

仮想化デスクトップによる e ラーニングシステムにおける 通信品質が与える影響について

中澤真* 小泉大城** 近藤知子† 梅澤克之‡ 平澤茂一**

The Influence of QoS on e-Learning under the Virtual Desktop Infrastructure

M.Nakazawa* D.Koizumi** T.Kondo† K.Umezawa‡ S.Hirasawa**

Abstract: The usability of the e-Learning under the virtual desktop infrastructure of the cloud computing environment is considered. The influence of Quality of Service on the usability is evaluated by means of a network emulator.

Keywords: e-Learning, Virtual Desktop Infrastructure, Desktop as a Service (DaaS), Cloud Computing, Quality of Service (QoS)

1. はじめに

サーバ上のデスクトップ環境をネットワーク経由で遠隔操作することを可能にするクラウド技術の一つ仮想化デスクトップサービス (DaaS¹) がビジネス分野で普及しつつある[1]. 一般的にクラウドサービスのメリットとしてはコスト, アジリティ, スケーラビリティ, セキュリティなどの点が強調されることが多いが, 仮想化デスクトップの場合はこれらに加えて, 時と場所を選ばずに常に同じ作業環境をユーザに提供できることが挙げられる. これは教育分野で仮想化デスクトップを利用する場合にも大きなメリットとなり, 学習者にいつでも, どこでも同じ学習環境を提供することが可能になる. とくに, 学習や作業を中断しても異なる端末から同じ状態で再開できるため, すきま時間を利用した学習にも適している点, 学習者が作成したデータを集約して扱える点, PC やスマートフォンといった端末環境に左右されることなく共通のアプリケーションソフトウェアが利用できる点など, e ラーニング環境を構築するのに適した利点を数多く持っている. 実際, 大学の演習室環境に仮想化デスクトップを導入する事例も増えつつあり, 佐賀大や東京農工大の活用例が報告されている[2][3].

しかしながら, 仮想化デスクトップ技術にもまだ多くの課題が残されている. その一つとして, サーバ側で構築された仮想化デスクトップ環境の画面を画面転送プロトコルによって転送するため, 通信環

境によって操作性や画面表示の品質が大きく左右されてしまうことが挙げられる[4][5]. このため, 仮想化デスクトップ技術を用いた e ラーニングシステム構築のためには, 必要な要素技術や性能などの要件を明確にする必要がある.

そこで本研究では, 仮想化デスクトップを用いて e ラーニングに取り組む場合の操作性と通信品質との関係を明らかにするため, ネットワークエミュレータを用いて実証実験を行った. この実証実験では端末インターフェースの影響を排除するためにスマートフォンやタブレット型端末を実験対象から外し, 学習者はすべてノート PC から仮想化デスクトップにアクセスすることとした. この条件下で, ノート PC からネットワークエミュレータを経由して仮想化デスクトップにアクセスさせることにより, 様々な通信品質環境を作り出し, それぞれの環境において e ラーニングで想定される PC 操作を学習者に取り組ませた. このときの通信品質が学習環境のユーザビリティに与える影響について, 主観評価および客観評価を用いて考察した.

2. 教育分野と仮想化デスクトップ環境

近年, 多くの高等教育機関においてクラウドコンピューティングの技術[1]を用いて情報基盤を整備する動きが進んでいる[2][3][6]. 可用性の向上と管理・運用効率の改善に大きな効果を発揮することから, 学務・教務システムだけでなく学生が利用する演習室環境にもこの技術が活用されつつある.

とくに, 仮想化デスクトップ技術を用いて演習室の PC を構成した場合, 省スペース化や消費電力の抑制などに寄与するだけでなく, サーバリソースを運用途中で変更するような柔軟なプロビジョニングも可能になり, 不必要な IT 投資を避けることにもつな

* 会津大学 短期大学部

University of Aizu

** サイバー大学 IT 総合学部

Cyber University

† ソフトバンクテレコム(株)

Softbank Telecom Corp.

‡ (株)日立製作所

Hitachi, Ltd.

¹ Desktop as a Service

がる。また、金銭的成本だけでなく管理コストの削減にも威力を発揮する。従来型のファットクライアントによる演習室では、学生が誤ってあるいは故意にデスクトップ環境を変更してしまうのを防ぎつつ、多様なユーザに対して常に同じ環境を提供するための運用・管理に多大な人的コストが必要であった。これに対して仮想化デスクトップ環境では、サーバ上のリソースを一元的に運用・管理するだけで済み、管理業務の効率化を図ることができる[2]。授業ごとに必要となるアプリケーションソフトやコンピュータリソースが異なる運用についても、図1に示したように仮想化デスクトップ環境をサーバ上で個別に構築するだけで、それぞれの科目特性に応じた学習環境を提供することが可能となる。

