

FPGA を用いた論理回路設計実験の遠隔実践

赤池 英夫¹ 島崎 俊介¹ 成見 哲¹

概要: 電気通信大学の3年生を対象とした実験の中に、FPGA を用いて初歩的な論理回路を設計する課題がある。作成した回路の動作確認に実機の物理的な操作をとまなうため、これまでは機器の設置された部屋に一堂に介して課題に取り組んできた。今年度は新型コロナウイルス感染症対策として入構禁止措置がとられたため、自宅などの遠隔から機器を制御する仕組みを導入し実験を遂行した。本稿では、遠隔実験の実現法、当日の実験の進め方、作業記録やアンケートから得られた学生の振る舞いなどを示す。

A Remote Practice of Logic Circuit Design Assignment using FPGA

1. 背景と目的

筆者らの所属する電気通信大学の学部3年生を対象として前学期に開講される「情報数理工学実験第一」および「コンピュータサイエンス実験第一」(合わせて「MICS 実験第一」と呼称される)は、表1に示す8つの課題から構成されている。ハードウェア(課題1、2)・ソフトウェア(同3~6)に関するものや数値計算・シミュレーション(同7、8)など、コンピュータサイエンスおよび情報数理を学ぶ学生にとって、さらなる学習や研究活動の基礎となる多岐にわたる内容が盛り込まれている。また、いずれの課題も200台ほどの端末計算機(以下、端末)が設置された学科専用の計算機室にて、対面で行なわれる。受講学生数は毎年140名ほどである。

今年度は新型コロナウイルス感染症対策として、大学では年度はじめから入構制限がとられたため、ほとんどの講義や実験・演習が遠隔での実施となった。本実験においても、リアルタイム型とオンデマンド型の差こそあれ、学生は登校せず自宅など学外から大学のリソースにアクセスし、時に遠隔会議システムを利用し教員サイドとのやり取りを介して課題に取り組むこととなった。とりわけ、指定された問題を解くプログラムを作成する課題であれば、学生の力量にもよるが、教員と対話することなく問題の入手と解答の提出ですませることができる。しかしながら、筆者らが担当した課題1(以下、本課題)だけは機材の物理的操作が必須であるため、既存の仕組みだけではオンライン

化することはできなかった。そのため、既存の機器を活かしつつも、学生が学外から機器を何らかの手段で操作することで、実験が行えるようにすることが必要となった。

なお、課題2の内容もハードウェアに関するものであるが、ハードウェア記述言語を用いた回路設計であり、プログラミング課題と同様にして作業することができるため、これまでの進め方を踏襲できないのは本課題だけである。

2. 本課題について

まず、具体的な本課題の内容を簡単に紹介する。

本課題では、本学で開発された「FPGA ロジックトレーナ」(以下、単にトレーナ)を用いている。トレーナはFPGA(MAX10 10M08SAE144C8G)、入力元としての8つのトグルスイッチと2つのプッシュスイッチ、出力先としての10個のLED、FPGAへ与えるクロック周波数を切替える回路などからなる(図1)。

FPGA(Field Programmable Gate Array)は、内部の論理素子の接続をプログラムすることで、CPUなどとは異なり、随時設計した回路にその場で柔軟に切り替えることができる。FPGAをプログラムするには種々の方法があるが、本課題では回路図を描き、正しくコンパイルできた際に得られる論理素子の接続情報をFPGAにダウンロードするといった手順をとる。すなわち例年、学生は課題に示された問題を解く回路をQuartusと呼ばれる開発環境が提供する回路図エディタで描き、コンパイルし、FPGAにダウンロードしたのち、回路が正しく設計できているかをスイッチ、LED、オシロスコープなどを用いて確認して

¹ 電気通信大学
The University of Electro-Communications

表 1 MICS 実験第一の概要
Table 1 About the MICS Laboratory I.

