

## モデル化による WWW 応答特性の一検討

竹内 大五郎\*

小野里 好邦\*

清水英夫\*\*

木村博茂\*\*

群馬大学工学部情報工学科\*

〒376 群馬県桐生市天神町 1-5-1

TEL : 0277-30-1837

E-mail : {takeuchi, onozato}@nzt.cs.gunma-u.ac.jp

東京電力技術開発本部システム研究所通信技術研究室\*\*

〒320 神奈川県横浜市鶴見区江々崎町 4 番 1 号

TEL : 045-585-8877

E-mail : {kimura, shimizu}@rd.tepco.co.jp

あらまし 近年、Web ページの伝送時間はユーザ数の爆発的な増加や、Web ページのマルチメディア化により、長時間化の傾向にある。マルチメディア化は WWW の必須要件であるが、Web ページデータ伝送の長時間化はユーザにとって望むところではない。このためインターネットを通じての Web ページの伝送時間を把握する上で Web サーバおよびインターネットの状況を考慮にいれた負荷特性を研究することは非常に重要である。本研究では Web サーバへの負荷が Web ページの伝送時間に与える影響を把握するため疑似 Web クライアントプログラムを作成し、伝送時間の測定を行ない、その特性を調べる。また、Web サーバのシミュレーションモデルの提案を行なう。

キーワード WWW、インターネット、マルチメディア、伝送時間

## A Study on response time characteristics of a Web page over the Internet with modeling

Daigoro TAKEUCHI\*

Yoshikuni ONOZATO\*

Hideo SHIMIZU\*\*

Hiroshige KIMURA\*\*

Dept. of Computer Science, Faculty of Engineering Gunma University\*

1-5-1 Tenjin-cho, Kiryu, Gunma, 376 Japan

TEL : 0277-30-1837

E-mail : {takeuchi, onozato}@nzt.cs.gunma-u.ac.jp

Telecommunication Engineering Department, Computer and Communication R & D Center, Tokyo

Electric Power Company\*\*

4-1 Egasaki-cho Tsurumi-ku Yokohama, 230 Japan

TEL : 045-585-8877

E-mail : {kimura, shimizu}@rd.tepco.co.jp

**Abstract** The transmission time of a Web page increases as the increment of WWW users and multimedia contents. Response time characteristics of a web page access over the Internet is important to understand the transmission time over the Internet. This paper examines the transmission time of a Web page of the virtual Web client-Web server model by monitoring the Web client-Web server connection. Based on this observation, we propose a simulation model of the Web server. Finally we show the response time characteristics of a Web page over the Internet.

**Keyword** WWW, Internet, multimedia, transmission time

# 1 はじめに

WWW は近年爆発的にユーザが増加している。また、Mosaic や Netscape に代表されるマルチメディアに対応した Web ブラウザの登場により、静止画像、動画、音声などを含むことが多くなってきている。Web ページのマルチメディア化にとともに、ネットワーク上を伝送される Web ページのデータ量は肥大化し、Web ページの伝送が完了するまでに費やされる時間も長時間化の傾向にある。マルチメディア化は WWW の必須要件であるが、Web ページデータ伝送の長時間化はユーザにとって望むところではない。意味のない、巨大なインラインイメージなどの伝送はユーザに大きな不快感を感じさせるだろう。ユーザにこのような不快感を与えないためには、ユーザの環境における Web ページ伝送にかかる待ち時間を考慮に入れ Web ページをデザインしなくてはならない。Web ページの伝送時間は Web サーバの性能やネットワークの状況に大きく依存する。このため、今後インターネットを通じての Web ページの伝送時間を把握する上で Web サーバおよびインターネットの状況を考慮にいたれた負荷特性を研究することは非常に重要である。

本研究では Web クライアントがアクセスする Web ページサイズと Web ページのアクセス頻度の違いによる Web ページの伝送時間への影響を把握するため疑似 Web クライアントプログラムを作成しさまざまなパラメータのもとで、伝送時間の測定を行なう。また、CGI スクリプトが消費する CPU 時間の違いに注目し、CGI スクリプトが CPU 時間を消費する場合と消費しない場合について Web ページの伝送時間の測定を行なう。さらに、Web サーバのシミュレーションモデルの提案を行なう。

## 2 Web サーバ/Web クライアントの動作

Web ページのデータや Web ページの伝送要求は Web サーバと Web クライアント (Mosaic など) 間で HTTP (Hyper Text Transfer Protocol) と呼ばれるプロトコルにより行なわれる。HTTP は Web ブラウザとサーバの間のネットワークを経由してハイパーテキストで書かれた文章を高速に転送す

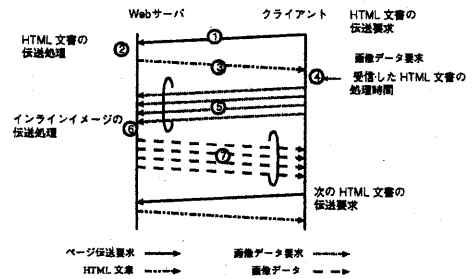


図 1: Web サーバ/クライアントの動作

るためのプロトコルであり、TELNET や FTP と同じく TCP/IP により実装される。[3][4]

