

情報教育環境における仮想デスクトップの導入

飛松敬二郎¹ 山崎浩之¹

概要: 工学院大学では 2013 年 9 月から情報処理演習室で仮想デスクトップの運用を開始した。全学部の 1 年生の情報基礎教育科目を初め、演習室を利用する他の多くの専門教育科目も仮想 PC を利用する形態に移行し、授業時の安定したデスクトップ環境の利用が実現している。本稿では本学における仮想化基盤の概要と仮想デスクトップ環境および教育利用の現状を報告する。

Introduction of Virtual Desktop in Informatics Education Environment

KEIJIRO TOBIMATSU¹ HIROYUKI YAMAZAKI¹

Abstract: In Kogakuin University a practical use of virtual desktop in computer exercise room has been started since September 2013. Virtual PC is used in many classes carried out in the room for various specialized subjects of each faculty, as well as the common basic informatics education for all first year students of all faculties. A stable use of the desktop environment in school hours has been achieved. In this paper we sketch the virtual desktop environment as well as virtualized computing resource infrastructure in our University and we report present status of educational use of the system.

1. はじめに

工学院大学は 1887 年（明治 20 年）に築地に誕生した工手学校が前身であり、本年創立 128 年を迎える工科系の複数学部^{*1}を擁する私立大学である。新宿と八王子のキャンパスで約 6300 名の学生が学んでいる。

著者らが所属する情報科学研究教育センター^{*2}は、教育研究用の共同利用情報処理設備と学術情報ネットワークの整備、運用、利用者支援を担うとともに、全学の 1 年生を対象に 1991 年度に開始された情報基礎教育科目の教材開発や授業を担当している。

近年は事務基幹業務や教育研究用に各種サーバを仮想化基盤上に構築したプライベートクラウド環境を運用する大学が増えてきた。本学においてもサーバの仮想化による

システムの可用性や信頼性の向上を勘案して 2013 年 9 月に共同利用情報処理設備を更新した。新しいシステムではブレードサーバ上に仮想化基盤（VMware vSphere ESXi）が構築され、仮想サーバ用のブレードで教育研究用の各種サーバが稼動するとともに、仮想デスクトップ用のブレードでは多数の仮想 PC が稼動している。

利用者は端末から VMware Horizon Client というソフトウェアを用いて OS が Windows 7 の仮想 PC を利用する。授業時は多数の演習室の全端末から各受講生が同時に利用できるようなシステムが整備されている。

本学において上記システムの仕様検討を行っていた 2012 年当時、本格的な参考事例としては仮想デスクトップの運用を同年に開始した東京電機大学の情報処理システム [1] があった。最近はさらに大規模なシステムの導入が他大学でも進められているようである。本稿では仮想デスクトップの本格的な運用事例の一つとして本学のシステムを紹介したい。

演習室で全学 1 年生の情報基礎教育科目の授業を担当する立場から本学の仮想化基盤の構成と仮想デスクトップの

¹ 工学院大学 情報科学研究教育センター
The Center for Information Science, Kogakuin University,
Tokyo 163-8677, Japan

^{*1} 工学部、情報学部、建築学部、グローバルエンジニアリング学部の 4 学部があり、本年 4 月に新たに先進工学部が設置される。

^{*2} 1967 年に発足した電子計算機センターが 1991 年に情報科学研究教育センターに改組された。

表 1 新宿キャンパスの仮想化基盤の諸元

| |
|---------------------------------------|
| ● 仮想化基盤ソフトウェア VMware vSphere ESXi 5.1 |
| ● 仮想サーバシステムの構成 |
| チップ Xeon E5-2470 (8 コア) × 2 / ブレード |
| × 4 ブレード = 64 コア |
| メモリ 64 GB × 4 ブレード = 256 GB |
| ● 仮想デスクトップ用サーバシステムの構成 |
| チップ Xeon E5-2470 (8 コア) × 2 / ブレード |
| × 11 ブレード = 176 コア |
| メモリ 288 GB × 11 ブレード = 3168 GB |
| ● 共有ストレージ 48.6 TB |
| ● NAS メインストレージ 7.8 TB |

表 2 八王子キャンパスの仮想化基盤の諸元

| |
|---------------------------------------|
| ● 仮想化基盤ソフトウェア VMware vSphere ESXi 5.1 |
| ● 仮想サーバシステムの構成 |
| チップ Xeon E5-2470 (8 コア) × 2 / ブレード |
| × 2 ブレード = 32 コア |
| メモリ 64 GB × 2 ブレード = 128 GB |
| ● 仮想デスクトップ用サーバシステムの構成 |
| チップ Xeon E5-2470 (8 コア) × 2 / ブレード |
| × 11 ブレード = 176 コア |
| メモリ 288 GB × 11 ブレード = 3168 GB |
| ● 共有ストレージ 48.6 TB |
| ● NAS バックアップストレージ 7.8 TB |

利用環境および利用状況および教育内容についても報告する。

2. 仮想化基盤の構成とネットワーク環境

新宿と八王子の各キャンパスに各種サーバおよびネットワークの要となるコア L3 スイッチを集約して設置するマシン室がある。学内の基幹 LAN はマシン室を中心とするスター型のイーサネット構成されている。八王子キャンパスでは各建物に設置された L2 スイッチとマシン室のコアスイッチ間が、新宿キャンパス *3 では各階に設置された L2 スイッチとマシン室のコアスイッチ間が、すべて 1Gbps の光ファイバーで接続されている。また両キャンパスのコアスイッチは 1Gbps の広域イーサネットを経由して互いに接続されている。

各マシン室には多数のブレードとラックで構成されたブレードサーバが設置されている。各ブレードで VMware vSphere ESXi が稼動することによりブレードサーバ全体が仮想化基盤を構成している。仮想化基盤上には仮想サーバシステムと仮想デスクトップ用サーバシステムが構築されている。ブレードとストレージ間的高速データ通信用にファイバーチャネルを採用し、コントローラーを 2 重にすることで可用性を高めている。

諸元を表 1, 表 2 に示す。仮想デスクトップ用のブレードには Intel 社のチップ Xeon E5-2470 が 2 個と主メモリー 288GB が搭載されている。ブレードサーバとコアスイッチ間は 10Gbps イーサネットで二重接続する冗長構成であり、コアスイッチと NAS ストレージ間は 4Gbps イーサネット接続されている。利用者の全ファイルは新宿の NAS メインストレージに保存し、同時に八王子の NAS バックアップストレージに利用者の全ファイルのバックアップを保存して可用性を高めている。

3. 演習室と仮想デスクトップ利用環境

授業利用に供される演習室は新宿キャンパスに 6 教室、八王子キャンパスに 4 教室ある。演習室は授業がない空

*3 新宿キャンパスは地上 28 階建ての高層棟と同 8 階建ての中層棟が地下 6 階まで一体となった超高層ビルである。

き時間には自由に利用できる。また授業を行わず自由利用のためだけに端末を設置した場所があり、「カフェテリア (Cafeteria)」と呼んでいる。カフェテリアは新宿に 1 室、八王子に 2 室ある。表 3 に各演習室とカフェテリア室に設置された端末の台数を示す。端末の種類を Thin Client と Fat Client の 2 つに分けて表記している。

Thin Client とは仮想 PC 専用の端末であり、OS は Windows Embedded Standard 7 である。Thin Client の OS 上で VMware Horizon Client が起動後、仮想 PC に接続して仮想デスクトップ環境が利用できる。

Fat Client とは普通のデスクトップ型 PC であり、起動時に選択項目として「Virtual Desktop」または「Local PC」が選択できるデュアルブートの端末である。前者を選択すると VMware Horizon Client が起動後、仮想 PC に接続して仮想デスクトップ環境が利用できる。後者を選択するとローカル PC の OS が起動する。ローカル PC の OS は仮想 PC と同じ Windows 7 Enterprise である。

Fat Client は新宿の 3 演習室および八王子の 2 演習室に設置されており、それ以外の部屋には Thin Client が設置されている。表 3 に掲載していない管理用、教員用の端末を加えると、両キャンパス合計で Thin Client 440 台、Fat Client 350 台が導入されている。

