

仮想デスクトップを用いた持続可能なPC利用環境の整備 Implementation of VDI-based Computer Laboratory for Green Computing

香山 喜彦
KAYAMA Yoshihiko

要旨 梅花女子大学情報メディア学科では、大学設置のPC教室と学生配布のノートPCを併用して情報関連の授業を実施しているが、IT技術の急速な進歩はPC教室の実質的な活用期間を急速に短くし、入れ替えに伴う経費だけでなく、大量の旧型PCの廃棄はSDGsの観点からも避けるべき課題となっている。また、学生個人所有の多様な携帯デバイスを学習に利用したいという要望も多い。さらに、昨今の新型コロナウイルス感染拡大によって、授業形態の変更にも柔軟に対応できる環境が求められている。そこで本研究では、サーバー仮想化技術を用いてWindows利用環境を構築し、実習授業における利便性は維持しつつ、授業形態の変更やシステム更新、機能拡張などに柔軟に対応できる仮想デスクトップ環境 (VDI) を整備するとともに、接続デバイスを極力限定しないBYOD (Bring Your Own Device) の実現に向けた検証を目的とした。本学の規模を念頭に置きつつ、各種サーバー仮想化技術から、今回の試作ではVMwareのWorkstation PlayerをベースとしてVDIを構築した。折しも急激な半導体価格の高騰のため、当初の計画よりも少ない5台のWindows 10仮想PC環境となったが、高速なマルチコアCPUやNVMe SSD¹、高速LANを実現するTeaming技術²等を併用することで、複数の仮想PC同時実行下におけるアプリケーションの利用でも、実用に十分耐えうるシステムを実現できることが確認できた。接続端末としては、各種PCをはじめ携帯デバイスでも利便性を検証した。最後に、実用的な規模のVDI構築のための導入コストを見積もり、その可能性について検討した結果について報告する。

1. はじめに

2020年の新型コロナウイルス感染拡大は、あらゆる業界に世界規模の多大な影響を及ぼす結果となった。教育現場においても、それは今後の教育環境を大きく変貌させるほどのインパクトを与えている。ここで取り上げるのは、おもに高等教育機関におけるPC利用環境の整備に関わる課題であり、以下で述べるように、コロナ禍以前からすでに検討の対象となっていたが、今回の状況がその必要性を再認識させることとなった。

PC利用環境については各大学で様々に整備されているが、構内であれば、学生が自身のデバイスを学内LANに有線または無線で接続できる環境が整えられているのが一般的であろう。ただ、演習・実習授業においては、履修者の環境をある程度統一する、ないしは専用のハードウェア・ソフトウェア環境を用いるために、従来型のPC教室も利用されている。こうしたPC教室の管理・運用については、授業内容や指導方法に応じた様々なソリューションが提案されてきたが、1990年代後半にPC教室の各端末の機能を最小限に留め、サーバー側でほとんどの処理を行うThinクライアントシステムが注目を浴びた。しかし、OSおよびアプリケーションの起動時間はLAN環境に大きく依存し、システムの初期導入時や定期的な見直し、ソフトウェアライセンス等のコストを勘案すれば、セキュリティ面での利点や若干のメンテナンス業務の容易さはあるものの、通常のPC教室と比べてそれほど優位性が高いものではなかった。一方で、IT技術の急速な進歩、特にソフトウェアの多機能化とCPUの指数関数的な高速化は、PC教室が利用環境として使用に耐える期間を急速に

¹NVMe: Non-Volatile Memory Express の略。SSD など不揮発性メモリを使用したストレージデバイス用に最適化された伝送プロトコル。

²Teaming: 複数の物理NIC (ネットワークアダプタ) を1つの仮想的なNICとして束ね、対障害性の強化と高速通信を実現する技術 [15]。

短いものとし、機器の入れ替えに伴う経費や PC の廃棄は、対処すべき重要な課題となっている。すなわち、従来型の PC 教室を管理・運用することは、急激な情報環境の変化に対してあまりにも柔軟性に欠けるため、新たな持続性の高いシステム形態への移行は避けられない状況にある[1], [2]。折しも今回のコロナ禍により、構内設置の PC 教室は殆どその役割を果たすことができず、学生個人のデバイス、ないしは急遽大学側が準備した貸与ノート PC 等によってオンライン授業を実施することとなった。新たな PC 利用環境には、持続可能であると同時に、こうした授業形態の変更にも対応できるという条件も付加しなければならない。