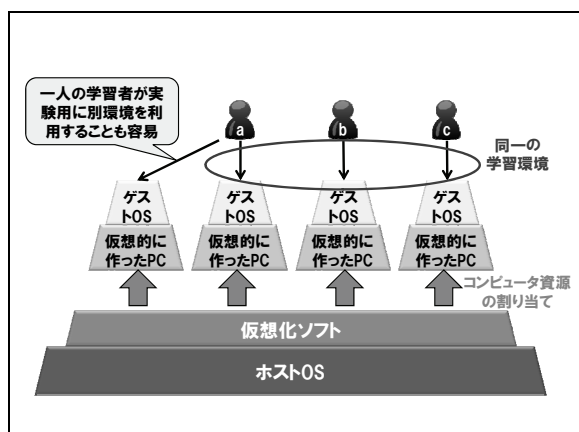


図1: 仮想化デスクトップの概念図

仮想化デスクトップの恩恵は大学構内だけに限定されない。図2に示したように、利用者は演習室に限らず「いつでも・どこからでも」同一のリソースや環境を利用できるようになり、大学演習室と自宅PCのアプリケーションの些細なバージョンの違いで意図通りに動作しないなどの問題からも解放され、学習する時間、場所、端末について多様な選択肢から選ぶことができるようになる。学習や作業を中断しても異なる端末から同じ状態で再開できるため、すきま時間を利用した学習にも適している。さらに、すべての学生が同一のデスクトップ環境で学習・作業をするようになるため、それぞれの学生固有の環境に依存するような質問が無くなり、効率的な学生サポートが可能となる。

しかし、仮想化デスクトップにも課題はある。VDI²とよばれる標準的な仮想化デスクトップ方式では[7]、サーバからクライアント端末側に表示すべきデスクトップの画面を圧縮して転送するが、通信環境によって操作性や画面表示の品質に問題が生じてしまうことがある。比較的大きな通信帯域におけるこの問題の検証をした結果が示されているが[5]、自

宅やモバイル環境で利用することを想定すると、より低帯域での影響やパケットの伝送遅延が及ぼす影響なども検討する必要がある。

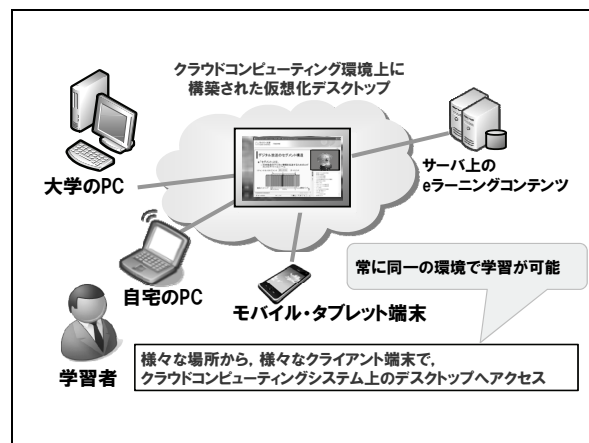


図2: 仮想化デスクトップ環境を用いた学習環境

3. ネットワークエミュレータを用いた実証実験

3.1 実験目的

先に述べたように仮想化デスクトップは通信環境によって操作性などの問題が生じる。これはeラーニング環境を仮想化デスクトップで実現する場合にも共通の課題である。そこで、仮想化デスクトップを用いてeラーニングに取り組む場合の操作性と通信品質との関係を明らかにするため、ネットワークエミュレータを用いて実証実験を行った。

3.2 実験方法

仮想化デスクトップ環境を選定する上で重要なのは画面転送プロトコルである。このプロトコルとしては米MicrosoftのRDP³や米Citrix SystemsのICA⁴など複数存在するが、低帯域な環境ではICAが優れた性能を発揮すると報告されている[5]。そこで本稿ではICAプロトコルを使用しているCitrix Systems JapanのXenDesktop⁵およびXenServer⁶により構築された仮想化デスクトップ環境を用いることとした。また、クライアント端末としては機器固有の操作性の影響を排除するために、スマートフォンやタブレット型端末を実験対象から外し、被験者はすべてノートPCから仮想化デスクトップにアクセスすることとした。

図3に示したように、ネットワークエミュレータとなるPCにはNICを2枚挿し、被験者の使用するPCと直接Ethernetケーブルで接続することにより、クライアント端末からネットワークエミュレータを経由して仮想化デスクトップにアクセスするように

³ Remote Desktop Protocol

⁴ Independent Computing Architecture

⁵ <http://www.citrix.co.jp/products/xenserver/>

⁶ <http://www.citrix.co.jp/products/xendesktop/>

² Virtual Desktop Infrastructure

した．ネットワークエミュレータソフトウェアとして今回使用したのはオープンソースの wlinee⁷である．このソフトウェアのパラメータを設定することにより，様々な通信品質環境を作り出している．

