

〈学内共同研究報告〉

インターネット大学において求められる μ 仮想演習室 —計算モジュールによる可用性と可搬性—

藤井 稔也

Abstract

大学のコンピュータ教育においては施設として演習室を置くことが通常であり、多くの大学で利用されている。これらは施設として一つ以上の教室を占有し多数の PC を置くだけで終わるわけではなく、それらを維持するためには専用ソフトウェアや故障機器交換など、大学の教職員の負担は大きい。2019 年より始まった世界的な新型コロナ感染状況は、これら施設の稼働率を大きく下げ、また近年の BYOD の考え方とも親和性がないものといえる。本論文では演習という形態の授業に求められる条件を掘り下げ、現在の演習室を置き換え可能であり、全国に学生が散らばるインターネットを基盤とする大学における演習室の在り方をプロトタイプを構築しつつ、将来へ向け μ 仮想演習室という概念的提案をするものである。

キーワード：大学設置基準、コンピュータ教室、Raspberry Pi、仮想環境

1. はじめに

昨今、パーソナルコンピュータは業務に留まらず余暇においても欠かせない機器となっている。教育においても、これは例外ではなくコンピュータ開発の黎明期からの CAI に始まる学習を支援するシステムが模索されてきた経緯がある。大学においては研究自体にもコンピュータ資源は活用されるため、コンピュータのハードウェア・ソフトウェアの教育は重要な要因として最も進んだ領域であり、それゆえに教育工学という分野も発展したと云える。そのため一般的にコンピュータ教室と呼ばれる施設が作られ教育に供されてきた。この形態は長い実績があり多くの利点を備えているとはいえ、昨今の教育環境の変化により綻びをも見せ始めている。特にインターネット大学と一般に呼ばれるタイプの通信制の大学では、スクーリングと呼ばれる教室で教員と直接対面する機会を特別に設けることもあるが、広域に散らばった学生を一同に会する必要があるため運営側にも学生側にも負担となり、オフサイトでありオンラインでもある形態も模索されている。COVID-19 の影響で通学制の大学においても授業支援システム（以降 LMS と呼ぶ）を用い感染拡大を防止する動きが一般的になったことも追い風となっているが、実際にどのようにすれば対面授業と同等もしくはそれ以上の効果が見込めるかという点は議論の余地が大きい。コンピュータ教室は通常の教室とは異なり多量の PC 機器を用意するだけでなく制御ソフトウェアなども導入したものである。導入にも維持にも少なくない経費が必要になり、稼働率の低い状況であると予測されるのであれば導入は躊躇されるものとなる。しかし、これが可搬性のある装置であり通常教室に適宜持ち込み設置し運用するものであれば、そのような憂いもなくなる。そのようなシステムを構築するためには、まずは大学における演習授業とはどのようなものであるかに立ち戻って議論し、その結果に基づいて代替となるシステムや機器の開発・導入をする必要があると思われる。

2. 大学における演習授業

大学のカリキュラムに置かれる科目は、授業という形態になることにより実際に単位を修得できる存在となる。この形式は対面授業やメディア授業で異なるが、講義形態、演習形態、実習形態などで様々なやり方が可能である。初等教育においてこれらの形態は学校教育法によって定められているが、大学においては大学設置基準と呼ばれる大学を設置す

るために必要な最低基準を定めた文部科学省の省令であり、学校教育法第3条及び第142条に根拠を持つものである。演習に関する定め等は大学設置基準第21条に記述がある。以下その抜粋である。

第二十一条 各授業科目の単位数は、大学において定めるものとする。

2 前項の単位数を定めるに当たっては、一単位の授業科目を四十五時間の学修を必要とする内容をもつて構成することを標準とし、授業の方法に応じ、当該授業による教育効果、授業時間外に必要な学修等を考慮して、次の基準により単位数を計算するものとする。

一 講義及び演習については、十五時間から三十時間までの範囲で大学が定める時間の授業をもつて一単位とする。

二 実験、実習及び実技については、三十時間から四十五時間までの範囲で大学が定める時間の授業をもつて一単位とする。ただし、芸術等の分野における個人指導による実技の授業については、大学が定める時間の授業をもつて一単位とすることができる。

三 一の授業科目について、講義、演習、実験、実習又は実技のうち二以上の方法の併用により行う場合については、その組み合わせに応じ、前二号に規定する基準を考慮して大学が定める時間の授業をもつて一単位とする。

3 前項の規定にかかわらず、卒業論文、卒業研究、卒業制作等の授業科目については、これらの学修の成果を評価して単位を授与することが適切と認められる場合には、これらに必要な学修等を考慮して、単位数を定めることができる。

なお、この大学設置基準は2022年10月1日に改正省令が施行[文部科学省,2022]されており、この部分は大幅に簡略化されている。

第二十一条 各授業科目の単位数は、大学において定めるものとする。

2 前項の単位数を定めるに当たっては、一単位の授業科目を四十五時間の学修を必要とする内容をもつて構成することを標準とし、第二十五条第一項に規定する授業の方法に応じ、当該授業による教育効果、授業時間外に必要な学修等を考慮して、おおむね十五時間から四十五時間までの範囲で大学が定める時間の授業をもつて一単位として単位数を計算するものとする。ただし、芸術等の分野における個人指導による実技の授業については、大学が定める時間の授業をもつて一単位とすることができる。