このような要請に対して、現時点で実現可能な解の一つが、ここで取り上げる仮想デスクトップ環境（以下 VDI : Virtual Desktop Infrastructure という）を導入した BYOD (Bring Your Own Device) の実現である。これにより、従来型の PC 教室は撤去され、学生個人は任意の場所から自分専用の環境で学習が可能となる。システム管理者は、物理的な端末ではなく VDI サーバー内の仮想 PC 環境を管理し、学生個人ないしは授業単位での端末利用要請に応じた環境の整備とスケジューリングがその業務の中心となる。すでにこうした環境を本格的に導入した大学の事例も見受けられるが [3]、本研究では、昨今の CPU アーキテクチャの急速なマルチコア化を背景として、作業時点（2020 年 9 月）において比較的入手が容易なコンシューマ向け機器と技術を用いて VDI のプロトタイプを構築し、試験運用を通して、本格導入がどこまで現実的であるかを検討するのが目的である。

以下、次章ではコロナ禍により急速に見直しを余儀なくされた授業形態とその多様化、そして PC 教室の位置づけの変化についてまとめ、現時点で望まれる PC 利用環境について述べる。第 3 章では、その環境を実現するための基盤技術である VDI について取り上げ、限られた予算内で構築したプロトタイプの解説とその評価とともに、本格導入の実現可能性について論じる。第 4 章は、この研究のまとめと現時点での実現可能な構成について言及する。

2. 授業形態の多様化と PC 教室

PC 教室が高等教育機関で設置され始めたのは、1980 年代半ばに情報リテラシー教育の重要性が叫ばれたころであり、専ら日本語ワードプロセッサをはじめとした業務用アプリケーションの利用スキル修得が目的であった。その後、インターネットの普及とともに情報共有・検索スキルが重要視され、1990年代半ばの WWW システムの広がりにより、Web 検索による「調べ学習」が多くの分野で取り入れられていった。まさに 2000 年代初頭は、PC 教室利用の最盛期と言えるであろう。一方で携帯端末の進化とその急速な普及により、情報アクセスは PC からスマートフォンやタブレットへと移り、2010 年頃には、高等学校でも PC 教室を利用したリテラシー教育は縮小されはじめ、携帯端末を活用した学習事例が多くなっていく。文部科学省の報告では、PC 1台あたりの学生数は順調に減少しているが、これは少子化に伴う学生数そのものの減少を背景としており、実質的な利用頻度を意味しているわけではない。本学情報メディア学科の新生に対するアンケート結果を

Fig. 1 に示す。これから読み取れるのは、日常的に PC を利用する入学生の割合の減少である。実際、オープンキャンパス等での聞き取りでも、PC を活用した高校の授業は 1 年生でのオフィスアプリケーションを中心とした実習授業であり、その後はほとんど利用していないという受験生が多い。そのため高等教育機関でも、様々な携帯端末を利用している学生の利便性を確保するために、PC 教室から任意の情報端末を利用できる BYOD 環境へと移行する必要性が議論されるようになっていた。そこに今回のパンデミックにより、我々はオンラインによる授業形態への移行を余儀なくされ、これまでが対面授業というひとつの授業形態であることを改めて認識させられることとなった。さらに昨今の AI (人工知能) 技術の応用分野への広がりから AI・数理データサイエンスに関する教育の重要性が急速に高

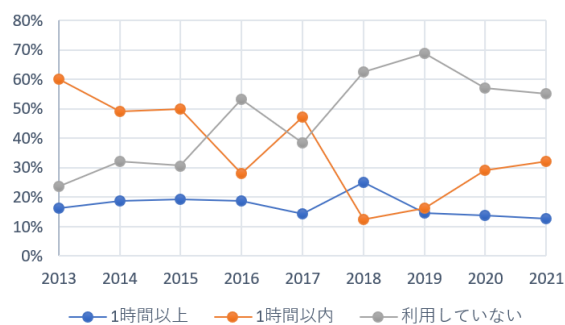


Fig. 1 新生 PC 利用時間の推移

まり、2022年度からは高等学校で「情報 I」が必修となり、文部科学省は2021年度より高等教育機関での数理・データサイエンス・AI教育のカリキュラムに関して認定制度を開始した [4], [5]。こうした社会背景のもと、柔軟な PC 利用環境の整備は喫緊の課題となっている。

