

研究論文

# FPGAを用いた論理回路設計実験のための 遠隔実験システムの作成と評価

赤池 英夫<sup>1,a)</sup> 島崎 俊介<sup>1,b)</sup> 成見 哲<sup>1,c)</sup>

受付日 2021年6月30日, 再受付日 2022年1月10日,  
採録日 2022年2月19日

**概要:** 本研究では, 本学学内における対面での利用のみを想定して作成されていた実験システムを, やむを得ない理由で遠隔対応させ使用した結果, 教育にどのような影響を及ぼしたかを調査した. 対象となる実験システムは, 本学3年生の実験科目の中のFPGA (Field Programmable Gate Array) を用いて初歩的な論理回路を設計する課題で用いられている. 作成した回路の動作確認に実機の物理的な操作をとまうため, 例年, 受講生は機器の設置された計算機室に一堂に介して課題に取り組んできた. 2020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, 学外から機器を操作する仕組みを導入し実験を遂行した. とくに致命的なトラブルもなく実験を行うことはできたが成績の低下がみられた. 遠隔対応とすることで学生の望むタイミングで課題に取り組めたことが見出されたものの, 対面であれば容易に行える学生の理解度チェックがオンラインでは難しいことも分かり, ひいてはそれが成績低下の一因であることが示唆された.

**キーワード:** FPGA, グラフィカルユーザインタフェース, 遠隔学習, ハードウェア実験, 遠隔作業

## An Implementation and Evaluation of a Remote Control System for Logic Circuit Design Assignment using an FPGA

HIDEO AKAIKE<sup>1,a)</sup> TOSHIYUKI SHIMAZAKI<sup>1,b)</sup> TETSU NARUMI<sup>1,c)</sup>

Received: June 30, 2021, Revised: January 10, 2022,  
Accepted: February 19, 2022

**Abstract:** In this study, we investigated the impacts on education as a result of using an experimental system that was originally designed for face-to-face use only, but was adapted for remote use. The target experimental system is used in the third-year undergraduate laboratory course of our university, where students are required to design elementary logic circuits using an FPGA (Field Programmable Gate Array). To assure correctness of circuits, they must operate the actual equipment physically. In past years, students have worked on their assignments together in a computer room where the equipment is lined up. But in FY2020, the campus entry was banned as a measure against COVID-19, so we added some functions to the existing equipment and created a GUI application from scratch to control the equipment from outside the campus. Although we were able to complete the experiment without any fatal problems, but the grades declined. It was found that the students were able to work on the assignments at their preferred timing in remote work. However, it was also found that it was difficult to check students' understanding online, which is easy to do in person. This difficulty was suggested to be one of the reasons for the decline in grades.

**Keywords:** FPGA, graphical user interfaces, distance learning, logic circuit design assignment, remote work

<sup>1</sup> 電気通信大学  
The University of Electro-Communications, Chofu, Tokyo  
182-8585, Japan

a) xakaike@cs.uec.ac.jp

b) shimazaki@uec.ac.jp

c) narumi@uec.ac.jp

### 1. はじめに

著者らの所属する電気通信大学の学部3年生\*1を対象と

\*1 正確には現在は「I類(情報系)の3年生」である.

表 1 MICS 実験第一の概要

Table 1 An overview of the MICS Laboratory I.

課題番号	名称	内容や目標など
1	論理回路	組合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じた 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じた記号処理の学習
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

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。ほぼすべての課題が 3 日間、1 日 2 コマ（= 180 分）をかけて行われる。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計算機室\*2にて、対面で行われる。受講学生数は、再履修者を含め、毎年 120~140 名ほどである。

2020 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と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ミング課題であれば、学生の力量にもよるが、教員と対話することもなく問題の入手と解答の提出で済ませることができる。

ハードウェアに関する課題は 2 つあり、著者らが担当した課題 1（以下、本課題）だけは、3 章で述べるように、FPGA ロジックトレナ上のスイッチ押下やオシロスコープの調整のために、各種機材のその場で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、現有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かつ急務となった。なお、ハードウェア記述言語（Verilog）を用いて回路設計を行う課題 2 もハードウェアに関する内容となっているが、（ソフトウェア）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オンデマンドで実施した。

今回はコロナ禍といった稀ともいえる状況ゆえの実践ではあるが、本来登学を要する講義や実験・演習に何らかの理由でそれが行えない学生に対する支援の事例としても意義があると考えられる。これをふまえ、ここでの研究課題として (1) 本課題に対し作成した遠隔実験システムが有効であるか、(2) その効果あるいは課題はなにか、を設定する。

## 2. 関連研究

コロナ禍の下、対面式からオンラインに移行した、電子回路設計をともなう課題を扱った事例として以下の 2 つがある。山崎ら [1] 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うことを目的とした実験について紹介している。久門 [2] 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、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。いずれも、学生に機材を郵送し、自宅で作業を行うとのことであった。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、ある種テレグジスタンス的なアプローチを採用した。このような実施形態を選択した理由の 1 つとして、FPGA の開発環境があらゆるオペレーティングシステムで動作するわけではなく\*3、大学の計算機での作業に統一することが望ましかったことがあげられる。また、精密機器であるオシロスコープを含む必要機材を学生宅に届けるとして、そこで生じるさまざまなリスク\*4に短期間で対処する必要があった。これも機材を学内に置くことにより対応がスムーズに行えると考えた。さらには、今回用いた Zoom の機能により教員サイドが受

\*3 アンケートから 25%ほどの学生が macOS を用いており、開発環境を動かすには仮想マシンなどを用意する必要があり、やや敷居が高くなる。

\*4 たとえば、学生宅でオシロスコープのプロープが断線した場合どうすれば良いだろうか。

\*2 こちらも正確には「I 類（情報系）情報・ネットワーク工学専攻計算機実験室」である。

講生の PC のキーボードやマウスを一時的に制御でき、リアルタイムで指導することができたこともあげられる。

アダプティブコンピューティング研究推進体 (Adaptive Computing Research Initiative, ACRi) [3] は、FPGA を活用する高性能なアダプティブコンピューティング・システムの開発およびその設計を効率化するための FPGA 活用基盤の開発を目指し、2020 年 4 月より活動を開始している。ACRi は、オンラインで FPGA の入門から本格的な活用が行える仕組みを ACRi ルームとして提供している。ACRi ルームは当初からオンラインでの利用が可能のように設計されているが、本課題は元来が現地での作業しかできないものをオンライン化した点で異なっている。