3 前項の規定にかかわらず、卒業論文、卒業研究、卒業制作等の授業科目については、これらの学修の成果を評価して単位を授与することが適切と認められる場合には、これらに必要な学修等を考慮して、単位数を定めることができる。

2.1. 大学設置基準における演習授業の定義

大学設置基準の条文には講義や演習は具体的な説明や必須事項などの規定はなく、規定されているのは時間のみである。つまり、講義と演習に差はなく、その差は大学が規定できるものと云える。また、2022年の改正省令では2項の一号、二号、三号は削られ講義・演習と実験・実技・実習の区別も無くなった。単位習得の時間は個々の大学が決めるものとし15時間から45時間に収まるように規定される。例として東京通信大学のメディア授業を取り上げると一回は一講15分の収録映像による授業が四組とその後受験する五択の選択問題を12問用意し、その中から10問出題する小テストで構成を標準形式としており特に講義と演習では区別は行っていない。また、小テストを削るなど標準形式から外れる

ことは担当教員の裁量で可能としているが、その場合の単位取得の時間の確保の責任は担当教員の責任範囲となると推測できる。なお、標準形式での 15～45 時間の担保は収録映像視聴が 60 分であり小テストは 30 分と見なしこれに単位認定試験の 60 分で確保できているとしている。これは其々を 1 回のみの視聴や受験と見なすと 13 時間であり一見、大学設置基準を満たさないが、収録映像は繰返し視聴可能であり多くの学生が複数回の視聴を行っている様子は受講ログなどから検証可能である。小テストは上限 3 回まで受験可能であり多くの学生が複数回の受験をしているという事実があり、小テストのみ 2 回受験と仮定しても合計 17 時間となり基準は満たしているという考えである。2023 年からはカリキュラムの科目区分として指定演習群が開講されるが、それも同様に大学における規定がなされることが考えられる。

2.2. 大学における演習授業の設計

前節で述べたとおり東京通信大学の授業の標準形式は合計 60 分の収録映像と小テストである。そしてカリキュラムにおいては演習授業には科目名として演習の文字が入っていることが多いが、実際には担当教員の裁量であり演習と名称が入らない科目にも演習と同等の項目を入れることも可能であり、逆に演習という名称が入る科目において演習項目を設けなくても大学設置基準に反しない。2022 年現在、これに関して東京通信大学に明文化された規定はない。演習項目をどのように設けるかは各科目の担当教員に任されているということであり、大学の用意した標準形式から引いた要素があれば同等以上の別の要素を足す必要があるともいえる。それを、どのように採点するかはシラバスに明記する。それによって学生が混乱しない規範とするわけである。

2.3. 大学の演習授業の実際

東京通信大学における 2022 年度のカリキュラムの情報マネジメント学部の開講専門科目を見ると 109 科目用意されているのが判る。そのうち 15 科目に演習という名称が与えられている。評価方法を標準形式から変更しているのは全体のうち 36 科目であり、学生に大学のコンピュータ資源もしくは個人所有の PC(BYOD)を用い実践的に演習させていると読み取ることの出来るものは 14 科目である。このうち 6 科目は本学で用意した Coderoom と呼ぶプログラミング演習システムを利用している。これは C 言語、Java 言語、SQL 言語といった言語サーバを持つプログラミング演習専用の LMS であり大学契約のデータセンタに配置されているプロプラエタリなシステムで受講者は開講期間中利用でき、自由に出された課題を解き実行し提出することができる。またサーバに演習時間などの学習ログが残るため大学設置基準の単位授与の 45 時間の学修時間の担保にも成りうるものである。次に科目区分で分類するとプログラミング・データ処理区分で最多の 10 科目であり、続いてデータリテラシーと情報システム区分で 2 科目ずつ、なお、マネジメント区分では演習に相当する科目は存在しない[東京通信大学,2018]。著者の担当する応用プログラミング演習は Arduino に代表されるフィジカルモジュールを利用した授業であり、それらの購入からプログラミングまでを全て学生が主体的に行わなければならないが、教員には客観的な時間計測の手段がないため計画書、状況報告、作品プレゼンテーションの三つのレポートの提出で評価することにより学修時間の推定し担保を図ることになる。恐らくは同様な演習授業でも、ある種のシステムティックな評価の工夫がされているであろう。

2.4. 演習授業へのシステムサポート

インターネットを学習の基盤とする大学においては LMS の機能を拡充することが最も近道ではあるが、そのシステム開発はそれを開発保守するベンダー等組織に依頼する必要がある。一般的にシステム開発は纏まった大きな予算を必要とするものであるため、そういった依頼がその予算の枠内であるかなどにより実現度や時期は流動的になる。例えば、演習時間の計測の方法などは教育工学に係わる慎重さを持つべきものであり、その要件定