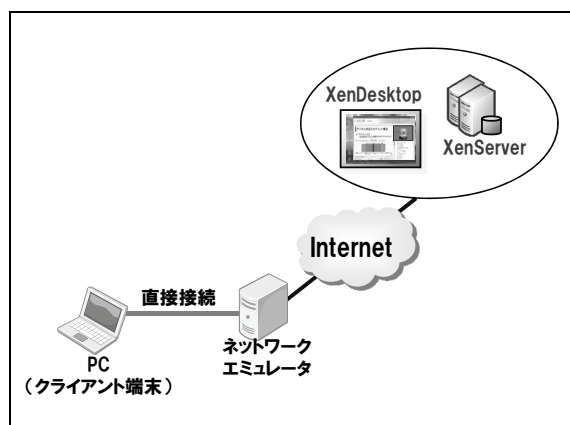


図3: 実証実験の構成図

ここで問題となるのが Internet 部分の通信環境であるが，往復の伝送遅延時間については 1000 バイトの ping 送信により推定し，通信帯域については FTP によるスループットから推定した．その結果，実験期間を通して安定した測定値が得られ，往復の伝送遅延時間は 40ms，通信帯域については 2200kbps という結果が得られた．本稿ではサーバとクライアント端末間の伝送遅延時間としては，この 40ms とネットワークエミュレータの遅延時間設定値を合計したものをを用いることとし，通信帯域については最大を 2200kbps としてネットワークエミュレータ部分で帯域制限した設定値をそのまま全体の通信帯域として用いた．

ネットワークエミュレータで作り出した通信帯域や伝送遅延時間の異なる通信品質ごとに，8 人の被験者は仮想化デスクトップ環境を用いた学習時に想定される PC 上の操作を行う．この実証実験で被験者に取り組ませた操作は以下の通りである．

- タイピングソフトを用いた平仮名入力
- Word を用いた文書作成
- PowerPoint を用いた作図
- Web 上のフォーム入力
- Web 上の音声再生
- Web 上の音声付動画再生
- Web 上の e ラーニングコンテンツの学習

被験者の操作に対し，客観評価として実際に要した作業時間の平均値を評価項目として用いることとし，主観評価には操作感・使用感について被験者が

5 段階評価⁸で回答した結果の平均値を用いることとした．この結果に基づき通信環境が仮想化デスクトップ上のユーザビリティに与える影響について考察する．

3.3 実験結果

まず，レポート作成などに欠かせない文書作成に関する操作が通信環境によってどのように影響を受けるのか実験した結果を示す．図4，図5は仮想化デスクトップ環境下でタイピングソフトによる平仮名入力をしたときの文字入力速度を示したグラフである．それぞれの通信環境に対し，1 分間に入力できた文字数を評価基準として用いている．ここで，Non-DaaS とは仮想化デスクトップを用いずに，ファットクライアント上で直接 PC を操作した場合の結果を意味する．また，それぞれの被験者は一つの通信環境下で 2 回ずつタイピングに取り組み，それらすべての平均値をグラフ上にプロットしている．

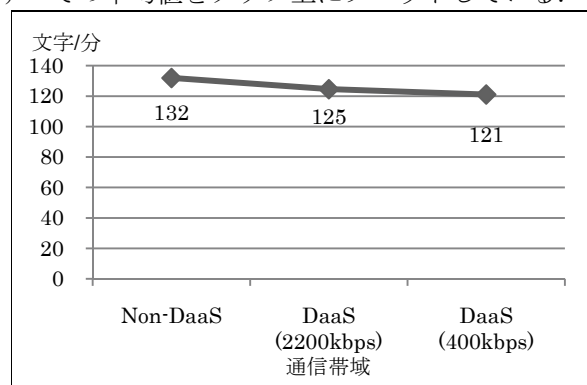


図4: 通信帯域が平仮名入力作業に及ぼす影響

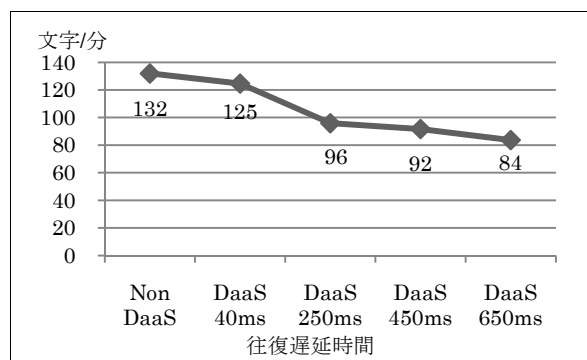


図5: 伝送遅延が平仮名入力作業に及ぼす影響

一方，タイピングソフトではなく，Word 上であらかじめ決められた日本語文章を 1 分間でどれだけ入力できるか測定した結果が図6，図7である．定型文は「情報処理 2011 年 9 月号」の記事より，漢字変換が難しい固有名詞が含まれている文章，数字や記号が多く登場する文章を除外して選択した．この実験でも被験者が同一の通信環境下で 2 回ずつ試行した平均値を結果として用いている．