表 3 演習室・カフェテリア室の端末の種類と台数

| 校地 | 部屋の名称 | Thin Client | Fat Client |
|-----|-------------|-------------|------------|
| 新宿 | 第 1 演習室 | | 70 台 |
| 新宿 | 第 2 演習室 | 66 台 | |
| 新宿 | 第 3 演習室 | 70 台 | |
| 新宿 | 第 4 演習室 | | 66 台 |
| 新宿 | 3D デザインセンター | | 30 台 |
| 新宿 | UNIX 演習室 | 42 台 | |
| 新宿 | カフェテリア室 | 22 台 | |
| 八王子 | 第 1 演習室 | | 74 台 |
| 八王子 | 第 2 演習室 | 74 台 | |
| 八王子 | 第 3 演習室 | 74 台 | |
| 八王子 | 第 4 演習室 | | 74 台 |
| 八王子 | 第 1 カフェテリア室 | 36 台 | |
| 八王子 | 第 3 カフェテリア室 | 36 台 | |
| | 合計 | 420 台 | 314 台 |

仮想デスクトップ用サーバに論理的に構成された仮想 PC の台数は新宿 424 台、八王子 475 台の合計 899 台となる。仮想 PC 48 台の動作を 1 枚のブレードで支える計算となり、ブレードの物理 CPU 1 コアあたり、3 台の仮想 PC となっている。個々の仮想 PC は 6 GB のメモリが割り当てられ、2 コアの仮想 CPU を持つ設定で動作している。

各演習室向けに、実際の室内端末数に若干の予備を加えた台数の仮想 PC を起動状態で待機させている。また、学内や自宅からネットワーク経由で利用するバーチャルカフェテリアに 50 台の仮想 PC を同様の状態で常時待機させている。

休日や夜間には、演習室のための資源を利用し、高パフォーマンス版の仮想 PC (メモリ最大 16 GB, 8 コアの仮想 CPU) 24 台を起動して、バーチャルカフェテリアでの利用に供している。

4. 端末の利用方法

Thin Client 端末の電源を入れると Windows Embedded の起動画面が現れ、約 50 秒でログオン画面となる。ユーザ名とパスワードを入力すると Horizon Client が起動して待機中の仮想 PC が自動的に割り当てられ、接続されて、ログオン処理が始まる。「ようこそ」がしばらく表示された後、仮想 PC のデスクトップ画面 (図 1 仮想デスクトップ) が表示される。電源投入後、ここまで約 2 分 30 秒である。



図 1 仮想デスクトップの画面

Fat Client 端末はデュアルブート設定であり、電源を入れると約 20 秒で OS 選択メニューが現れる。デフォルトの「Virtual Desktop」を選択すると、約 25 秒でログオン画面となる。ユーザ名とパスワードを入力すると、Horizon Client が起動する。その後は Thin Client と同様に処理が進行し、仮想デスクトップ (図 1) が表示される。電源投入から約 2 分である。

OS 選択メニューで「Local PC」の方を選択した場合には、端末自身があらためて通常の Windows PC として起動し、約 1 分 50 秒でログオン画面となる。ユーザ名とパス

ワードを入力すると、約 30 秒で Windows デスクトップが表示される。電源投入から約 2 分 30 秒である。Fat Client は SSD を搭載しており、次節に示すようにソフトウェアのインストール数も軽減されているため、起動時間が短い。

デスクトップ環境の「マイドキュメント」フォルダは個別の PC とは離れた NAS ストレージ上の個人領域と接続しており、利用者は簡単な操作で NAS ストレージに自分のファイルを保存することができる。NAS ストレージには認証付きの学内 LAN から CIFS 接続によるファイル共有も可能である。メールデータの保存領域も NAS ストレージ上にあり、Web ブラウザを利用すればどこからでも利用できる。利用者はファイルを自分で持ち歩く必要がなく、情報漏洩を防ぐ観点からも安全な環境を提供している。

なお、デスクトップには MS Word, MS Excel, Internet Explorer, Mail, e-Learning, パスワードの変更, 印刷枚数確認, TypeQuick Professional (仮想デスクトップのみ) のアイコンがあり、利用者への便宜が図られている。

5. デスクトップのソフトウェア

以下のソフトウェアは全てのデスクトップで利用できる。

- 基本ソフト MS Windows 7 Enterprise (64 ビット版)
- Web ブラウザ Internet Explorer, Firefox, Chrome
- 統合ソフト MS Office Professional
- 端末ソフト TeraTerm, PuTTYjp
- ファイル転送 WinSCP, FFFTP
- 動画表示 Media Player, Real, QuickTime Player
- テキストエディタ サクラエディタ
- PDF 表示 Adobe Reader
- CAD AutoCAD, Creo Elements Pro
- 地図・地理情報 SiS, ArcGIS, カシミール 3D
- ファイル処理 Lhplus, だいなファイラ

全ての仮想デスクトップで以下のソフトウェアが使える。

- 統合ソフト Chem Bio Office Ultra
- プログラム開発環境 Visual Studio Professional, OpenGL/GLUT, MinGW, LabVIEW/DAQmx, MaTX, Java/Eclipse/Netbeans, Active Perl, Python, Ruby
- 画像処理 POV-Ray, GV/Susie
- 文書処理 W32TeX
- 数式処理・数値計算 Mathematica, GNU PLOT, R, Matlab, Simulink, Octave, Scilab, Ngraph
- PDF 作成 CubePDF
- CAD g-space, Paraview
- 地図・地理情報 Google Earth
- キータイプ練習 Type Quick Professional

次の 3 区分の端末においては、仮想デスクトップまたはローカルデスクトップで上記ソフトウェアに加えて、下記のソフトウェアの一部が異なる組み合わせで利用できる。

- (1) UNIX 演習室を除く全ての演習室の端末
- (2) UNIX 演習室とカフェテリア室の端末
- (3) 3D デザインセンターの端末

- マルチメディア Adobe Master Collection CS6
- 画像処理 Paint Shop Pro, Maya, Turtle, Endorphin
- 統合ソフト Project
- 解析計算 Pico Scope, Ansys LS-DYNA, TINA, Patran/Nastran/Marc, Ansys Multiphysics
- CAD ナスカ, Solid Works, Vector Works, Render Works, JW-CAD, CINEMA 4D, formZ Render Zone Plus, Sketch Up, Rhinoceros
- PC-X サーバ ASTEC-X

6. 情報処理演習室の時間割

2014 年度の新宿キャンパスと八王子キャンパスの演習室の時間割を図 2 に示す。大学の工学部第 2 部以外の全学部と大学院は 1 時限から 5 時限までの昼間に授業があり、工学部第 2 部は新宿キャンパスで 6 時限と 7 時限の夜間に授業がある。新宿キャンパスの各時限の開始時刻と終了時刻は八王子キャンパスの各時限より 20 分早い。情報処理演習室は新宿キャンパスに 6 室、八王子キャンパスに 4 室ある。

図 2 の各演習室の各授業コマの欄内に授業内容を表す記号を入れ、記号の意味は右下に記載した。例えば、A はアルゴリズムの授業科目、D は設計の授業科目、E は実験科目、I1 は全学 1 年生の情報基礎教育科目、P はプログラミングの授業科目をそれぞれ表している。

図 2 から 1 週間の授業コマ数を数えると新宿キャンパスは前期 82 コマ、後期 90 コマ、八王子キャンパスは前期 53 コマ、後期 49 コマある。前期と後期の合計の授業コマ数は新宿キャンパスの 172 コマに対して、八王子キャンパスは 102 コマである。

授業コマの時限には演習室の端末を先生と受講生だけが利用するが、時間割表で欄内が空白の場合には自由利用時間であり、演習室の端末は全ての利用者に開放されている。

7. 利用台数の月次データ

演習室とカフェテリア室に設置された全端末のログオン時刻とログオフ時刻の記録に基づいて、各曜日の各時限に各演習室およびカフェテリア室において仮想 PC およびローカル PC を利用した端末の台数を集計して、月次の平均利用台数データを求めた。その項目を表 4 に示す。

