

情報処理教育用シミュレータの開発

関谷 貴之^{†1} 尾上 能之^{†1} 山口 和紀^{†1}
岩堀 祐之^{†2} 中西 通雄^{†3} 藤井 康雄^{†4}

情報技術の発展は目覚ましく、その基本的な原理を理解することは情報化社会で主体的に活動していくために必要である。本論文では、学生が自ら手を動かして原理を理解できるようにするための「情報処理教育用シミュレータ」として、メールや WWW、画像処理ツールの仕組みを理解可能なシステムを提案し、開発の現状について述べる。

Development of Simulator for Learning Computer Literacy

TAKAYUKI SEKIYA,^{†1} YOSHIYUKI ONOUE,^{†1} KAZUNORI YAMAGUCHI,^{†1}
YUJI IWAHORI,^{†2} MICHIO NAKANISHI^{†3} and YASUO FUJII^{†4}

To understand the fundamental principle of computer and network is indispensable in working actively in information society, because the information technology is being improved rapidly. We propose "Simulator for Learning Computer Literacy," the tool which helps students to understand information technology themselves. The tool simulates a system of sending and receiving e-mails, a system of WWW, and image-processing. This paper reports the current status of developing the tool.

1. はじめに

1990年代後半からのインターネットの普及は、家庭・教育現場においてコンピュータをより身近なものとした。近年パソコンとテレビの出荷台数はほぼ同数であり、これはパソコンが電化製品のひとつとして利用され始めていることを示している。しかし、コンピュータやインターネットの理解は、「このボタンを押すとメールが送れる。」というノウハウに留まっている。進歩の速い情報化社会の中で、そのようなノウハウは、わずかな間に陳腐化してしまう。また、社会の基幹に入り込んでいる情報システムに注文をつけたり、システムについての評価を正当に下したりするには、ノウハウだけでは不十分である。

コンピュータやインターネットの原理を理解するには、教職員が学生に説明するだけでは困難であり、学生が自分で「こういう場合はどうか?」ということ

を確認する「実験」ができる環境が必要である。物理や化学など教育機関で長い間実際に学生に対して教育されてきた分野では、各種の実験装置は勿論のこと、コンピュータ上の教材も各種開発されている(例えば¹⁾や²⁾などに教材の一覧がある)。一方、情報の教育では、動作原理を説明する教材³⁾などはあるが、実験をすとなると、実際にコンピュータやインターネットを使ってしまうことが多い。しかし、システムの使い方のノウハウに気を取られたり、誤った使い方や不注意によって関係の無い人々に迷惑をかけたりする可能性を考慮すると、このような実験方法は不適切である。そこで、著者らは情報の基礎的な原理の理解のための「実験」環境として、コンピュータを使ったソフトウェアによる情報処理教育用シミュレータを開発している。

本論文では、これまでに実現したシミュレータとして、第2章でメールシステム、第3章で画像処理システム、第4章でウェブシステムのシミュレータの機能について説明する。また著者らは、教育の目的や内容に応じて、シミュレータを自由に改良して利用できることが望ましいと考えている。この点に関して5章で触れる。最後に第6章で、今後の展望などについて述べる。

^{†1} 東京大学
The University of Tokyo

^{†2} 名古屋工業大学
Nagoya Institute of Technology

^{†3} 大阪工業大学
Osaka Institute of Technology

^{†4} 中部大学
Chubu University

2. メールシミュレータ

2.1 概 要

電子メールは、インターネット上で古くから利用されてきたサービスであると同時に、現在もお最も広く利用されているコミュニケーション手段の一つである。近年は携帯電話等でも電子メールが利用可能になったことで、学生にとっても非常に身近な情報システムとなっている。そこで、電子メールの動作においてさまざまな現象が発生するメカニズムを学ぶことのできるメールシミュレータを開発した。

このシミュレータを使ってメカニズムと現象の関係をj知ることjで、クライアント・サーバモデルやキューのモデルを理解したり、キューのような抽象的なモデルとリングバッファなどの計算のモデルとの関連をj学べると期待できる。

2.2 全 体

メールシミュレータは、SMTP, POP, IMAPを用いた現実のインターネット上のメールの送受信の仕組みに従って、複数のサーバやクライアントの間でのメールのやり取りや、サーバのキューやスプールにメールが溜る様子を、シミュレートできるシステムである。図1はシミュレータのスクリーンショットである。