2.1 持続可能な PC 利用環境へ

オンライン授業としては、Zoom³や Meet⁴、Teams⁵といったオンライン会議システムを用いたリアルタイム双方向型と、担当教員が LMS (Learning Management System : 学習管理用システム) にアップロードした講義ビデオや教材資料を、学習者が Web 経由で都合の良い時間に閲覧するオンデマンド型がある。さらに、感染拡大の状況に柔軟に対応すると同時に、教育効果を高める狙いもあり、対面とオンライン授業を組み合わせたハイブリッド型と呼ばれる授業形態もいくつか提唱されている [6]。こうした授業形態の急速な見直し・再編において、従来型の PC 教室は、学生が構内からオンライン授業に参加するための端末として利用する程度にしか役立たなかった。そのため、多様な授業形態に対応できる教室の設置が急務となり、上述の PC 教室見直しの議論が高まりをみせる結果となった。

これまで PC 教室を利用していた授業をハイブリッド型に置き換える場合、VDI 環境を利用することで、教室という物理的な枠に縛られない、自由度の高いクラス単位を構成することができる。教室には LAN 環境とプロジェクタが整備されており、対面での参加学生は自身の端末を教室の LAN 経由で、学外からのオンライン参加学生はインターネット経由で VDI にアクセスし、各自の仮想 PC 環境を利用する。さらに教室内の音声を取得しオンライン参加学生の音声を再生できるスピーカーフォンがあれば、Meet 等のオンライン会議システムとの併用で、ハイブリッド型の PC 授業が実践できる。自由度の高い BYOD 環境といっても、授業内容によっては入出力関連の条件により接続端末は制限を受けるが、基本的には仮想 PC 利用においてこれまでの PC 授業と変わるところはない。

仮想デスクトップ環境をクライアントに提供する仕組みとしては、サーバーベース方式と仮想 PC 方式が考えられる。前者はサーバー側がアプリケーションをホスティングするターミナルサーバーとして機能する方式であるが、マルチセッション対応のアプリケーションに限られるため、ここでは、サーバー上に複数のクライアント OS 環境を構築し画面イメージを接続クライアントに提供する、後者の仮想 PC 方式を VDI と呼ぶことにする [7]。特に固有のリソースを利用したい情報系実習授業においては、アプリケーションだけに限定される環境よりも、物理 PC とほぼ同等の自由度を確保できる仮想 PC 方式のほうが望ましい。こうしたサーバー環境を学外のプロバイダーに任せるか、それともオンプレミス、つまり構内に設置して運用するかは検討すべき問題であるが、学外からのアクセスに関してセキュリティと監視体制の強化を前提条件とするなら、オンプレミスのほうが費用的には有利である。ただ、ハードウェア込みで外部仮想化ベンダー企業に VDI システムを発注する場合、例えば VMware Horizon であれば、ユーザー数が少なければ少ないほど導入コストは高くなり、300 ユーザーで 1 ユーザーあたり約 35 万円程度が必要との試算がみられるため [8]、現状での本学への導入は困難と言わざるを得ない。そこで本稿では、情報関連学科や情報センター等の管理運用が可能な組織が独自に VDI システムを構築し運用することを前提として、その可能性を検討する。

BYOD 環境は、VDI サーバー内の仮想 PC に接続する手段の有無で端末の種類が制限される。Windows 10 を仮想 PC の OS とした場合、現状では通常の Windows PC はもちろん、iMac や iPad、Android タブレット、Chromebook でも接続可能である。接続クライアントソフトウェア (RDP : Remote Desktop Protocol) としては、

³Zoom ミーティング : <https://zoom.us/jp-jp/meetings.html>.

⁴Google Meet : <https://apps.google.com/intl/ja/meet/>.

⁵Microsoft Teams : <https://www.microsoft.com/ja-jp/microsoft-teams/group-chat-software>

Microsoft の RD⁶だけでなくサードパーティーからも提供されており、旧型 PC をクライアント化する RDP 専用の OS として Thinstation [9]や Opencocon [10]なども存在する。ただし、接続端末が Windows PC 以外の場合、別途、Windows VDA⁷の費用が発生する [11]。次章では試験的に構築した VDI 環境について説明し、現状の学内 LAN 環境においてどれほどのパフォーマンスを発揮するかテストした結果を報告する。

3. VDI 環境の構築

本研究で試験的に構築した VDI 環境は、限られた予算内でコンシューマ向けのパーツを購入し、どこまでのシステムが構築できるのかを検証するのが目的であったが、折しも半導体の需要拡大とコロナ禍による生産量の減少から DRAM を中心に CPU, GPU 等の価格が高騰し、当初計画した 8 台よりも縮小した規模となったが、5 台の Windows 10 仮想 PC を同時起動できる環境を Table 1 のように構築した。