例として、2014 年 9 月の月次データで新宿キャンパスの第 1 演習室における月曜 1 時限の平均利用台数とは、まず 9 月の月曜日の開館日は 1 日、8 日、22 日、29 日の 4 日間あるので、各日のログから第 1 演習室の 1 時限目の仮想 PC とローカル PC の利用台数を求めて、4 日間の利用台数の平均値の小数点以下を四捨五入した数値である。

| 新宿キャンパスの時間割 | | | | | | | | | | | | | | 八王子キャンパスの時間割 | | | | | | | | | | | | | |
|-------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 前期 | | | | | | | 後期 | | | | | | | 前期 | | | | | 後期 | | | | | | | | |
| 1時限 | 2時限 | 3時限 | 4時限 | 5時限 | 6時限 | 7時限 | 1時限 | 2時限 | 3時限 | 4時限 | 5時限 | 6時限 | 7時限 | 1時限 | 2時限 | 3時限 | 4時限 | 5時限 | 6時限 | 7時限 | 1時限 | 2時限 | 3時限 | 4時限 | 5時限 | 6時限 | 7時限 |
| En1 | S | P | P | A | | | Z | I3 | I3 | | | | | D | D | D | | | | | D | D | D | | | | |
| En2 | S | P | P | | | | S | A | A | | | | | I1 | I1 | Z | | | | | I1 | I1 | Z | | | | |
| En3 | D | D | S | I3 | | | D | D | I3 | | | | | H | Z | Z | | | | | H | Z | Z | | | | |
| En4 | | | | | | | S | I3 | I3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3DD | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Unix | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 火 | En1 | I3 | I3 | I3 | O | | M | P | E | P | D | | | | | | | | | | | | | | | | |
| En2 | S | Z | O | | | | P | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| En3 | P | P | O | | | | P | P | M | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| En4 | | | | | | | S | D | D | | D | | | | | | | | | D | D | D | | | | | |
| 3DD | | | | | | | E | E | | | L | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Unix | | | | | | | | | | | L | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 水 | En1 | P | I3 | I3 | | | | | | P | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| En2 | C | C | I3 | I3 | I1 | | C | S | S | I1 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| En3 | I1 | I1 | | | | | I1 | I1 | Z | S | I1 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| En4 | D | D | M | | | | D | D | M | | | | | | | | | | | D | D | M | | | | | |
| 3DD | | | | | | | P | | | | | | | | | | | | | P | | | | | | | |
| Unix | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 木 | En1 | S | P | P | | | S | P | P | G | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| En2 | I1 | I1 | P | P | | | I1 | P | P | P | D | | | | | | | | | I1 | I1 | Z | | | | | |
| En3 | S | Z | Z | | | | S | Z | Z | | D | | | | | | | | | S | Z | Z | | | | | |
| En4 | | | | | | | | | | Z | G | D | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3DD | | | | | | | | | | Z | G | D | | | | | | | | | | | | | | | |
| Unix | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 金 | En1 | E | E | E | E | P | E | E | E | E | P | | | | | | | | E | E | E | E | | | | | |
| En2 | E | E | E | E | I1 | P | E | E | E | E | I1 | | | | | | | | E | E | E | E | I1 | P | | | |
| En3 | E | E | E | D | | | E | E | E | D | | | | | | | | | | E | E | E | D | | | | |
| 3DD | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Unix | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 土 | En1 | | | | | I1 | | | | | | I1 | | | | | | | | | | | | | | | |
| En2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| En3 | | | | | | | S | S | | | E | E | | | | | | | | S | S | | | E | E | | |
| En4 | | | | | | | S | S | | | E | E | | | | | | | | S | S | | | E | E | | |
| 3DD | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Unix | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

図 2 演習室の時間割表 (新宿・八王子 2014 年度)

表 4 利用台数の月次データ項目 (平均利用台数) :

N_Z^{XY} という記号の右肩の X が S は Shinjuku, H は Hachioji, 右肩の Y が V は Virtual PC, L は Local PC, 右下の Z は省略した部屋名を表す。

| 項目 | 意味 |
|------------------|--------------------------------|
| N_{En1}^{SV} | 新宿第 1 演習室 仮想 PC の平均利用台数 |
| N_{En1}^{SL} | 新宿第 1 演習室 ローカル PC の平均利用台数 |
| N_{En2}^{SV} | 新宿第 2 演習室 仮想 PC の平均利用台数 |
| N_{En3}^{SV} | 新宿第 3 演習室 仮想 PC の平均利用台数 |
| N_{En4}^{SV} | 新宿第 4 演習室 仮想 PC の平均利用台数 |
| N_{En4}^{SL} | 新宿第 4 演習室 ローカル PC の平均利用台数 |
| N_{3DD}^{SV} | 新宿 3D デザインセンター 仮想 PC の平均利用台数 |
| N_{3DD}^{SL} | 新宿 3D デザインセンター ローカル PC の平均利用台数 |
| N_{Unix}^{SV} | 新宿 UNIX 演習室 仮想 PC の平均利用台数 |
| N_{Cafe}^{SV} | 新宿カフェテリア室 仮想 PC の平均利用台数 |
| N_{En1}^{HV} | 八王子第 1 演習室 仮想 PC の平均利用台数 |
| N_{En1}^{HL} | 八王子第 1 演習室 ローカル PC の平均利用台数 |
| N_{En2}^{HV} | 八王子第 2 演習室 仮想 PC の平均利用台数 |
| N_{En3}^{HV} | 八王子第 3 演習室 仮想 PC の平均利用台数 |
| N_{En4}^{HV} | 八王子第 4 演習室 仮想 PC の平均利用台数 |
| N_{En4}^{HL} | 八王子第 4 演習室 ローカル PC の平均利用台数 |
| N_{Cafe1}^{HV} | 八王子第 1 カフェテリア室 仮想 PC の平均利用台数 |
| N_{Cafe3}^{HV} | 八王子第 3 カフェテリア室 仮想 PC の平均利用台数 |

利用台数とは各時限に少なくとも一度利用された端末の台数のことである。ある端末で一人の利用者が仮想 PC にログオンしていれば、仮想 PC を利用した端末台数として 1 台を数える。同じ端末で同一時限内に、複数の利用者が仮想 PC にログオン/ログオフを何回繰り返しても仮想 PC を利用した端末台数としては 1 台で変わらないが、同じ端末でさらにローカル PC を利用した場合は、ローカル PC

を利用した端末台数にも1台を数える。

新宿キャンパスの平均利用台数データは、月曜1時限から土曜7時限までの42コマの各時限に、6つの演習室と1つのカフェテリア室の各部屋において、仮想PCとローカルPCを利用した端末の平均利用台数であり、 $42 \times (3 \times 2 + 4) = 420$ 個の整数データで構成される。

上の計算式の中の 3×2 は、新宿の第1演習室、第4演習室、3Dデザインセンターの3室に2つずつデータ項目があることを表し、それは各部屋のFat Client 端末から仮想PCおよびローカルPCを利用した、表3の6項目 N_{En1}^{SV} , N_{En1}^{SL} , N_{En4}^{SV} , N_{En4}^{SL} , N_{3DD}^{SV} , N_{3DD}^{SL} を指している。+4の部分は N_{En2}^{SV} , N_{En3}^{SV} , N_{Unix}^{SV} , N_{Cafe}^{SV} の4個を指し、それぞれ新宿の第2演習室、第3演習室、UNIX演習室およびカフェテリア室のThin Client 端末から仮想PCを利用した平均利用台数を意味する。

八王子キャンパスのデータも同様であり、月曜1時限から土曜5時限までの30コマの各時限に、4つの演習室と2つのカフェテリア室の各部屋で仮想PCとローカルPCを利用した端末の平均利用台数は $30 \times (2 \times 2 + 4) = 240$ 個の整数データで構成される。

計算式の $2 \times 2 + 4$ は、第1演習室、第4演習室で仮想PCおよびローカルPCを利用した N_{En1}^{HV} , N_{En1}^{HL} , N_{En4}^{HV} , N_{En4}^{HL} の 2×2 個および第2演習室、第3演習室、第1カフェテリア室、第3カフェテリア室で仮想PCを利用した N_{En2}^{HV} , N_{En3}^{HV} , N_{Cafe1}^{HV} , N_{Cafe3}^{HV} の4個である。

8. 端末の利用状況

前節の月次データを2013年9月から2014年12月まで16月分入手した。この節では演習室およびカフェテリア室における仮想デスクトップの利用状況、授業での利用状況を把握する。

月次データの各コマの項目、新宿10個と八王子8個の平均利用台数を、表5に示すように、キャンパス毎に演習室とカフェテリア室、仮想PCとローカルPCの4つに分類して集計した。

演習室とカフェテリア室の平均利用台数の各表式を示す。

$$N_{Enshu}^S = N_{En1}^{SV} + N_{En1}^{SL} + N_{En2}^{SV} + N_{En3}^{SV} + N_{En4}^{SV} + N_{En4}^{SL} + N_{3DD}^{SV} + N_{3DD}^{SL} + N_{Unix}^{SV} \quad (1)$$

$$N_{Enshu}^H = N_{En1}^{HV} + N_{En1}^{HL} + N_{En2}^{HV} + N_{En3}^{HV} + N_{En4}^{HV} + N_{En4}^{HL} \quad (2)$$

$$N_{Cafeteria}^S = N_{Cafe}^{SV} \quad (3)$$

$$N_{Cafeteria}^H = N_{Cafe1}^{HV} + N_{Cafe3}^{HV} \quad (4)$$

仮想PCとローカルPCの平均利用台数の各表式を示す。

$$N_{VirtualPC}^S = N_{En1}^{SV} + N_{En2}^{SV} + N_{En3}^{SV} + N_{En4}^{SV} + N_{3DD}^{SV} + N_{Unix}^{SV} + N_{Cafe}^{SV} \quad (5)$$

$$N_{VirtualPC}^H = N_{En1}^{HV} + N_{En2}^{HV} + N_{En3}^{HV} + N_{En4}^{HV} + N_{Cafe1}^{HV} + N_{Cafe3}^{HV} \quad (6)$$

