

学校間ネットワーク上に構築した 遠隔教育支援システムの接続手法の提案とその評価

鈴木 新一^{1,a)} 水越 一貴² 深澤 昌志² 八代 一浩³ 鳥養 映子¹

受付日 2012年6月28日, 採録日 2012年12月7日

概要: 遠隔日本語教育を支援するツールとして, HTML5 技術を用いて, 教師と児童の間でホワイトボード機能, 画像提示機能, 文字提示機能を持つシステム (edutab) を開発した. しかしながら, このシステムを実際に実現するためには, 学校のネットワークがインターネットへの接続に制限を持っているため, 技術的な課題がある. これらの問題を解決するために, 本論文では, HTTP トンネル技術を用いて, アプリケーション層で透過的なネットワークを構築し, その階層にリフレクタ (Reflector) と呼ぶ, 通信制御サーバを導入する. このリフレクタにいくつかの機能を持たせることにより, 多様な通信を可能とさせる接続モデルを提案する. これにより, 異なるネットワークポリシーを持つ小学校間のネットワークをアプリケーションレベルで透過的に接続し, 通信が行えるネットワークを構築できる. 本論文では, 本接続モデルに基づいて, 実ネットワーク上に構築した edutab システムを紹介するとともに, このシステムを用いた評価実験の結果から, 本接続モデルの有効性を示す.

キーワード: 透過型接続モデル, 学校間ネットワーク, 遠隔教育支援, edutab

A Proposal of Connection Method and Evaluation of a Distance Learning Support System Built on the Network between Schools

SHINNICHI SUZUKI^{1,a)} KAZUTAKA MIZUKOSHI² MASASHI FUKASAWA²
KAZUHIRO YATSUSHIRO³ EIKO TORIKAI¹

Received: June 28, 2012, Accepted: December 7, 2012

Abstract: We developed edutab system that has white board function, image transfer function and character transfer function with HTML5 technologies as a support tool for distance Japanese education. However, there are some technical problems to implement it in real network environment. Because the network environment of schools have some restrictions to connect the Internet. To solve these problems, we build a transparent network over the application layer with HTTP tunneling technologies. And then a communication control server that is called reflector is introduced on the transparent network. The reflector can provide diverse communication with users policies. This connection model we propose realizes transparent connection between networks that have different policy in application level. This paper introduces the edutab system that is implemented with this model and shows the effectiveness of this method with evaluation experiments.

Keywords: transparent connectios system, network between schools, learning support system, edutab

¹ 山梨大学大学院医学工学総合教育部
Interdisciplinary Graduate School of Medical and Engineering,
University of Yamanashi, Kofu, Yamanashi 400-8510,
Japan

² 株式会社デジタルアライアンス
Digital Alliance Co., Ltd., Kofu, Yamanashi 400-0024,
Japan

³ 山梨県立大学国際政策学部
Faculty of International Studies, Yamanashi Prefectural Uni-
versity, Kofu, Yamanashi 400-0035, Japan

a) shin@digital-all.jp

1. はじめに

近年、日本の外国人住民の数は急増し、およそ 200 万人に達している [1]。日本語指導の必要な児童生徒数は平成 22 年度末の時点で 28,511 人にもものほり、過去 10 年で約 1 万人増加している。一方で、彼らが在籍する学校のうち 77.1%にあたる 4,953 校では、日本語指導が必要な外国人児童生徒の人数が学内で 4 名以下という状況にある [2]。つまり、日本語指導が必要な児童は 1 校あたりにはさほど多くなく、多くの学校に散在している点に問題がある。この問題を解決するために、たとえば甲府市ではセンター校と呼ばれる比較的外国人児童が多く通う小学校に日本語教師を配置し、他の小学校へはこの日本語教師が巡回指導を行っている。しかしながら、巡回する距離が長いと教師の移動時間が長くなり、指導時間や巡回回数に影響が生じる。

このような社会的な背景の中で、遠隔日本語教育が求められている。遠隔日本語教育システムを導入することにより、たとえば、巡回指導の一部を遠隔授業に置き換えて実施したり、日本語教員のいない学校から遠隔の日本語教師に必要に応じて指導を受けたりすることができる。また、正規の日本語教師による授業と授業の間にボランティアによる補習授業を遠隔から実施することもできる [3]。

そこで、我々は少人数の遠隔教育においてタブレット端末を用いて、教師とそれぞれの児童との間で様々なコミュニケーションを行うための遠隔教育支援システム (edutab) を開発し、模擬授業を行いその効果について検証を行った [4], [5]。edutab は教師とそれぞれの児童との間で、ホワイトボード機能、画像提示機能、文字提示機能を持つシステムである。

しかしながら、edutab を実際の現場において利用するためには小中学校間のネットワークを利用してシステムを構築する必要がある。通常、小中学校ではネットワーク間にファイヤウォールなどが存在しており、一般的な client-server 方式のシステムを構築するのが困難である。

そこで、本論文では、HTTP トンネル技術を用いて、アプリケーション層で透過的なネットワークを構築し、その階層にリフレクタ (Reflector) と呼ぶ、通信制御サーバを導入する。このリフレクタにいくつかの機能を持たせることにより、多様な通信を可能とさせる接続モデルを提案する。次にこの接続モデルに基づいてネットワークシステムの実装を行う。そして実装したネットワークシステム上に構築した edutab システムを用いて評価実験を行い、本接続モデルの有効性を示す。

以下、2 章では、edutab について紹介を行う。3 章では edutab のような client-server 型のシステムを実環境に構築する場合の課題について示す。4 章ではこの課題を解決するための接続モデルを提案する。5 章では接続モデルを実現する通信方法の詳細について述べる。6 章では提案に

基づいて実装したシステムについて示す。7 章は実装したシステム上で行った評価実験について述べ、本システムの有効性を示す。8 章はまとめである。

2. edutab について

edutab は遠隔日本語教育において、小学生の利用を想定した教育支援ツールである。利用形態としては、遠隔の教師 1 名と複数の学習者 (10 名以下) が遠隔にいて、TV 会議システムを利用して遠隔日本語授業を行うことを想定している。TV 会議システムを利用することにより、教師と学習者の間で聞いたり、話したりすることは容易に行える。読み書きについては、TV 会議システムではホワイトボード機能があり、これを利用して読み書きをするのが一般的である。また、これ以外にも e-learning システム [6], [7] の中でも会話をしながらインタラクティブな読み書きを行えるシステムがある。しかしながら、遠隔の学習者が日本語の読めない小学生のような場合には、PC を起動してアプリケーションを起動し、日本語キーボードやマウスを利用して操作を行うことは困難がある。そこで、小学生でも利用でき、さらに遠隔の教師から教材提示が行え、学習者の学習過程を観察するための教育支援ツールとして edutab を開発した。