装置名	製造元	商品名	内容
CPU	AMD	Ryzen 9 3900x	12Cores 24Threads@3.8GHz
マザーボード	MSI	MEG x570 Unify	AMD x570 チップセット
DRAM	TEAM	DDR4 3200MHz	32GBx4
GPU ボード	MSI	AERO ITX 6G	NVIDIA GeForce 1060
M.2 内蔵 SSD	Intel	SSD660P	NVMe 2TB
LAN カード	Intel	Intel X550-T2	10Gbit/s Ethernet x 2

Table 1 VDI 試作環境サーバー構成

このうち GPU ボード、PC ケースおよび電源は既存のパーツを流用し、それ以外の装置の合計金額ではほぼ 20 万円であった。その他 10Gbit/sec のスイッチングハブ等の周辺機器も既存の設備を流用している。仮想 PC 環境を構築するためのソフトウェアとして Oracle の VirtualBox⁸と VMware の Workstation Player [12]を候補としたが、3D グラフィックスの対応状況の違いにより後者を採用した。仮想環境には CPU として 2 Cores (4 threads)、メモリ 8GB、記憶域として内蔵 NVMe SSD の 100GB を割り当てている。OS は Windows 10 Education で、Microsoft Office 2019 および 3D モデリング用に Blender⁹をインストールした。内蔵 HDD への仮想 PC の構築も試したが、最新の NVMe SSD とのアクセス速度の差は歴然で、5 台の仮想 PC の同時運用は困難であった。VMware Player の操作性は良好で、環境構築において、取り立てて問題となる点は見つからなかった。

3.1 評価および本格導入の可能性

複数の仮想 PC を同時に起動した場合を含むパフォーマンステストの実施結果を Table 2 に示す。Table 1 のようにサーバー CPU が 12 コアであるから、6 台以上の仮想 PC を同時に起動するのは過剰負荷となるが、8 台の同時起動も試みた。CPU ベンチマークには Cinebench¹⁰を用いている。過去の学生用ノート PC と比較した場合、仮想 PC の単一起動では 2019 年度導入のノート PC と同程度、5 台同時起動時では 2018 年度のそれを凌ぐとともに、8 台の同時起動であっても使用に耐えられる結果となり、オフィスアプリケーションの実習授業であれば十分に役立つことが確認された。また、ネットワーク経由での利用においても、構内からの有線 LAN であ

⁶Microsoft リモートデスクトップ : <https://support.microsoft.com/ja-jp/windows/リモート-デスクトップの使い方-5fe128d5-8fb1-7a23-3b8a-41e636865e8c>

⁷Windows VDA : Windows Virtual Desktop Access サブスクリプションライセンス。
<https://www.microsoft.com/cms/api/am/binary/RE4Cszr>

⁸VirtualBox : <https://www.virtualbox.org/>

⁹Blender : <https://www.blender.org/>

¹⁰Cinebench : <https://www.maxon.net/ja/cinebench>

ればギガポートの **Teaming** による帯域の確保も有効に機能し、ローカルな PC 利用と比較しても操作の遅延などを感じることは殆どなかった。さらにマルチスレッド対応のアプリケーションが一般的となった現状では、Table 2 からわかるようにコア数の多さがパフォーマンスに直結する。仮想 PC では、起動時の設定によって自由にコア数を変更できるので、実習内容に対応した柔軟なクライアント環境を構築することが可能である。

型番	メーカー	導入年	CPU	コア数@クロック	Cinebench(pts)
VDI Server	自作	2020	Ryzen 9 3900x	12Cores@3.8GHz	18118
ThinkPad X390	Lenovo	2020	Core i5 8265U	4Cores@1.8GHz	2626
ThinkPad X280	Lenovo	2019	Core i5 8250U	4Cores@1.8GHz	2573
VPC 単一起動	VMware	2020	仮想 PC	2Cores@3.8GHz	2420
VPC5 同時起動	VMware	2020	仮想 PC	2Cores@3.8GHz	1804
ThinkPad X270	Lenovo	2018	Core i5 6200U	2Cores@2.4GHz	1760
VPC8 同時起動	VMware	2020	仮想 PC	2Cores@3.8GHz	1569

Table 2 パフォーマンステストの結果 (マルチコア) . VPC 複数同時起動は平均値.