表5 月次データの分類表:

右肩の文字 S と H は Shinjuku および Hachioji を表す。

| 新宿 | 八王子 | 分類の種類別 |
|-------------------|-------------------|-----------------|
| N_{Enshu}^S | N_{Enshu}^H | 演習室の月平均利用台数 |
| $N_{Cafeteria}^S$ | $N_{Cafeteria}^H$ | カフェテリア室の月平均利用台数 |
| $N_{VirtualPC}^S$ | $N_{VirtualPC}^H$ | 仮想PCの月平均利用台数 |
| $N_{LocalPC}^S$ | $N_{LocalPC}^H$ | ローカルPCの月平均利用台数 |

$$N_{LocalPC}^S = N_{En1}^{SL} + N_{En4}^{SL} + N_{3DD}^{SL} \quad (7)$$

$$N_{LocalPC}^H = N_{En1}^{HL} + N_{En4}^{HL} \quad (8)$$

キャンパス毎にまとめた演習室、カフェテリア室、仮想PC、ローカルPCの4つの平均利用台数の間には次の関係式が成り立つ。

$$N_{Enshu}^S + N_{Cafeteria}^S = N_{VirtualPC}^S + N_{LocalPC}^S \quad (9)$$

$$N_{Enshu}^H + N_{Cafeteria}^H = N_{VirtualPC}^H + N_{LocalPC}^H \quad (10)$$

16月分の平均利用台数の月次データを処理すると、新宿キャンパスのデータは42コマ/月×16月=672コマ分、八王子キャンパスのデータは30コマ/月×16月=480コマ分になる。

4個1組の平均利用台数のデータを散布図で表現する。演習室の平均利用台数を横軸 (x 軸) 上の座標として、カフェテリア室、仮想PC、ローカルPCの3つの平均利用台数を縦軸 (y 軸) 上の座標として、4個1組のデータを x - y 平面にプロットすると、演習室の平均利用台数で定まる x 座標を通り、 y 軸に平行な直線上の3個の点として表される。このようにして得られた新宿キャンパスと八王子キャンパスの平均利用台数の散布図を図3と図4に示す。点の個数は図3は2016個、図4は1440個である。

新宿と八王子では同じ機器構成の仮想デスクトップ用サーバシステムを使用している。共通のNASストレージに利用者のファイルを保存する点を除けば、2つのシステムの負荷は互いに影響することはない。端末の設置台数も、新宿には366台(演習室344台、カフェテリア室22台)、八王子には368台(演習室296台、カフェテリア室72台)なので、同じと考えてよい。

図3と図4を見ると、両方とも演習室と仮想PCの1コマの平均利用台数は200台から250台を超える所まで分布している。仮想PCの平均利用台数は明らかにローカルPCよりも多く、ローカルPCの利用頻度は新宿の方が八王子よりもやや高い。

前述の通り、新宿と八王子のシステムは別々であるが、大学全体の利用状況の傾向を把握するために、表5の各キャンパスの分類毎の合計値を求める。

$$N_{Enshu} = N_{Enshu}^S + N_{Enshu}^H \quad (11)$$

$$N_{Cafeteria} = N_{Cafeteria}^S + N_{Cafeteria}^H \quad (12)$$

$$N_{VirtualPC} = N_{VirtualPC}^S + N_{VirtualPC}^H \quad (13)$$

$$N_{LocalPC} = N_{LocalPC}^S + N_{LocalPC}^H \quad (14)$$

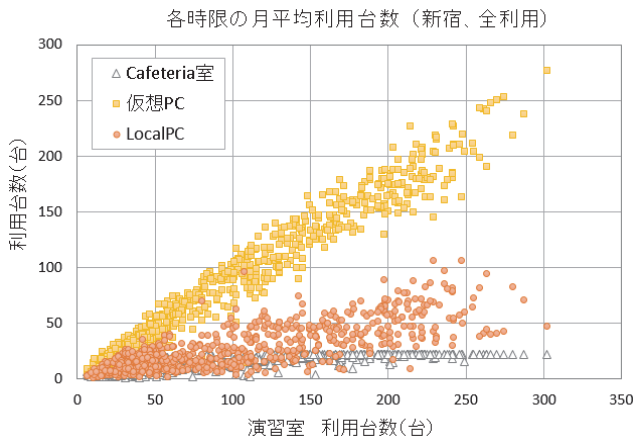


図 3 月平均の利用台数分布 (新宿キャンパス, 全データ)

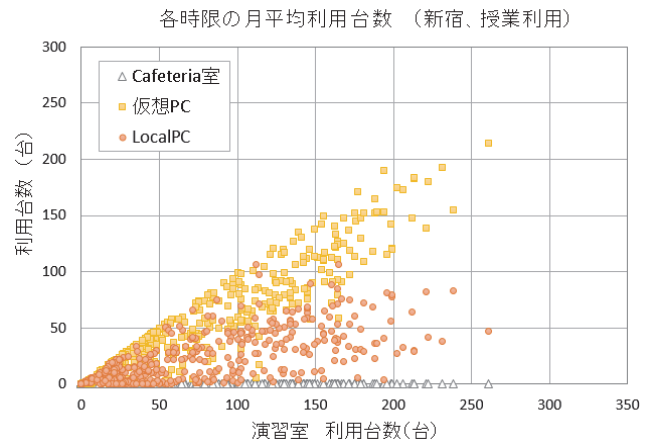


図 6 月平均の利用台数分布 (新宿キャンパス, 授業利用)

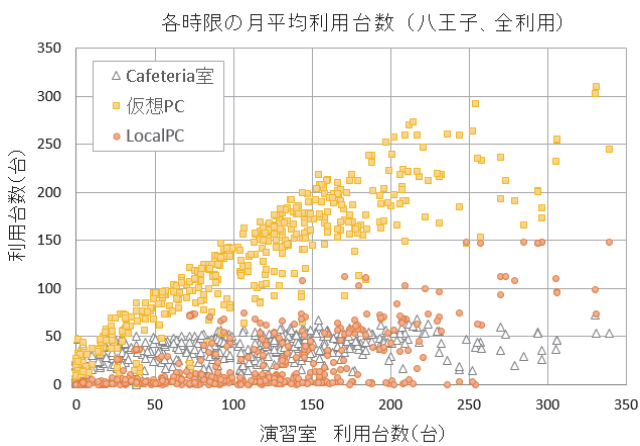


図 4 月平均の利用台数分布 (八王子キャンパス, 全データ)

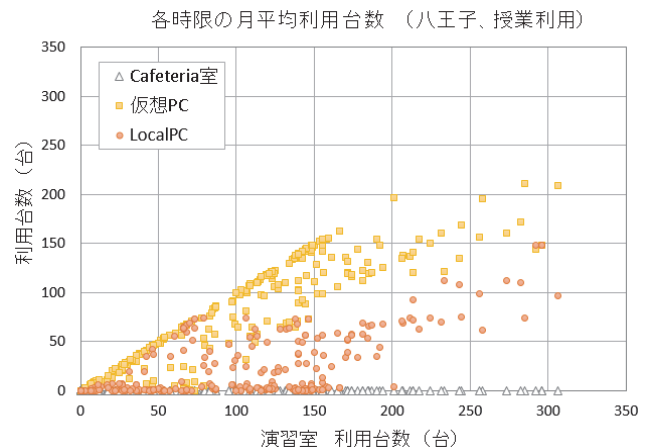


図 7 月平均の利用台数分布 (八王子キャンパス, 授業利用)

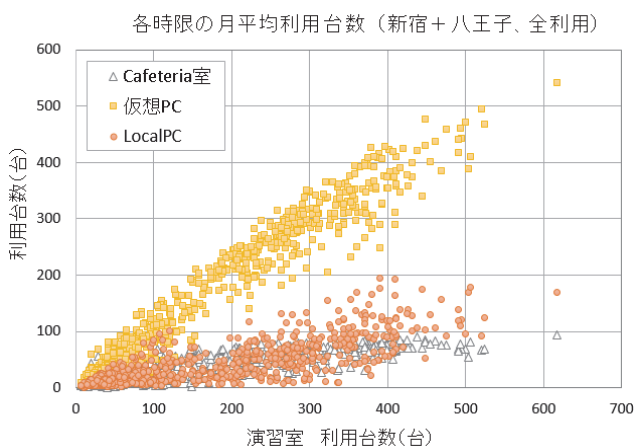


図 5 月平均の利用台数分布 (新宿+八王子, 全データ)