図1にあるように、シミュレータ上ではメールサーバやクライアントをノードとして、ネットワーク構造をアークとしたグラフとして視覚的に表現する。メールの送受信の際には、メールやプロトコルのやり取りを示すアイコンが、グラフに沿って移動することで、通信の様子を視覚的に理解できる。また、サーバやクライアントをクリックすると、キューやスプールの状態を示すウィンドウや、メールの送受信を行うメニューが表示される。

シミュレータを記述するプログラミング言語には、Java^{*}を用いている。個々のメールサーバやメールクライアントなどをJavaのClassとして表現し、必要に応じてサーバやクライアントの数や構成を容易に変更可能である。また、シミュレータはJavaのアプリレットとして、Java 2 Platform, Standard Edition (J2SE) がインストールされたあらゆるプラットフォーム上で動作可能である。これは、第3章で説明する画像処理シミュレータ、第4章で説明するウェブシステムのシミュレータについても同様である。

2.3 メ ー ル

シミュレータ中のメールは、インターネット上の電

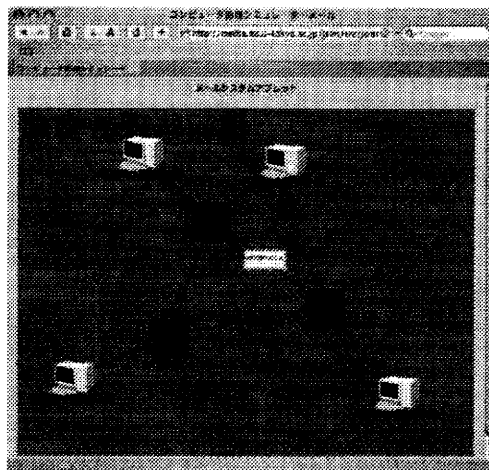


図1 メールシミュレータ

子メールと同様に、ヘッダ (Header) とボディ (Body) の二つの部分からなる。ヘッダには、メールの送信時に宛先 (To:), カーボンコピー (Cc:), 送信元 (From:) を記述する。インターネット上の電子メールで扱われるその他のヘッダ情報については、現状では考慮していないが、必要に応じて容易に追加可能である。図2は、メールを送信するためのウィンドウを開いた時のシミュレータのスクリーンショットである。

メールの本文には、2バイト文字を含めることが可能であり、メールの中に現れる漢字の漢字コード系は、通常の電子メールと同様にいわゆる「JISコード」である。異なる漢字コード系の文字を含んだメールがメールクライアント上で正しく表示されない様子を示すために、メールの送信時に、必要に応じてその他の漢字コード系の文字をそのままメールの本文中に入れることが可能である。これは送り手と受け手の間での文字コードの解釈の違いによる文字化けを理解できるようにするためである。

2.4 メールサーバとメールクライアント

メールサーバでは、SMTP, POP, IMAPサーバと同等の挙動をシミュレーションする。メールサーバは送受信のためのキューを持ち、キューの動作を示すために、図3の上のウィンドウのような、キュー専用のインタフェースを持つ。2.3節でも述べたように、メールの処理の経過を、メールが順次キュー内を移動したり、配送の宛先や受信の成否に応じて異なる方向に送られる様子などを表示する。キューのプログラムとしての実現方法を示すために、2.5節で述べるリングバッファと関係させる。また、メールサーバは受信したメールを蓄えるスプールを持っている。

^{*} Java は Sun Microsystems, Inc. の登録商標である。

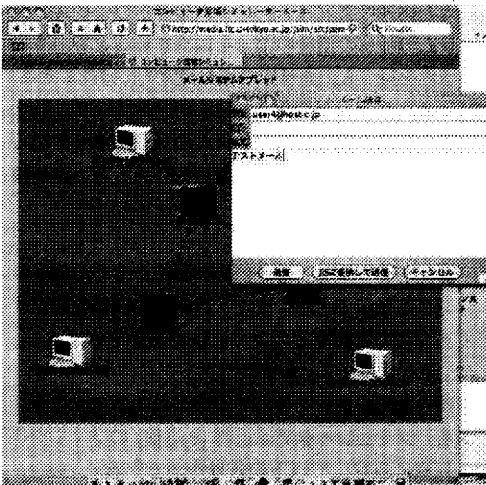


図 2 メール送信用ウィンドウ

図 2 に示したように、通常のメールクライアントと同等のインタフェースで、メールを作成したり、SMTP,POP,IMAP を用いてメールを送受信できる。メールを読みだすメールサーバとメールを送るメールサーバが違うような状況で何が起るかを試すことができる。