今回、学外からインターネット経由での接続には **Google Remote Desktop**¹¹を用いたが、インターネット回線に問題がなければ、**Meet** との併用でも十分使用に耐えることがわかった。また、接続端末としては数年前の **Windows PC**をはじめ **Chromebook**や **iMac**, **iPad**, **Android** タブレットでも利便性を評価した。Wi-Fi 環境からのアクセスではマウス操作に若干の遅延が見られる以外は、アプリケーションの操作に関して問題は認められなかった。しかしキーボードを利用できない携帯端末では、どうしても使い勝手が悪くなるのは否めない。

以上の結果から、例えば50台の仮想PCを保有するVDI環境を構築するためには、今回の試作環境の10倍、当初の仮想PC8台の構成であれば約6倍の規模が必要となるが、どちらにしろ、現時点ですべてを新たなパーツで構成し、半導体価格の相場も考慮した上で周辺のLANスイッチなども含めて評価しても、約250万円の予算があればハードウェア面のシステム構築は可能である。ただ、情報メディア学科の専門授業であれば、担当者の裁量でこのシステムでの運用も可能だが、全学に開かれたVDI環境とするならば、より信頼性が高く運用が容易なシステムが要求されるため、CPUを中心としてエンタープライズ向けのパーツと管理用システムを揃えることになる。現状ではコア数が64のサーバーCPUも登場しており、コア数2の仮想PC50台の規模であれば2台のサーバーを導入すれば良いので、ハードウェア面の費用としては約500万円程度となり、旧来の50台規模のPC教室を設置する費用に比べれば安価である。問題となるのはWindowsその他のソフトウェアライセンスである。先に第2章で触れたように、Windowsの仮想PCにWindows PC以外の端末から接続する、すなわちBYOD環境を保証するには、別途Windows VDAライセンスが必要となる¹² [11]。その他のアプリケーションについても、VDIでの利用に対してライセンス形態が異なる場合もあるので、個別の調査が必要となる。

今後さらにシステムの規模を拡大し、多くの学生・授業担当者からの利用要求を処理して安定的に運用するには、仮想PCおよびユーザーを管理するシステムも含めたトータルなソリューションであるVDIアプライアンスを導入しなければならない。LinuxベースのLTSP¹³や大学での導入実績もあるWebベースのApache VCL¹⁴など、フリーのシステムも候補として存在すが、将来的に学外からのアクセスも視野に入れ、セキュリティ

¹¹ Google Remote Desktop : <https://remotedesktop.google.com/>

¹² ライセンス料として月額1370円/ユーザーの試算がある [16].

¹³ LTSP : <https://ltsp.org/>

¹⁴ Apache VCL : <https://vcl.apache.org/>

面の強化も考慮するならば VMware¹⁵や Citrix¹⁶などの有償システムも検討の対象となる。例えば VMware vSphere であれば、初期導入コストを数万円に抑えることができる [13]。

以上の議論から、今回の試作 VDI の規模を拡張したシステムは、情報専門の授業を実施する上で問題のないパフォーマンスを持ち、短命化する PC 設備に対し、仮想 PC の更新で柔軟に対応できる持続可能な VDI 環境が実現できることが確認された。但し、スケールを拡大した全学的なサービス運用でアプリケーションを中心とした授業内容であれば、追加の経費が高額となるオンプレミスの VDI ではなく、外部プロバイダーの DaaS (Desktop as a Service) [14] を利用するのが現時点では妥当な選択肢ではないかと考えられる。

4. おわりに

今回の VDI システムの試験的構築とその評価では、高価な専用システムではなく、比較的入手しやすいコンシューマ向けの機器でどの程度まで実用的なシステムが構築できるかを評価することが目的であったが、現状でも十分実用に耐えるシステムとなることが分かった。学内の LAN 環境と VDI に接続できるクライアントソフトウェアを持つ端末であれば利用が可能であり、BYOD 環境も実現することができる。とりわけサーバーに利用した CPU のマルチコア化は、いわゆるムーアの法則に従う処理速度の向上を実現し、HDD から高速 SSD への置換とマルチギガ LAN などとの併用により、VDI が身近な技術となっていることを示すものであった。今回は評価できなかったが Microsoft の AVD¹⁷なども登場しており、サーバーリソースの有効活用は更に進むと考えられる。ただ、情報専門の実習授業に限定せず、全学的に学外からのアクセスも可能とする学習環境をオンプレミスで整備するには、エンタープライズレベルの設備とソフトウェアライセンスの購入が前提となるため、現時点では外部プロバイダーの DaaS などのクラウドサービスを利用するほうが現実的である。つまり、情報関連の専門授業はこれまでの PC 教室の代替としてのオンプレミスの VDI システム、全学レベルのアプリケーションを中心とした PC 利用の授業であれば DaaS というのが妥当な構成であろう。