⁷ <http://hata.cc/docs/wlinee/1.html>

⁸ 最高点を 5 とする．

また、図8、図9は同じ操作について、被験者が操作感・使用感について5段階評価で回答した主観評価を示した結果である。グラフに示した値は被験者全員の平均値となっている。

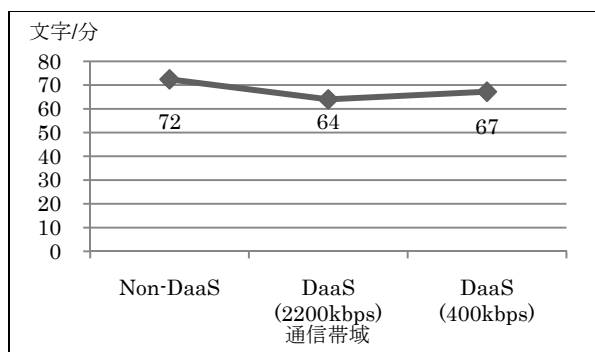


図6:通信帯域が漢字入力作業に及ぼす影響

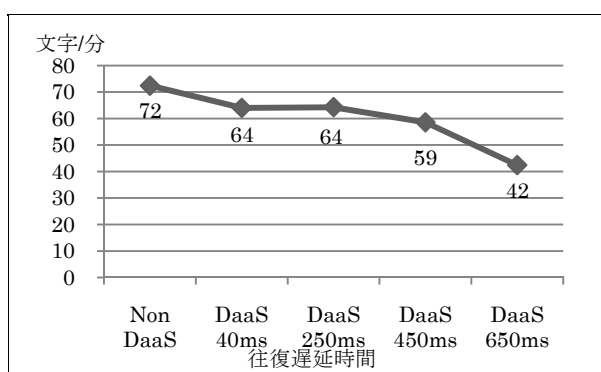


図7:伝送遅延が漢字入力作業に及ぼす影響

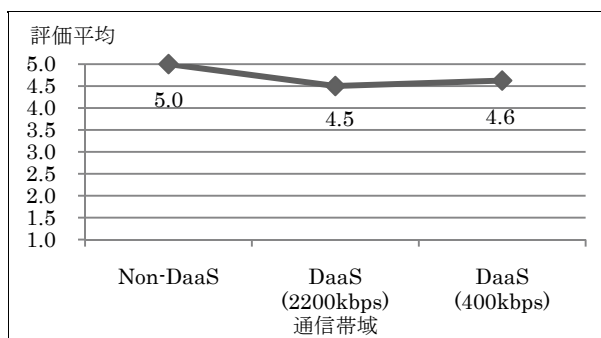


図8:通信帯域が文書作成作業に及ぼす影響

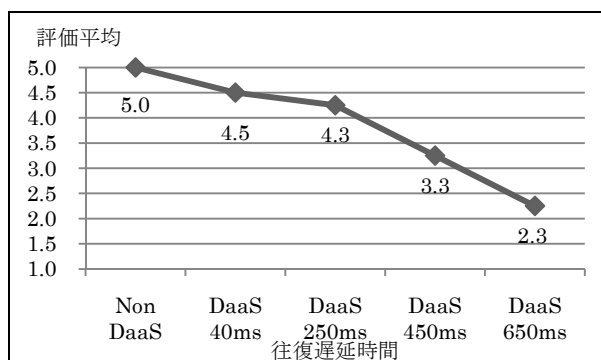


図9:伝送遅延が文書作成作業に及ぼす影響

次に、実証実験した操作はPowerPointによる作図である。文書作成がキーボードを中心とした操作であるのに対し、作図はマウス操作が中心の作業となる。ここではPowerPoint2007を用いて、グリッド線に合わせて12個の正方形を指定の位置に描く操作を被験者に取り組ませた。この結果を図10、図11に示す。縦軸の作業時間は12個の正方形を描き終わるまでの時間を秒数で示したものである。ただし、通信環境によってはかなりの作業時間を要するため、一つの通信環境における試行回数は1回のみとした。図12、図13はこの実験を主観評価した結果を示したものである。