開発した edutab は、ホワイトボード機能、画像提示機能、文字提示機能を持っている。教師は PC を、学習者はタブレット端末を持ち、ブラウザを通じて通信が行える。教師からは、学習者のブラウザ上に画像や文字を送信し、教材として提示することができる。学習者と教師の間ではホワイトボード機能を用いて、情報の共有が行える。さらに教師側では各学習者の様子をリアルタイムで表示することができるため、それぞれの学習者の学習過程を観察することができる。実際に利用した際の学習者側の画面を図 1 に、教師側の画面を図 2 に示す。

ここで、黒字の文字 (ワイン) は学習者側からの書き込みで、赤字は教師側が訂正を加えたことを示している。ホ

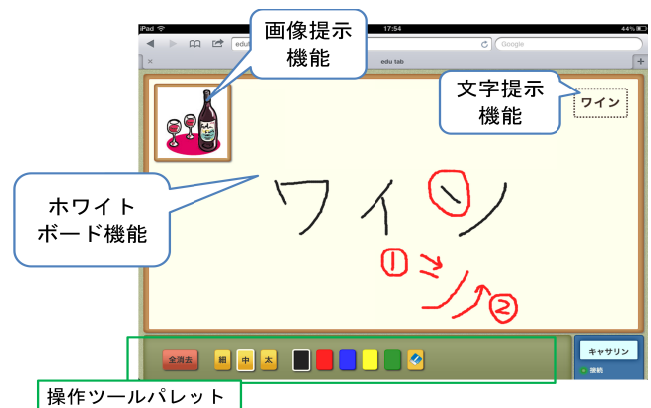


図 1 学習者の画面

Fig. 1 Learner's display.

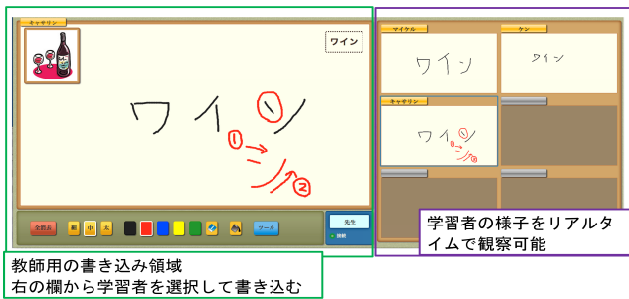


図 2 教師の画面

Fig. 2 Teacher's display.

ホワイトボード機能によって書き順などを教師が観察するためには、リアルタイム通信が要求される。そこで、edutabでは利用者の mouse イベントを取得し mousedown から mouseup が検出されるまで mousemove イベントが発生するごとに座標間を結ぶ線を描画している。

具体的には、表示座標の上から下まで直線を書くと、1回の mousedown, mouseup イベントが発生し、123回の mousemove イベントが発生した。当然、マウスを動かす速度により mousemove イベントの発生回数は変化する。現在は、このイベント情報をテキストとして、圧縮などをせずに、下記のような形式で相手側に送っている。

```
{type: "mousemove", target: "canvas", X:564, Y:304}
```

この場合は、mousemove イベントが発生したので、canvas に対して元の座標から X 座標が 564, Y 座標が 304 への線を描画するという情報になる。

イベント情報を取得した相手側のブラウザではこの情報に基づき、ただちに描画を行い、リアルタイム性を確保する。その際に学習者と教師が同時に書き込みを行ったとしても、どちらかの書き込みをブロックすることなく描画が行える。

このような機能を実現するシステムとして、たとえば GAMBIT [8] がある。GAMBIT はブラウザを使って複数の利用者が互いのブラウザに書いた内容 (スケッチ) を大きな画面に並べて表示し、比較することができる。一方で本システムのようにそれぞれの学習者の画面に教師が書き込みをしたり、画像やテキストなどを送り出したりする機能は有していない。

3. 構築上の課題

利用形態として edutab は client-server モデルを用いて複数ノードを相互接続し、教師が離れた場所の学習者に授業を行うことを想定している。

一般的な小中学校におけるネットワークでは、個別の小中学校がインターネットへ接続することはなく、1度教育行政機関である教育委員会などに集約して、そこからインターネット接続を行っていることが多い。小学校と教育委員会を結ぶ回線は地方自治体が管理する地域イントラネッ

トや ISP 事業者が提供する回線など、様々な接続形態がある。教育委員会からインターネットへの接続ではそれぞれの教育委員会が定めるネットワークポリシーに従って運用されている。

このような環境下で教育委員会が異なる小中学校のネットワークを相互接続したシステムを構築するうえでは下記のような課題がある。

- (1) 学校の PC に新しいアプリケーションをインストールすることが困難である。
- (2) NAT (Network Address Transfer), ファイアウォールが使われており、外部のサーバと直接接続するアプリケーションの導入が困難である。
- (3) コンテンツフィルタによって利用できるサイトが制限されている。

上記の方法を解決する方法として、OSI 参照モデルの物理層で相互接続し、持ち込みの PC を利用して運用する方法がある。たとえば専用回線や携帯電話回線など、既存のネットワークとは別に回線を用意して接続を行う方法である [9], [10]。独自にネットワークを構築できることから自由度は高く、回線品質もある程度は制御できる。この方法は一時的に学校間を接続して実験を行う場合によく使われる方法である。しかしながら、この方法を恒常的に利用することはネットワークポリシーに従わないネットワークや PC を学校で利用することになり、セキュリティ面から問題がある。

データリンク層を使って VPN (Virtual Private Network) を用いた接続方法がある [11], [12]。学校内部、遠隔地の教師、サーバの間を VPN ルータを設置し、その間を接続する方法である。この方法は複数拠点を 1つのプライベートネットワーク内に収容することができるため容易に行える。しかしながら、あらかじめ利用する拠点が想定できる場合には有効であるが、想定できない場合には利用することができない。また、VPN の設置そのものがネットワークポリシーに違反する場合、設置が困難である。

アプリケーション層で接続を行う方法がある。たとえば Skype [13], [14] の通信はログインサーバで利用者にログインをさせた後、スーパーノードが通信の中継を行い、利用者間の通信をピアツーピア形式で実現している。この方式は上記の問題を解決するうえで有効な手法である。また、学校間を接続した活動にもよく使われている方法であり、数々の実績がある。しかしながら、共有するスーパーノードの利用状況などによって品質が左右されるため、授業の中で利用するには危険度が高いという問題もある [15]。

Skype 以外にも、Apple 社の Facetime [16] や、Web 会議システム [17] など数多くのシステムが存在する。Web 会議システムは基本的に通信プロトコルとして HTTP を用いているため HTTP トンネル技術を用いると接続を行うことが可能である。しかしながら、これらのシステムは