課題番号	名称	内容や目標など
1	論理回路	組み合わせ回路や順序回路を FPGA で作成し、動作を実機上で確認することで講義「論理設計学」を復習
2	論理回路と Verilog-HDL	ハードウェア記述言語 Verilog を用いた電子回路の作成、シミュレーション、妥当性の検証
3	オブジェクト指向言語	Java を用いた GUI プログラミングとデザインパターンの学習
4	UNIX と C	UNIX のシステム・コールを用いたプログラミングを通した OS の理解
5	言語処理系	言語処理の動作理解を目的としたインタプリタおよびコンパイラの自作
6	記号処理言語	Lisp プログラミングを通した記号処理の学習
7	共振現象の数値シミュレーション	数値実験およびシミュレーションを通して連立一次方程式、常微分方程式の数値解法を学習
8	グラフと最適化	グラフに関する最適化問題とその効率的アルゴリズムの学習と実装

表 2 本課題の内容
Table 2 The content of this assignment.

問題番号	内容
1	スイッチと LED を接続し動作を確認
2	2 ビットの 2 入力に対して比較を行なう回路を作成
3	微分回路の状態遷移の図示とカウンタとの組み合わせ
4	素朴な自動販売機の作成
5	オシロスコープを用いた比較回路の動作確認
6(a)	与えられた回路の動作理解とオシロスコープによる検証
6(b)	6(a) の回路の改変

いた。

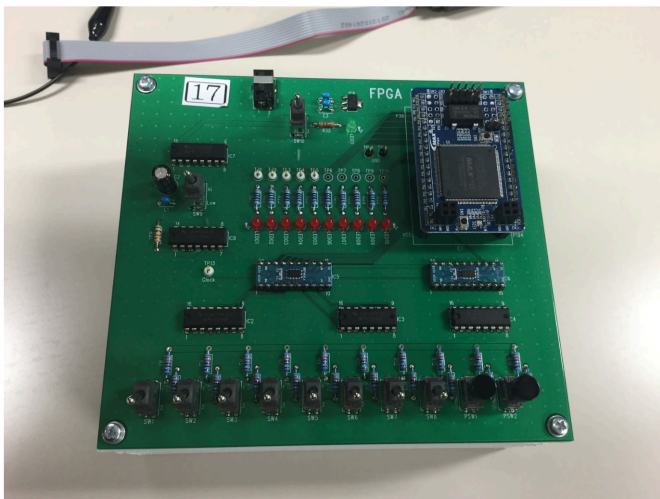


図 1 FPGA ロジックトレーナ
Fig. 1 The FPGA logic trainer board.

本課題は 6 つの問題からなり、表 2 のようである (6 問題はさらに 2 つの小問に分かれている)。問題 1 は開発環境 (Quartus) とトレーナの扱いに慣れるための練習である。問題 3 以降は D 型フリップフロップを使った順序回路をとまなう。さらに、問題 5 以降では 4 ビットカウンタ (74163) を用いて作成する、周期的な出力信号を発生させる回路の確認にオシロスコープを用いる。

3. オンライン化のための対策

本課題における回路設計の作業は、いずれかの手段で開発環境を使うことができれば遠隔であっても行なえる。具体的には、計算機室の端末では OS として Linux が動作し、その上の X-Window システムを利用しているので、学外から端末にリモートログインする際に学生自身の計算機に X プロトコルを処理できる仕組みがあればよい。ただし、画面の内容を逐一転送するような方式^{*1}では、ネットワーク環境によっては応答の悪さにより作業が困難となれる。そこで、今回は VNC (Virtual Network Computing) を用い、大学の端末で VNC サーバを、自宅の PC で VNC クライアントを動かすこととした^{*2}。場合によっては、画面にゴミが残ったり、部分的な描画の遅延があるものの、表示内容の差分を取り圧縮を行なうことで転送量を減らすことができ、おおむね快適な作業が実現できた。

それでも、トレーナの操作は不可能であり、設計した回路の動作確認はできない。そのため、次の対策を講じた。

- 追加の回路を用意し、端末からトレーナのスイッチを操作できるようにする。
- 端末からオシロスコープを制御できるようにする。
- LED の状態をモニタできるようにする。
- 機材を操作している実感を提供するために、実際の見たい目を示す。
- GUI ベースで扱えるようにする。