高等教育機関での数理・データサイエンス・AI 教育の必修化の流れの中で、持続可能な設備への移行が推進されるようなライセンス形態に向かうことを願いたい。

謝辞

この研究の一部は、梅花学園研究助成による。

参考文献

- [1] "(20) (PDF) Implementation of VDI based Computer Laboratory in University Education System to Save Energy, Cost, and Adapt Technology Upgradation."
https://www.researchgate.net/publication/343691434_Implementation_of_VDI_based_Computer_Laboratory_in_University_Education_System_to_Save_Energy_Cost_and_Adapt_Technology_Upgradation (accessed Nov. 20, 2021).
- [2] P. C.-2014 F. C. on C. Science and undefined 2014, "Implementation of Virtual Desktop Infrastructure in academic laboratories," *ieeexplore.ieee.org*, 2014, doi: 10.15439/2014F213.
- [3] T. Sakurada, K. Mishima, Y. Hagiwara, and T. Tsujisawa, "端末の無い PC 教室の実現-BYOD 化のための仮想端末教室の設計と実現," *jstage.jst.go.jp*, Accessed: Feb. 14, 2022. [Online]. Available:
https://www.jstage.jst.go.jp/article/konpyutariyoukyouiku/42/0/42_12/_article/-char/ja/.

¹⁵ VMware : <https://www.vmware.com/jp/topics/glossary/content/virtual-desktop-infrastructure-vdi.html>

¹⁶ Citrix : <https://www.citrix.com/ja-jp/solutions/vdi-and-daas/>

¹⁷ Microsoft Azure Virtual Desktop : <https://azure.microsoft.com/ja-jp/services/virtual-desktop/>

- [4] “高等学校情報科（各学科に共通する教科）：文部科学省。”
https://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/zyouhou/detail/1416746.htm (accessed Nov. 07, 2021).
- [5] “数理・データサイエンス・A I 教育プログラム認定制度（リテラシーレベル）：文部科学省。”
https://www.mext.go.jp/a_menu/koutou/suuri_datascience_ai/00002.htm (accessed Nov. 07, 2021).
- [6] “ハイブリッド型授業とは | Teaching Online | CONNECT.” <https://www.highedu.kyoto-u.ac.jp/connect/teachingonline/hybrid.php> (accessed Aug. 14, 2021).
- [7] “仮想デスクトップ（VDI） - アセンテック.” <https://www.ascentech.co.jp/solution/vdi.html> (accessed Sep. 15, 2020).
- [8] “VDI（仮想デスクトップ）導入の初期費用とランニングコストはどのぐらい？ | NE + Azure.”
https://cloud.nissho-ele.co.jp/vdiblog/vdi_runningcost/ (accessed Aug. 28, 2020).
- [9] “ThinStation by Donald A. Cupp Jr.” <https://thinstation.github.io/thinstation/> (accessed Nov. 07, 2021).
- [10] “オープンソース的視点から見る、VDIの最新動向 OSC 大分(11/23) SHIMADA Hirofumi opencocon @shimadah.”
- [11] “Licensing Windows for use with virtual machines,” Accessed: Nov. 22, 2021. [Online]. Available:
<https://aka.ms/ListedProviders>.
- [12] “VMware Workstation Player | VMware | JP.” <https://www.vmware.com/jp/products/workstation-player.html> (accessed Aug. 14, 2021).
- [13] “VMware Japan オンラインストア - ようこそ.” <https://store-jp.vmware.com/> (accessed Nov. 29, 2021).
- [14] “DaaSとVDIの違いとは～それぞれの特徴とメリットを理解する～ - アセンテック.”
https://www.ascentech.co.jp/solution/column/daas_vdi.html (accessed Nov. 23, 2021).
- [15] “インテル® アドバンスド・ネットワーク・サービスによるチーム化.”
<https://www.intel.co.jp/content/www/jp/ja/support/articles/000005667/network-and-i-o/ethernet-products.html>
 (accessed Nov. 01, 2021).
- [16] “VDIに必要なWindows VDAライセンスとは？導入メリット、費用を解説！ | NE + Azure.” https://cloud.nissho-ele.co.jp/vdiblog/windows_vda/ (accessed Nov. 22, 2021).