義を遂行する能力や担当教員の関与度合いの問題はその都度付き纏う。

単純に思いつく方法でいえば、前述の **Coderoom** の対応言語サーバを増やしていくといった方法も一つの手段である。**Coderoom** のユーザインタフェイスの基本設計はコードを記述し実行するものであり、そこに加工するデータを設定する領域と **UNIX** に置ける標準入出力を表示する領域を設けたものである。しかしこれでは、グラフィック表示などの機能を加えるとすると大きな仕様変更になり実現は難しい。また、現在サポートされている **C** 言語においても **UNIX** の設計思想を学生に触れさせるという意味でのコマンドラインインタフェイスの学習および演習には効果的といえず、現状では、学生の所持するコンピュータに **Linux** 環境を構築させて演習させる必要が出てくる。

学生の使用 **OS** は **Windows** が大勢を占めると考えてよいが **macOS** を利用する学生に **Windows** マシンを購入しろと強いるわけにはいかない。そのため、どの **OS** であろうと利用可能なマルチプラットフォームのツールを使用を選択することになるが、その辺りのサポートには苦勞が伴うことは多くの教員が経験済みであろう。そのような問題を解消するため、クラウド上にサーバを用意しそれを使わせるという方法がある。インストールが演習の主要な項目でなければ、インストール済みのイメージを学生が各自起動できるようにリモートアクセスさせることも出来る。落とし穴としては、受講学生数に比例して運用コストが跳ね上がることがある。規模にもよるがオンプレミスより割高になり勝ちであることも考慮しておくべきである。また、担当教員のスキルや熱心さなど個人の能力に依存することもよく考慮すべきところであろう。

3. 仮想演習室とその必要性

まず、システム管理側が教員に提供できる演習支援方法として普遍的な解決策の現状はコンピュータ教室であるということは踏まえておく必要がある。しかし、先の問題提起どおりインフラ構築や維持管理のコストはインターネットを基盤とする東京通信大学のような通信制大学にとっては施設の遊休率が高いものとなり、実現可能性も乏しくなると言わざるをえない。そのような多数ある遊休状態にあるコンピュータを繋ぎ **HPC** として使う試みもいくつかなされているが[庄司ら,2005]、数百台規模の遊休計算機が既に存在する比較的大きな大学でなければ効果は薄く、確保した計算資源をどのように効率的に利用するかという問題も付き纏う。また **BYOD** を前提としてコンピュータ教室を撤廃する動きもある[三島ら,2016]が、それぞれの大学の事情を反映した局所的な解であり参考にはなるがそのまま東京通信大学に適用できるものではなさそうである。そういったこともありインターネットを介して利用できコンピュータ教室に置き換わるような解決策を探ることがこの章の論旨となる。まずはコンピュータ教室とは何かを論考し、システムの要件などを洗い出し、仮想演習室で必要となる機能や要件を明らかにする。

3.1. コンピュータ教室

大学設置基準はその第 36 条において必要な施設を定義している。そこには教室の括りとして演習室が挙げられているのみである。2022 年の改定省令においても「教室は、学科又は課程に応じ、講義、演習、実験、実習又は実技を行うのに必要な種類と数を備えるものとする。」と実質的に大学の裁量を拡大する方向の記述に変化した。これは講義や演習という形式を定義せず、大学で必要と考える科目に必要な施設を柔軟に用意しろということであり、特別な教室を作るかどうかは大学に任せるということである。時代を遡ってみると学校には視聴覚室という部屋が置かれていた。映像や音声の再生にはそれなりの機器を用意する必要があり、それらは高価でもあったため学校の多くの教室に設置できるものでは無かった為である。コンピュータ教室は英語授業のための **LL** 教室と同様に生徒および学生一人一人の席にコンピュータを設置し、教卓にはそれを束ねるコンピュータや制御装置を置くものであった。しかし時代が流れ、低価格なコンピュータの出現により、それを貸与し個人管理させる方向性や、個人持ちのコンピュータを学校や会社に持ち込んで使

う BYOD という考え方が浸透しだすとコンピュータ教室の存在意義も変化せざるを得ず、最近ではフリーアドレスな教職員の協働環境やアクティブラーニング教室という形態が出現するなど常に模索がされている。昨今の COVID-19 対策の後押しもあるが、そもそも箱モノとして設置することの非効率さやその弊害に対し東京農工大の例[根本ら,2021]や和歌山大学の仮想演習室[和歌山大学,2022]のような取り組みなど各大学の工夫により漸進的には解消されているとも云える。

一方、教育にはクラスという概念がある。公立小中学校における義務標準法の 40 人学級や 35 人学級という縛りが教育の質保証という点で一人の教員に付く学生数を制限する指標として参照されることが多い。実際には大学の質保証も学部学科の定員でもってなされているが、教員数や施設面積などの外形的基準で一律に規定する現状は実態に合わない部分も生じ始めていることもあり、2022 年の改正省令では指導補助者の位置づけを明確にし教育の質保証の一端を担わせる方向など変更がなされている。つまりは、コンピュータ教室を置くための規範となる設計基準は存在しないが、これまでの教育方法を支援する最も安全な施策として生き残っているとも見えなくもない。