それぞれの目的（会議など）に基づいて作られており，通信部分とアプリケーション部分が分離されていない．そのため，APIが公開されておらず，利用者がこれらのシステムの上に遠隔教育支援ツールなどのアプリケーションを作成することができない．また，仮にAPIが公開されたとしても，それらのシステムに依存したアドインとしてアプリケーションを構築することになる．そのためサーバの配置，ネットワーク構成，通信方式，プログラミング言語の選択などを自由に行うことができない．

4. 提案モデル

3章で示した問題を解決する接続手法として図3に示す接続モデルを提案する．

HTTP，セッションコントローラ（Session Controller），リフレクタ（Reflector）の各サーバを用意し，利用者の近傍にあるデータセンタに配置する．そして，教師と学習者のいる学校とデータセンタの間を広帯域でかつ遅延の少ない高速回線を使って接続を行う．各種サーバは各市町村教育委員会のネットワークポリシーに影響を受けないデータセンタに配置をする．

この回線上での通信プロトコルにはHTTP（Hyper Text Transfer Protocol）を用いる．HTTPであれば，多くのOSで標準としてブラウザが付属しており，新たなソフトウェアをインストールする必要がなく（1）の問題を解決できるためである．また，各種HTTPトンネル技術を用いるとNATやファイアウォールにおいても影響を受けにくく（2）の問題の解決にもつながる．

利用者はサーバへログインを行い，セッションコントローラによって通信を開始する．ファイアウォールの内側からHTTPサーバへの接続であれば問題は少なく，（2）の問題解決となる．

複数拠点を相互に接続する場合には，それぞれの学校間をメッシュ状に接続する必要がある．しかし，この方法では，毎回複数拠点間の通信を利用前に登録し，コンテンツフィルタやファイアウォールの設定を変更する必要がある．

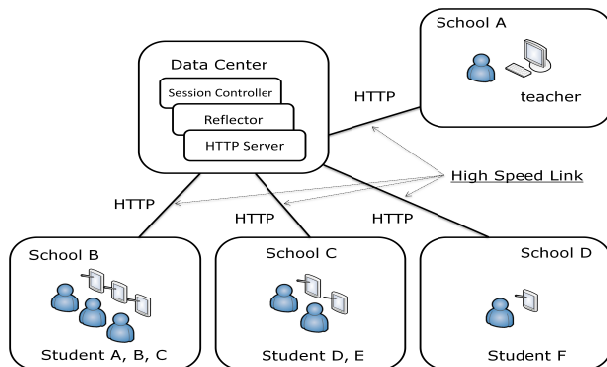


図3 提案する接続モデル

Fig. 3 Proposed connection model.

り，現実的とはいえない．そこで，リフレクタを導入し，接続するサーバを1つに固定する．そしてコンテンツフィルタはこのサーバへのアクセスのみを許可させることにより実現を図る．これにより（3）の課題を解決できる．

5. 通信方法の詳細

ここでは，4章の提案モデルに基づいてWebSocket技術[18]を用いて実装した通信方法について詳細に説明する．

5.1 通信方法

ブラウザA（Browser A）とブラウザB（Browser B）の通信を例に通信方法の詳細を図4に示す．我々の提案する通信方法は，NATなどによりアプリケーションが直接接続できないIP層の上にHTTPトンネル技術を使って，通信が行える環境（HTTP層）を構築する．さらにHTTP層の上にWebSocket技術を用いて仮想的な通信環境（WebSocket層）を構築する．そして，WebSocket層にリフレクタと呼ぶ通信制御サーバを配置し，様々な用途に対応した通信形態を提供するものである．

以下に通信の方法について段階的に説明する．

1. クライアントPC AでブラウザAを起動し，データセンタに配置したHTTPサーバを経由してセッションコントローラに通信開始リクエストを送る．
2. セッションコントローラは通信が可能であればHTTPポートを用いたWebSocket通信へ移行させる．
3. セッションコントローラとブラウザAでWebSocket通信のセッションを開始する．
4. ブラウザAはユーザ情報をWebSocketを通じてリフレクタに送信する．
5. リフレクタは，ブラウザAの情報を登録して，ブラウザAに応答を返す．
6. ブラウザAとリフレクタでの接続が完了し双方向の通

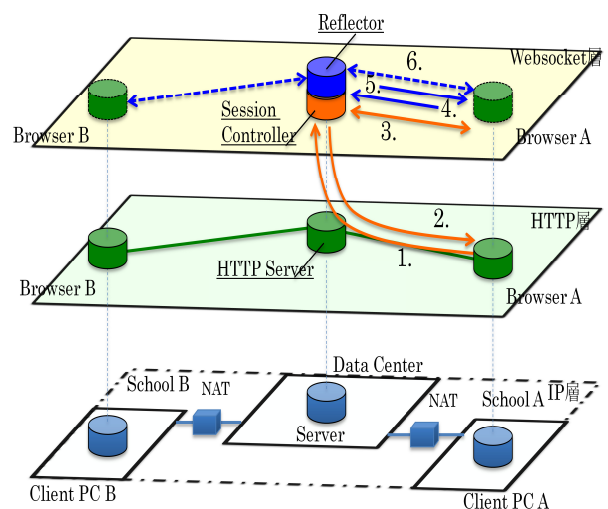


図4 通信の詳細

Fig. 4 Details of communication.

信が行える状態となる。

このようにセッションコントローラが各ブラウザとの WebSocket セッションの維持、管理を行う。リフレクタはセッションコントローラを通じてユーザ情報 (edutab の実装では利用者 ID, セッション ID, 役割) に基づき各ブラウザとの通信の制御を行う。そのうえでリフレクタが通信の制御を行う。セッションコントローラとリフレクタの関係は、ルータの役割と似ている。すなわち、セッションコントローラは経路情報を構築するための設定を行う部分であり、リフレクタは構築された経路情報に基づきパケットの転送を行う転送エンジンである。

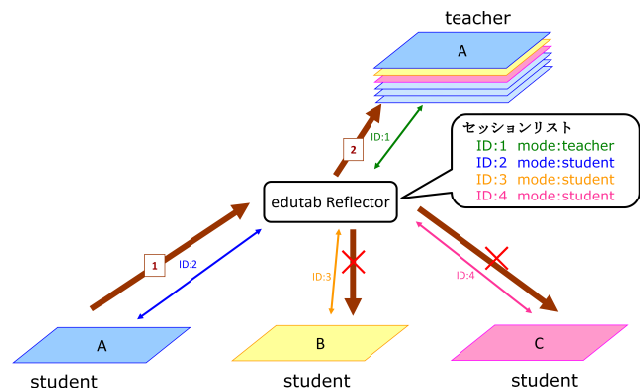


図 5 リフレクタ
Fig. 5 Reflector.