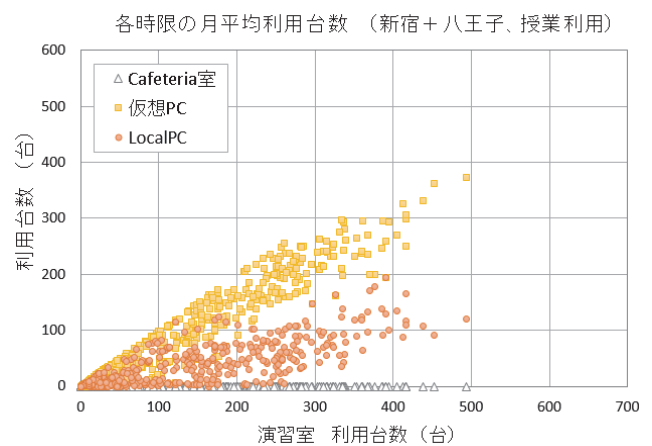


図 8 月平均の利用台数分布 (新宿 + 八王子, 授業利用)

平均利用台数 N_{Enshu} , $N_{Cafeteria}$, $N_{VirtualPC}$, $N_{LocalPC}$ の数値は全部で $480 + 192 = 672$ コマ分になる。内訳は 1 時限から 5 時限までの 480 コマは (11) 式~(14) 式で求めた数値, 6 時限と 7 時限の 192 コマ分は新宿キャンパスのみのデータである。これらのデータを用いて作成した図 5 の新宿と八王子の合計の平均利用台数の散布図を見ると, 演習室と仮想 PC の平均利用台数は 400 台から 500 台に達する

ところまで分布している。

次に, 全ての授業で使用された端末数とデスクトップの利用状況を抽出するために, 前期授業期間 4 月~7 月および後期授業期間 9 月~1 月の月次データから時間割表に授業科目が入っている部屋のデータ項目だけを取り出して, 再度集計を行った。得られた演習室, カフェテリア室, 仮想 PC, ローカル PC の平均利用台数のデータを使った散

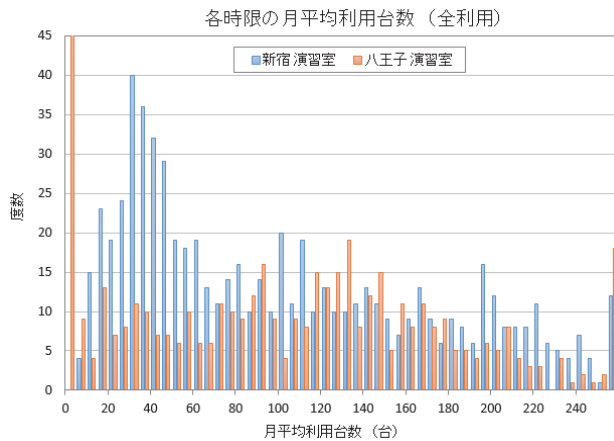


図 9 演習室の利用台数分布 (全利用)

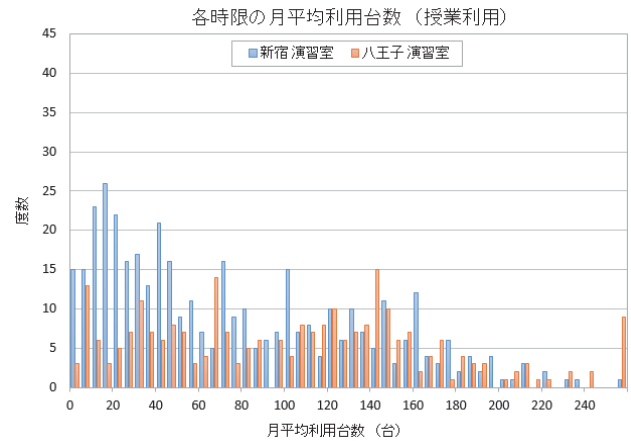


図 12 演習室の利用台数分布 (授業利用)

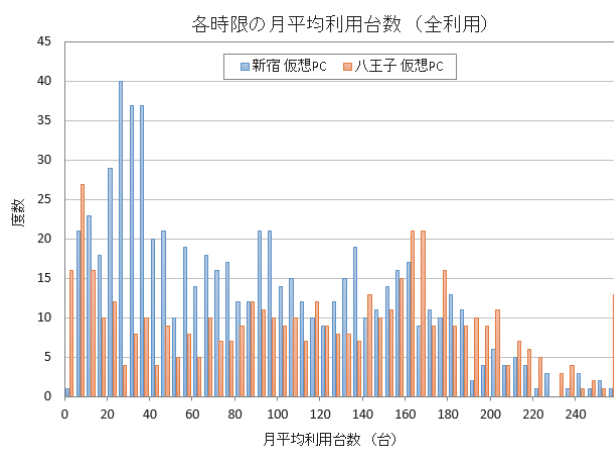


図 10 仮想 PC の利用台数分布 (全利用)

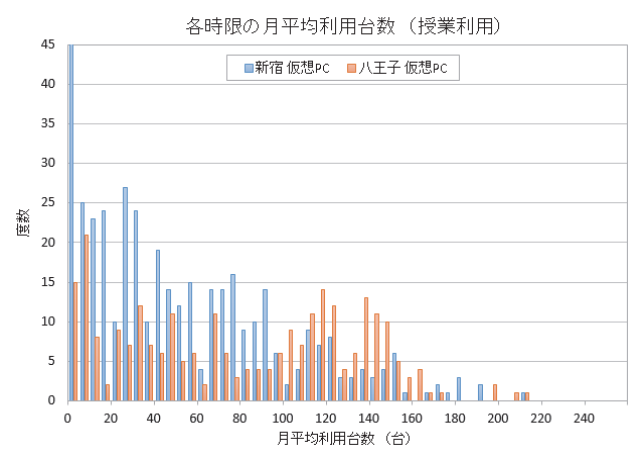


図 13 仮想 PC の利用台数分布 (授業利用)

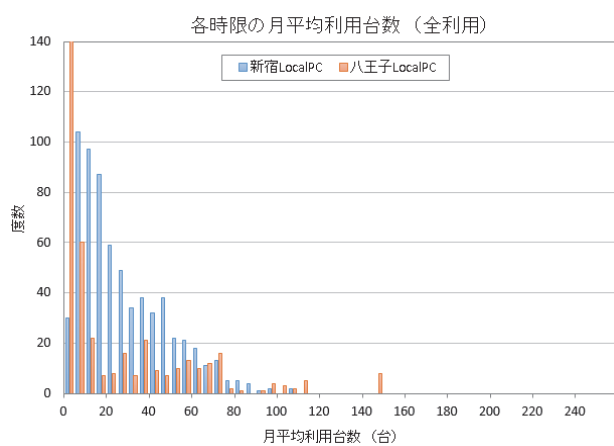


図 11 Local PC の利用台数分布 (全利用)

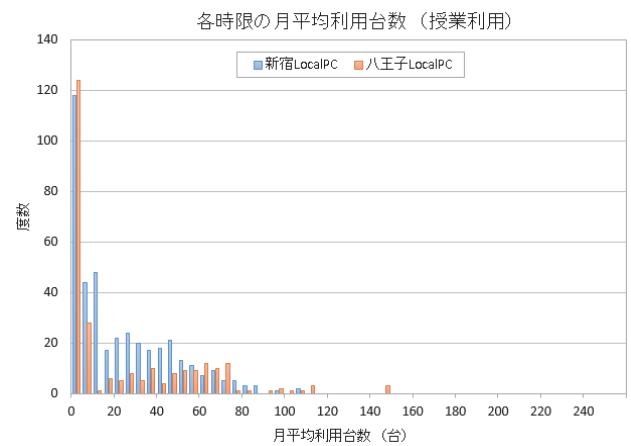


図 14 Local PC の利用台数分布 (授業利用)

布図を図 6, 図 7, 図 8 に示す。カフェテリア室は授業では利用されないのので、対象となる全てのコマで平均利用台数は 0 となる。これらの図に示された各点は実際に授業で利用された利用台数を反映した純度の高いデータである。この分布を見ても演習室で利用された仮想 PC の平均利用台数はローカル PC に比べて多く、ローカル PC の利用頻度は新宿の方が八王子よりも少し高い。