また、Bonn-Rhein-Sieg 大学における FPGA VISION REMOTE LAB [4], [5] では、学外からラボ内の FPGA を利用できるサービスを提供している。主に画像処理を対象とし、処理結果や消費電力などが確認できるようになっている。この取り組みも遠隔からの利用を念頭に設計されており、今回の我々の状況とは異なっている。

遠隔実験となり、例年計算機室開室時のみ可能であった作業時間 (時刻) の制約を取り除いたため深夜での作業も予想された。これまで実験は計算機室に一堂に介して行われたため、学生は他者の作業のようすを感じ取ることができたが、今回は自宅で 1 人で作業をすることになるため孤独を感じることも想定された。

以前から計算機支援による協調作業 (computer supported cooperative work; CSCW) の分野では、他者の存在を示すことによる、作業に対するモチベーションへの影響が多数調査されてきた。たとえば、他者の存在をメインディスプレイの周辺部に表示した際の調査 [6] やサブディスプレイに明示的に示したときの調査 [7]、またアンビエントな情報としてさりげなく伝えた場合の調査 [8], [9] などがあげられる。4 章で詳しく述べるが、真夜中の作業となり、消灯され真っ暗な計算機室にあるトレーナやオシロスコープの鮮明な画像を得るために、タブレットの LED 照明のオン・オフを可能とした。作業中、近くの機材の照明が灯り他者の存在を知覚することで、孤独感を払拭したり、「うまくいかないけど、もう少し頑張ってみよう」と前向きな思考を生む効果があるのではないかと考えた。また、シミュレートされた仮想の機器ではなく、物理的実体を持つ機器を操作していると実感させるための仕掛けになるとも考えた。直接的な問いではないが、その調査についても 6 章で述べるアンケート項目に加えた。

柏崎ら [10] は DEIM2020 と情報処理学会第 82 回全国大会における、開催者の準備や当日の行動に関する工夫などを報告している。本課題の同時受講者は 50 名もおらず、規模は 1 桁も違うが、報告の内容は実験遂行上の参考となった。とりわけ、当時、視聴する側ではなく開催する側としての Zoom 利用に長けていなかった第 1 著者は、全国大会

の手引きや本報告で示されたトラブルをあらかじめ知ること、本課題実施前の (心構えを含めた) 準備ができた。

### 3. 本課題について

まず、本課題の具体的な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。トレーナ自体は FPGA (MAX10 10M08SAE144C8G) を搭載した市販の評価ボード、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り替える回路などを組み合わせた最小構成 (図 1) となっており、USB 接続される開発用計算機を除き、他機器と通信する機能は有していない。よって、4 章で説明するように、遠隔実験を実現するために追加のハードウェアおよびソフトウェアが必要である。見方を変えると、どのような FPGA を用いても、FPGA に対する入出力を外部から監視・制御できるような周辺回路を含めたシステムを設計すれば最初から遠隔実験は可能となる。

FPGA 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回路図を描くか、Verilog のようなハードウェア記述言語を用い、FPGA 内の論理素子の接続情報を作り出す方法がある。

- 本課題は回路図を描画する方式である。すなわち学生は、
- (1) 課題に示された問題を解く際に必要な定義を行い、
  - (2) 課題に示された問題を解く回路を Quartus [11] と呼ばれる FPGA 開発環境 (以降、開発環境) が提供する回路図エディタで描き、
  - (3) 回路図を接続情報にコンパイル、
  - (4) FPGA にダウンロードし、

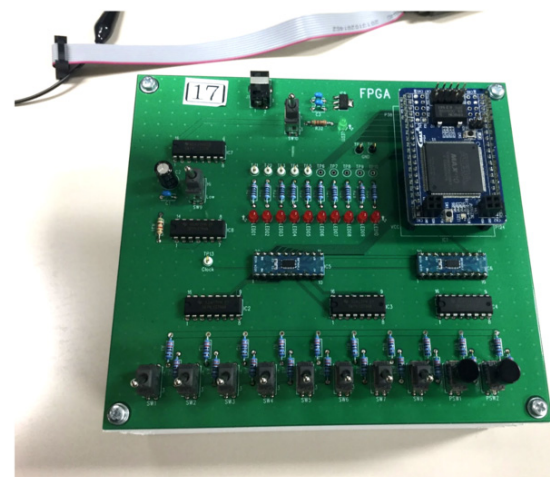


図 1 FPGA ロジックトレーナ

Fig. 1 The FPGA logic trainer board.



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合せ
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

(5) 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

する. 上記 (3) でのコンパイルにパスしなかったり, (5) で所望の動作が得られない場合は, (1) や (2) に戻り再考することとなる.

本課題は表 2 のように 6 つの問題からなっている (6 問題はさらに 2 つの小問に分かれている). 問題 1 は開発環境とトレーナの扱いに慣れるための練習である. 問題 2 は 2 つの 2 ビットの入力  $x = x_1x_0$ ,  $y = y_1y_0$  を数としてみたとき,  $x$  が  $y$  より多ければ 1 を出力し, そうでなければ 0 を出力する回路を設計する問題である. 一見,  $x$  と  $y$  の解釈は自明と思われるが, それらが符号を持つかどうか, どちらが上位ビットかなどを学生が定義する必要がある. 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う. また問題 3 では 2 つのフリップフロップを用いて微分回路を構成するが, まずその素朴な状態遷移図から, より単純化した図に変形させる際の手順を説明させようとして, 2 ビットカウンタと組み合わせて微分回路の意義を問うている. 問題 4 は 100 円硬貨を 2 枚投入すると発券する自動販売機を作成するが, 不適切な操作 (たとえば硬貨投入操作と券を取り出そうとする操作を同時に行う) への対処を要求する. 問題 5 以降では 4 ビットカウンタを用いて作成する. 周期的な出力信号を発生させる回路の確認にはオシロスコープを用いる. 問題 5 は, 手動で行った問題 2 の動作確認をカウンタとオシロスコープで半自動化するものである. 最後の問題 6 は, 問題で与えられた回路図の動作を読み取り, さらに改造する内容となっている.