5.2 通信形態

リフレクタには複数のブラウザが接続する。そのときに、どのブラウザにどのような情報を転送するかによって、様々な通信形態を構成することができる。具体的には、ブラウザ A からのメッセージをブラウザ B に送る、また、その逆を行うことにより、ユニキャスト通信が実現できる。

他にも、ブラウザ A からのメッセージをすべてのブラウザに送信するブロードキャスト通信さらに任意のブラウザに送信するマルチキャスト通信などが実現できる。

また、リフレクタにおいて到着したパケットを一端管理し、同期信号に基づいていっせいに送信をする同期通信や最初に入った通信を最初に送り出す非同期通信も実現できる。

さらに、リフレクタにフィルタリング機能などを加えることにより、セキュリティに配慮した通信を行うことができる。

このように、WebSocket 層においてシームレスな通信環境を実現し、リフレクタを導入することにより、様々な通信形態を構成できることが本提案の特徴である。この通信環境では WebSocket が利用できるサーバとクライアント用プログラミング言語が必要となるが、この条件を満たせば任意のアプリケーションを構築できる。

6. 実装

4 章で提案したモデルに基づき、ネットワークシステムの実装を行った。そして、このネットワーク上のアプリケーションとして edutab を構築した。

各サーバは地域 IX (Internet exchange) に接続しているデータセンタに配置した。地域 IX への回線品質は専用線の品質には劣るものの、インターネット接続回線よりは優れており、費用対効果を考えたときに優れた方法である [19], [20]。

HTTP サーバには Apache を用いた。また、リフレクタおよびセッションコントローラはサーバサイド JavaScript を用いて、Apache と通信できるように実装した。実装では、この 3 つの機能を 1 台のサーバに集約した。以下、集

約された 1 台のサーバを edutab サーバと呼ぶ。

学習者および教師がシステムにログインを開始することによりセッションを開始できるようにした。これにより、相手側の状況にかかわらず edutab サーバまでの通信は確立できる。通信確立後は学習者および教師のブラウザ上で発生したすべてのイベントに関する情報をリフレクタを経由して必要なノード (ブラウザ) へ配布している。

リフレクタの動作について図 5 に示す。教師 (teacher) と学習者 (student) は edutab リフレクタに接続したときにはセッションコントローラによってセッション ID が割り当てられている。リフレクタはセッション ID と端末のモード (teacher, student) を紐付けて管理している。この例では、学習者 A (student A) で発生したイベントが edutab リフレクタへ転送される。このイベントに関する情報は教師のブラウザにおいても表示を行うため、即座にその情報が教師ノード (ブラウザ) に転送される。学習者からの書き込みイベントは、他の学習者 B や C へは送信されない。

同様な通信が学習者 B, C でも実現されるため、教師のブラウザのみがリフレクタを介してすべての学習者と通信を行うことになる。

7. 評価

本提案モデルの有効性を評価するために、実装した edutab システム上での評価実験と定性的な評価を行った。edutab システムが有効的に動作するためには 3 つの考慮すべき点がある。

第 1 は、学習者側の台数が増えた場合のシステム負荷である。リフレクタと教師の PC には多くのトラフィックが集まる。また、教師 PC には各学習者 PC からのイベントに基づいた描画作業があるため、CPU 負荷が大きくなることが予想される。

第 2 はサーバをデータセンタに配置し、地域ネットワークを利用したことによるリアルタイム性の劣化である。edutab システムでは個別ホワイトボード機能を実装して

いる。リアルタイム性が失われると、ホワイトボードの動きが自然でなくなり、教師と学習者のコミュニケーションに障害が生じる可能性がある。

第3は学習者とリフレクタを接続するネットワーク間の遅延である。複数拠点を接続した遠隔学習においては、様々なネットワーク環境から接続されることを考慮する必要がある。とりわけ、学習者間ネットワークの遅延に差があった場合にはどのような影響があるかを評価する必要がある。

そこで、上記の第1、第2について実装したシステムを使い定量的な評価実験を行い、第3については考察において定性的な評価を行う。

7.1 実験環境

実験環境を図6に示す。大学内にある情報教室の同一スペースのPCを使用した。学外のデータセンタにedutabサーバを配置し、大学内のPCからは、このサーバへアクセスを行い測定を行う。それぞれのPCからswitch1, switch2, edutabサーバまでのネットワーク帯域は1Gbpsである。実験に用いた機器の仕様を表1に示す。

7.2 実験方法

7.2.1 システム負荷

まず、準備としてedutabシステムにブラウザ上でのイベントをスクリプトとして記録し、それを再現する機能を付け加えた。次に、実験では、学習者のPCと教師のPCでブラウザを起動し、edutabサーバへ接続を行う。そして、

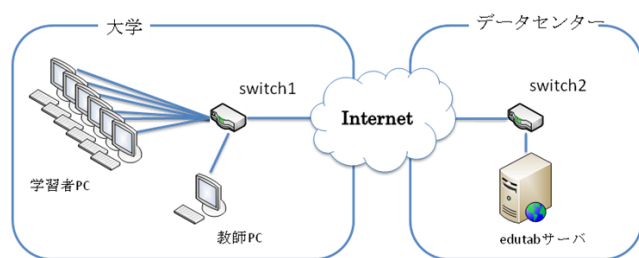


図6 実験環境

Fig. 6 Experiment environment.

表1 機器の仕様

Table 1 Specifications of equipments.

機器	仕様
学習者 PC, 教師 PC	Intel Core i5, 2.5GHz Memory 4GByte Ethernet 1000BASE-TX, OS Windows 7 SP1 64bit ブラウザ FireFox 9.0.1
Edutab サーバ	Intel Xeon 2.67GHz Merory 512MByte Ethernet 1000BASE-TX OS CentOS HTTP サーバ Apache Reflector JavaScript Session Controller JavaScript

あらかじめ作成しておいた実験用スクリプトをそれぞれのブラウザ上で無限回動作するようにした。これにより同じ動作を実験で繰り返すことができる。スクリプトの内容は0から9までの数字を順番に書き、その後、その数字を消していくものである。この一連の動作で、1秒間に150程度のイベントが発生する。

測定は学習者用のPCと教師のPCでパフォーマンスモニタを起動し、1分平均のCPU負荷とネットワークトラフィックを記録させる。edutabサーバにはSNMP (Simple Network Management Protocol) を用いて1分ごとに観測用のPCからCPU負荷とネットワークトラフィックのMIB値を収集した。