以下、各々の実現法について述べる。

3.1 スwitchの操作

トグル型、プッシュ型の違いはあるものの、各スイッチはいずれも押下時のチャタリングを防止するためのフリップフロップに接続されている。そこで、デフォルトでオフ、ソフトウェア制御でオンとするために図 2 のようにトラン

^{*1} たとえば ssh コマンドに `-X` や `-Y` オプションを与えるような。
^{*2} 正確には、直接に計算機室の端末にアクセスすることができず、大学が外部に公開している計算機でポートフォワーディングを行なう必要がある。

ジスタを追加した*3。もちろんこのままでは端末と接続できないため、別途用意したマイコンボード (Arduino) を介在させ、端末から Arduino に指示を出し、対応するトランジスタをオン/オフすることで、トレーナのスイッチ操作を実現した。

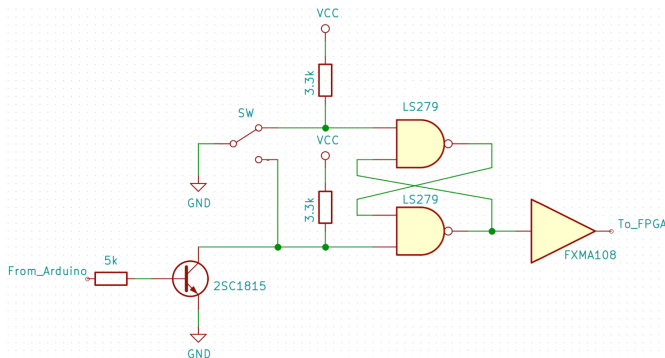


図 2 スイッチコントロール用の追加回路

Fig. 2 An additional circuit to control the toggle and/or push switches.

3.2 オシロスコープの操作

本実験で用いているオシロスコープ (IWATSU DS-5102B) には、シリアルインタフェース (RS-232) によるリモート制御機能があり、テキストでのコマンドを送受信することで、現在の状態の取得や新たな状態の設定が可能である。端末計算機には、現在ではレガシー扱いされることが多くなった 9 ピン D-Sub のシリアルインタフェースが用意されているので、直接にオシロスコープを接続することも可能であったが、スイッチ操作のための Arduino を経由させることで、端末からのケーブル接続数を減らすことにした*4。

3.3 LED の状態取得と表示

LED は電流制限抵抗を介して FPGA と接続されているので、その状態を得るには単純に FPGA の出力端子の電圧レベルを監視すればよい。これも前述の Arduino の汎用入出力 (GPIO) のデジタル入力を使えばよいのであるが、それだけでは、プログラムによるスキャンのタイミングによっては、実際の見たとの違いが生じうる。そこで、スキャンレートを高めたうえで、電圧レベルをアナログ入力で取得 (A/D 変換) し、移動平均を計算し端末へと返すこととした。これにより、単なる点灯・消灯ではなく、多段階*5の見た目を生じさせることができ、ネット越しに観察する学生に微妙な光具合の提示を可能とした。

*3 フリップフロップの機能は失われるものの、目的に対する支障はない。

*4 デバイスアクセスの権限の問題もなくなるため。

*5 今回は 64 階調の赤色。

3.4 実際の見ための提供

ここまでの工夫をほどこし、スイッチが押せて、LED が瞬くようすを GUI アプリケーションで見せることができたとしても、“すべてはシミュレートされた、現実には実体がないもの”と感じる学生がいるかも知れず、ハードウェアに関わる学習で本来提供すべき肌感覚といったものを損ねてしまうのではないかと、といった議論があった。多少なりとも、臨場感、ライブ感を添えるために、外付けのカメラ*6でトレーナとオシロスコープの画面を写し、それも GUI アプリケーション内でリアルタイム表示することとした*7。

3.5 GUI アプリケーションへの集約

カメラ画像、トレーナのスイッチと LED、オシロスコープの制御パネルなどを統合し、学外からトレーナおよびオシロスコープを操作可能な GUI アプリケーションを Python で記述した。その際、GUI 部に標準モジュールである tkinter を、カメラ画像の表示に OpenCV を用いた (図 3)。