#### 4. 遠隔実験システム

3 章で述べたように, 本課題の各問を解答するには,

- FPGA で動作させる回路を設計 (作業前半) し,
- 回路を動かし正しく動作していることを確認 (作業後半)

する必要がある. そこで, これまで必要とした機材は開発環境を実行する端末, トレーナ, オシロスコープだけであった (図 2). なお, 図中の “CED” とは計算機室の略称である.

作業前半は, いずれかの手段で開発環境を使うことがで

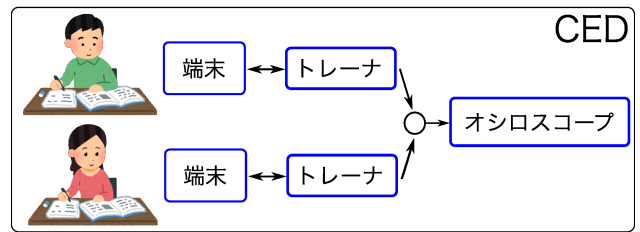


図 2 旧システム概要

Fig. 2 Conventional system overview.

きれば遠隔からでも行える\*5. 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ため, 学外から端末にリモートログインする際に学生自身の PC 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\*6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る. そこで, 今回はより軽快な動作を可能とする 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\*7. 場合によっては, 描画のゴミが残ったり, 部分的な描画の遅延があるものの, 表示内容の差分をとり圧縮を行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.

一方, 素のトレーナでは遠隔から操作することができない, つまり, スイッチの操作と LED の状態の確認はその場でしか行えない. オシロスコープの操作および表示波形の確認も同様である. よって, 作業後半は行えない. そのため, 著者らは次の対策を講じることとした.

- (1) 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.
- (2) 端末からオシロスコープを制御できるようにする.
- (3) LED の状態をモニタできるようにする.
- (4) 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.
- (5) GUI ベースで扱えるようにする.

上記の対策のために, 既存の機材に加え, トレーナの入出力の監視と制御およびオシロスコープの設定を仲介するためのマイコンボード (Arduino), トレーナとオシロスコープの見た目をリアルタイムに撮影するためカメラ付きタブレット (Android) を新たに導入した. 結果として, 図 3 のようなシステムを構築した. なお各装置間の接続に, 端末とトレーナおよびタブレットは USB, 端末とマイコンボードは USB-シリアル, マイコンボードとオシロスコープはシリアルを用い, マイコンボードとトレーナおよ

\*5 さらに, 自宅の PC に開発環境をインストールすれば自宅でも可能である.

\*6 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.

\*7 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経由でポートフォワーディングを行う必要がある.

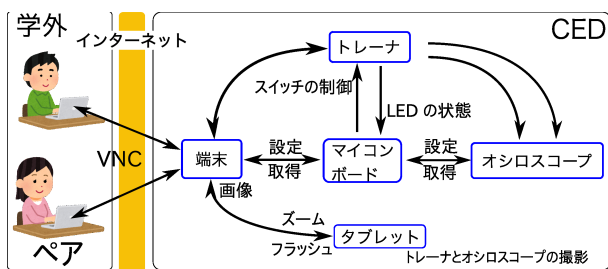


図 3 新システム概要  
Fig. 3 Planned system overview.

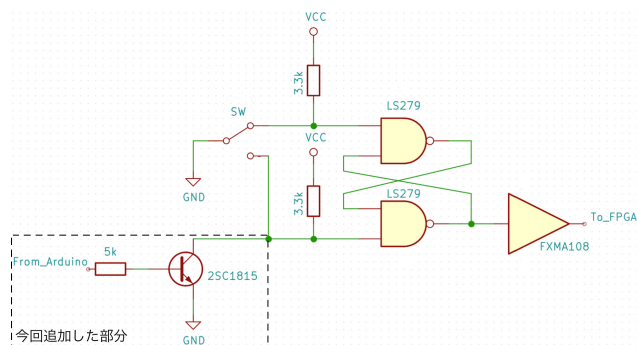


図 4 スイッチコントロール用の追加回路  
Fig. 4 An additional circuit to control the toggle and/or push switches.

びトレーナとオシロスコープは直に結線\*8している。

以下、各々の実現法について述べる。

#### 4.1 トレーナのスイッチ操作

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 4 の点線で囲まれた部分のようにスイッチング用のトランジスタと電流制限用の抵抗を追加した\*9。この際、図中下部の NAND ゲートへの入力（すなわち追加トランジスタのコレクタ電圧）での制御を可能にするため、トレーナの物理スイッチ（図 4 中の SW）を GND 側に固定し、上部の NAND ゲートの出力をつねに高電位にしている。ただし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を介させ、端末からマイコンに指示を出し、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。

#### 4.2 オシロスコープの操作

本課題で用いているオシロスコープ [12] 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、

\*8 トレーナとオシロスコープの結線は、その場にいなければ変更できないため、オシロスコープの CH1, CH2 をそれぞれトレーナの LED1, LED2 に接続された端子に固定した。

\*9 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。

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。

操作の確実性を保証するために、通信部のプログラムではハンドシェイクを行っており多少の遅延が生ずる。

端末には、現在ではレガシー扱われることが多くなった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マイコンボードを経由させることで、端末からのケーブル接続数を (USB と RS-232 の) 2 本から 1 本 (USB のみ) に減らすことにした\*10。

#### 4.3 トレーナの 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。これもマイコンの汎用入出力 (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、2 値の電圧レベルをとりこぼすため、実際の見た目との違いが生じうる。そこで、電圧レベルを、高い・低い 2 値としてではなく、10 ビット分解能のアナログ入力 (A/D 変換) で秒間 30 回取得し、その直近 16 回の電圧レベルの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\*11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\*12の提示を可能とした。

#### 4.4 現地のカメラで撮影した画像の提供

ここまでの工夫をほどこし、スイッチが押せて、LED が瞬くようすを学生の PC 上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、端末に USB 接続したカメラ付きタブレット\*13でトレーナとオシロスコープを写し、次節の GUI アプリケーション内にリアルタイム表示することとした\*14。

