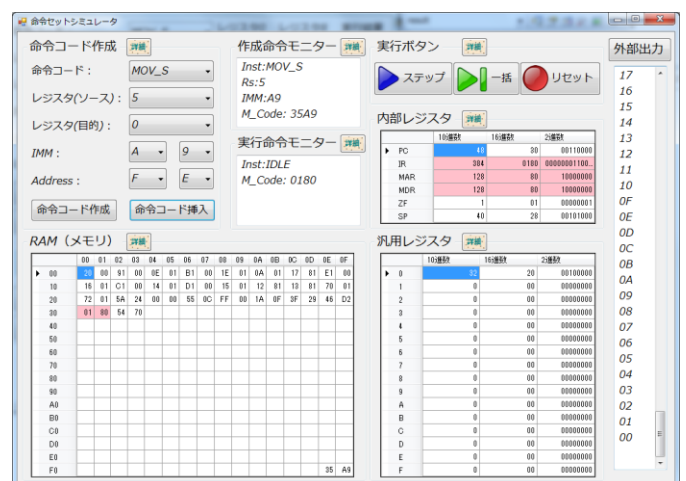


図 3 GUI 版 ISS の実行例

Fig.3 Execution example of ISS (GUI version)

図 3 は GUI 版の本 ISS の実行例である。命令コード作成エリアで要素を指定し、命令コード作成ボタンを押すと、命令作成モニターに作成した命令の詳細が出力され、アドレスを指定し、

命令コード挿入を押すと、指定したアドレスにマシンコードが挿入される。また、各エリアには、詳細ボタンが用意され、各エリアの詳細を確認することができる。

## 4. 命令トランスレータ

### 4.1 命令トランスレータについて

本命令トランスレータは、本 FPGA マイコンの実行命令をアセンブラ[6]のように、命令ニーモニック、使用レジスタ、IMMなどで表現された命令を機械語命令コードに変換するものであり、簡易アセンブラとも言える。これは命令と命令コードが 1 対 1 に対応し、レーベルの代わりに絶対アドレスを指定するところがアセンブリ言語との違いである。

### 4.2 命令トランスレータの機能仕様

試作した本命令トランスレータを図 4 に示す。

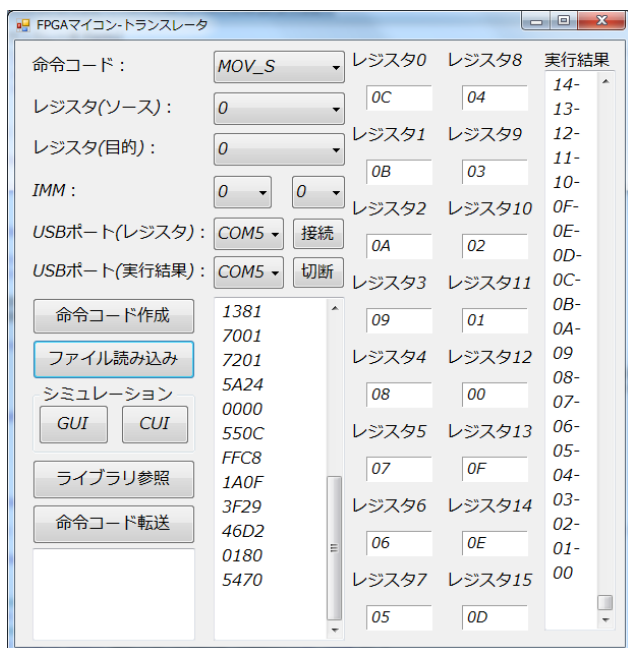


図 4 試作した命令トランスレータの GUI

Fig.4 GUI of Instruction translator

図 4 は試作した命令トランスレータの GUI である。本命令トランスレータには、機械語命令コードに変換する機能以外に、作成した命令を保存する機能、保存した命令ファイルを読み込む機能が備わっているため、あらかじめ作成していた命令を何度も使うことができるので、何度も命令を作成する必要がない。また、ファイルを読み込む際にはバイナリファイル、テキストファイルのどちらにも対応しているため、2 進数のオブジェクトコードファイルを作成しなくても既存のテキストエディタから命令の作成を行うことができる。本命令トランスレータの仕様を以下に示す。

#### (1) 命令の作成

本 FPGA マイコンには、本 FPGA マイコンがサポートしている命令だけを生成するコンパイラがなく、8 ビットマイコンの命令コード表を見ながら命令にあった機械語命令コードをテキスト、バイナリファイルに記述する必要があったが、本命令ト