実験は学習者PC1台と教師PC1台を接続し、それぞれでスクリプトを無限回、10分間実行する。そして、接続する学習者PCを順次増加させ、1, 2, 3, 4, 5, 6, 10, 15, 20台の学習者PCを教師PCに接続するようにした。学習者PCからは、教師PCへの書き込みを連続で行うように設定した。

edutabシステムはTV会議システムと併用して利用することを想定している。TV会議システムで発生するトラフィックはクライアントPC付近のネットワークには影響を与えるものの、サーバ周辺のネットワークには影響を与えない。そこで、実験は日中の大学の情報教室のPCを他の学生も利用している中で行った。通常利用中の情報教室は、TV会議システムよりもトラフィックの変動が起こりやすく、量も多いためより負荷が高い環境である。edutabで発生するすべてのトラフィックと学内と学外の間を流れるすべてのトラフィックが大学の同じバックボーンを経由し送受信されている。

7.2.2 リアルタイム性

リアルタイム性はレスポンスタイムによって評価を行う。具体的にはレスポンスタイムを学習者のPCでイベントが発生してから、教師のPC上で表示されるまでと定義する。この時間を測定するために、学習者PCから測定用のパケットをリフレクタ、教師PC、リフレクタ、学習者PCと転送させて、その結果からリアルタイム性の評価を行う。図7にレスポンスタイムについて詳細を示す。ここで、 t_2, t_4, t_6 はそれぞれのPCにおける処理時間を表し、 t_1, t_3, t_5, t_7 はネットワークの転送時間を表している。 t_2 と t_6 はリフレクタの転送処理時間、 t_4 は教師PCの描画時間である。

測定用のパケットには、それぞれのPCにおけるタイムスタンプを付加する。送り出し時のタイムスタンプと最終的に学習者に戻ってきたパケットのタイムスタンプの差分からレスポンスタイムを求める。レスポンスタイムを求める式は次のとおりとする。

$$\text{Response Time} = ((t_1 + t_3 + t_5 + t_7)/2) + t_2 + t_4$$

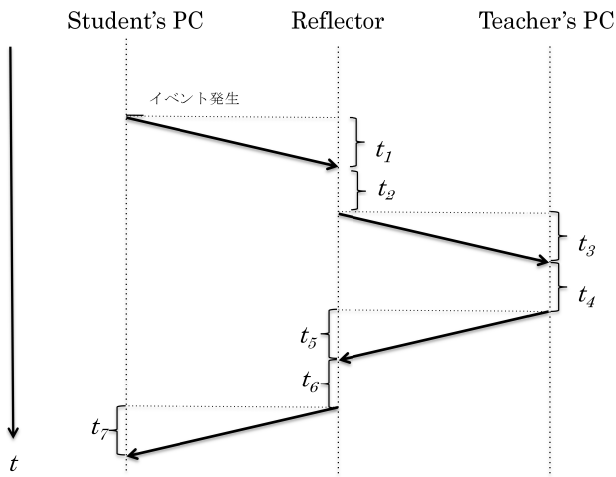


図 7 レスポンスタイム
Fig. 7 Response time.

タイムスタンプは各 PC 上での時間を付加しているの
各ネットワーク区間での信頼性を担保するためには、各 PC
上の時刻をあらかじめ同期させておくか、同一 PC 上のタ
イムスタンプで評価する必要がある。そこでネットワーク
の時間は、同一回線上を往復した時間によって測定するよ
うにした。イベント発生時の時刻から学習者に戻ってきた
ところまでの時間から教師 PC の描画時間、リフレクタの
処理時間を引いた時間を 2 で割った値を片道のネットワ
ーク時間とした。またレスポンスタイムは定義に従い、片道
のネットワーク時間に描画時間 (t_4) とリフレクタ処理時
間 (t_2) を足した値とする。スクリプトは 1 秒間に 3 つの
イベントが発生するようにして実験した。

測定環境は図 6 と同様なものにし、曜日によるばらつき
を考慮し、1 週間にわたり測定を行った。

7.3 実験結果

7.3.1 システム負荷

実験は、14 時 31 分から開始し、実験方法で説明したと
おり、学習者 PC1 から順に 10 分実行するごとに PC を増
加させていった。

図 8 は、教師 PC の 1 分平均の CPU 負荷率である。使
用した PC には物理的に 2 コア、仮想でそれぞれ 2 コアあ
るので OS からは計 4 コアの CPU として認識されている。
赤線は、CPU コア合計の負荷率である。2 台目を接続し
たときに一時 140%程度の負荷率であった。全体としては
40%から 80%の負荷率だった。接続台数が増えるごとに少
しずつ負荷が増加した。黄線はブラウザの CPU 負荷率で、
20%から 70%程度であった。ほとんどの時間において、ブ
라우저の CPU 負荷率はコア合計の負荷率よりも 10%程度
少なかった。

図 9 は学習者 PC の 1 分間平均の CPU 負荷率である。
学習者 PC も教師 PC と同じように 4 コアの CPU であり、
赤線はその合計の負荷率である。全体的に 25%から 45%程

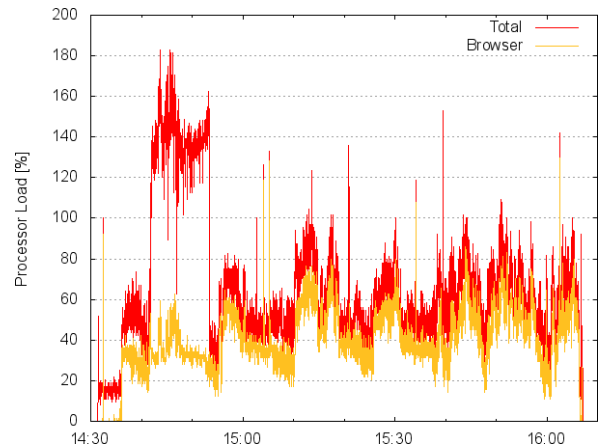


図 8 教師 PC の CPU 負荷
Fig. 8 CPU load of the teacher's PC.

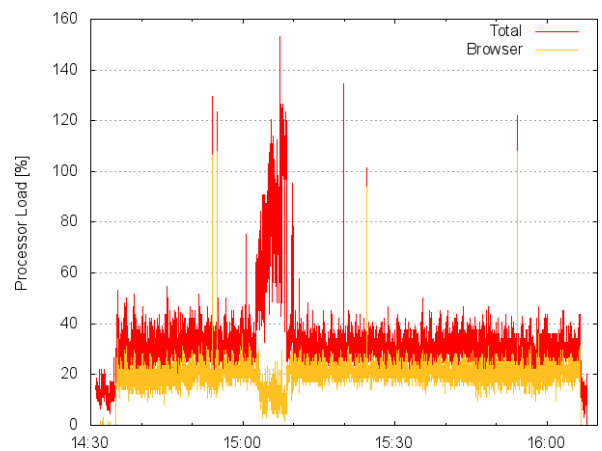


図 9 学習者 PC の CPU 負荷
Fig. 9 CPU load of learner's PC.