#### 4.5 GUI アプリケーションへの集約

カメラ画像およびカメラ操作 (フラッシュ (タブレット搭載の高輝度 LED の点灯・消灯), オートフォーカス, ズー

\*10 OS でのデバイスアクセスの権限付与設定も USB のみとなるため。

\*11 今回は 64 階調の赤色。

\*12 回路上で陽に電圧レベルを指定していない LED の灰暗く光るようすが確認できる。

\*13 使用されていない Android タブレットを活用し、そのうえで動作する Web カメラ化アプリ (DroidCam) を使用した。

\*14 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。

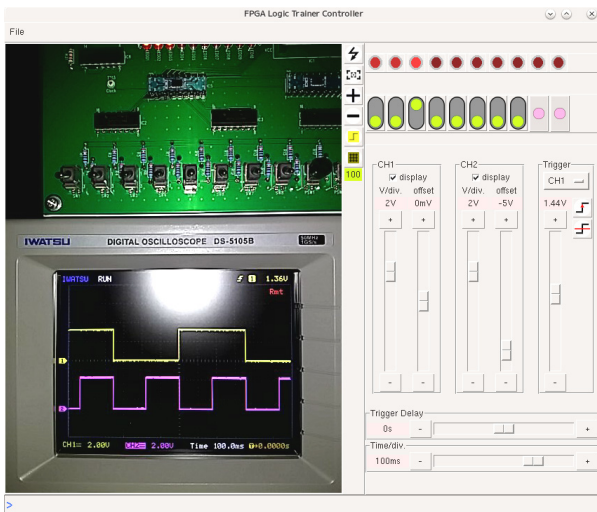


図 5 リモートコントロールアプリケーション  
Fig. 5 The remote controller.

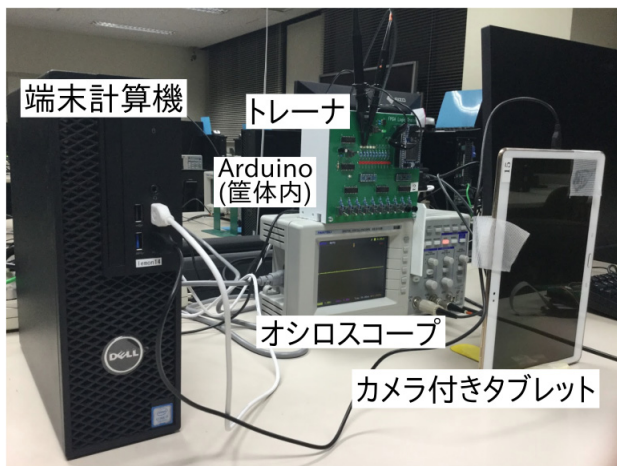


図 6 システム外観  
Fig. 6 Final system appearance.

ムイン・アウト) ボタン, 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の操作を可能とする GUI ベースのリモートコントロールアプリケーション (以下, リモートアプリ) プログラムを Python を用いて作成した. GUI 部には標準モジュールである tkinter を, カメラ画像の表示には OpenCV を利用した (図 5).

図の左半分はカメラからの画像であり実物の見た目を提供しており, 右半分は上部がトレーナの LED とスイッチの状態を, 下部がオシロスコープの設定状況を反映している. 煩雑になることを避けるため, 操作可能なオシロスコープの機能に関しては本課題を解答するうえで必要なものにとどめた. また, リモートアプリの初回実行時には, のちの解析のために操作履歴を記録してよいか尋ねるパネルを表示した.

最終的に用意した機材一式の外観を図 6 に示す<sup>\*15</sup>. 堅

\*15 図の写真には写っていないが, 今回使用しないキーボードとマウスは端末本体上部にまとめている.

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, マイコンボード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 プリントで印刷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.

## 5. 本課題の例年および 2020 年度の実施状況

まず, 2019 年度までの状況を説明する.

機材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とりかかり, 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. 各チェックには複数の項目があり, その内容は主に, 課題文書, 教員が説明する補足を含むスライド, 一般的なレポートの書き方に正しく対応している, あるいは準じているかなどである. 明らかに不可欠な項目はあるが, その場で学生のようにすから不足していると思われる事柄については即興で尋ねることもある. たとえば, 本課題の問題 2 に対し, 学生は入力である 2 ビットの解釈を説明しなければならず, そのチェックにより符号の有無などによる違いの理解ができているかどうか分かる. このチェックは学生の理解度を実験時間内に確認し, 最終的なレポートの質を向上させるために講じている本課題特有の仕組みである. なお, チェックは実験時間内で行われず, チェックを受けられなかった場合, それ自体はわずかな減点となるが, 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<sup>\*16</sup>.
  - 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プロブをつけ替える.
- 一方, 2020 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. これは予備機の役割も果たした.
  - 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

\*16 であるので「無解答であれば当然 0 点であるが, チェックを受けていなくても (正しく) 解答することによりいくばくかの点が得られるので, できる限りねばるように」と指導している.



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、教員3人、TA 3人が教員サイドとして参加した。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のみが、ブレイクアウトルームに移動しチェックを行った。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人がペアとなり同一端末に割り当てられた（図3を参照）。ペアの学生は個々に VNC サーバを立ち上げて作業するが、端末に接続された機材一式（トレーナ、オシロスコープ、タブレット）を排他的に共有した。組あたり45名前後の受講生がいるため23の機材一式を用意した。
- 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とCH2をそれぞれトレーナのLED1とLED2の端子に固定した。また、トレーナには、2つのプッシュ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（高いものが2.8kHz、低いものが5.9Hz）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。そのため、動作確認用に従来は不要であった分周回路をFPGA内に組み込むなどの工夫が必要となった。
- 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<sup>\*17</sup>。
- 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、その提出には本学で用意されている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。