ランスレータでは、命令のニーモニックと使用するレジスタ、IMM を設定すれば自動的に機械語命令コードが作成できる。

#### (2) ライブラリの参照

本命令トランスレータでは、サブルーチンをライブラリに保存することにより、既存の命令で本 FPGA マイコンではサポートしていない乗除算命令や比較演算などを実現することができる。ライブラリ参照を選択するとライブラリに保存しておいた機械語命令コードを読み込み、そこにサブルーチン分岐をさせることで乗算、除算、比較演算を実装している。

#### (3) 命令セットシミュレーション

本命令トランスレータ上で作成した、または、読み込んだ命令コードを本 ISS でシミュレーションを行うことができる。CUI 版、GUI 版の ISS を呼び出すことができ、命令の中に乗除算命令を含む場合は、ライブラリを一時的に適用し、シミュレーションを行う。

#### (4) FPGA 間の送受信

従来では、FPGA マイコンとの通信を行うには FPGA と通信するために別のアプリケーションを立ち上げ通信速度などの設定も必要であった。これを 1 つのアプリケーションですべての処理が行え、実行結果を受信するポート、レジスタ値を受信するポートのナンバーだけを設定すればよい仕様である。

#### (5) FPGA から受信した内部値の表示

FPGA マイコンが演算を行った結果を USB ポート(実行結果)で指定したポートから受け取り図 4 の実行結果フィールドに表示する。内部汎用レジスタの値を受け取る場合は、USB ポート(レジスタ)で指定したポートから受け取り、図 4 のレジスタ 0 ~15 フィールドに表示する。

従来の通信アプリケーションはバイナリ形式で転送されてきた内部値は、テキスト形式に変換されることなくアプリケーション上に表示されていたため、アプリケーションから直接値を確認することができず、保存したファイルをバイナリエディタから確認していた。本命令トランスレータを作成したことでバイナリファイルをテキストファイルに変換し、GUI 上にテキスト形式で出力することで、学習者に内部値を確認しやすい環境を提供できた。

## 5. 全体マイコンシステム

ここまで紹介した FPGA マイコン、ISS、命令トランスレータを 1 つのシステムとして構成し、初学者がマイコンを学習するための環境を構成してきた。このマイコン学習用のシステムにおける命令の作成から、内部状態値、実行結果の確認までの使い方のフローを図 5 に示す。図 5 に示したマイコン教育システムの各ステップの動作を以下に示す。

#### (1) 命令の作成

命令の作成方法は、本トランスレータから機械語命令コードを作成する方法、テキストファイルに機械語命令コードを記述する方法、バイナリファイルに機械語命令コードを記述する方法の 3 つがある。

## (2) 作成した命令ファイルの読み込み

テキスト、バイナリファイルから命令を本命命令トランスレータに読み込む際に行う。

## (3) ライブラリの参照

本FPGAマイコンがサポートしていない命令を、サブ関数を用いて実装する際に行う。既存の命令を使ってサポートしていない命令を作成する。

## (4) 命令のシミュレーション

作成、読み込みを行った命令コードを本命命令トランスレータから本ISSを呼び出し、命令のシミュレーションを行う。

## (5) FPGAマイコンへの転送

シミュレーションを行った機械語命令コードを、RS232C通信規格を用いてFPGAへ転送する。

## (6) FPGAマイコンの実行

FPGAに転送された機械語命令コードは、FPGAマイコン内のRAMに書き込まれ、命令が実行される。ホストPC側には、マイコンの実行結果と内部汎用レジスタの値を出力するように設定していれば、16個の内部レジスタの値を出力する。また、FPGA上の7SEGLEDにも2.3章で述べたような値が出力される。

## (7) 内部値・実行結果の確認

FPGAマイコンからホストPCに転送されてきた内部汎用レジスタの値、実行結果を命令トランスレータ上に表示し、そうでない出力値はFPGA上の7SEGLEDで確認する。

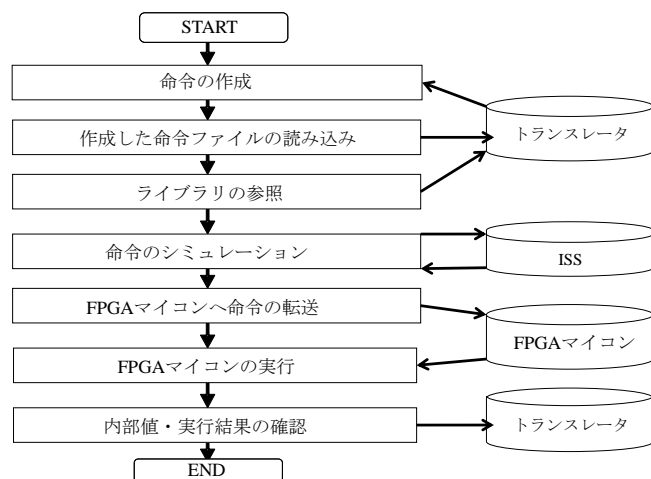


図5 マイコン教育システムの使い方のフロー

Fig.5 Flow of how to use microcontroller education system

## 6. 性能評価

### 6.1 FPGAマイコン

本研究では、初学者がマイコンを学習するために教育用のマイコン教材を試作した。目標性能は、本FPGAマイコンに実装される8ビットマイコンである1989年製造LSI版のH8マイコンH8/300系と同等の5~20MHzを目標とする。本FPGAマイコンの各性能を以下に順に述べる。