図 3～図 8 の散布図で 1 時限～7 時限の各時限の全ての端末と授業科目で利用された端末の利用状況を概観した。

9. 月平均利用台数の度数分布

この節では端末の利用状況を定量的に示す。例えば、仮想 PC とローカル PC を 0 台～60 台の台数の範囲で利用したコマの度数を示して比較すれば、その台数の仮想 PC と

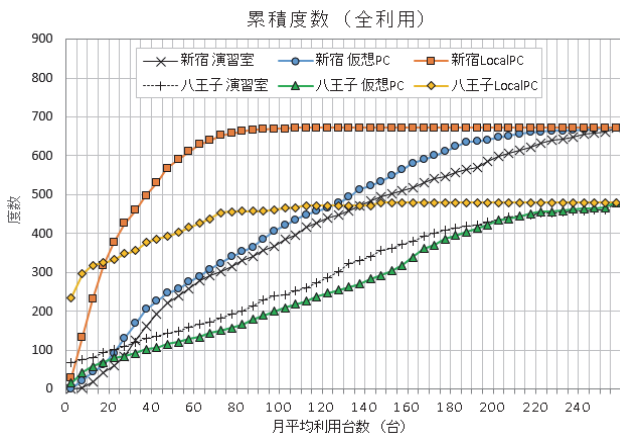


図 15 月平均利用台数の累積度数分布 (全利用)

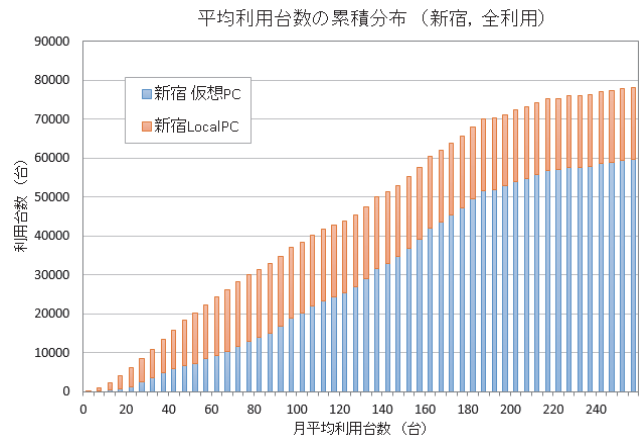


図 17 平均利用台数の累積分布 (新宿, 全利用)

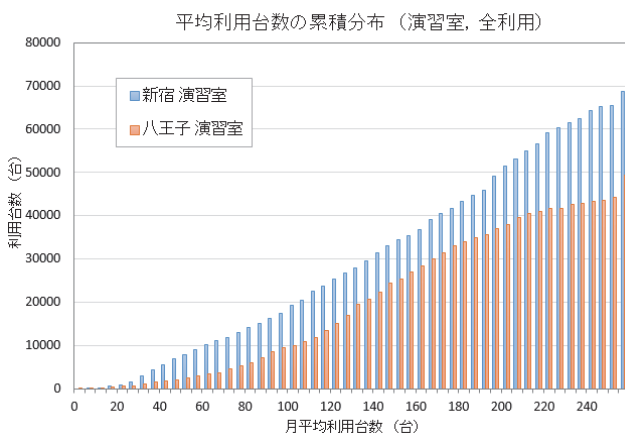


図 16 平均利用台数の累積分布 (演習室, 全利用)

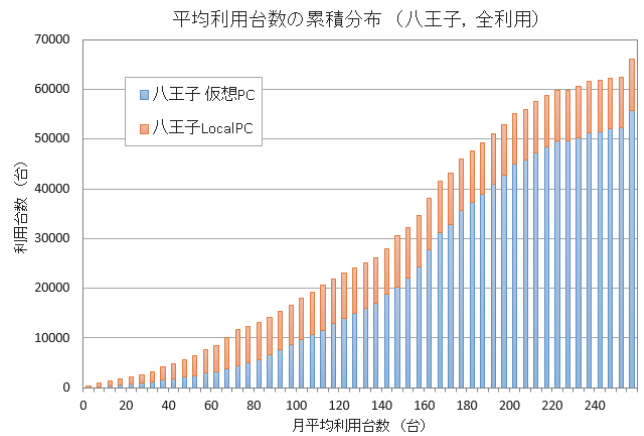


図 18 平均利用台数の累積分布 (八王子, 全利用)

ローカル PC の利用頻度が比較できる。仮想デスクトップが安定して利用されているのかどうか、利用頻度をローカル PC と比較することによって判断したい。

そのため前節の分類項目である演習室、仮想 PC、ローカル PC について月次データの各時限の平均利用台数の度数分布を示すヒストグラムを作成した。

まず 2013 年 9 月から 2014 年 12 月までの 16 月分の毎月の各曜日各時限毎の平均利用台数の度数分布を演習室、仮想 PC、ローカル PC の順番に図 9、図 10、図 11 に示す。総度数は新宿キャンパスが 672 度数、八王子キャンパスが 480 度数である。

次に授業期間の月次データから、各曜日各時限に授業科目が入っている全ての演習室のデータを選び出して、同じ分類項目の度数分布を取り、図 12～図 14 に示した。総度数は新宿キャンパスのデータは 408 度数、八王子キャンパスのデータは 264 度数であった。これらの分布には全ての演習室で授業科目が一つもないか又はどの端末も全く使われなかった時限のコマは含まれていない。

図 9～図 14 の横軸は目盛りが 20 台刻みになっているが、ヒストグラムは 5 台ずつの 4 つのビン (台数範囲) に分か

れている。各ビンに新宿と八王子の各分類項目の度数が棒グラフで示されている。一番左のビンの度数は平均利用台数が 0 台～4 台の台数範囲にあるコマの度数を表し、一番右側のビンの度数は平均利用台数が 255 台以上あるコマの度数を表す。図 9、図 11、図 13 の各ヒストグラムでは一番左のビンの値は度数の上限値を超えているが、それらの度数は順番に 68、236、54 である。

図 9～図 14 の各分布をどう読むべきかを、最初に図 9 の全利用の青色で示した新宿演習室の分布で説明する。この分布を見ると 5 台～75 台にかけて大きな山があり、山全体で 302 度数が含まれる。

これは全 672 度数の 45% を占めている。残りの 75 台以上の右側の部分の度数は 370 であり、度数の割合は全体の 55% である。それは図 15 の月平均利用台数の累積度数分布によって確認することができる。

ところが、平均利用台数の累積では、横軸の平均利用台数が 75 台までの山の部分に 11864 台が含まれ、残りの 75 台以上の右側の部分に 56861 台が含まれている。後者は前者の 4.8 倍である。

これは計算が間違っているのではなく、横軸が台数であ

るため、より台数が多い右側のビンほど1度数当たりの利用台数がより多くなるからである。これについては、図16に示した、演習室の全利用における、月平均利用台数の累積分布により確認することができる。

同じようにして仮想PCとローカルPCで全利用のヒストグラム、図10と図11を比較する。新宿仮想PCと新宿ローカルPCを比較すると、0台～80台の範囲では度数は341と658、平均利用台数は12942と17136である。80台以上の範囲では度数は331と14、平均利用台数は46778と1258となる。平均利用台数の合計は59720と18394となり仮想PCがローカルPCの3.2倍使われている。図17の平均利用台数の累積台数を積み上げたヒストグラムによって確認することができる。

同様に八王子仮想PCと八王子ローカルPCを比較すると、0台～80台では度数は158と456、平均利用台数は4946と7414であり、80台以上の範囲では度数は322と24、平均利用台数は50852と2826である。平均利用台数の合計は55798と10240となり仮想PCがローカルPCの5.4倍使われている。図18の平均利用台数の累積台数を積み上げたヒストグラムによって確認することができる。

仮想PCとローカルPCで授業利用のヒストグラム、図13と図14を比較すると平均利用台数の合計は新宿仮想PCと新宿ローカルPCは21578と9369であり、八王子仮想PCと八王子ローカルPCは20984と6577である。このように授業利用に限定した場合は、新宿と八王子において、仮想PCの平均利用台数はローカルPCのそれぞれ2.3倍と3.2倍である。

10. 1年次の情報基礎教育科目

本学での情報基礎教育は1991年度に始まり、本研究会での報告[2]もあるが、現在は前期にコンピュータリテラシー、後期にプログラミングの教育が行われている。

新しい設備を情報教育環境に導入する機会毎に、授業担当の先生に執筆を依頼して、新しい内容を取り入れた教科書を出版してきた。現在は2013年度に改訂した教科書[3],[4]を用いて、シンクライアントと従来のPCとの相違点についても触れている。コンピュータリテラシーの主な項目は以下の通りである。