\*17 とはいえ、認められていない期間に誤って使用してしまい、本来の使用者の作業を妨害してしまった学生も何名かいた。

## 6. 結果と考察

以下では、提出されたレポートの採点、作業時の記録（作業ログ）、アンケートなどの結果および考察について述べる。

### 6.1 前年からの成績の変化

結果として、2019年度よりも点数は低下した。欠席した、あるいは、レポート未提出の学生を除くと、2019年度は受講者数108名に対して、平均点79.5（100点満点）、標準偏差10.4であり、2020年度は受講者数127名、平均点72.7、標準偏差19.1であった。また、合格ラインを60点としたときの合格者の割合は、2019年度は96.3%、2020年度は85.8%であった<sup>\*18</sup>。平均点に8点ほどの低下もあるが、点数分布が広がっており、下方の学生が合格ラインを割ってしまっている。点数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2020年度特有の要因が考えられる。その1つは、次節で述べるチェック数の減少と考えられる。

### 6.2 チェック数の変化

5章で述べたように、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り、これが本課題の特色となっている。本課題に限らず一般的に、学生は問題に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、このやりとりの主体は学生であり、疑問があってもそれを教員に問うか否かは学生次第である。しかし本課題においては、個々の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。

問題ごとにチェックが入るため、チェック数の最大値は7である。第1著者担当組の直近5年分の担当人数と平均チェック数を表3に示す<sup>\*19</sup>。2020年度の平均チェック数は、それ以前の年度に比べ明らかに少ない。

表3 直近5年間の人数と平均チェック数（第1著者分）

Table 3 The number of students and the averaged number of checks for them in the past 5 years (for the first author).

年度	担当人数	平均チェック数
2020	44	3.95
2019	26	6.54
2018	37	6.68
2017	35	5.26
2016	35	6.60

\*18 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。

\*19 2019年は採点の1/3ほどを他者に依頼したため詳細が残っていない。

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、逆もいえる。つまり、実験時間内のみに行われるチェックの回数は成績に連動しており、その減少は点数の減少につながると考えられる。

2020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、少数とはいえ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、チェックが行えなかった。
- 個々のチェックを他の学生の前で行うことはできない（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）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しばしば必要であった。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ヘッドとなり、対応できる回数に影響が生じた。
- 5章で述べたように、2020年度では、機材一式はペアの2人で共用するようになったため、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、実時間とはい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とり合う際に時間を要した<sup>\*20</sup>。

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。

### 6.3 問題単位での考察

これも第1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、2020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散見された。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<sup>\*21</sup>である。しかし、それを行っていない学生が何人もおり減点

されている。カルノー図の枠の有無が採点に含まれる箇所は2つあり、ここでは説明のために  $p_1$ ,  $p_2$  とする。分母が異なるので比率で示せば、2019年度では  $p_1$  で13.3%,  $p_2$  で23.1%の学生が減点されていた。一方、2020年度ではそれぞれ42.9%, 37.5%といずれも悪化した。問題説明時に注意はしているのであるが、うっかりしたのであろう。

総じて、対面でのさりげない一瞬のやりとりが学生に気付きを与え、理解を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。

### 6.4 作業ログからの一考

学生の承諾のもとにリモートアプリの操作をログファイルとして記録した。ファイル名はリモートアプリを起動した時刻とし（たとえば20200808-12:07:05.log）、種々のイベントにマイクロ秒単位のタイムスタンプを付記した。イベントの種類として、リモートアプリを起動したマシン名を付した記録開始（host）、リモートアプリの初期化完了（initialized）、端末に接続された機器を操作するためのマイコンとの接続完了（connection-established）、トレーナのスイッチ操作（sw）、オシロスコープの操作（osc）、タブレットのカメラ操作（cam）、マイコンへのデータ送信（->）と受信（<-）、およびリモートアプリの終了処理（finalized）がある（以下の例を参照）。

```
5619729800793,host,lemon33
5619730680900,connection-established
5619730680934,initialized
5619730691959,<-,L0033333333
5619745963629,osc,trigger-indicator-increase
5619779842053,sw,3,1
...
5620101380051,finalized
```

ログファイルの総数はリモートアプリを起動した回数に等しく、全学生により生成された総ファイル数は6,260、総サイズは660MBほどであった。一学生による最大ファイル数は175、平均46.72、標準偏差27.52であった。

#### 6.4.1 作業日

本課題は月曜日と水曜日に行われる3日間の実験日の2週間後がレポート提出締切日となっており、実験初日からレポート提出締切までは3週間である。1組は7/8~7/29、2組は7/20~8/10、3組は7/29~8/19であるが、実験3日目以降は、他の組との重複する期間がある。学生がリモートアプリを起動した、組ごとの回数を図7に示す。

実験日のログファイル数が多いことは当然であるが、どの組もレポート提出締切日の1週間ほど前から徐々に作業

<sup>\*20</sup> 「相方に連絡して返事が来ません」といった嘆きも何度も耳にした。

<sup>\*21</sup> グループ化しだいで最終的な論理式が異なるため。



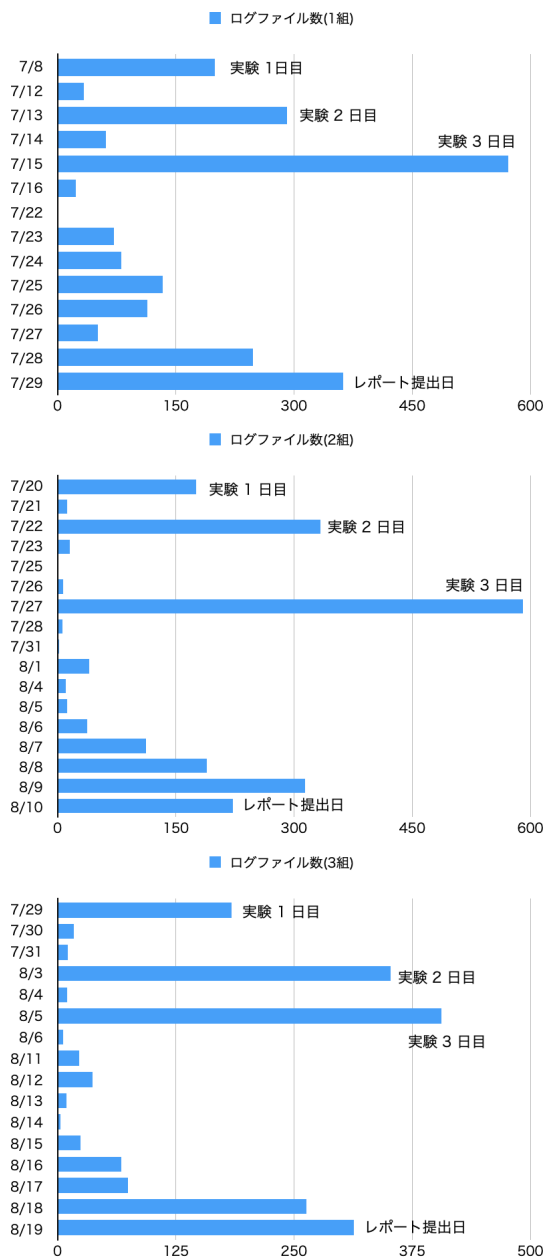


図 7 作業日の分布

Fig. 7 The distribution of students' working days.