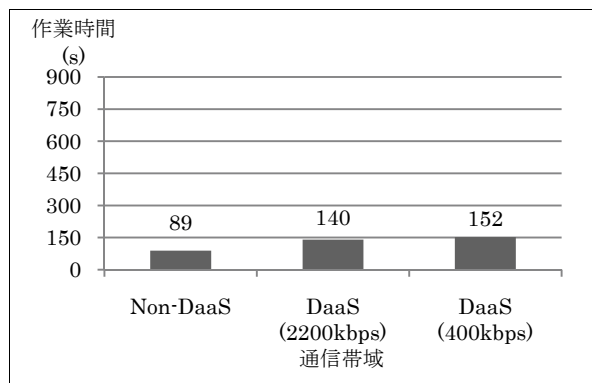


図10:通信帯域が作図作業時間作業に及ぼす影響

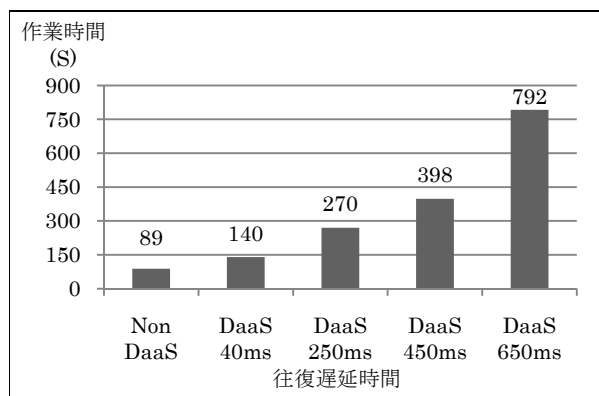


図11:伝送遅延が作図作業時間に及ぼす影響

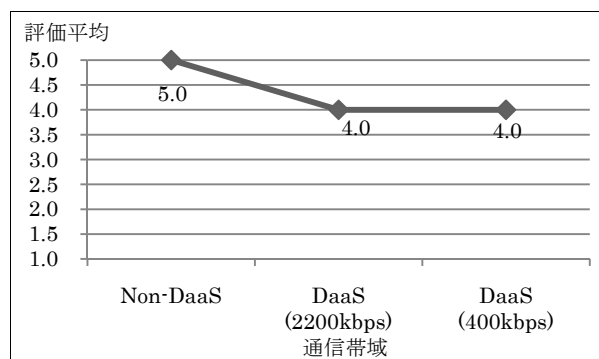


図12:通信帯域がPPT使用に及ぼす影響

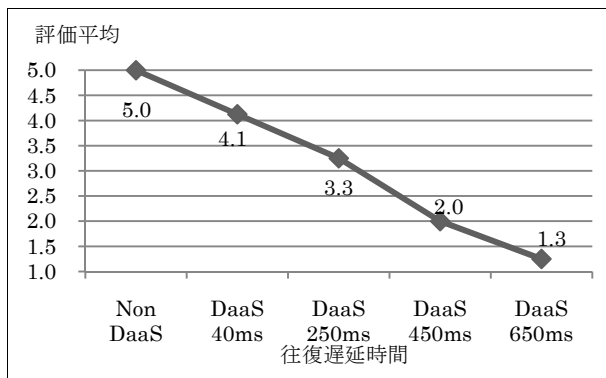


図13: 伝送遅延がPPT使用に及ぼす影響

ここまで示してきた文書作成や作図に関する評価結果は、学習者がレポートなどの制作物に仮想化デスクトップ環境上で取り組むことを想定したものであった。そこで今度は、教材などのコンテンツを学習者が視聴することを想定し、ブラウザ上の操作に関する結果を示す。これはeラーニングのシステムがWBT⁹として構築されているものが多いことによる。まず、小テストの選択式問題に取り組むことを想定し、5択のラジオボタンを12セット用意し、それぞれ指定されたラジオボタンをすべて選択するのに要した作業時間を客観評価として測定した。各被験者は通信環境ごとに2回ずつ試行し、これらを平均した結果を図14、図15に示す。

続いて、動きのある教材の視聴ということを想定し、音声の再生環境についてはNHKラジオニュースのサイト¹⁰を用いて、動画再生環境についてはYouTube¹¹およびTBS Newsi¹²のサイト用いて主観評価してもらった。すべての被験者の評価を平均化した結果が図16、図17、図18である。動画再生については、伝送遅延時間を増やすとまったく視聴に堪えなかったため、通信帯域に関する結果のみを示している。