では、そのコンピュータ教室の構造はどんなものであるかを見ていくと、通常の 1 クラスの学生もしくは生徒を収容できる 40 台以上のコンピュータとそれを置いた上で作業スペースも確保できる広さの机と椅子、学生がネットワーク配線で蹴躓いて怪我することのないようフリーアクセスフロアとする必要もあり整備には予算が掛かる。

コンピュータを利用した演習を 40 人といった纏まった数の学生に指導するには広さに余裕のある机や椅子のスペースだけでなくコンピュータ間にネットワーク敷設が必要となり小規模に抑えたとしても合計すると数千万から数億円といった規模の予算が必要となる。また一旦作ると、転用は効かず機器の故障修繕などの維持費も見積る必要がある。大学の規模によっては登録者が 200 名を超える講義演習科目も珍しくなく、このような場合、クラス分けをして時間割を作成し順次、コンピュータ教室を利用させるという手段を使う。或いは大教室をコンピュータ教室に作り替えるという方策をとる。細かくは、導入する必要のある制御システムの要件、学生もしくは生徒の学習状況をどのように把握し活用するかなど次節に述べるような諸問題も存在する。

3.2. コンピュータ教室のシステム要件

コンピュータ教室では、教員の使用するコンピュータが教卓に設置されていると共に学生もしくは生徒のコンピュータの状況を把握するためのシステムとそのソフトウェアが導入されることが多い。また、それらは教卓のコンピュータの画面はプロジェクタで学生もしくは生徒全員に提示できるか、または各ディスプレイに提示できるようになっている。このような制御ソフトウェアは日本では Phantosys[ワッセイ,2022]や CaLaboEX [チエル,2022]、V-class[アルファシステムズ,2022]などの製品がある。これらはそれぞれに特徴があり単純に比較はできないが、利用アプリケーションを含めた OS の実行イメージの管理とネットワークを経由したブート機能、ウィルス対策やウィンドウズ OS を利用する場合においてはウィンドウズアップデートの抑制、学生の作成したファイル等の除去、USB コネクタへの USB フラッシュドライブ接続の抑制など機器管理機能の他にセキュリティに関しても考慮する必要がある。これらは必須とはいえないかもしれないが、無いことは授業運営を困難にする可能性を孕む。

3.3. 学習状況の把握と活用方法

コンピュータ教室における教授法は所謂、座学と呼ばれる方式と変わるものではなく演習形式でもこれは同様である。違いは個々の学生もしくは生徒が自分のコンピュータを利用して能動的な作業をする場合に、教員がそれぞれの作業内容を俯瞰する形で観察できること、場合によっては教員が介入することによりリアルタイムに指導できることが重要である。また、課題を与えて作業させたときの学習ログが記録されることは、個々の学生も

しくは生徒の振り返り学習にも利用することを可能とし、大学のように一単位の学修時間が大学設置基準において45時間と規定されてるような場合においてエビデンスとして指標とすることも可能であり、これは大学の単位認定基準に対するクライテリアとも成りうる。

3.4. 演習授業支援のための仕組み

演習授業の目的は様々であり、その様々な目的に柔軟に対応させる必要がある。例えば、演習に必要なソフトウェアを毎回、学生もしくは生徒にインストールを強いることは本来の演習目的にそぐわないばかりか、無駄に時間を消費させることになるため、コンピュータ教室では予め必要なソフトウェアはインストールして提供する。有償ソフトウェアにおいてはライセンス形態により同時使用制限の管理も必要となる。

演習の種類によってはインストールに関する知識やその過程を学ぶことが重要な課題となることがある。このようなケースでは、コンピュータ教室のコンピュータ管理はその趣旨からは外れ邪魔でさえある。つまりは、アプリケーション利用であればBYOD端末を用いるのが適しているが、サーバ構築のような演習の場合、OSがインストールされていないベアマシンを用意するか、VMwareやVirtualBoxのような仮想マシンソフトウェアなどを利用することになる。仮想マシンソフトウェアはマイナーバージョンの差異や母艦となるOSの差で思わぬ落とし穴と成り得るため、教員側のサポートが重要となる。最悪インストールが出来ずに単位取得を逃す事態も起こりえるが、それを未然に防ぐには、出来る限り同質の演習環境を提供することしかない。これは担当教員の大きな業務負担になる。つまり既存のコンピュータ教室で提供されるサービスの範疇など考えるべき点は多い。

3.5. 仮想演習室に必要な要件

既存のコンピュータ教室の状況を踏まえ見えてくる問題点は構築と運用のコストが高いこと、可用性と可搬性がないという状況に纏めることができる。また、キャンパス以外など場所を問わず何処からでも利用可能にする為には、インターネットを介してキャンパス内アクセスするためのVPN装置の導入が不可欠である。これは大学構内に設置されたコンピュータ教室より強固なセキュリティ対策も施す必要があることをも意味する。