通信方式：RS232C

通信時間：115200[b/s]

RAM容量：8bit×256

レジスタ容量：8bit×16

命令平均クロック数：4.2クロック

最大動作周波数：40MHz

通信インターフェースはRS232Cを用いてシリアルな通信を行う。RS232Cの最大転送速度は115200[b/s]で機械語命令コード5760命令を1秒で転送し、720命令の内部汎用レジスタ8bit×16個の値を1秒で転送できることを考慮すると、マイコンの教育教材として内部状態値を確認するには十分な性能であると言える。また、内部汎用レジスタを出力しないように設定すると約9.5MIPSで演算処理を行える。

本FPGAマイコンの最大動作周波数は40MHzである。1989年製造LSI版のH8マイコンH8/300系の8ビットマイコンの性能が5~20MHzより、試作したFPGAマイコンはLSI版と同等以上の性能であり、目標性能を達成した。

### 6.2 ISS

FPGAマイコンがサポートする全26命令のうち停止命令を除く25命令を200セット5000命令実行した結果、本CUI版のISSの演算速度は約2KIPS、GUI版のISSの演算速度は約0.85KIPSであった。どちらのISSもマイコン学習者が対話的にマイコンの内部動作を確認するためのツールとして十分な性能といえる。

### 6.3 命令トランスレータ

本命命令トランスレータは命令の作成、読み込みからISSでのシミュレーション、FPGAマイコンへのデータ転送、FPGAマイコンからの出力値を、本命命令トランスレータ上のGUIから確認する機能をサポートすることで、マイコンを学習するために必要なシステムを構成し、初学者がマイコンをより簡単に学習するための環境を構成している。

従来、ホストPC-FPGA間の通信、シミュレーション、命令作成はそれぞれ別々のアプリケーションを用いて行う必要があり、それぞれのアプリケーションで設定を行う必要があり、動作を確認するにも各アプリケーションを単独で動作させるため、学習者に負担が大きかった。本命命令トランスレータでは、あらかじめ設定を行っており各動作を1クリックに統一することで、学習者への負担を減らし、操作性の面で学習者にわかりやすい仕様にしたことで、従来よりも学習者の基本的なマイコン動作の習得を促進するものと考察する。

### 6.4 マイコン教育システム試行評価

教育用マイコンシステムを、本大学の情報を専攻している2年生17人を対象とし、CUI版のISSを用いて8ビットマイコンの内部動作を学習する実習を2回実施した。対象学生の事前の学習レベルは、授業で転送命令(Load, Store)、算術・論理演算命令、分岐命令におけるレジスタ、プログラムカウンタ、RAM、Zフラグなどの基本動作の座学は受けているが理解度は不明であった。これらの学生に対して、実習前、1回目の実習後、2回目の実習後、および、最終課題提出後に習得した動作の理解度を10段階で評価し、すべての実習終了後に理解度を約8割に向上

させることを目標とする。その結果を表3, 表4に示す。

表3 命令の理解度

Table 3. Learning level of Instructions

		実習前	1回目 実習後	2回目 実習後	最終結果
転送命令	レジスタ	3.00	5.12	7.53	8.38
	PC	3.35	5.41	7.53	8.54
	RAM	2.71	4.88	7.13	8.00
演算命令	レジスタ	3.00	5.35	7.60	8.46
	PC	3.24	5.24	7.40	8.15
	Zフラグ	2.29	3.76	7.40	8.23
分岐命令	レジスタ	2.29	4.12	7.20	8.00
	PC	2.76	4.41	6.93	7.92
	Zフラグ	2.88	3.18	7.20	8.23
全体平均		2.84	4.58	7.32	8.21