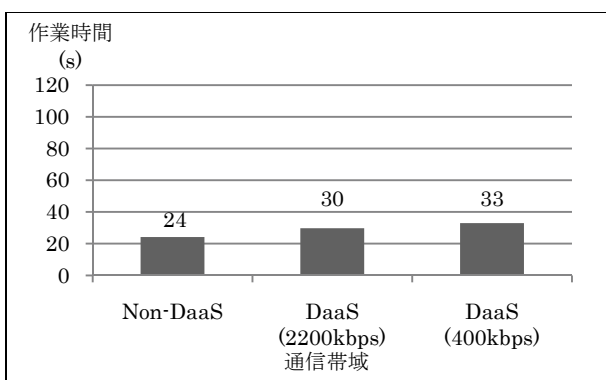


図14: 通信帯域がWeb入力操作に及ぼす影響

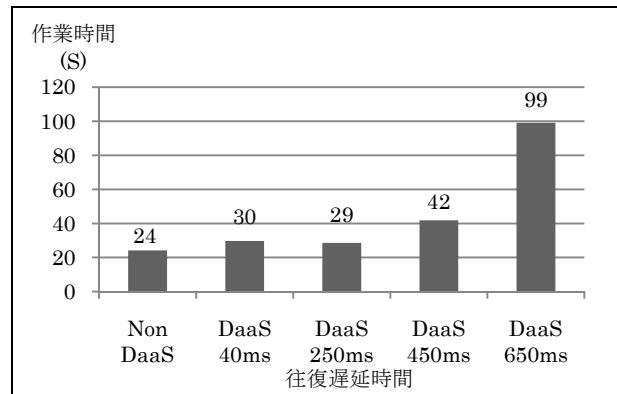


図15: 伝送遅延がWeb入力操作に及ぼす影響

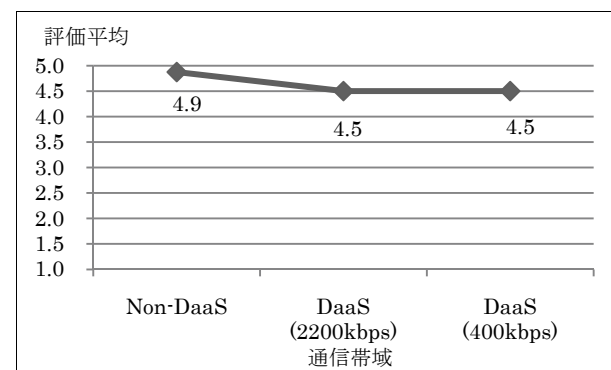


図16: 通信帯域がWeb上の音声再生に及ぼす影響

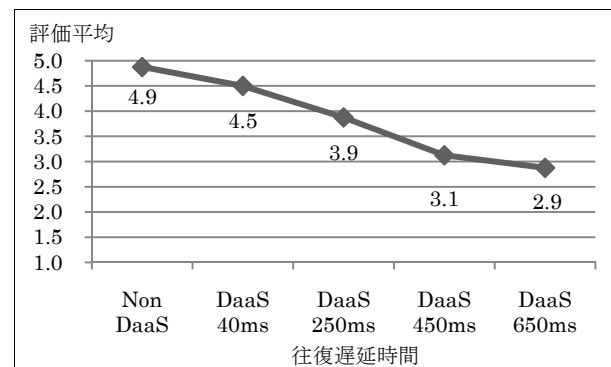


図17: 伝送遅延がWeb上の音声再生に及ぼす影響

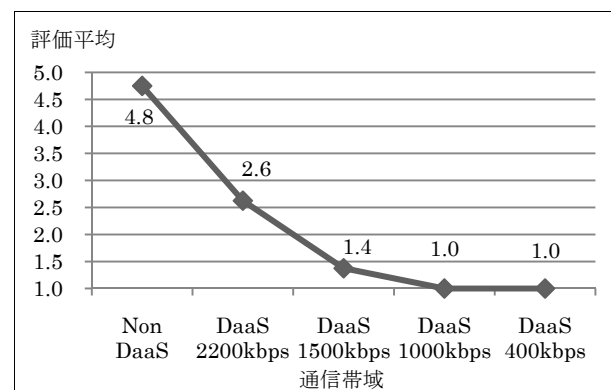


図18: 通信帯域がWeb上の動画再生に及ぼす影響

⁹ Web-based Training

¹⁰ <http://www.nhk.or.jp/r-news/>

¹¹ <http://www.youtube.com/>

¹² <http://news.tbs.co.jp/>

最後に、仮想化デスクトップ環境上で実際のWBTを用いた学習に取り組んだ場合の主観評価の結果について示す。図19、図20は科学技術振興機構が提供するWebラーニングプラザ¹³による学習をした場合の結果である。このサイトのWeb教材は、Flashベースの音声とスライドアニメーションで構成されており、選択式の自己診断テストも実装されている。一方、図21、図22はアルク教育社が提供するNetAcademy²¹⁴の体験版による英語学習をした場合の結果である。FlashベースのWeb教材である点は共通だが、同じ単語を繰り返して聞くなど、Webラーニングプラザよりもインタラクティブなマウス操作を多く必要とする構成となっている。