まず、構築のコストに関してはパーソナルコンピュータを用意する時点である程度の予算が必須となる。例えば小型デスクトップPCであっても10万円程度が一台に必要なため100台規模であれば単純計算で一千万円程度の購入予算が掛かるということが判る。大規模になればシンクライアント環境にすることでコストを抑えることも可能であるが、劇的なコストダウンとはならない。そのため、演習目的を限りプロセッサやIO性能などを抑えることで安価なハードウェアへの選択肢を広げることが重要であり、それが本論文のポイントにも繋がる。なお、それらのユースケースに関しては次々章以降で述べる。

前述した可用性と可搬性についてであるが、可用性は英語のAvailabilityを日本語訳したものである。可用という言葉は一般的に使用される言葉ではないが、使用できる度合いの指標と云える。使い勝手と置き換えることもできる。信頼性や保守性とも相関関係があるが厳密には別の概念となる。可搬性とはPortabilityの日本語訳である。ソフトウェアの移植性の度合いとして使われる場合もあるが、かつてノートブックコンピュータがポータブルコンピュータとか言われていた意味と同じで、持って移動させることが可能という意味となる。つまり、大きさもスーツケース大のものとして、部屋の片隅に設置できるものであるとより良いということである。

4. クラウドベースのクラスルームサービス

演習は形態を実教室に似せる必要性は必ずしもない。マイクロソフトやグーグルなどの企業は教育向けのクラウドサービスをそれぞれがClassroomというサービス名で提供している。またJupyter NotebookをベースとしたGoogle Colaboratoryはネット上でディープラーニング学習にも利用できる。ビデオ会議ツールと授業支援を一体化したRadixの

TeacherView[TeacherView,2022]などを利用することでイニシャルコストを抑えてパッチャルクラスを始めることも可能である。また、Zoom や Teams といったビデオ会議サービスも演習形態での教育利用は可能でありこの範疇に入れることができる。これらは魅力的な面が多いが、デメリットも正しく理解しておくことが必要である。まず、運用費がトータルで考えると高止まりすることである。例えば、スタートアップなどの企業は資本金が潤沢にあるわけではないのでデータセンタを自前で作るのではなくアマゾンの AWS に自社のサーバ群を構築することが多い。これは会社規模を考えれば合理的な判断であるが、所謂、マネージドサービスはハードウェアを選定して最適化する場合に比べ付加的なソフトウェアがシステム込みで過剰気味に提供されるものである。また、ハードウェアが抽象化され、その故障などの対応が不要であることは高度な冗長化がされているということであり、それは勿論のことサービス料金に上乗せされているということの意味する。季節性があるなどで最大アクセス量で見積ると機器購入が過剰と成りがちであるとか、アクセス需要が読めないタイプのサービスであればサーバ増強も柔軟に対応できるため最適解であるかもしれないが、大学等の教育システムは基本的に学生数が固定でありオンプレミスで構築することがトータルコスト削減にも繋がる。次に、クラウドベースのサービスはスタートアップなど財務能力の算定が難しい企業が運営していることが多い。倒産まで至らずとも業績悪化でサービス停止がありうることを念頭に、最悪時のシステム移設の手段は保持しておく必要がある。グーグルはスタートアップ企業でないがサービス停止を日常的に行う企業として有名である。サービス停止以外にも無料サービスを有償に変更することも日常茶飯事である。これはマイクロソフトも同様であり、例えばアカデミック向けの Office 365 の条件や価格体系の変更は直近でも実施されている。卑近な例でいえば Google Colaboratory は無償枠で使える GPGPU 資源を用意していたが、現在は切り離され従量制となっている。つまりサービス受入側は、常に、これら料金に関する改定に目を光らせる必要があり、ベンダーロックインしないように気を付ける必要もある。

5. μ 仮想演習室とは

前章で述べてきた議論を踏まえ、それら全てを解決するものではないが一つの手段として取り得るソリューションを仮に μ 仮想演習室と名付けてみた。仮想演習室という概念は既に和歌山大学などの大学でシステムとして構築されており実際に運用されている。これらは前章で述べたとおり従来のコンピュータ教室をインターネットからアクセスできるようにしたものと定義することができ、コンピュータ教室のメリットもデメリットも引き継いでいる。 μ 仮想演習室は、そのような柵のない、設置が楽で使い勝手がよく場所を取らず持って歩ける掌サイズのコンピュータモジュールを沢山集めた実際の演習室の代わりに使えるシステムといった構想である。

5.1. ハードウェアの構成

中核となるのは Linux などの OS 搭載可能な能力のあるシングルボードコンピュータである。Raspberry Pi や mBed、NVIDIA Jetson などを利用するものであり仮に計算モジュールと呼んでいる。これを 50 だとか 100 といった数を確保するため価格は出来る限り抑えることが望ましいことになる。これら計算モジュールはスイッチングハブでお互いに接続される。この構成は MPI を利用した Raspberry Pi を利用したクラスタコンピュータと同様であり[Morrison,2018]、それらでの知見は流用できる。収容する筐体はスケラブルに拡張し規模を大きくするため、データセンタでのサーバ構築に利用される 19 インチラックでの単位の 1U を基本として構成できるようにする。このサイズの場合スイッチングハブのモジュラージャック数や消費電力量、熱設計、保守性を考えると 10~20 程度の集積数となると予想できる。可搬性を重視するのであれば音楽機材を運ぶためのショータラックケースが同様に EIA 規格に則った 19 インチ仕様であり 1U、2U、3U、4U と比較的安価に入手可能であり使用することが可能である[サウンドハウス,2022]。概算であ