2.5 リングバッファ

リングバッファでは、シミュレータのキューのところから呼び出して、メールが出入りする様子をシミュレーションできる。更に、リングバッファ自体の機能を理解するために、図 3 の下のようなウィンドウで、リングバッファの仕組みや動作を単体でもシミュレーションできる。これによりキューなどの抽象的な概念と、リングバッファのようなコンピュータの構造に近い概念を関連づけることができる。

3. 画像処理シミュレータ

3.1 概 要

画像処理とは、大きなサイズの画像データを小さくしたり、画像の中から何らかの情報を抽出するために、主にコンピュータを用いて画像を圧縮・変換したり、解析する処理の総称である。

近年安価で高性能なパーソナルコンピュータや、お絵書き、画像編集などのソフトウェアが市販されると共に、デジタルカメラやスキャナなどの画像をデジタルで扱う機器が普及したことで、パーソナルコンピュータ上で何らかの画像処理を行うことも身近になりつつある。

そこで、画像処理の基礎的な事項を理解するために、

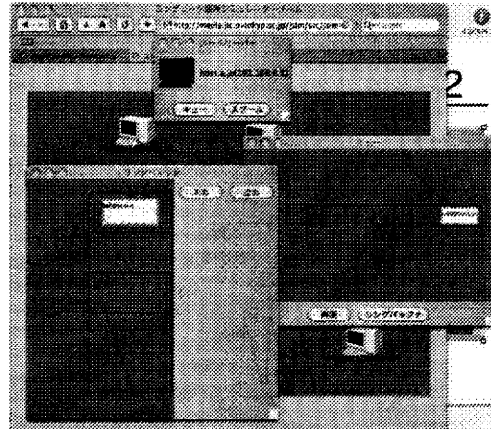


図 3 キューとリングバッファシミュレータ

入力画像に対して、入出力特性やパラメータ、また画像圧縮形式などを変更して、その出力結果を確認したり、途中の計算の進み方が理解できるような画像処理シミュレータを開発している。

3.2 画像変換

画像処理シミュレータでは以下で述べる画像変換を行える。シミュレータでは、図 4 のような画面に、入力画像、変換に必要なパラメータ、画像の特徴量、出力画像を表示する。この画面で、変換にかかわるパラメータの値を変更すると、どのようにパラメータが影響して結果が変わるのかという過程を表示する。



図 4 画像処理シミュレータ

(1) 階調変換

入力画像の画素の色をある関数に従って変換する操

作である。以下の階調変換の操作においては、それぞれ図5に示す関数を変換に用いる。

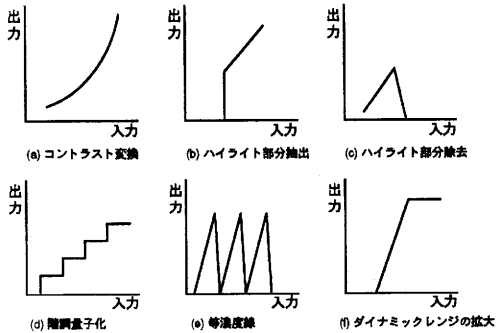


図5 階調変換の例

- **コントラスト変換**
図5(a)のように単調に変化する関数を用いて、画像の明暗を変換する操作である。ある画素の階調が入力から入って出力に変換されて出て行く過程を表示することで、関数がどのように使われるかが分かる。
- **ハイライト部分抽出/部分除去**
図5(b), (c)のように特定の範囲の値をとる入力のみを出力することで、特定の範囲の濃度を取る部分のみを画像から抽出・除去する操作である。
- **階調量子化**
図5(d)のように、階段状のグラフで表される関数を用いて連続的な濃淡値を量子化したり、階調(濃淡レベル)を少なくする操作である。
- **等濃度線の抽出**
図5(e)のように、折れ線状のグラフで表される関数を用いて、濃淡が同じ部分を結んだ等高線図のような出力を得る操作である。
- **ダイナミックレンジの拡大**
図5(f)のように、特定の値以上(以下)の入力を1(0)とする関数を用いて、入力画像のある範囲の濃度を持つ部分を強調する操作である。