をしていることが見てとれる。オンライン化し、作業可能日時の制限を緩和したことにより、「いつでもできるのだから、後でやればいいや」といった発想につながったのだろうと推察できる。

### 6.4.2 作業時刻

図 8 に、オンラインでの作業時刻の分布を示す。これは作業可能日（実験日および各組に対して割り当てられた専用の自習期間）に対して、 $n$  ( $0 \leq n \leq 23$ ) 時分に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

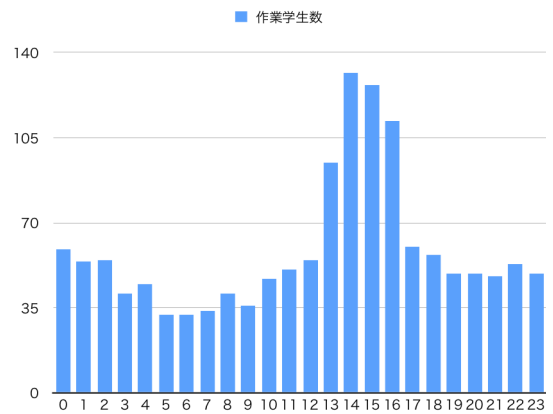


図 8 作業時刻の分布

Fig. 8 The distribution of students' working times.

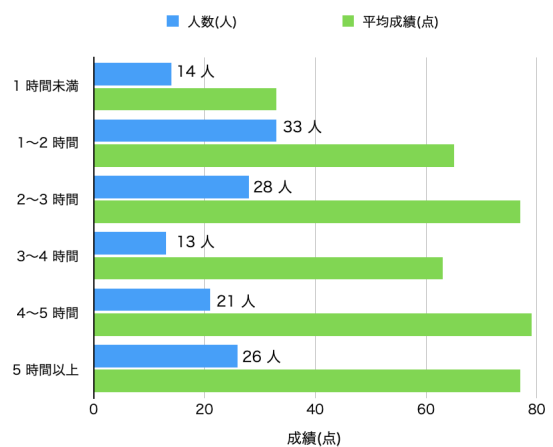


図 9 作業時間と成績

Fig. 9 The relation between working time and score.

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1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り、また、2020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\*22。

### 6.4.3 作業時間と成績

図 9 に、1時間単位での総作業時間に対する学生数と平均得点の対応を示す。予想どおりではあるが、総作業時間が1時間に満たない場合は点数がきわめて低く、合格ライン（60点）を超えていない。しかし、1時間以上であれば、成績の顕著な差は見られず、合格圏内にはいる。短い時間でも集中的に作業する学生もいれば、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アプリの操作時間に過ぎず、自己申告とはいえ次項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。

\*22 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、早朝におよぶ作業はしにくいであろう。

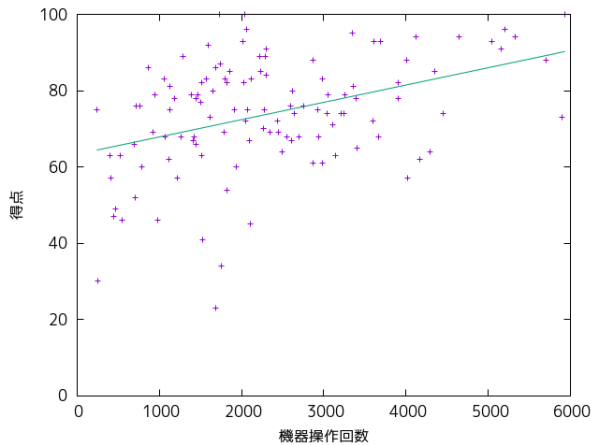


図 10 機器操作回数と得点

Fig. 10 The relation between the number of equipment manipulations and score.

#### 6.4.4 機器の操作回数と成績

与えられた課題に対して、作成した回路の検証のために、学生はトレーナのスイッチ、オシロスコープ、タブレットのカメラを操作することになる。そこで、ログファイルからこれらの操作回数を抽出し、最終的な成績との関連を調べた。ただし、操作回数が極端に多いものがあったため、四分位範囲による外れ値を除外した。結果を近似直線とともに図 10 に示す。

相関係数を求めたところ 0.40 と、正の相関があることが分かった。機器操作回数をリアルタイムに追跡することにより、解答につまっている学生の発見に応用できるかもしれない。

#### 6.5 アンケートからの抜粋

2020 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、画面解像度、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 (14 問) からなる無記名のアンケートをとった (付録参照)。結果を一部抜粋する (問により回答数は異なり最大回答数は 113 であった)。

- 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 1,024×768、次いで 1,920×1,080、1,280×800、1,280×720 がそれぞれ 3.5%、水平幅 2,560 であるケースは 2.6% であった。これらの解像度に正確にあてはまらないケースも多く報告されており、それらに関する考察は後述する。
- 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。
- 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。さらに、少数ではあるが「出力として割り当てられていない LED の電圧レベルが不定となるから」と答えた学生もいた。
- 授業時間以外で何時間くらい実験を行ったかの問いに対し、79.6% が 5 時間以上、20.4% の学生が 5 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。

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あ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、ペアとではなく 1 人で機器を専有したい、利用できる日 (利用可能日) 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。