るが40人が同時に演習することが可能なハードウェア構成の場合でも一百万から二百万円程度のインシャルコストで済むと考えられる。また、この場合、特別な空調室が要らない設計にすることも比較的容易である。

5.2. セキュリティ対策とVPN

仮想演習室はインターネットを介して接続することを基本とするため、セキュリティ対策は万全である必要がある。こういった接続はVPN装置を利用することが一般的である。近年、ゼロトラストという考え方が浸透しているが、仮想演習室という考え方においては適用が難しくVPNを利用するのが妥当である。VPNは同時接続数の最大限を見積もることは難しく最適なライセンス数は在学生数から推測することになる。大学におけるVPNは図書館での電子ジャーナル・データベースの学外利用のためにも利用されるが、前述の東京農工大学は大学生と大学院生を併せて5000人規模であり実際の同時利用者数は最大で400人規模であるという。COVID-19以前は100ライセンスであったところを2020年度に700ライセンスまで増強しており[根本ら,2021]、これはオンライン授業が増えたことへの対応となる。東京通信大学はインターネットを基盤とする通信制大学であり、当初よりオンライン授業での運営を企画し実施していることからCOVID-19の影響は軽微であるということはあるが、VPN装置の整備は途上にある。なお、VPNのアクセスは予めIDとパスワードの発行が必要になる。この管理はセキュリティの観点から細心の注意が必要であり、全学生が利用できるようにするためには、本学システムで導入済みのシングルサインオン機構と同期させる必要がある。

5.3. μ 仮想演習室のユースケース

新しい試みを行う場合、実際に使われる状況を想定することは計画や予算を考える上で重要となる。この節ではユースケースを五つほど挙げてみる。

5.3.1. コンピュータ教室の置き換え

コンピュータ教室はウィンドウズOSのインストールされたパーソナルコンピュータを学生および生徒が操作する。 μ 仮想演習室で利用する計算モジュールはウィンドウズOSが搭載されるにはプロセッサや記憶容量が非力であるため、グラフィカルなデスクトップ環境構築は不向きであるが、LXDEやXfceなどの軽量デスクトップ環境を利用することで可能にはなる。しかしLinuxOSは、WORDやEXCELといったアプリケーション操作に関する演習には利用できないため、各自の所有するBYOD端末を利用することになり、 μ 仮想演習室の用途としては適さないと云える。

5.3.2. プログラミング言語の演習

プログラミングの学習は学習者のレベルによって最適な環境が異なる。初学者にとっては余計な機能を省いたインタフェースが課題に集中させる意味で重要となる。この場合、ウェブベースのプログラミング環境を利用することがよいと考えられる。LMSを主に利用する大学であればプログラミング教材をLMSの部品として組み込むことでシームレスな学びを実現することができる。MoodleやCanvasといったオープンソースのLMSではLTIという教材をアドオンさせる仕組みでサードパーティ製のプログラミング教材を利用することも可能である[IMS Global,2022]。 μ 仮想演習室においては、中級以上のプログラミングを扱う演習に適しているといえる。例えばコマンドライン環境でのプログラミングでは標準入出力の概念の理解が必要であるがウェブベースの教材ではその環境が再現できず教授が困難であるのに対し、 μ 仮想演習室では柔軟に準備可能である。また、BYOD端末を利用する場合、学生の使用する場合コマンドライン環境がウィンドウズOSの場合、コマンドプロンプト、PowerShell、WSL2と幾つかの方法が考えられ、ユーザランドがBSD由来のコマンドライン環境を持つマックOSの使用を許す場合を含めれば混乱は必至であ

る。つまり統一的に仮想 OS 環境をインストールして利用させる方法を取るしかない。この問題に対し μ 仮想演習室では BYOD 端末の種類によらず同質のプログラミング環境を提供できる。

5.3.3. 統計やデータサイエンスの演習

統計などの授業において演習は重要な要素である。データ入力や加工、保存のために EXCEL のような表計算アプリケーションを使うことが多く、標準偏差程度の初歩的な統計学を教えるためにはグラフ機能も拡充している EXCEL が最適であるが、例えば主成分分析などはソルバのようなアドオンを有効にし EXCEL 固有の操作法を覚えるなど、徐々に困難さが出てくるようになる。ウィンドウズは日本語コードのシフト JIS が斑に生き残っているため、Unicode に全面的に移行した他 OS では起こりえない文字化けが発生しやすいため注意が必要である。また高度な統計処理は R 言語を利用することが通常である。R 言語は BYOD 端末に RStudio をインストールすることで比較的簡単に利用可能になる。RStudio はサーバ部分を分離し強力な計算機に任せることも可能になるメリットもある。なお、ウィンドウズでは RStudio においても日本語の不具合がバージョンによっては見受けられたりする。 μ 仮想演習室では計算モジュールが比較的非力であるため、統計演習に利用することは限定的といえるが同質な環境を簡便に用意できるメリットは享受できる。データサイエンスや人工知能に関する通常の演習授業に関しては Python を利用することが多い。これは NumPy や SciPy という伝統的であり有用なライブラリの上に Pandas や scikit-learn などが構築されており、 μ 仮想演習室でもそれらをインストール済みのイメージとして展開しておくことでインストールを端折り本質的な演習へとスタートダッシュさせることが可能となる。昨今のディープラーニングに関するトピックは GPGPU 性能が効いてくるため Raspberry Pi などでは荷が重く、むしろ最先端の研究用途には何万個という GPU 装置を利用して学習をさせることが通常であるが、大学の設備では到底そのレベルを考慮し投入することは不可能である。つまりは MNIST のように比較的軽量のオープンデータセットを使い GPGPU をモジュールに内蔵した NVIDIA jetson を利用するなどの工夫は必要であろう。