(2) 濃度ヒストグラム変換

入力画像の濃度ヒストグラムを使って、濃度の変化を滑らかにしたり、全体にシフトすることで、画像の明るさやコントラストを変換する操作である。シミュレータではヒストグラム変換やそれに関連する次の操作を実現し、画素とヒストグラムを対応付けながら計算を進める。

- **ヒストグラム表示**

入力画像の濃度ヒストグラムを表示し、ヒストグラムの任意の濃度の部分を選択することで、その濃度を持つ入力画像中の点を視覚的に確認できる。

- **ヒストグラム平坦化**
入力画像の濃度ヒストグラムの偏った部分を滑らかにすることで、画像にコントラストをつける操作を行う。
- **二値化**
閾値を変更することで、出力画像が変わる様子が見ることができる。また、自動的に閾値を設定する方法で閾値をどのように決めるかを表示する。

(3) 近傍演算 (フィルタリング)

近傍の画素の情報を使って画素の値を変更する操作である。シミュレータでは近傍(8近傍)のフィルタ係数を任意に設定して以下の各操作ができる。

- **エッジ抽出**
- **平滑化**
- **雑音除去(ノイズ除去)**
- **強調処理**

図6は、シミュレータでエッジ抽出を行った時のスクリーンショットである。

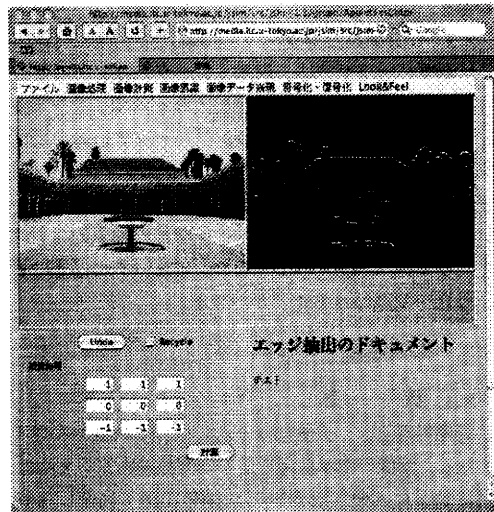


図6 エッジ抽出

3.3 画像計測

2値化画像に対して行なう以下の処理について、任意の入力画像を作成したり、シミュレータの利用者が任意の時点で処理過程を中断したりして、画素の濃淡値の処理がどのように進むのかを理解できる機能を

持つ。

(1) 拡大・縮小処理 (膨張・縮小処理)

4 連結/8 連結のそれぞれに対して、拡大 (図形の境界部分の画素を 1 にする操作) と、縮小 (図形の境界部分の画素を 0 にする操作) を行う。

(2) 切りだし (ラベリング処理)

画像を連結成分に分割する操作である。連結成分の取り出しの過程を追えるように表示する。図 7 は、本シミュレータで切りだし (ラベリング処理) を行った時のスクリーンショットである。

(3) 細線化処理

連結成分の連結性を保存したまま、図形の幅を細めていき中心線を抽出する処理である。幅を細めていく過程が追えるように表示する。

(4) 面積

連結成分の面積を計算する処理である。

3.4 画像認識

画像認識に関わる、以下の処理のポイントが理解できるような機能を実現している。

(1) フーリエ変換

画像処理のフーリエ変換を行い、周波数領域と画素の関係を表示する。

(2) リフレクタンスマップ (反射率地図)

リフレクタンスマップを使って基本的な 3 次元形状モデルを表示する。画面の点に対して、光がどのように 3 次元形状モデルで反射されてくるかを追跡して表示できる。また、3 次元形状モデル上の各点でどのように反射光の強度が決まるかが分かるように表示する。

(3) カメラ投影モデル, 射影幾何

平行投影モデルと中心投影モデルの違いによる物体の見え方の違いが分かるように、それぞれでの光の経路を表示する。

3.5 画像データ表現

コンピュータ上での画像データの表現方法について、それらの特徴をシミュレーションで見せる。

ビットマップ形式とベクトル形式

両者の特徴が理解できるような処理を行ない、その結果を表示する。図 8 は両者の特徴を理解させるインタフェースのスクリーンショットである。二つの同じ線画について、図中左がビットマップ形式で、図中右がベクトル形式でそれぞれ表現されており、拡大した際にビットマップ形式では、画質が劣化していることがわかる。