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 1 つであるが、開発環境、リモートアプリ、ターミナルソフト、ウェブブラウザなどを組み合わせる使用うえでは少し狭く、学生の半数以上が狭いと感じたことにはうなずける。さらに、リモートデスクトップの解像度とそれに対する印象を突き合わせ、本課題遂行に適した解像度について考察する。まず、解像度は学生の申告であり、正しいとは思えないもの (たとえば 386×849 や 1,024×7,680) もあったため適切に取捨選択を行ったうえで、デフォルトの XGA (1,024×768)、XGA から Full-HD (1,920×1,080) 近辺、それ以上に三分して調査した。結果、「ちょうどよい」/「狭い」がそれぞれ 18/32、19/18、6/6 であった。つまり、XGA では「狭い」が優勢であるが、それ以上の解像度であれば甲乙つけがたい状況である。ただし、学生ごとに、使用するディスプレイのサイズ、起動するアプリケーションの数、回路図エディタの最大化や仮想画面の活用といったコツを知っているか否か、および主観に依存するため、最適解像度を決定することは難しいと考えられる。

ネットワークに関連した、システムのレスポンスの悪さや低下に関する指摘は無線 LAN 使用で 9 件、有線 LAN 使用で 4 件であった。これは、使用したネットワーク環境の、無線 LAN (66.7%) と有線 LAN (34.2%) の割合と同様である。また、用いた PC の 78.9% が、可搬性が利点とするノート型であったことから、今後も無線 LAN の使用が増えると考えられる。無線 LAN 使用時には、ルータとの距

離や同時接続数、帯域による電波干渉などの影響を受ける可能性があるため、そのようなことも考慮しつつ事前の動作チェックが必要と思われる。

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」などがあつた。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付き、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推察される。

実験開始前に著者らは、学生は自分の操作している機材に隣接する（つまり他のペアが用いている）機材から漏れ出る明かりから「この時間にも隣は作業しているのだから、自分も頑張らなければ」などとやる気が起きるのではないかと期待した。しかしながら、実測してはいないもののタブレットのライトに用いられている LED の指向角が予想以上に狭く、また、カメラで撮影している向きと範囲から、隣接する機材からの明かりを感知できなかったためか、予期したような回答は得られなかった。一方、ペアの相方が使用していて作業できなかったことに触れている学生が9名<sup>\*23</sup>いた。学生にしてみれば、作業ができないことに不満を感じることは当然であろう。ただ、アンケートでの具体的な言及はないものの、相方が作業している事実に対する焦りから自分も頑張らなければならないと発奮する学生もいたのではないかと筆者は推察する。だとすれば、必ずしも前向きな思考とはいえないが、やる気を起こさせる原動力にはなつたのではないかと考える。

最後に、実験中のいくつかの気づきと授業時間外の作業時間について考察する。授業時間外の作業時間を尋ねた問では、例外的に15時間と24時間と答えた学生が1名ずついたが、5時間以上と答えた場合の、より詳細な素性は不明である。そこで、大雑把ではあるが5時間で線を引き、5時間以上であれば比較的長く作業したと見なすことにする。まず、気づきに関係する「リアルな機材を動かしている」と実感した場面を尋ねた問には、回答例として「夕方

から使っていたらだんだん暗くなるのが分かった」などが示されていたこともあり、90%以上の学生が具体的な実感を回答していたため、こちらについては除外する。次に、LED が薄く点いていたことに気づいたかどうかを尋ねた問に、「気づいた」と回答した学生で5時間以上作業したと回答した学生の全受講者に対する割合は30.1%、「気づかなかった」学生で5時間以上作業した学生の割合は48.7%であり、気づいた学生が長く作業したとはいえない。さらに、アンケートにおけるこの作業時間はたぶんに主観的なもので厳密な値ではなく、リモートログインして実作業を行った時間や事前の机上での準備作業に要した時間などの総計とは乖離があると考えられるため、実験中の気づきと作業時間の関連性は不明であった。

## 7. 研究課題に対する回答

本論文で掲げた研究課題に対する所見を記す。

### (1) 本課題に対し作成した遠隔実験システムが有効であるか

今回は、未経験の事象への対応であったこと、準備期間が3カ月と短かったこと、学生側の作業環境にバリエーションがあつたことなどに鑑みれば、対面の場合に近い状況を実現でき、十分有効であったと考えられる。

### (2) その効果あるいは課題はなにか

対面での使用を前提とした実験システムを改造し学外からの使用を可能とすることで、利用時刻の制約を緩和でき、学生のライフスタイルへの柔軟な対応を可能とする効果を得た。

ただし、手探りの模索において例年に比べ成績の低下がみられた。Meansら[13]は、1996年から2008年にわたるオンライン学習の大規模な調査から、対面よりもオンライン学習後のテストのパフォーマンスが高い傾向になったことを報告している。本課題も形態的にオンライン学習であるが、

- ネットワーク利用のための事前準備の不備による実作業時間の減少、
- 対面なら容易な学生間のコミュニケーションや解答時の気づきの喪失

などの悪影響、さらには本課題において特徴的な「チェック」回数の減少が成績低下の一因と考えられる。以上から、実施方法の工夫が課題と考える。

## 8. おわりに

コロナ禍の影響により2020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

<sup>\*23</sup> ふだんから、不平を積極的に口にしない学生が多いと感じており、潜在的にはより多くの人数が同様に感じていたと想像される。



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、手探りの状態で始めて、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。実際、2020年度の種々の不備をふまえ、2021年度の実験においては、

- 全受講生を対象にネットワーク環境設定の講習日を設け、オンライン希望者のみをオンラインで受講させ、
- 各人に1セットの機材を用意して他人と共有する不具合を解消

することとした。本論文執筆時では最初の組の初日が終わった段階であるが、明らかにスムーズな進行が達成できている。ただし、チェック数の変化を見ると、やはり対面の学生の方が問題を解く進み方が速いようである。今後、対面とオンラインでの進捗や成績の差があれば、その原因を追求する予定である。