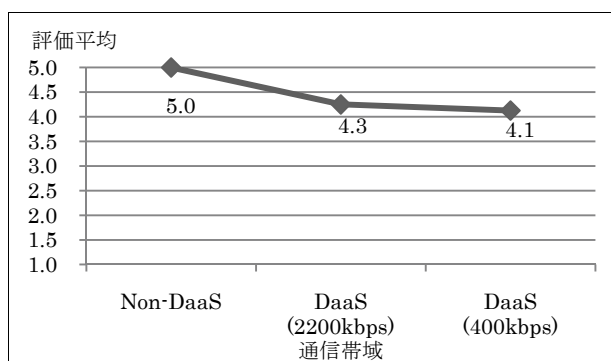


図19: 通信帯域がWBTを用いた学習に及ぼす影響I

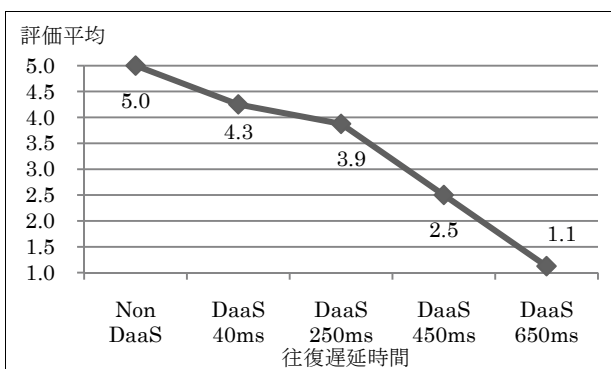


図20: 遅延時間がWBTを用いた学習に及ぼす影響I

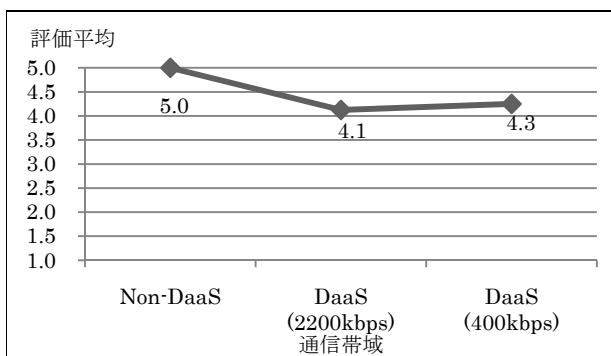


図21: 通信帯域がWBTを用いた学習に及ぼす影響II

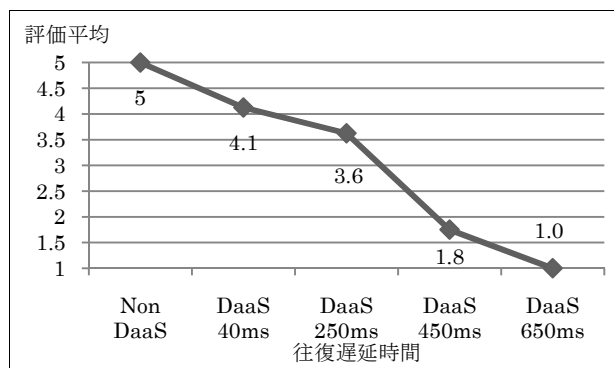


図22: 遅延時間がWBTを用いた学習に及ぼす影響II

4. 考察

まず、通信環境が仮想化デスクトップの文書作成作業に与える影響についてだが、図4～図8の結果を見ると通信帯域を400kbps程度に制限しても客観評価、主観評価ともにほとんど影響がないことがわかる。文字入力作業ではデスクトップ画面上で変化する部分が少ないため、差分情報を用いて画面の情報を転送しているICAプロトコルでは消費帯域をかなり小さくできることが理由として考えられる。一方、伝送遅延時間の増大はキーボード入力した文字をディスプレイに表示させるという応答性に直接影響を及ぼすため、遅延時間の増大とともに文字の入力速度の低下を招き、利用者の操作感も悪くなってしまうのであろう。

平仮名入力の場合、入力文字が画面に反映される前であっても、キーボードをタイピングすればキーバッファに蓄えられるため、ある程度の応答性の悪さは許容できることになるが、漢字入力作業の場合は漢字変換をして候補語を選択する作業が発生するため、リアルタイムのインタラクティブ性が強く求められる。このため、漢字入力が必要となる一般的な文書作成作業のほうが、遅延時間に対して強い影響を受けることになる(図5、図7)。とくに、携帯電話の3G回線においても起こりえる伝送遅延時間が650msを超えるような通信環境となると、操作性がかなり悪くなってしまうことが図9のデータに示されており、学習スタイルを検討する際の大きな課題となるだろう。

次にマウス操作を中心とした作図操作の場合であるが、通信帯域がそれほど影響しないのは文字入力と同様であることが図10、図12から明らかである。これに対し、伝送遅延の影響は文字入力よりも強く受けてしまうことが図9と図13を比較することでわかる。これは図11に示した作業時間による客観評価でも、文字入力ではあまり影響が現れなかった往復遅延時間250msの通信環境において既に影響が生じていることから裏付けられる。作図のようなポイントの微妙な位置決めが必要となる操作は、ポイントの追従性が重要であり、このため伝送遅延の影響