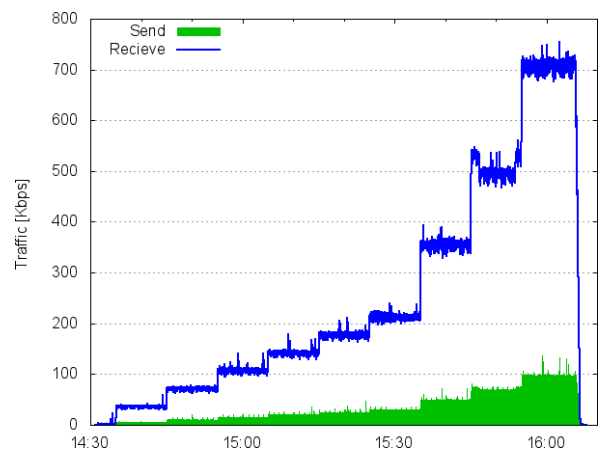


図 10 教師 PC のトラフィック
Fig. 10 Network traffic of the teacher's PC.

度の負荷率であった。4 台目を接続した時間において大き
な上昇がみられた。また、黄線はブラウザの CPU 負荷率
であり、全体を通して 20%程度の負荷率であった。コア全
体の負荷率が上昇した時間においてブラウザの CPU 負荷
率が減少していた。

図 10 は教師 PC のトラフィックである。青線が受信ト

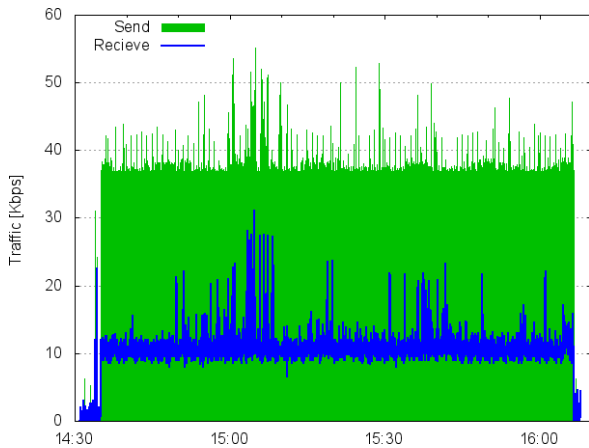


図 11 学習者 PC のトラフィック

Fig. 11 Network traffic of the learner's PC.

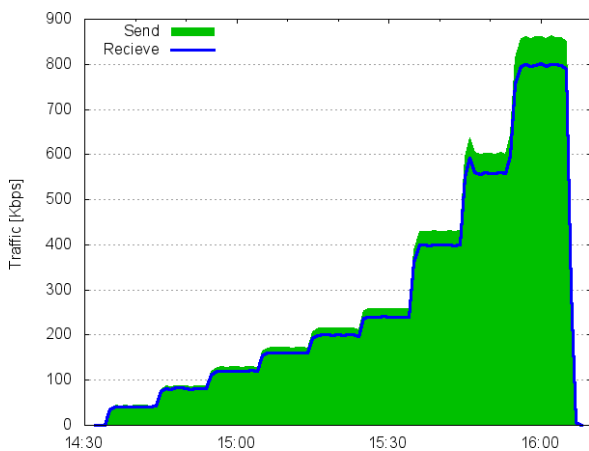


図 12 リフレクタのトラフィック

Fig. 12 Network traffic of the reflector.

ラフィック、緑領域が送信トラフィックである。受信、送信共に接続台数が増えるごとにトラフィックが増加した。1台接続ごとに受信は 35 Kbps、送信は 5 Kbps 増加していた。20台接続時で受信は 700 Kbps、送信は 100 Kbps であった。

図 11 は学習者 PC のトラフィックである。教師 PC と同様に青線が受信、緑領域が送信トラフィックである。学習者側は、送信で約 37 Kbps、受信で 10 Kbps 程度であった。ところどころにおいて 20 Kbps 程度のトラフィックの増加がみられた。

図 12 はリフレクタのトラフィックである。青線が受信トラフィック、緑領域が送信トラフィックであり、開始から学習者 PC の接続が増えるごとにトラフィックが増加している。1台の接続につき約 40 Kbps のトラフィック増加がみられた。20台接続時には受信で 800 Kbps 程度、送信で 850 Kbps 程度のトラフィックであった。また、CPU 負荷率は、時間中 1%未未満であった。

7.3.2 リアルタイム性

実験は金曜日の 0 時から測定を開始し、次週の金曜日 0 時まで行った。学習者 PC で描画イベントを発生させ測定

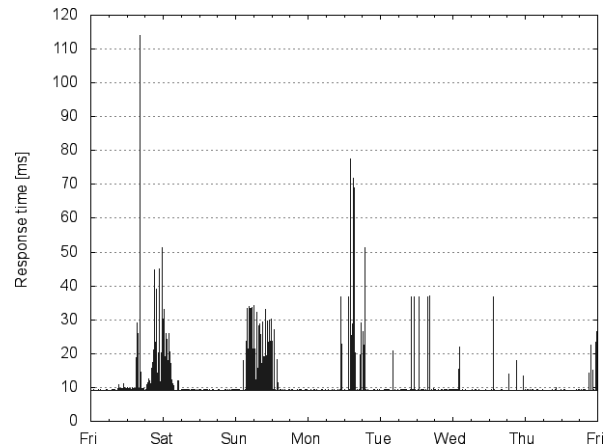


図 13 レスポンスタイム

Fig. 13 Response time.

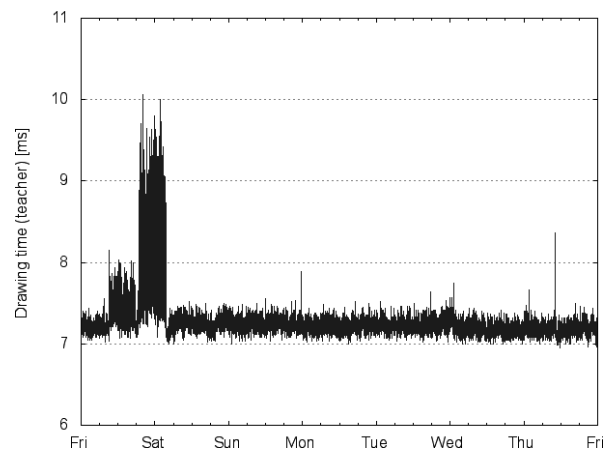


図 14 描画時間 (教師 PC)

Fig. 14 Drawing time (teacher's PC).