## 参考文献

- [1] 山崎 進, 館 伸幸: 実験の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).
- [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).
- [3] アダプティブコンピューティング研究推進体 (ACRi), 入手先 (<https://www.acri.c.titech.ac.jp/wp/>) (参照 2021-06-24).
- [4] Hochschule Bonn-Rhein-Sieg: FPGA VISION REMOTE LAB, available from (<https://www.h-brs.de/de/fpga-vision-lab/>) (accessed 2021-06-24).
- [5] Schwandt, A., Winzker, M. and Rohde, M.: Utilizing User Activity and System Response for Learning Analytics in a Remote Lab., Auer, M. and May, D. (Eds.), *Cross Reality and Data Science in Engineering, REV 2020, Advances in Intelligent Systems and Computing*, Vol.1231, Springer, Cham (2021).
- [6] Greenberg, S. and Rounding, M.: The Notification Collage: Posting Information to Public and Personal Displays, *Proc. ACM Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI 2001)*, pp.514-521 (2001).
- [7] MacIntyre, B., Mynatto, E., Volda, S., Hansen, K., Tullio, J. and Corso, G.: Support for Multitasking and Background Awareness Using Interactive Peripheral Displays, *Proc. Symposium on User Interface Software and Technology (UIST 2001)*, pp.41-50 (2001).
- [8] Heiner, J., Hudson, S. and Tanaka, K.: The Information Percolator: Ambient Information Display in a Decorative Object., *Proc. ACM Symposium on User Interface Software and Technology (UIST 1999)*, pp.141-148 (1999).
- [9] Ishii, H. and Ullmer, B.: Tangible Bits: Towards Seamless Interfaces between People, Bits, and Atoms, *Proc. ACM Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI 1997)*, pp.234-241 (1997).
- [10] 柏崎礼生, 坂根栄作, 込山悠介, 宮崎 純, 中沢 実, 岡部寿男: COVID-19の流行に対する参加者数500人超級の学会イベントのオンライン開催の知識共有, 情報処理学会研究報告コンピュータセキュリティ研究会 (CSEC), Vol.2020-CSEC-89, No.7, pp.1-8 (2020).
- [11] インテル Quartus Prime 開発ソフトウェア・スイート, 入手先 (<https://www.intel.co.jp/content/www/jp/ja/software/programmable/quartus-prime/overview.html>) (参照 2021-06-30).
- [12] IWATSU デジタル・オシロスコープ DS-5100B シリーズ, 入手先 ([https://www.iti.iwatsu.co.jp/ja/products/ds/ds5100b/ds5100b\\_top.html](https://www.iti.iwatsu.co.jp/ja/products/ds/ds5100b/ds5100b_top.html)) (参照 2021-06-30).
- [13] Means, B., Toyama, Y., Murphy, R., Bakia, M. and Jones, K.: Evaluation of Evidence-Based Practices in Online Learning: A Meta-Analysis and Review of Online Learning Studies, *U.S. Department of Education Office of Planning, Evaluation, and Policy Development Policy and Program Studies Service* (2010).

## 付 録

### A.1 アンケート内容

- 問1: 実験で用いたPCについて教えてください (複数選択可能)。
- 問2: 実験で用いたPCのOSについて教えてください (複数選択可能)。
- 問3: 手元のPCなどに表示したCEDのマシンの画面の解像度を教えてください。解像度などは手元に表示されたCEDマシンの端末上で `xwininfo -root` とすることで得られますが、その中の `-geometry` で始まる行の内容を回答してください。
- 問4: 手元のPCなどに表示したCEDのマシンの画面の解像度に関する印象を教えてください。
- 問5: 実験を受講したネットワーク環境について教えてください (複数選択可能)。
- 問6: 同じ班のペアと、どのようなツールを用いて連絡しましたか? (複数選択可能)
- 問7: 動作確認問題の `oscillo_test` では、LED01がカメラの映像では点きっぱなしでしたが、リモートコントロールアプリでは瞬いていたことに気づきましたか?
- 問7に気づいた場合: なぜ、そうなると思いますか?
- 問8: FPGAの回路上で使っていないLEDが、リモートコントロールアプリでは薄く赤く点いていたことに気づきましたか?
- 問8に気づいた場合: なぜ薄く赤く点いたと思いますか?
- 問9: 授業時間以外で何時間くらい実験を行いましたか?
- 問10: 遠隔システムを用いることで、オシロスコープの操作方法を学ぶことができたと思いますか?
- 問10で「学ぶことができなかった」と回答した場合: 学ぶことができなかった理由を教えてください。
- 問11: 今回用いた、遠隔システムの良い点があれば教えてください。

問 12：今回用いた，遠隔システムの改善点があれば教えてください。

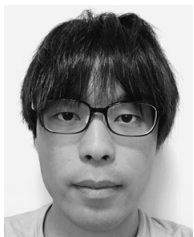
問 13：遠隔システムを使っていて，「リアルな機材を動かしているんだ」と実感した場面があったら教えてください（例えば，夕方から使っていたらだんだん暗くなるのが分かったなど）。

問 14：J1 課題に関する意見や感想などをお聞かせください。



赤池 英夫（正会員）

1988 年電気通信大学計算機科学科卒業．1990 年同大学大学院修士課程修了．1994 年同大学院博士課程単位取得退学．1996 年電気通信大学電気通信学部助手．2010 年同大学大学院情報理工学研究科助教．HCI，インタラクティブシステムに関する研究に従事．修士（工学）．2021 年度山下記念研究賞受賞．ヒューマンインタフェース学会会員．本会シニア会員．



島崎 俊介（正会員）

2012 年電気通信大学情報通信工学科卒業．2014 年東京学芸大学大学院教育学研究科修了．2021 年東京農工大学大学院工学府修了．2021 年より現在，電気通信大学大学院情報理工学研究科博士課程在学．2015 年より現在，電気通信大学教育研究技師部実験実習支援センター学術技師情報系実験実習，学習支援システム，教育 DX に関する業務に従事．修士（教育学），技術経営修士（専門職）．



成見 哲（正会員）

1993 年東京大学教養学部基礎科学第二学科卒業．1998 年東京大学総合文化研究科博士課程修了．同年理化学研究所基礎科学特別研究員．2007 年慶應義塾大学理工学部特別研究講師．2009 年電気通信大学情報理工学研究科准教授．2013 年同大学教授．ハイパフォーマンスコンピューティング，コンピュータハードウェアに関する研究に従事．博士（学術）．電子情報通信学会，人工知能学会，バーチャルリアリティ学会各会員．