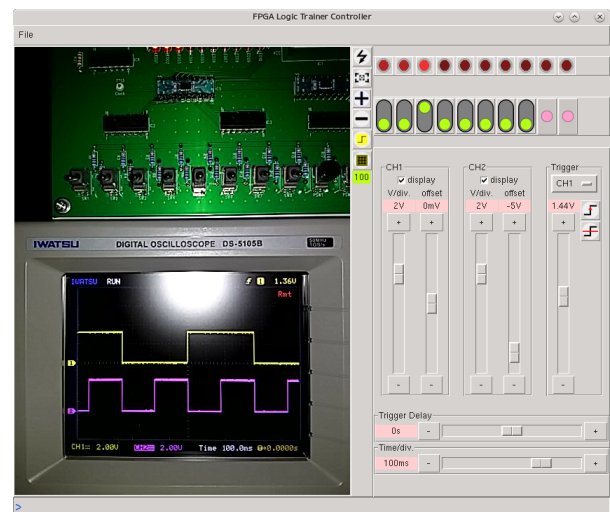


図 3 リモートコントロールアプリケーション

Fig. 3 The remote controller.

煩雑になることを避けるため、オシロスコープの、操作可能な機能に関しては本課題に回答する上で必要なものにとどめた。また、のちの解析のために、学生の許諾を得たうえで操作履歴を記録するようにした。

最終的に用意した機材の外観を図 4 に示す。堅牢さを与え、外部カメラとの位置関係を固定する目的で、バラック組みではなく、Arduino にトレーナとのインタフェースのための自作シールドを取り付け、3D プリンタで印刷した

*6 使用されていない Android タブレットを活用し、その上で動作する Web カメラ化アプリ (DroidCam) を使用した。

*7 それすら、CG でレンダリングしているのだろう、と勘ぐられることも想定はした。

ケースに格納し、トレーナで蓋をしたうえでオシロスコープにマウントしている。



図 4 システム外観

Fig. 4 The system appearance.

利用者(学生)を含むシステムの概要を図5に示す。図中の“CED”とは計算機室の略称である。

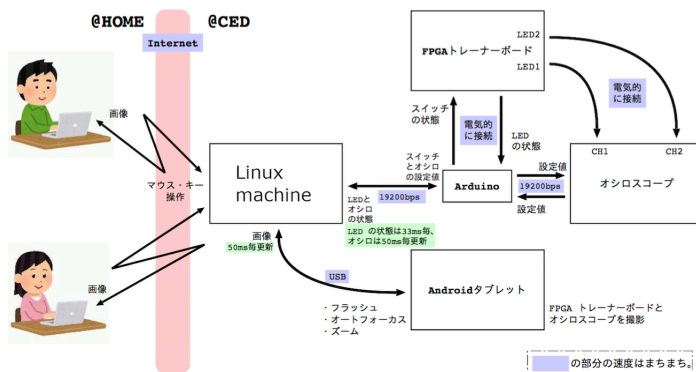


図 5 システム概要

Fig. 5 The system overview.

関連研究の [1] では、Arduino に LED、7 セグメント LED、タクトスイッチなどが搭載された自作シールドを組み合わせて、学部 3 年生を対象に組込みソフトウェアの実践的な設計と実装を行なうことを目的とした実験について紹介している。また、[2] では、学部 2 年生を対象にそれまでに習得した知識をベースに各種の能動・受動素子を組み合わせて、課題を解くための電気電子回路を設計、作成する演習について紹介している。コロナ禍の下、いずれも旧来の対面式からオンラインに移行し、学生は自宅に郵送された機材を使って作業を行なうことになった。これらの取り組みに対して、本課題では、あくまで機材は大学にあり、それをネットワーク越しに操作するといった、ある種テレエグジステンシ的なアプローチを採用した。

4. 本課題の実施状況

まず、昨年度までの状況を説明する。

本実験では、ほぼすべての課題が 3 日間、1 日 2 コマ (=90 分) をかけて行なわれる。トレーナの台数が限られているため、本課題だけは受講生を 3 組に分け (組あたり 45 名前後)、それぞれの日程で実施する。また、各組に教員 1 名、TA 2 名があたる。本課題の進め方は、次のようである。