RGB, CMY, 輝度・色相・彩度

ある形式のパラメータを調節して、他の表現形式のパラメータが変化の様子を示すことで表現形

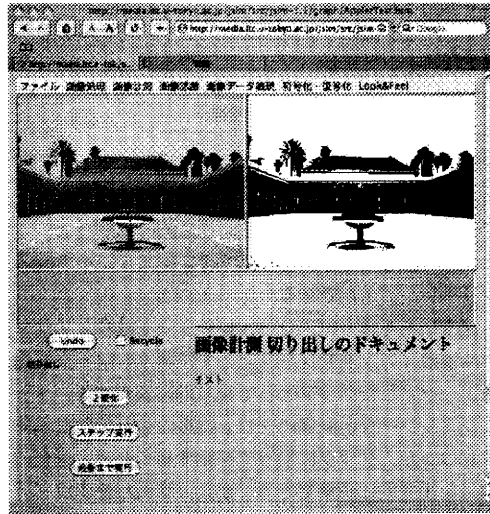


図 7 切りだし

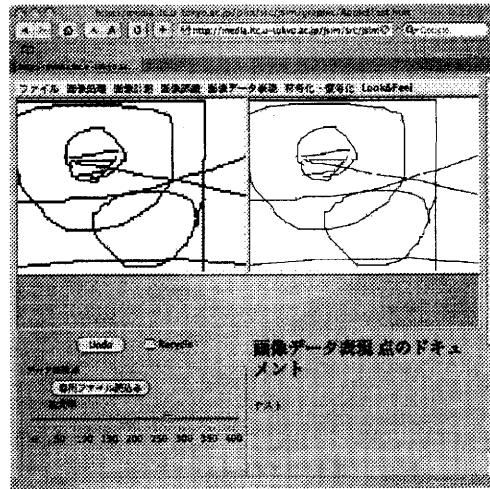


図 8 ベクトル形式とビットマップ形式の違い

式の間関係を理解できる。ディスプレイや印刷面をシミュレーションして、利用目的に応じて適切な表現形式があることを実感できる。

4. ウェブシミュレータ

4.1 概要

近年のインターネットの爆発的な普及は、ウェブ (World Wide Web, WWW) によるものと言っても過言ではない。研究者が安価かつ容易に情報を発信・共有する技術として開発されたウェブは、現在では一般

社会に広く普及するものとなっている。そこで、ウェブサーバとウェブブラウザ間の通信や、SSLによる暗号化などをシミュレーションするウェブシミュレータを開発している。

4.2 全体

ウェブシミュレータは、HTTP1.1(RFC2616)を用いたウェブサーバとウェブブラウザが動作するクライアントの間での通信の様子を、視覚的に理解可能にしたシステムである。図9は、ウェブシミュレータのスクリーンショットである。

図9にあるように、シミュレータ上ではウェブサーバやクライアントをノードとして、ネットワーク構造をアークとしたグラフとして視覚的に表現する。メールシミュレータと同様にプロトコルのやり取りを示すアイコンが、グラフに沿って移動することで、通信の様子を視覚的に理解できる。また、サーバやクライアントをクリックすると、各々に応じたメニューが表示される。

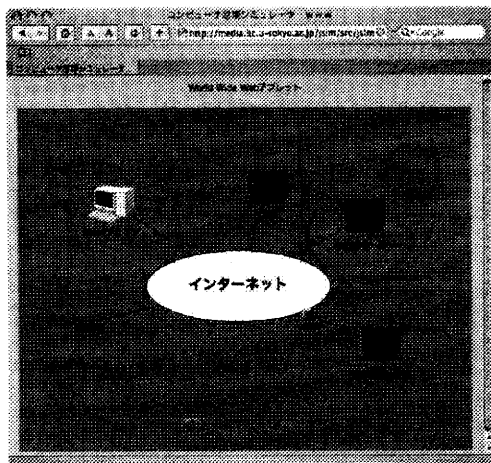


図9 ウェブシミュレータ

4.3 ウェブブラウザ

URLの入力から、サーバのIPアドレスの問い合わせ、対応するHTMLファイルの取得などの一連の過程を、画面で段階的に表示する。図10は、URLを入力している様子を示している。

通常のウェブブラウザと同様に、HTMLファイルをキャッシュとして保存する機能を持っており、キャッシュの管理はLRUアルゴリズムを用い、管理の様子を画面で視覚的に確認できる。