した。

図 13 は、測定したレスポンスタイムである。期間の全体を通して平均レスポンスタイムは 9.38 ms であった。最大時間は 115 ms であり、10 ms 以上かかることが測定中 276 回あった。図 14 は、教師 PC の描画時間 (t_4) である。期間全体として描画時間は、7.3 ms 程度かかっていた。土曜日の深夜には一時 9 から 10 ms かかっていた。

7.4 考察

7.4.1 定量的評価

教師 PC について、CPU 負荷率は 40%から 80%程度であり、1コア分の CPU 能力で十分処理できていることが分かる。また 20台接続時においても多少負荷率が上昇しているものの十分処理できていると考えられる。2台目を接続した時間において、総 CPU 負荷率が大きく上がっているが、ブラウザの負荷は大きな変化がないことから別のプロセスが CPU を使ったことが分かる。新しく学習者 PC が接続されるときに CPU の負荷率が上昇していることから接続開始時の負荷が大きいことが分かる。これは新しく学習者 PC が接続されると、セッションを開始する手続きが

必要になるために発生する負荷である。新しい学習者 PC が接続されると、セッションコントローラが教師 PC に情報を通知する。教師 PC は学習者 PC の様子を表示するための各種準備を行う。この処理のために負荷が上昇する。その後は、パケットの転送のみを行うため、負荷が減少している。トラフィックも台数に応じて上昇して、20 台接続時に 700 Kbps である。教師側ネットワークとリフレクタが設置されているネットワークの間は 20 台接続時でも 1 Mbps あれば十分な運用ができると考えられる。6 台程度で行う場合であれば数百キロ bps の回線速度を持つ携帯電話回線でも運用可能である。

学習者 PC について、CPU 負荷率は一時を除き安定して 20% であった。4 台目接続時に総 CPU 負荷が増加し、ブラウザ負荷が減少している。これは同時刻にトラフィックが増加していることなどから他のアプリケーションの負荷が増加したために起こったと考えられる。トラフィックも安定して送受信されている。

リフレクタについては、CPU 負荷率は 1% 未満であり転送処理にかかる負荷はほとんどないといえる。トラフィックは、学習者側からのデータを受信して、教師側へ送信しているのほとんど同じくらいのトラフィックが発生した。20 台接続時でも 800 Kbps から 850 Kbps であり、教師 PC と同様に 1 Mbps の対外回線があれば十分であるといえる。

レスポンスタイムは平均 9.38 ms であった。この時間であれば学習者 PC の動作を教師 PC でリアルタイムに表示することが十分できると考えられる。教師 PC の描画時間が 7.2 ms かかっていることからレスポンスタイムのほとんどは教師 PC に描画するための時間であることが分かる。この理由は、教師 PC には、書き込みができるメインの画面のほかにリアルタイムで観察するための画面があり、その両方に描画が必要になるからである。また、時間によってレスポンスタイムが遅くなる時間がみられた。時間のかかる教師 PC の描画時間と一部重なるが描画時間が遅くなったのは 3ms 程度であり、レスポンスタイムが遅くなっている原因はネットワーク時間であることが分かる。ネットワーク時間が遅くなったのは、リフレクタを設置したデータセンタへの回線と大学が対外接続に使用している回線が同じであったためだと考えられる。全体で 10,079 回測定を行い、レスポンスタイムが 10ms を超えた回数は 276 回で全体の 2.7%、最大遅延時間は 115 ms であった。平均レスポンスタイムは 9.38 ms、標準偏差は 2.38 であり、99.74% のパケットが 16.51 ms 以内であり、このことからホワイトボード機能はリアルタイムで使用するために十分なレスポンスであったといえる。

これらのことから、edutab のサーバへの負荷は低く接続台数が増加しても十分対応できることが分かった。また、edutab の教師側、学習者側ともに今回使用した PC 程度の性能があれば十分に動作すると考えられる。

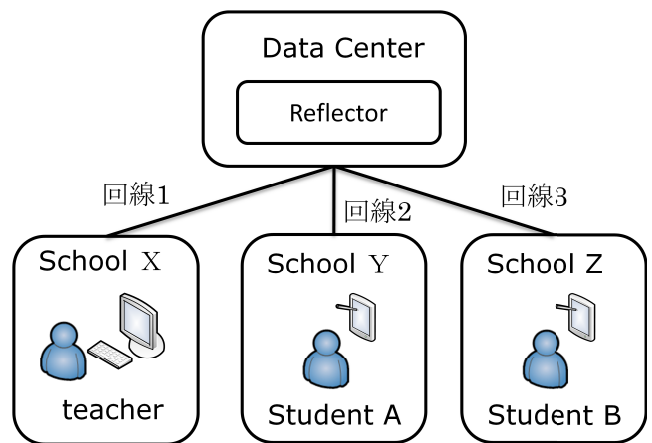


図 15 例題ネットワーク

Fig. 15 A sample network.

表 2 利用者への影響

Table 2 Effects on users.

	Teacher	Student A	Student B
回線 1	×	×	×
回線 2	○	×	○
回線 3	○	○	×

7.4.2 定性的評価

定量的評価においては、同一のネットワークにすべての学習者 PC が含まれている環境下において実験を行っている。そこで、ネットワーク品質の異なる場所に学習者の PC が存在する場合について、定性的な評価を行う。

評価のためのネットワーク構成を図 15 に示す。通信形態は利用者として教師 (teacher)、学習者 A, B (student A, B) を想定し、教師から、学習者 A, B への通信をリフレクタを経由し、edutab を利用する場合を考える。このとき、回線 1, 2, 3 の遅延がリアルタイム性にどのように影響を与えるか検討する。

まず、回線 1 に大きな遅延がある場合、これは、回線 2, 3 に遅延がなくても学習者 A, B への通信に遅延が発生し、全体として遅延を感じることになる。回線 2 に遅延がある場合には、学習者 A のみの通信に影響を与える。同様に回線 3 に遅延がある場合には、学習者 B のみに影響を与える。つまり、遅延がシステムのボトルネックとなる回線（この場合は教師の通信回線）にある場合はシステム全体に影響を与え、そうでない場合は個別の利用者に影響が出る。

結果を表 2 にまとめる。ここで、表は回線 (1, 2, 3) の遅延によりどの利用者に影響があるかを示している。○印は影響のない利用者、×は影響がある利用者をそれぞれ示している。

edutab の通信は非同期であるため、リフレクタは到着したパケットを即座に転送する。そのため、影響は基本的に上記のとおり限られたものとなる。一方で、同期通信を行う場合は、リフレクタでパケットが滞留する可能性があ

り、その場合にはシステム全体に影響が及ぶ。また、その際には、リフレクタのメモリおよびCPU負荷にも影響が生じると考えられる。

8. おわりに

遠隔日本語教育を支援するツールとして edutab を構築した。しかし、edutab を実際の教育現場へ展開するには、小中学校のネットワークに起因する技術的課題がある。そこで、本論文では、この課題を解決するための接続モデルについて提案を行った。提案した接続モデルに基づき、ネットワークシステムを実装した。実装したネットワーク上に edutab システムを構築し評価を行った。評価結果より、提案した接続モデルの有効性を示すことができた。

今後の課題として、本研究では地域ネットワークで接続が可能な範囲の小中学校間の接続を対象としているが、地域ネットワークの適用範囲を越えて接続する場合の接続方法や耐障害性を考慮した接続方法について検討する必要がある。また、本技術によりファイヤウォールを通過してしまう通信をどのように制御するかという課題もあり、セキュリティに関しての実装方法などを検討していく必要がある。

謝辞 本研究の一部は平成 23 年度山梨県立大学学内競争的研究資金「学長プロジェクト」および平成 24 年度総務省戦略的情報通信研究開発推進制度 (SCOPE) の支援下に行われた。

参考文献

[1] 総務省：多文化共生の推進に関する研究会報告書 (2006), 入手先 <www.soumu.go.jp/kokusai/pdf/sonota_b5.pdf>.