- 教員は講義室にて初回と 2 日目の最初に問題を説明し、その後、計算機室に移動し作業を開始させる。
- 学生は問題を解くたびに、教員および TA のチェックを受け、パスすれば次の問題に取り組む。不備がある場合は、指摘された箇所を修正し再びチェックを受ける。チェックは実験時間内でしか行なわれず、チェックを受けられなかった場合は減点となるが、計算機室が開室している間に自習し解答すれば採点対象となる。
- 1 台のオシロスコープが、隣接する 2 台の端末で共有されている。学生 2 人ずつがペアとなり、各自の端末とトレーナで作業し、オシロスコープで測定するときにプローブをつけ替える。

一方、今年度は以下の点で異なった。

- 3 組への分割は同様であるが、オンライン化に向けてトレーナを数台追加した。
- 以前のように、実験開始時刻に計算機室に集合し、慣れた手順ですぐに作業が始められるわけではなく、あらかじめ計算機室の端末での VNC サーバの設定、自宅の PC への VNC クライアントのインストールと設定が必須であるため、実験に先立ち、事前準備のための 4 日の期間を設けた。また、開発環境 (Quartus) およびオシロスコープの操作に少しでも慣れるよう、実際の問題に取り組む前に、簡略化された作業手順をなぞる練習ステップを用意した。
- オンラインゆえの手間の増加が見込まれたため、全組の教員を動員し、さらに計算機室に関する諸々のリクエストに応じる TA もスタッフとして参加した。これは、例年の倍の人的リソースを投入したことになる。
- 実験開始の時刻になると学生は、指定された Zoom ミーティングに参加し、問題の説明を聞いてから作業に取り組んだ (リアルタイム型)。
- チェックを希望する学生と教員サイドのいずれかのメンバーのみが、ブレイクアウトルームに移動しチェックを行なった。また、チェックではなく、ネットワークトラブルや初期設定など、共通の対応が効率的に望ましい場合にもブレイクアウトルームを多人数で利用した。
- 学生 2 人がペアとなり、1 台のオシロスコープと

レーナを排他的に共有したが、トレーナは端末と直に接続され、ペアは同一端末にログインし、個々に VNC サーバを立ち上げて作業した。

- 本来、オシロスコープのプロブは任意の出力端子に接続できるが、今回手動での変更はできないため、CH1 を LED1、CH2 を LED2 に接続を固定した。また、トレーナには、2 つの押しボタンを同時に操作したときの挙動を肉眼でも確認しやすくするために、FPGA のクロック周波数 (高いもので 2.8kHz ほど、低いもので 5.9Hz ほど) をトグルスイッチで切り替える回路も用意されているが、こちらについてはトレーナ基板のパターンカットなどを要するため改造は見送り、高い周波数に固定した。
- 計算機室の開室時間に関係なく、実験機器の利用を 24 時間開放し、作業の機会を大幅に増やした。ただし、トレーナの台数制限から、各組専用日を均等に設け、その際、他組の利用は控えさせた。
- これまで同様、実験最終日から 2 週間後にレポート提出の締切を設定したが、レポートは旧来の紙ではなく電子的なメディア (pdf ファイル) とし、その提出には大学により用意されている LMS(WebClass) を利用した。また、提出時に今回のオンライン化に関するアンケートを実施した。

5. 結果と考察

現在、操作ログおよびアンケートの内容を吟味中であるため、いささか恣意的ではあるが、考察の一部を記す。

5.1 前年からの成績の変化

結論から述べると、昨年度よりもスコアは低下した。昨年度の受講者数 108 名に対して、平均点 79.5(100 点満点)、標準偏差 10.4 であった。一方、今年度は受講者数 123 名、平均点 75.0、標準偏差 14.8 であった。また、本課題を欠席したりレポートを未提出の学生を除き、合格ラインを 60 点としたときの合格者の割合は、昨年度は 96.3%、今年度は 88.6% であった*8。平均点に 4 点ほどの低下もあるが、点数分布の分散が広がっており、下方の学生が合格ラインを割ってしまっている。スコアの散らばりの拡大には、同じ空間で与えられた問題を一律に解けばよいといったこれまでの状況に加わった今年度特有の要因が考えられる。そのひとつは、次節で述べるチェック数の減少と考えられる。