5.3.4. サーバ構築や IoT の演習

サーバを立てる学習はサーバ OS の選定から始め、ベアメタルから構築することにより本質的な部分での理解が進むものであるが、大学の演習授業においてそこまで行うための時間を確保するには合計 5, 6 単位程度の科目数が必要になるだろうと思われる。しかし情報系の学部であってもそこまで手厚い授業を組むところは多くなく、ある程度ピンポイントでの演習項目を設定するということになる。こういった場合、其々の作業段階のスナップショットを用意しておくことが肝要である。また、サーバ構築ではリブートさせることで設定変更を反映させる事もあり得るため、計算モジュールのブートシーケンスは工夫や注意が必要である。また DNS の委任や伝播に関する学習は、実際にインターネット上で行うことは他者に実害を与える可能性を孕むため難しく、反映までのタイムラグも学習の妨げとなる。このような場合に独立した検証環境、つまり小さなインターネットを μ 仮想演習室内に構築することが有効であろう。委任元や委任先のネームサーバやキャッシュ DNS サーバ、クライアントにあたる PC 群をセットでスナップショットイメージ保存しておくことにより何度も簡便に検証することが出来るだろう。また脆弱性を演習する場合、ルータやファイアウォールなどを計算モジュールに構築することによりその攻撃や防御を学ぶことも出来る。このようなことは IoT の授業においても同様であり、実際の IoT の機器とのやり取りではなくエミュレーションとして演習させることで、機器の不具合や不慣れた配線作業などから解放される可能性がある。

5.3.5. HPC としての利用

μ 仮想演習室の構成はハイパフォーマンスコンピュータとしてのクラスタコンピュータと同じであるため、HPC 用途に利用することも可能である。つまりは演習授業が実施されない時間を遊休計算資源として利用可能ということである。ただし、それには百台を超えるような多数の計算モジュールで構成している必要がある。

5.4. プロトタイプ構築

μ 仮想演習室のプロトタイプは、以下のような目標を掲げた。まず、多数ではなく計算モジュールを接続する検証は少数に留めることでハードウェアでの基礎的な問題を洗い出し徐々にその数を増やす方向で計画を進めることである。VPN 装置との接続もプロトタイプの範囲外とし、東京通信大学のシングルサインオン機構との接続も同様に行わない。初期の目標としては、最大消費電力や筐体に収める場合の廃熱の状況を測定するための治具を用意するなど重要な作業項目である。最終的には、例えば企業が販売可能なレベルの質まで持っていくことを目標としている。スイッチングハブは PoE 給電可能なものであり 1U のサイズのラック収納金具でラックケースに収めた。合計 24 ポートであるが PoE 対応のポートは 12 個になる。PoE は、計算モジュールとスイッチングハブとの結線が一本になり設置も交換も簡潔になりメンテナンス性も良くなることを狙っている。PoE 性能は 120W のものを利用しており、計算上は一口当たり 10W の消費電力までであり、Raspberry Pi 4 であれば十分に余裕があると考えられる。今後は最大搭載時の起動時突入電流での挙動などの検証も必要であろうと考えている。

5.5. 計算モジュール

計算モジュールとは単にコンピュータの言い換えであるが、パーソナルコンピュータより大幅に小さな筐体のものであり、キーボードやディスプレイも用意しないコンピュータである。本研究では計算モジュールとしてラズベリーパイ財団により開発された Raspberry Pi Zero 2 もしくは Raspberry Pi 4 を採用することにした。これは数千円から一万円程度で入手可能であることと、同等のシングルボードコンピュータで PoE 給電対応となる付加モジュールがあるものは他に見当たらないためである。また Raspberry Pi は比較的入手性もよく、技術資料も豊富にあることも優位性がある。このシングルボードコンピュータのブートシーケンスは通常マイクロ SD カードにブートイメージを書き込み装着することで行うが、Raspberry Pi 4 は PXE boot に対応しているため PXE サーバが別途必要になるがネットワークブートが可能であり全体としてのコストが下がり耐久性も向上する。これら計算モジュールの固定方法であるが、Raspberry Pi を使ったアマチュア向けのクラスタコンピュータ用のケースが安価で市販されている。しかし、これらは複数台の Raspberry Pi を友締めする方法で固定するものばかりである。この方法ではその内の一台が故障した場合の交換が全部のモジュールを停止させることになるなど交換作業が煩雑になる。そのため故障モジュールのみの着脱を容易とする取付器具を設計することになるが、これにはオリジナルで CAD 設計した固定器具を 3D プリンタで出力するなどが必要となり試行錯誤を繰り返している。