また、Cookieに対応し、Cookieが送受信されたり、ウェブブラウザにCookieが保存される様子を画面で

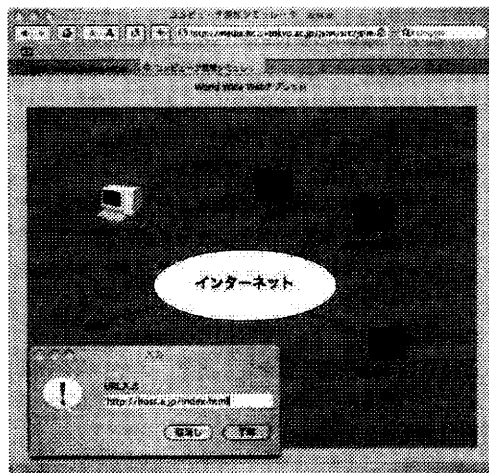


図10 URLの入力

確認できる。

DNSの仕組みをシミュレーションし、URL入力後にホスト名に対応するIPアドレスをネームサーバへの問合せの様子を示すこともできる。これにより、「どのサイトのウェブを見ているか」というような情報を、DNS管理者がどの程度知ることになるかが分かるようになる。また、URLがドメイン名ではなくIPアドレスを使って書かれることがある理由も分かるようになる。

TCP/IPによる通信の仕組みをシミュレーションして、パケット通信のアルゴリズムを確認できる機能もある。図11は、パケットがサーバに送られる様子を示しており、送信に失敗したパケットが再送される様子をシミュレーションできる。

4.4 ウェブサーバ

ユーザがURLに応じたHTMLファイルに相当する文字列を用意しておき、HTTPでのウェブブラウザからの要求に応じて、HTMLファイルを送信する様子をシミュレーションする。ウェブブラウザとの通信に当たっては、HTTPを用いていることが分かるように、HTMLファイルの中身だけでなく、サーバが送受信するプロトコルを表示する。図12は、クライアントからのリクエストに対応したHTTPのレスポンスの内容を表示する様子を示している。

SSLによる通信では、証明書の役割や暗号化の仕組みが分かるように、ウェブブラウザが動作するクライアントや、証明局との間で鍵がやり取りされる様子をシミュレーションする。これによって証明書を確認できなかったり、利用者に確認を求めるケースを用意す