(1) コンピュータ入門

- コンピュータの歴史 ... 第0世代～第4世代
- 情報の表現方法 ... n 進数の表現と基数変換、数値データと文字データの表現方法、音声・画像データの表現方法
- ハードウェア ... コンピュータの5大装置、CPUの内部構造
- ソフトウェア ... 基本ソフトと応用ソフト、プログラミング言語、ユーザインタフェース

- コンピュータとネットワーク ... インターネット、プロトコルとOSI参照モデル、IPアドレス、ドメインネーム、World Wide Web、VPN、シンクライアント

(2) Windowsとウェブブラウザの操作方法

- Windows 7の操作方法
- ファイルの操作方法
- ウェブブラウザの操作方法

(3) インターネット情報の検索と利用

- 検索エンジン
- インターネット情報の利用
- インターネットへの情報発信
- 情報セキュリティ

(4) 電子メール

- 電子メールの仕組み
- 電子メールソフトウェアの例

(5) ワードプロセッサ

- Office2013の共通事項
- かな入力の仕組みと操作方法

(6) 表計算ソフトウェア

- 構成要素
- 基本技術
- 応用

(7) プレゼンテーション

- 下準備と心構え
- プレゼンテーション作成の流れ
- プレゼンテーションの具体例
- スライド資料の印刷

(8) ウェブページ制作入門

- ホームページ制作手順
- HTMLファイルの編集
- HTML
- スタイルシート
- イメージファイル

(9) 文書処理システム \LaTeX

- 作業手順と簡単な例
- Winshellの機能
- \LaTeX の利用するファイル
- 基本事項、基本的な要素
- 各種の環境

この科目で用いる応用ソフトウェアを挙げておく。

- Webブラウザ Internet Explorer
- 統合ソフト MS Office Professional
- ファイル転送 WinSCP
- テキストエディタ サクラエディタ
- PDF表示 Adobe Reader
- 文書処理 W32TeX
- キータイプ練習 Type Quick Professional

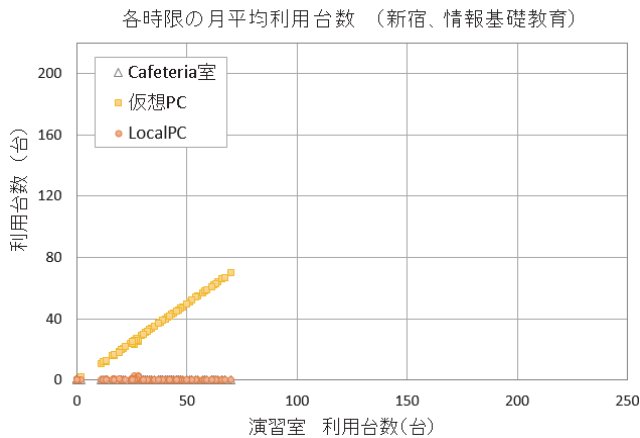


図 19 月平均の利用台数分布 (新宿キャンパス, 情報基礎教育)

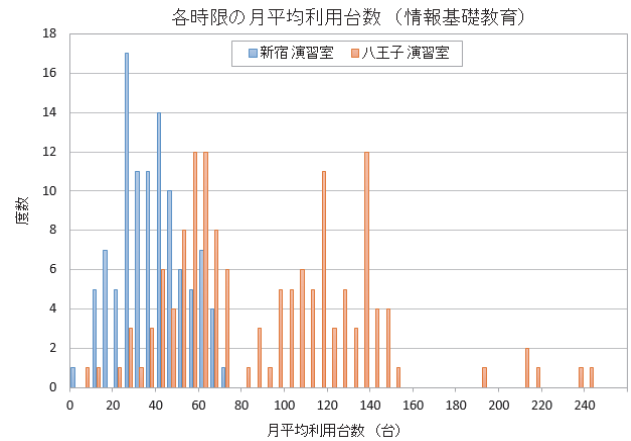


図 21 演習室の利用台数分布 (授業利用)

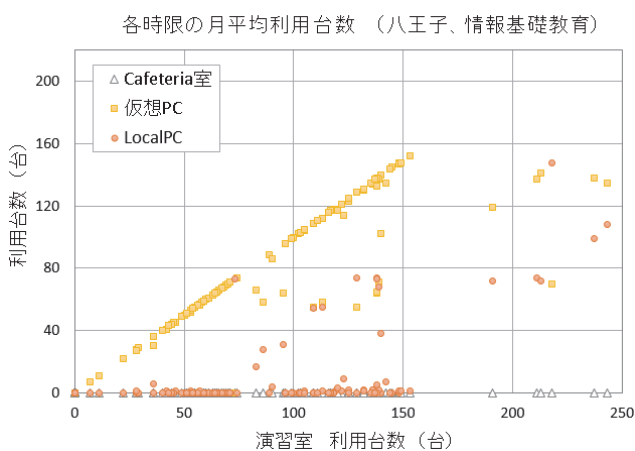


図 20 月平均の利用台数分布 (八王子キャンパス, 情報基礎教育)

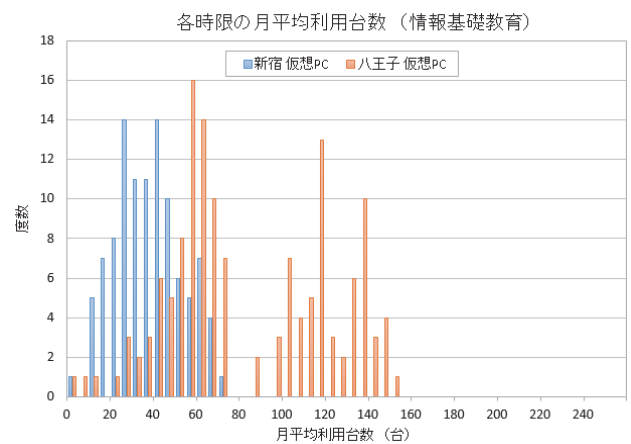


図 22 仮想 PC の利用台数分布 (授業利用)

プログラミングは Excel の VBA (Visual Basic for Applications) を用いている。

11. 情報基礎教育における仮想 PC の利用

2013年9月～2014年12月の範囲の授業期間13ヶ月分の月次データから、時間割表に1年次の情報基礎教育科目の授業がある部屋のデータだけを取り出し、(1)式～(8)式により新宿キャンパスと八王子キャンパスの演習室、カフェテリア室、仮想PC、ローカルPCの月平均利用台数を集計した。得られた各コマの各分類項目の月平均利用台数の数値を図19と図20の散布図に示した。

図19の新宿キャンパスの散布図は情報学部と工学部2部における情報基礎教育科目の合計104コマ分の利用状況を示している。ほぼ仮想デスクトップの利用のみであり、ローカルPCは使われていない状況である。

図20の八王子キャンパスの散布図は上記以外の学部における情報基礎教育科目の141コマ分の利用状況を示す。幾つかのデータを除けば、データの殆どは仮想デスクトップを利用したことを表している。

図21には演習室の月平均利用台数の度数分布を、図22

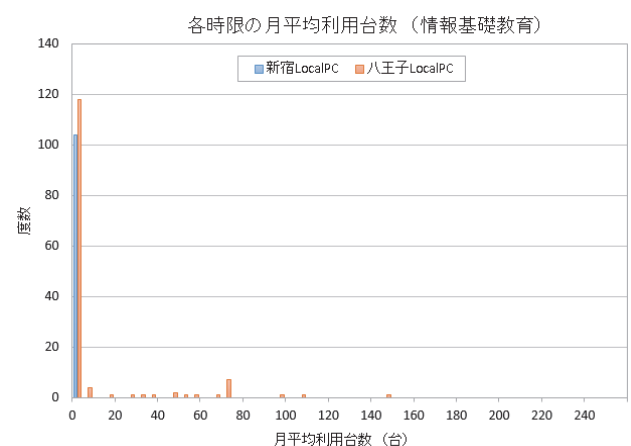


図 23 Local PC の利用台数分布 (授業利用)

には仮想PCの月平均利用台数の度数分布を、それぞれ新宿と八王子を比較したヒストグラムとして示した。

新宿キャンパスではこの授業科目が同じ曜日同じ時限に重なることがないので青色のヒストグラムは両方の図で一つの山の形をしている。これに対して八王子キャンパスでは2つまたは3つのクラスが同じ時限に演習室を利用することがある。このため、図22の度数分布ではオレンジ色

のヒストグラムには2山が見える。図21の度数分布では3クラスが同じ時限に重なった結果、190台～240台付近にもデータがある。

図23のローカルPCの度数分布を見ると70台付近に1コマの前期と後期分を合わせた度数の山が見えるが、これは図21で見られた同じ時限にクラス3つが重なったことを示すデータと合わせると、あるクラスでローカルPCを利用していたことを示唆している。