5.2 チェック数の変化

4 節で述べたように、本課題では問題を解き進めるたびに教員サイドのチェックが入るが、これが本課題の特色となっている。どの課題であっても、学生は解答していくう

えで生じた疑問を教員に尋ねることで解消することが期待できる。ただし、このやり取りの主体は学生であり、疑問があっても問うか否かは学生次第である。しかし本課題においては、問題に解答していく過程に「チェック」という関所を設けることで、課題に対する学生の理解向上を図っている。

すべての組の詳細なデータが揃っておらず、本稿第一著者の担当分に限定されるため参考程度ではあるが、昨年度 26 名の学生のチェック数は平均 6.54(全チェック数は 7)、今年度の 44 名の学生のチェック数は 3.95 と明らかな差が生じた。全体の得点に占めるチェックを受けないことによる減点はわずかであるが、チェックを受けることで学生は (正答に至っていない) 解答における不備を指摘され、その箇所を改善することにより最終的なレポートでの減点を減らすことができる。また、逆も言える。つまり、実験時間内のみに行なわれるチェックの回数は成績に連動しており、その減少はスコアの減少につながると考えられる。

今年度のチェック数減少の理由には以下が考えられる。

- オンライン実施のためにアプリケーションのインストールや設定などの事前作業が必要であったが、少数とは言えない学生が準備不足であり、実験初日にその対応に追われ、例年の進行ペースには及ばず、結果、問題解答作業に進むことができず、チェックが行なえなかった。
- 個々のチェックを他の学生の前で行なうことはできない (解き方あるいはヒントを教えることになりうる) ため、チェックのたびにブレイクアウトルームに移動しなくてはならなかったが、その移動 (メインへの復帰も含む) やチェックのための画面共有を用意する時間が必要となった。また、問題を解く過程で必要になる図 (真理値表、状態遷移図、カルノー図など) などを手書きする学生も多く、それらを見せるために画面共有ではなく、自身の PC のカメラで写すことが必要であった。それらのタイムラグが旧来の対面方式にはない純粋なオーバーヘッドとなり、対応できる回数に影響が生じた。
- トレーナはペアの 2 人にひとつのため、自分が使わないときには他者のために開放すべきである。対面であれば「使っていない?」、「いいよ」と一瞬で解決するものが、実時間とは言え物理的に離れた者同士が機器使用の同意を得るため、各種の手段で連絡を取り合う際に時間を要した*9。

対応の困難さを前もって予想し、教員サイドの人員を倍に増強したものの、それでも不足であったと考えられる。

*8 ただし、MICS 実験は 8 課題の平均点で成績が付けられるので、必ずしも実験自体が不合格となるわけではない。

*9 「相方に連絡してませんが返事が来ません」といった嘆きも何度も耳にした。

5.3 問題単位での考察

これも第一著者の担当範囲に限られるが、より詳細に問題単位で眺めてみると、今年度の点数の低下に影響した部分として、チェックを受け、一言でもアドバイスを聞けば改善できたであろうと思われる箇所がいくつか見て取れた。この場で、すべての採点基準を公にすることはできないが、たとえば「カルノー図を用いた論理回路の簡略化ではグループ化した部分を枠で囲むなどして明示すること」が必要^{*10}であるが、それを行っていない学生が何人もおり減点されている。問題説明時にも注意はしているのであるが、うっかりしたのであろう。これはチェック時に指摘される項目である。

総じて、対面でのさりげない一瞬のやり取りが学生に気付きを与え、理解も促進するのではないかとと思われる。同様の効果はオンラインであっても発現しうると考えられるが、少なくとも現状では、対面であれば眼前の計算機や機材の操作に集中すればよいものが、オンライン化によって生じた本質的ではない付加的な作業に思考の一部が専有され、阻害されているのではないかと考えられる。

5.4 作業ログからの一考

テキストベースの記録であり、受講者数を鑑みると大量となることは必然であるが、トータル 550MB ほどのログデータの解析は現時点で未だ途上である。本稿では、学生の作業時間に注目した考察を示す。