[2] 文部科学省：日本語指導が必要な外国人児童生徒の受入れ状況等に関する調査 (平成 22 年度) の結果について (2012), 入手先 <<http://www.mext.go.jp/b.menu/houdou/23/08/1309275.html>>.

[3] 安藤淑子：ブラジル人学校と大学を結んだ遠隔日本語教育：初級学習者に対するブレンディッドラーニングの試み, 山梨国際研究：山梨県立大学国際政策学部紀要, Vol.6 (Mar. 2011).

[4] 水越一貴, 鈴木新一, 安藤淑子, 八代一浩：遠隔授業におけるタブレット端末を利用した教材提示の方法とシステム開発, 情報処理学会研究報告, Vol.2012-CE-114, No.9, pp.1-8 (2012).

[5] 片野雅弘, 八代一浩, 安藤淑子, 鈴木新一, 水越一貴：多様なコミュニケーション手法を用いた遠隔日本語授業システムの開発, 情報処理学会研究報告, Vol.2012-CE-114, No.10, pp.1-7 (2012).

[6] WebELS, available from <<http://webels.genetec.jp/HP/functions.html>>.

[7] Moodle Open Meetings Plugins, available from <<http://moodle.org/plugins/view.php?plugin=mod-openmeetings>>.

[8] Sangiorgi, U. and Vanderdonck, J.: GAMBIT: Addressing multi-platform collaborative sketching with html5, Proc. 4th ACM SIGCHI Symposium on Engineering Interactive Computing Systems (EICS '12), ACM, New York, NY, USA, pp.257-262 (2012).

[9] 佐藤宏隆, 黒田 卓, 山西潤一：TV 会議システムを用いた遠隔授業における学習環境についての一考察 (特集)：マルチメディア技術と教育/一般, 電子情報通信学会技術研究報告, ET2001-63, pp.57-62 (2001).

[10] 上蘭恒太郎, 藤木 卓, 瀬 浩三, 寺嶋浩介, 森田祐介, 森永謙二：いのちへの思いを育てる道徳遠隔授業：テレビ付き携帯電話で死を話合う小学校中学年の授業, 教育実践総合センター紀要, pp.81-102, 長崎大学 (2006).

[11] 伊藤大河, 山本利一：VPN を用いた教育支援システムの一考察 (教育支援システム, 新しい教育の波), 年会論文集, 日本教育情報学会 (24), pp.218-219 (2008).

[12] 森本容介, 山本朋弘, 清水康敬：小学校外国語活動のためのテレビ会議システムの運用と評価, 日本教育工学会論文誌, Vol.34, pp.125-128 (2010).

[13] Skype: Skype (2012), available from <<http://www.skype.com/>>.

[14] Baset, S.A. and Schulzrinne, H.: An Analysis of the Skype Peer-to-Peer Internet Telephony Protocol, Proc. INFOCOM'06, pp.1-11 (2006).

[15] 辻 義人, 田島貴裕, 西岡将晴：異なる背景を持つ受講者の遠隔教育に対する評価観点の検討—遠隔サイエンス・コミュニケーションの実現に向けて, コンピュータ&エデュケーション (CIEC), Vol.25, pp.82-87 (2008).

[16] Apple Inc. (2012), available from <<http://www.apple.com/facetime/>>.

[17] V-CUBE Inc. (2012), available from <<http://www.vcube.co.jp/>>.

[18] WebSocket, available from <<http://www.ietf.org/rfc/rfc6455.txt>>.

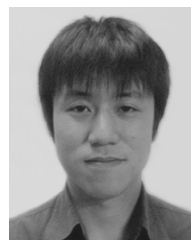
[19] 八代一浩, 笹本正樹, 平川寛之, 山本芳彦, 林 英輔：地域 IX を用いた通信環境改善手法の実現と評価, 情報処理学会論文誌, Vol.41, No.12, pp.3245-3254 (2000).

[20] 八代一浩, 樋地正浩, 菊地 豊, 鈴木嘉彦, 林 英輔：大学インターネット接続システムにおける地域 IX を用いたサーバアクセス手法とその評価, 情報処理学会論文誌, Vol.48, No.3, pp.988-996 (2007).



鈴木 新一 (正会員)

1996 年より株式会社ウインテックコミュニケーションズ勤務。2006 年より株式会社デジタルアライアンス勤務。山梨県情報ハイウェイの運営に従事。現在、山梨大学大学院医学工学総合教育部博士課程在学中。



水越 一貴 (正会員)

2003 年麗澤大学国際経済学部国際産業情報学科卒業。2005 年同大学大学院国際経済研究科政策管理専攻修士課程修了。2008 年山梨大学大学院医学工学総合教育部博士課程修了。博士 (情報科学)。株式会社デジタルアライアンス勤務。ネットワーク運用管理、遠隔教育システムに関する研究に従事。



深澤 昌志

2001年山梨大学工学部電子情報工学科卒業。2003年同大学大学院工学研究科博士前期課程修了。2006年株式会社デジタルアライアンスへ入社。山梨県情報ハイウェイの運営に従事。



八代 一浩 (正会員)

1997年山梨県立女子短期大学助教授。2005年より山梨県立大学国際政策学部准教授。2007年山梨大学大学院博士課程修了(工学博士)。インターネットシステムの運用技術に関する研究、遠隔教育に関する研究に従事。電子情報通信学会，日本教育工学会各会員。



鳥養 映子

1973年お茶の水女子大学理学部卒業。1983年同大学大学院理学研究科修士課程修了。1986年同大学院人間文化研究科博士課程単位修得退学。1988年より山梨大学工学部助教授。2002年より同教授，現在に至る。学術博士。2009年より日本中間子科学会会長。2012年より日本学術会議連携会員。ミュンオン科学とスピン計測に関する研究に従事。日本物理学会，日本中間子科学会各会員。