図19～図23の分布は一部のクラスを除き、殆どのクラスで仮想PCが利用されたことを示している。これから情報基礎教育科目の授業は仮想デスクトップを用いて展開されていることがわかる。筆者もこの科目を担当しており演習室で端末を利用して授業を行っている。仮想デスクトップの導入当初はトラブルに遭遇したが、現在では問題なく授業内容を実施することができている。

12. 導入後の経過と課題

仮想デスクトップ環境は、仮想化基盤上で動作する各種のサーバが連携して支えている。システムの全体がダウンするというような事態は一度も発生していないが、特定のサーバに不具合が発生すると、演習室ではそれに対応したそれぞれの症状が発生することになる。

例えば、特定の端末だけが使えなくなっているように見えることもあれば、教室の学生の約半数がログオンできないという大規模な障害が発生することもある。それでも、既にログオンができていたユーザの端末は正常に動作しているように見えることが多かった。また、正常に授業が進行していた教室内で、約半数の端末が突然にシャットダウン動作を起こし、製図の演習中にCAD図面が失われるというような事件も発生した。

調査の結果、サーバ系の誤動作が発生する主な原因は、仮想化基盤の中心となる仮想サーバのソフトウェアの不具合であることが判明した。VMware社から提供された修正モジュールを適用し、システムの安定性はかなり改善したが、修正モジュールを待つ間は、不安定な仮想サーバに対する監視体制を強化したり、予防的措置としてこまめに再起動をかけたなど、管理に手のかかる期間がしばらく続いた。

修正モジュールが適用された後も数ヶ月間は、問題が再発しないことを確認するために監視強化期間が延長されたが、2014年4月以降は、サーバがダウンすることで授業の妨げとなったような案件は発生しておらず、一時期の深刻な状況は解消されている。ただ、現在でも原因不明の不具合が稀に発生しており、完全に問題をなくすことは難しいようである。

仮想PCのパフォーマンス上の問題も深刻であった。授業時間の始めに学生のログオン処理に長い時間（最大20分近く）が掛かるという状況が発生した。多くの授業では

問題なく仮想PCが動作していたが、その一方で、ログオン時間に問題が発生する授業では、その翌週も続けて同じような事態が繰り返されるといった状況であった。主に八王子キャンパスの2時限目と4時限目の授業が最も影響を受けており、後期授業期間が始まった直後はトラブルが続出した。多くの受講生が短時間で入れ替わることが引き金となっていたと考えられる。

パフォーマンス上の問題が発生する根本的な要因は共有ストレージへの過剰なI/Oの集中であり、これは多数の仮想PCが一斉にシステムディスク領域にアクセスする結果である。また、ユーザが一斉に入れ替わろうとすると、多数の仮想PCが同時にシャットダウンしてしまい、ログオン可能な仮想PCが一時的に不足する状況も発生していた。

緊急的な対策として、演習室毎にI/Oの負荷がストレージ内の全プール(RAIDグループ)へ均等に分散するように、仮想PCの設定をきめ細かく調整し直した。また、仮想PCのメモリ設定(最大値)を12GBから8GBに減量するなどして、最初の2週間で状況はある程度まで改善された。

春休み期間には、授業利用のない八王子キャンパスの演習室を利用して、性能チューニングのための本格的な実験を集中的に行った。何種類かの施策が試行され、実験結果から有効性が見定められた。

例えば「ディスクアクセス速度の向上」のため共有ストレージのRAID長(ストライピングの並行台数)を増やすことで、I/Oのピーク性能とキャッシュヒット率を向上させることができた。

「仮想CPUの利用を効率化」するため、仮想PCのマルチコア構成を変更(仮想CPU数を2個から1個に減らす)してみたが、明白な効果を得ることはできなかった。また、「ログオン時に読み書きされるデータ量を減」ずるため、ユーザプロファイルの内容を精査し・不要部分を削除したことは大変有効であった。

最終的に、当面はユーザ利用後のシャットダウン処理をさせないように、運用で対処することが決まった。ユーザが一度利用した仮想PCはリフレッシュしてから次のユーザに渡すという運用方式で管理することを導入当初は重要視したが、授業の休憩時間に多数のユーザが一斉に入れ替わる状況では、必要な動作が完了できないという事実は明白であった。他大学に比べ短い休憩時間(10分間)であることも災いしたかも知れない。

2014年度の前期授業に向けて作り直された仮想PCでは、デスクトップのスタートボタンを押したときに現れる「シャットダウン」ボタンは「ログオフ」ボタンに置き換えられている。仮想PCのリフレッシュ処理やアンチウィルスのパターン更新など、メンテナンス上欠かせない動作も夜間の自動実行に回し、日中の仮想化基盤に対して負荷を最小化することができたのではないと思われる。

現在では、2教室144台から一斉にログオン操作が投入

された場合でも、5分以内にほぼ100%の端末でログオンが完了するようになった。4教室288台からの同時ログオンという、最も厳しい条件下で実験を行えば、95%がログオンできるまでに14分が必要であるが、授業時間割上、実際にこのような状況が発生することはない。

仮想PCではGoogle Earthが授業での使用に耐えないということがわかり、学期の途中でローカルPCにGoogle Earthを追加インストールする必要があった。高いグラフィックス処理能力が必要なソフトウェアはローカルPCで利用できるよう準備していたのだが、Google Earthについては、グラフィックス処理の負荷を適切に把握できていなかったようである。

年に数回GTEC試験が実施され、画像と音声と同時に利用することになるのだが、音声が大きく遅延するという障害が発生している。この試験は受験者数が多いことから全演習室の端末を使う必要があり、仮想PCの部屋も使わざるを得ない。障害の発生する端末は若干数であり、処理能力の不足が原因ではないと考えられているが、現在は対処法を模索中である。

13. まとめ

世の中ではクラウドコンピューティングが当たり前になっているが、その技術を情報教育環境に取り入れるとどうなるのか、導入前には分からない部分がある。大学の情報教育環境に仮想デスクトップを導入したとき、授業で使用する様々なソフトウェアがすべて問題なく利用できるのか。授業で一斉にログオンして、ソフトウェアを同時に起動するような使い方をしても問題は起こらないのか。導入を検討していた時点では分からないことが多かった。

本システムでは端末を2種類導入して、問題が起きた場合対応できるようにした。これまでに経験したことのない多くのトラブルがあったが、仮想デスクトップの運用上の深刻な問題はほぼ解決した。仮想PCの利用に不便がある場合、端末をローカルPCとして利用している。

仮想デスクトップを授業で実際に利用して内在する問題点が明らかになり、解決策を模索することによって多くの教訓が得られた。今後の情報教育環境の改善および次期システムの検討に生かせると考えている。

本稿では約1年半の月次データを解析して、仮想PCの利用状況をローカルPCの利用状況と詳しく比較することによって、仮想デスクトップの利用が定着していることを示した。

謝辞

本稿に報告した仮想デスクトップシステムの利用環境は、本学情報システム部の職員が多くのトラブルに対処して、使い勝手を良くする工夫を重ねた結果、良好な状態が

保たれている。本システムのサポート業務を務めて頂いている方々に、この場を借りて厚く御礼申し上げる。

本稿では情報システム部職員高橋佳大氏が作成した月次データを解析に使用した。同氏は本システムに詳しく、本稿をまとめるに当たりいろいろ教えて頂いた。氏の協力に感謝申し上げる。

当センター所長である情報学部コンピュータ科学科教授 田中輝雄先生には本システムの導入を主導的に進めて頂いた。導入後も業者と定例会議を重ねてシステムの改善のための協議を続けて頂いている。また本稿を発表する際には励ましの言葉を頂いた。先生に深く感謝申し上げます。

参考文献

- [1] 「VMware View 5 で、3D CAD アプリケーションを利用できる教育用仮想デスクトップ環境を構築」、学校法人 東京電機大学 様 導入事例、富士通ホームページ、<http://www.fujitsu.com/jp/about/resources/case-studies/>、2012年7月17日掲載、2015年2月23日アクセス
- [2] 飛松敬二郎、加藤潔、荒実、「工学部における基礎情報教育の一例」、情報処理学会研究報告、コンピュータと教育研究会報告、27-2(1993年5月)、pp.11-20.
- [3] 加藤潔、田中久弥、飛松敬二郎、山崎浩之、「理工系コンピュータリテラシー」、共立出版(2014年3月)。
- [4] 加藤潔、「Excel 環境における Visual Basic プログラミング」第3版、共立出版(2013年11月)。