6. 結果

本研究を企画する時点では思いもしなかったことであるが、長引く COVID-19 の影響や米中の対立構造の悪化などにより半導体危機と呼ばれるものが起こった。これは業種や製品により入手性はまちまちであるが、Raspberry Pi の入手性は 2021 年中旬には悪化し始め秋葉原の小売店からもネット上からも在庫は消える状況になった。何とか Raspberry Pi 4 の主記憶容量が 2GB と 4GB を其々確保したものの研究者個人の能力では 2022 年 10 月の時点ではそれ以上の個数を入手することができなかった。代替になりそうなシングルボードコンピュータも軒並み売切れ状態であり数十台を繋げてという実験の見通しは実質上

立たない。また、入手できるとしても価格は二割から三割の値上げとなり予算面だけでも当初の目論みは修正する必要性があるという状況である。本研究に限らず、暫くはハードウェア調達が要となる研究は遂行が困難であると見なすしかない。本研究では計算モジュールをスケーラブルに数十台個程度まで増やせる基本設計の確認、プロトタイプから目的規模での必要消費電力の推定と熱設計の検証、計算モジュールの固定方法の検討と量産可能性の検証、システムのハードウェアコストの検証、利用可能なオープンソースソフトウェアの調査および、小型筐体への組み込みによる可搬性の検証を目標・目的として順次実行しているが、六つの項目の内、2022年10月現在二項目が進んだと云える状況である。

7. まとめおよび今後の展望

本論文は μ 仮想演習室のコンセプトを大学教育における演習授業の概念に遡り、その位置づけを論じると共に最初の試作を行った経過を報告するものである。本研究は現在も継続的に遂行している。これまでに述べたように、このコンセプトは大学の演習授業の全てを解決するものではなく、適用できるユースケースは限られるが、実際に実用になる規模のものを製作し利用していくことで判明することも多く出てくるだろう。しかし現状を鑑みると、Raspberry Piの入手状況は暫くは変化が起こる可能性は少ないと思われるが、早ければ2023年半ば以降には好転するという予測もあり、状況を見据えて研究スケジュールを引き直す必要があると考えている。遠い将来を見据えれば、必要最小限の機能のシングルポートコンピュータを独自設計し製造することも考えられるが、それは予算規模や製造規模のメリットなど別の問題も出現する。今後も状況をよく見極め、あらゆる可能性を考え計画を推進したい。

謝辞

本研究は東京通信大学共同研究の支援を受けたものである。なお、5章のDNS検証のユースケース例は2021年度卒業生である土屋幸三氏との議論を元にしたものである事を付記する。

文献

- 文部科学省, 2022, 令和4年度大学設置基準等の改正について,
https://www.mext.go.jp/a_menu/koutou/daigaku/04052801/index_00001.htm
 東京通信大学, 2018, シラバス検索,
http://kyomu-syllabus.internet.ac.jp/ext_syllabus/
 庄司 文由、隅谷 孝洋、石井 光雄, 2005, 教育端末の遊休時間を利用した HPC 環境, 学術情報処理研究, No.9, pp.27-36
 三島和宏、櫻田武嗣、萩原洋一, 2016, 東京農工大学の BYOD 化と端末の差違を吸収する仮想端末室, 研究報告インターネットと運用技術, pp.2188-8787
 根本 貴弘、三島 和宏、青山茂義, 2021, コロナ禍を含む約5年間の仮想端末室の利用状況の報告と考察, 学術情報処理研究, No.25, pp.29-38
 和歌山大学, 2022 (最終閲覧), 仮想演習室, <https://www.wakayama-u.ac.jp/aic/service/vcl.html>
 ワッセイ・ソフトウェア・テクノロジー, 2022 (最終閲覧), Phantosys 10 の特徴, <https://www.wasay.co.jp/product/phantosys10/feature.html>
 チエル, 2022 (最終閲覧), CaLabo® EX | 製品サイト,
<https://product.chieru.co.jp/calabo/calabo-ex/>
 アルファシステムズ, 2022 (最終閲覧), Alpha Vclass,
<https://www.alpha.co.jp/biz/products/education/alphavclass/>
 TeacherView, 2022 (最終閲覧), オンライン授業・学習支援システム,
<https://teacherview.jp/>

C.R.Morrison (訳：齊藤), 2018, Raspberry Pi でスーパーコンピュータを作ろう！, 共立出版
サウンドハウス, 2022 (最終閲覧), ラックケースー
覧,<https://www.soundhouse.co.jp/category/middle/41>
IMS Global Learning Consortium, 2022 (最終閲覧), Learning Tools Interoperability,
<https://www.imsglobal.org/activity/learning-tools-interoperability>

藤井 稔也 (ふじい としや) 東京通信大学 情報マネジメント学部 准教授