¹³ <http://weblearningplaza.jst.go.jp/>

¹⁴ <http://www.alc-education.co.jp/academic/net/>

をより受けやすいのだと考えられる。また、マウス操作の中では比較的単純なラジオボタンの選択のようなものであっても、リアルタイムでポインタが追従することは求められるため、往復遅延時間が450ms程度の通信環境でも作業時間は仮想化デスクトップ環境を使っていない場合の2倍近くかかってしまっている(図15)このことから、マウス操作を必要とする作業は400msを超えるような通信環境には適さないといえる。

では、学習者が教材の視聴をするような場合はどうか。音声だけであれば400kbps程度の帯域だけで十分快適に再生可能であることが図16から示されている。遅延時間についても応答性をそれほど必要としないため、比較的大きな遅延であっても許容できるという結果が図17のデータから得られた。

一方、データサイズが大きい動画コンテンツの再生では、これまでの他の操作と異なり通信帯域の影響を強く受ける結果となり、2Mbps程度の帯域では視聴に耐えられるレベルに到達しないことが図18から明らかとなった。当然、解像度が小さく、授業をしている教員の肖像だけが表示されるような変化の少ない動画であれば、改善される可能性はあるため、通信環境に応じた動画コンテンツを考える必要がある。

最後に仮想化デスクトップ環境上で実際のWBTを用いた学習をした場合について考察する。今回対象とした二つのサイトは、教員の肖像などの動画コンテンツを含まないため、図19、図21に示したように通信帯域による影響をあまり受けなかった。スライドにはアニメーションが組み込まれているものもあったが、この程度の画面の変化だと帯域を大きく消費することなく通信できることが確認できた。図20、図22の主観評価において、往復遅延時間が450msを超えたあたりから評価が大きく下がる要因となったのは、音声やアニメーションの再生ではなく、マウス操作のユーザビリティの低下である。とくに、NetAcademy2の教材はインタラクティブな操作を多く必要とするゲーム的なインターフェースとなっているため、逆にそれが災いして遅延が大きい通信環境での操作性を下げることになってしまったと考えられる。

通信環境の制約が大きいモバイル向けのeラーニングシステムを構築する場合、マウス操作などのインターフェースや学習方法について十分検討する必要があるだろう。

5. おわりに

本稿では、仮想化デスクトップを用いてeラーニングに取り組む場合の操作性と通信品質との関係を明らかにするため、ネットワークエミュレータを用いて実証実験を行った。対象とした操作は文書作成、作図、コンテンツの視聴などであるが、それぞれの

操作特性によって影響を受ける通信品質の条件が異なることを明確に示した。リアルタイムの応答性をあまり必要としない操作であれば、3G回線において生じる伝送遅延が大きな通信環境であっても比較的安定して利用が可能である。逆に言うと、このような通信環境ではレポート作成などの編集作業は難しく、スライドコンテンツの視聴などに限定されることになるだろう。また、通信帯域が400kbps以上あり、往復の伝送遅延時間が250ms以下の環境であれば、動画再生を除くほとんどの学習に関わる操作が可能となることも明らかとなった。仮想化デスクトップのサーバまでのネットワーク経路にも左右されるが、国内に設置されたサーバであれば一般の家庭のADSL回線程度で条件を満たすことができる通信環境といえるだろう。

今後はモバイル利用を意識して、Wi-Fiのホットスポットなど現実の通信環境を考慮した形で測定データを整理していく必要があるだろう。また、通信帯域や伝送遅延だけでなくパケットロスやジッタなど他の通信パラメータが与える影響、さらにはクライアント端末側の端末の種類やOSの種類が、仮想化デスクトップ環境下のeラーニングに与える影響についての実証実験を展開する予定である。

謝辞

本研究の一部は、独立行政法人日本学術振興会学術研究助成基金助成金(基盤研究(C)、課題番号:23501178)の助成による。

参考文献

- [1] 日経BP社出版局編著,「クラウド大全サービス詳細から基盤技術まで(第2版)」,日経BP社,2010年。
- [2] 只木進一,田中芳雄 他,“仮想デスクトップ・画面転送型シンクライアントによる演習室端末システム”,情報処理学会研究報告, IOT-11, No. 3, pp. 1-5, 2010
- [3] 瀬川大勝,辻澤隆彦,辰己丈夫“仮想化技術を用いたサーバ集約と演習端末室の構築”,学術情報処理研究, No. 15, pp. 134-141, 2011
- [4] 清野克行,「仮想化の基本と技術」,翔泳社,2011
- [5] 日経BP編,「すべてわかる仮想化大全2011」,日経BP社,2010
- [6] クラウドコンピューティング研究会,「クラウドコンピューティング全面適用のインパクト」,静岡学術出版,2010
- [7] 手嶋透,“仮想デスクトップ環境(VDI)”,日経SYSTEMS 2010.6, pp. 76-81, 2010