表3より、実習前の各項目の理解度は約3割程度であったが、第1回目の実習で、転送命令、演算命令の復習と、CUI版ISSを用いた実習を行い、実習後にアンケートをとった結果、理解度が約5割に向上した。第1回目の実習後、実習で行った内容の発展問題を課題として出題し、1週間後に第2回目の実習を行った。第2回目の実習では分岐命令の復習と実習を行い、再びアンケートを行った結果、理解度は約7割まで向上し、実習後にはこれまでの総合問題を出題し、最終アンケートをとった結果、理解度は8割を上回り、目標の理解度を達成した。また、情報専攻の本研究室の学部生の3、4年生に試行した結果、ISSの実習を2時間、命令トランスレータを用いたISSの実習を2時間行くと、8ビットマイコンの各命令の内部動作をほぼ習得し、機械語命令コードによるプログラミングができるようになった。

## 7. まとめ

本研究は、初学者がマイコンを学習するための教育教材として、1命令ごとに内部動作を確認できる機能を備えた8ビットマイコンを試作した。本FPGAマイコンは目標性能である1989年製造LSI版H8マイコンH8/300系と同等以上の40MHzで動作する。

本FPGAマイコンのプログラムデバッグ環境として、本FPGAマイコンの命令をすべてサポートしたCUI版、GUI版の命令セットシミュレータ(ISS)を独自に試作した。本ISSは、FPGAマイコンと同じ命令をシミュレーションでき、FPGAマイコンが出力している値に加え、FPGAマイコンが出力していない内部値もすべて出力する。命令の実行前と実行後を比較する機能や、命令実行に用いられている値を2, 10, 16進数でソフトウェア上に表示する。

本命令トランスレータは、命令ニーモニック、使用するレジスタ、IMMを設定すると自動的に機械語命令コードを作成し、ライブラリ参照機能により本FPGAマイコンではサポートしていない乗除算命令や比較演算などが行える。FPGAとの通信で

は、1つのアプリケーションですべての処理が行え、ユーザーはポートナンバーのみ設定する。FPGAマイコンから受信した内部はテキスト形式に変換し、命令トランスレータのGUI上に出力される。

FPGAマイコン、ISS、命令トランスレータの3つで初学者の学習用教材として1つのマイコン教育システムを試作した。

## 8. 結論

今回試作した教育用マイコンシステムのISSの実習を、情報を専攻している2年生を対象に2回の実習を行い、課題を与えたところ、実習を行う前と比較して理解度が3割から8割に増加し、目標の理解度を達成したことで、教育教材としての効果を確認した。また、本研究室の3、4年生を対象に上記と同じ実習を行った後、さらに命令トランスレータとCUI版ISSを用いたプログラミング実習を2時間行ったところ、各命令の内部動作をほぼ習得し、機械語命令コードによるプログラミングが可能となった。

## 9. 今後の課題

教育教材としてさらにマイコン学習者が容易に学習できる環境を構築するために、FPGAマイコン、ISS、命令トランスレータそれぞれのマニュアルを作成し、個人で学習する人も容易にマイコン学習ができる環境をさらに充実していく必要がある。また、今回の実習では未使用のGUI版ISSやFPGAマイコン本体を含めたマイコン教育教材の実習の試行を行い、学生からのフィードバックを取り入れてさらなる改良を行っていくことが今後の課題である。

## 参考文献

- 1) 神原弘之, 越智裕之, 澤田宏, 浜口清治, 岡田和久, 上嶋明, 安浦寛人: KUE-CHIP2 教育用ボードリファレンスマニュアル(1993-6)
- 2) 神原弘之, 越智裕之, 澤田宏, 浜口清治, 岡田和久, 上嶋明, 安浦寛人: KUE-CHIP2 設計ドキュメント, (1993-1)
- 3) RUECHIP1 プロジェクトメンバ: RUECHIP1 教育用ボードリファレンスマニュアル(2009-9)
- 4) ルネサスエレクトロニクス: H8/300H シリーズ プログラミングマニュアル ルネサス 16 ビットシングルチップマイクロコンピュータ H8 ファミリー(1999-7)  
[http://documentation.renesas.com/doc/products/mpumcu/rjj09b0141\\_h8300hpm.pdf](http://documentation.renesas.com/doc/products/mpumcu/rjj09b0141_h8300hpm.pdf)
- 5) 植木知浩: Z80 シミュレータ(1999-10)  
<http://www.game3rd.com/soft/z80edit/index.htm>
- 6) ルネサスエレクトロニクス: H8S, H8/300 シリーズ C/C++ コンパイラ, アセンブラ, 最適化リンケージエディタ コンパイラパッケージ Ver.7.00 ユーザーズマニュアル ルネサスマイクロコンピュータ開発環境システム(2009-8)  
[http://documentation.renesas.com/doc/products/tool/rjj10j2552\\_r0c40008xsw07rum.pdf](http://documentation.renesas.com/doc/products/tool/rjj10j2552_r0c40008xsw07rum.pdf)