5.4.1 作業時刻

図 6 に学生の作業時刻の分布を示す。これは作業可能日に対して、 $n(0 \leq n \leq 23)$ 時台に 1 度でも作業していた学生数に対応する (ただし 1 分未満の作業は除いている)。実験は 13:00 から 16:10 まで行なわれるので、この間の作業学生数が突出しているのは当然である。しかし、他の時間帯であっても、少なからぬ学生が作業していることが見てとれる。これは、学生のライフスタイルの違いが反映されていることにほかならない。昨年までは計算機室の開室時間内でしか作業ができなかったものが、オンライン化することで一日中好きな時間に課題に取り組むことができるようになった。また、今年度の登学の必要ない状況が、活動時間帯や時間の使い方に影響を与えていると予想される^{*11}。

5.4.2 作業時間と成績

図 7 に、1 時間単位での総作業時間に対する学生数と成績の対応を示す。予想通りではあるが、総作業時間が 1 時間に満たない場合は点数が極めて低く、ほぼ合格ラインを越えていない。しかし、1 時間以上であれば、さほど成績の差は見られない。短い時間でも集中的に作業する学生も

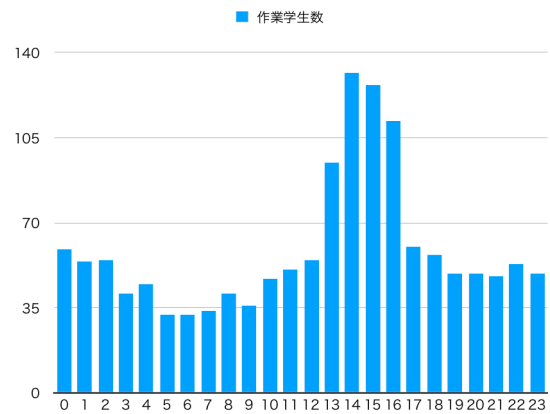


図 6 作業時刻の分布

Fig. 6 The distribution of students' working hour.

いれば、あまり時間を気にせず結果として長い時間を費やしてしまった学生もいたのだと思われる。ただしこれはリモートコントロールアプリの操作時間に過ぎず、自己申告とはいえ次節のアンケート結果によれば、実験時間外に 77.2% の学生が 5 時間以上と回答しているので、いきなり回路図を描いたり動作確認をしたのではなく、事前の準備に十分時間をかけたと考えられる。

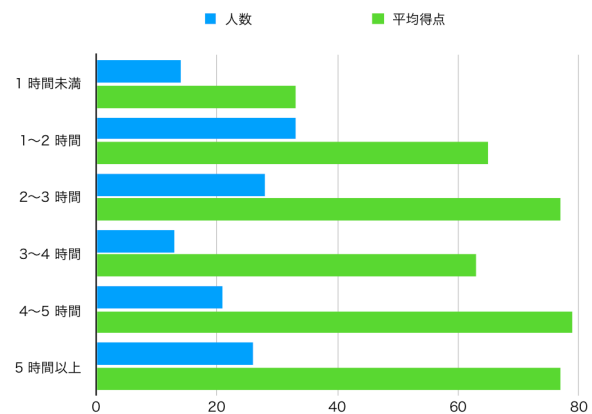


図 7 作業時間と成績

Fig. 7 The relation between working time and score.

5.5 アンケートからの抜粋

今年度の本課題のオンライン実施に際して、使用した計算機の種類とそのオペレーティングシステム、画面サイズ、ネットワーク環境、ペアとの連絡手段、遠隔実施に対する意見などの 17 項目からなるアンケートをとった。

結果を一部抜粋する (回答数は 114 である)。

- 用いた PC の種類は 78.9% がノート型、26.3% がデスクトップ型であった。
- PC 上の OS は 73.7% が Windows、25.4% が MacOS、6.1% が Linux であった。
- VNC クライアント上で表示したりリモートデスクトップの解像度は 8.8% が VNC サーバの初期設定値である 1024x768、次いで 1920x1080、1280x800、1280x720