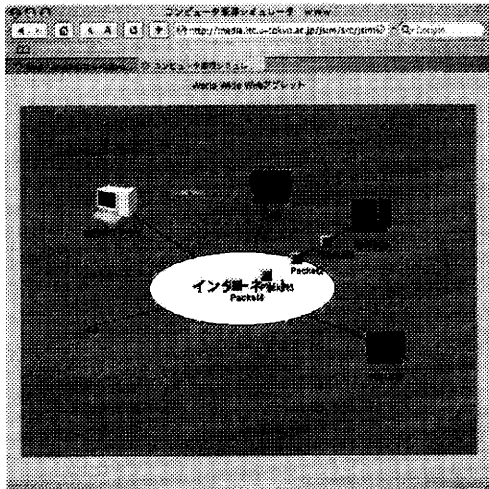


図 11 バケット送信

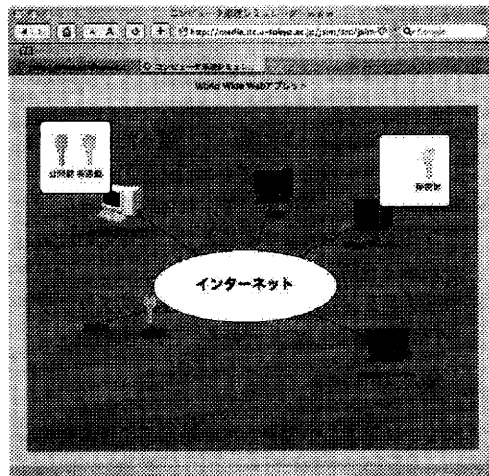


図 13 SSL による暗号化通信

ことで、認証局や証明書について理解できる。図 13 は、SSL による暗号化通信に用いる鍵が送られる様子である。

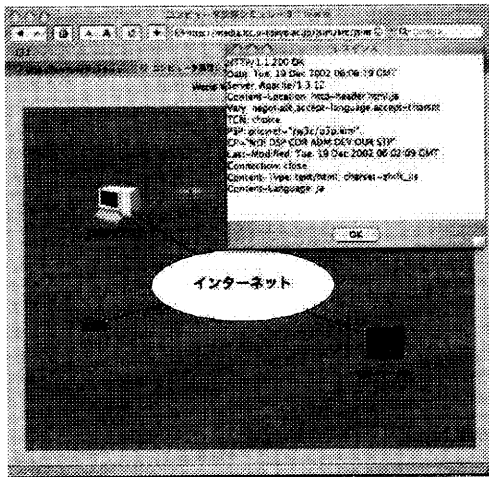


図 12 HTTP レスポンス

5. 開発状況

本シミュレータは、国立大学情報処理教育センター

協議会^{※1}とメディア教育開発センター^{※2}との間で組織された情報処理教材開発タスクフォースが開発したシステム⁴⁾を改良したものである。

このようなシミュレータは教育環境に合わせて柔軟に作り替えられる必要がある。例えば、ある大学にメールサーバが 2 台あるなら、シミュレータでもメールサーバが 2 台ある方が分かりやすいであろうし、その 2 台でメールを相互に転送するとピンポンが起こるというようなことを教えたいこともあるだろう。そこで、本シミュレータはプラットフォームへの依存性の低い Java で開発し、GPL^{※3}に従って配布している^{※4}。これまで、情報処理に関する講義を行っている教員の方々などから、シミュレータに関して次のような意見や要望を頂いている。

- 自分の大学のネットワーク内に DNS サーバがあることを示せると良い。
- DNS が階層的な構造であることが分かると良い。
- 携帯電話のメールのシミュレーションができるとう良い。
- SMTP と POP の違いが分かった方が良い。

^{※1} 1977 年に国立大学の教育用計算機センターの連絡会として設立された組織である。現在のメンバー校は、北海道大学、室蘭工業大学、東北大学、東京大学、名古屋大学、名古屋工業大学、京都大学、和歌山大学、大阪大学、広島大学、九州大学、九州工業大学である。

^{※2} National Institute of Multimedia Education.
<http://www.nime.ac.jp/>.

^{※3} GPL version 2.0. <http://www.gnu.org/japan/>.

^{※4} 「コンピュータシステム 原理教育用シミュレータ」
<http://media.itc.u-tokyo.ac.jp/jsim/>.

- SPAM のシミュレーションができるとうい。
- シミュレーションの抽象度が明確でない。

また、今後修正すべき点として、次のような問題が残っている。

- メールシミュレータにおいて、誤ったメールアドレス宛にメールを送ってもエラーにならない。
- 画像シミュレータにおいて、具体的な符号化方式をシミュレーションすることで、符号化の仕組みが理解できるようにしたい。
- ウェブシミュレータにおいて、ウェブブラウザで HTML を解釈して表示することができない。

6. 終りに

本論文では著者らが開発している情報処理教育用シミュレータについて紹介した。このシミュレータでは、学生が現象としては慣れていると考えられる、メール、画像処理、ウェブをシミュレーションし、それぞれのシステムの内部の動作を見せることで、実際のシステムの背景を自然に理解できるようになるものを目指している。同時に、リングバッファやフーリエ変換の可視化を行なうことで、コンピュータのメモリ空間や周波数領域などの基礎的な概念を理解させることも意図している。このようにして、現実のものと抽象的な概念を関連づけて見せることは、基礎的な概念を学ぶことの動機づけとしても重要なものである。

本論文で紹介したシミュレータは、一度完成して終りということではなく、さまざまに改良されていくことで使えるようになっていくものと考えている。GPL に従って配布することで、より多くの教員や学生の方々に使って頂き、協力して改良する体制を今後構築したいと考えている。

参 考 文 献

- 1) コンピュータ利用教育協議会: 自然科学教育・研究ソフト <http://www.ciec.or.jp/ja/product/software/index.html>, (2003).
- 2) 財団法人学習ソフトウェア情報研究センター, <http://www.gakujoken.or.jp/>, (2004).
- 3) 「情報機器と情報社会のしくみ」開発委員会: 情報機器と情報社会のしくみ素材集 <http://www.kayoo.org/home/mext/joho-kiki/>, (2000).
- 4) 山口和紀, 岩堀祐之, 中西通雄, 藤井康雄: 情報処理教育用シミュレータ, 平成 15 年度情報処理教育研究会論文集, pp. 233 - 240, (2003).