^{*10} グループ化しだいで最終的な論理式が異なるため。

^{*11} たとえば、午前 9 時からの授業に出席する必要があるなら、早朝の作業はしにくいであろう。

がそれぞれ 3.5%、水平幅 2560 であるケースは 2.6% であった。

- 解像度に対する印象として狭かったと感じた学生は 56.1%、ちょうどよかったと感じた学生は 41.2% であった。
- ネットワーク環境として 66.7% の学生は無線 LAN を、34.2% の学生は有線 LAN を用いていた。
- ペアとの連絡手段として 69.3% は LINE、18.4% はメール、10.5% が Zoom、7% が Twitter を利用していた (ただし複数回答可)。
- FPGA の出力が設定されていない LED がリモートコントロールアプリでは薄く点いていたことに気づいた学生は 39.5% であった。
- 授業時間以外で何時間くらい実験を行なったかの問いに対し、77.2% が 5 時間以上、14% の学生が 4 時間未満と答えていた。
- 遠隔からでもオシロスコープの操作法を学ぶことができたと回答した学生は 82.5% であった。

リモートデスクトップのサイズや解像度は作業効率に影響を与える要因のひとつであるが、開発環境 (Quartus)、リモートコントロールアプリ、ターミナルソフト、ウェブブラウザなどを組み合わせて使ううえでは少し狭く、学生の半数以上が狭いと感じたことにはうなずける。

自由回答形式で、今回の遠隔システムの良い点を尋ねたところ、やはり時間や空間の制約をあまり受けないことを挙げた学生が多くいた。一方、改善点については、解像度が低い、操作に対するレスポンスが低下することがある、ペアではなくひとりで機器を専有したい、利用できる日を増やして欲しい、もっとチェックを受けられるようにして欲しいなどが複数の学生からあった。

同様に自由回答となるが、遠隔システムを使っていて「リアルな機材を動かしているんだ」と実感した場面について尋ねると、夕方から使っているとだんだん暗くなった、深夜の作業でカメラ画像が真っ暗だったし怖かった、夜間の作業で暗かったのがタブレットのライトを点けた瞬間にはっきり見えた、FPGA の操作にラグがあった、時間帯によりカメラ画像の見え方が違った、GUI のスイッチを操作すると実物の LED が点灯した、GUI でオシロスコープのトリガーを調整すると実物のオシロスコープの見え方が変化した、などがあった。とりわけ、深夜での作業で大学の計算機室が消灯されている事実にあらためて気づき、少なくとも初回は強い印象を持ったようである。

また上述の、FPGA の出力が設定されていない LED の微かな点灯に関しても、それに気づいた学生の中にはこの現象を疑問に感じ、自分が意図して作成してはいない部分の挙動を通して「ああ、いま自分は実際のハードウェアを扱っているのだなあ」といった実感を持ったのではないかと期待される。

6. おわりに

コロナ禍の影響により今年度の大学での授業は遠隔での実施となったが、各種機材の操作が必要な本課題をオンライン化するために、既存の装置に電氣的インタフェースを追加するとともにインターネットを介して学外から大学の計算機と機材を操作する GUI アプリケーションを用意した。

実験の当日は、問題の説明や問題ごとのチェックおよび質問に対する対応を Zoom を用いて行なった。初の試みであり、教員・学生ともに、これまでは必要のなかった作業や準備が必要となり、今までのペースで進めることが難しかった。しかしながら、手探りの状態から始めて、致命的なトラブルを起こすこともなく本課題を終えることができ、また、その間に得られた知見もあり、今後の遠隔授業にも応用できるのではないかと考えている。

参考文献

- [1] 山崎 進、館 伸幸: 実験的オンライン実技実験講義～北九州市立大学国際環境工学部のチャレンジ、【第 10 回】4 月からの大学等遠隔授業に関する取組状況共有サイバーシンポジウム (オンライン開催) (2020.6.5).
- [2] 久門 尚史: 「自宅実験によるオンライン型回路演習」、【第 14 回】4 月からの大学等遠隔授業に関する取組状況共有サイバーシンポジウム (オンライン開催) (2020.8.21).