Web クライアントから Web サーバへ伝送される情報の大半は HTTP により規定されている GET リクエストと呼ばれるコマンドである。GET リクエストの機能としては主に二つあり、一つは磁気ディスクなどの記憶装置に記録された Web ページデータのファイルの転送であり、もう一つは CGI スクリプトと呼ばれるプログラムを実行しそのプログラムの出力結果の伝送である。前者は、ディスクへのアクセスおよびインターネットへの伝送が主な機能であり、後者はディスクへのアクセスに加え Web サーバ上で CGI スクリプトと呼ばれるプログラムの実行を行なう。このため、CGI スクリプトを Web サーバで処理する時間が発生する。

Web クライアントの Web ページへのアクセスの大部分は Web クライアントの GET リクエストとその GET リクエストに対する Web サーバの応答である。GET リクエストは HTML 文章や画像など Web サーバ内に存在するデータ伝送要求を行なう。一般的な Web ページは HTML 文書およびインラインイメージから構成される。

Web クライアントは HTML 文書およびインラインイメージを要求するための GET リクエストをそれぞれ Web サーバに送る。Web ページにより発生する GET リクエストは HTML 文書、インラインイメージの順で行なわれる。インラインイメージの GET リクエストは Web クライアントが HTML 文書の受信後に行なわれる。

Web サーバと Web クライアント間の動作を図 1 に示す。また、以下に Web クライアントと Web

サーバの動作の概略を示す。

1. Web クライアントは Web サーバに存在する Web ページをランダムに選択しその Web ページの HTML 文書の要求 (GET リクエストの発行) を行う。
2. Web サーバは HTML 文書を Disk などの外部記憶装置から読み出す
3. Web サーバは HTML 文書を Web クライアントに伝送する
4. Web クライアントは HTML 文書を解析し Web ページに含まれるインラインイメージに関する情報を見つける。
5. Web クライアントはインラインイメージの要求 (GET リクエストの発行) を行なう。複数のインラインイメージがその Web ページに含まれている場合はすでに要求を発行しているインラインイメージの伝送終了を待たずにその他のインラインイメージの要求を行なう。
6. Web サーバはインラインイメージを Disk などの外部記憶装置からの読み出す。
7. Web サーバは Web クライアントから要求のあったインラインイメージを Web クライアントに伝送する

Web クライアントからの Web ページのアクセス頻度およびアクセスされる Web ページのサイズが Web ページの伝送時間に与える影響を調査するため、疑似 Web クライアントプログラムの作成を行なった。この疑似 Web クライアントは Web ページのアクセスを指数分布にしたがう時間間隔で発生させ、複数の Web クライアントによる Web ページへのアクセスを疑似的に生成する。

この実験に使用したシステムでは Web サーバとなる計算機は CPU として Intel Pentium 133MHz、メモリー 32MByte を搭載している。また、Web サーバプログラムとして NCSA httpd 1.3 を使用している。疑似 Web クライアントプログラムを動作させた計算機は CPU として PowerPC60 180MHz、メモリーは 48MByte 搭載している。

Web サーバと疑似 Web クライアント間は 10Base-T のクロスケーブルによるイーサネット

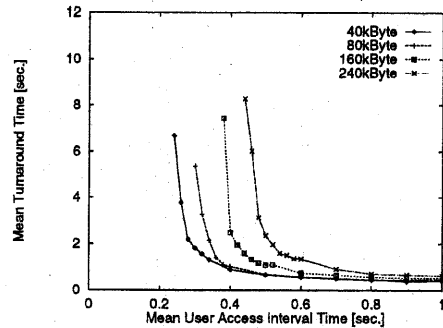


図 2: ターンアラウンドタイム (試行回数 2000, 伝送速度 10Mbps)

により接続した。Web サーバに記録されている Web ページは 9 枚で各 Web ページに 4 枚のインラインイメージを含んでいる。また、すべてのインラインイメージサイズは等しい。このシステムではインラインイメージサイズを調整することによって各 Web ページの総データ量を調整した。例を挙げると、80kByte の Web ページは 190Byte の HTML 文書に 20kByte のインラインイメージを 4 つ含んでいる。160kByte の Web ページは 190kByte の HTML 文書に 40kByte のインラインイメージを 4 つ含んでいる。

### 3 ターンアラウンドタイムの測定結果

Web ページのデータサイズおよびユーザアクセスインターバルタイムがターンアラウンドタイムに与える影響を調べるためそれぞれ 2000 回の Web ページへのリクエストのターンアラウンドタイムを測定した。また、Web ページサイズは 40kByte, 80kByte, 160kByte, 240kByte でそれぞれ測定した。図 2 が測定結果のグラフである。ユーザアクセスインターバルタイムが大きく負荷の小さい場合は、ターンアラウンドタイムも小さいが、ユーザアクセスインターバルタイムが小さくなるにつれ急激にターンアラウンドタイムが上昇する。Web ページのデータサイズが大きいく程、急激な上昇が始まる時のユーザアクセスインターバルタイムも大きい。Web サーバで 50 本の Web ページのアクセスが未処理の状態になった時を Web サーバの飽

Web ページサイズ [kByte]	40	80	160	240
飽和時のユーザアクセス インターバルタイム [sec.]	0.24	0.30	0.38	0.44

表 1: 飽和時のユーザアクセスインターバルタイムと Web ページサイズの関係

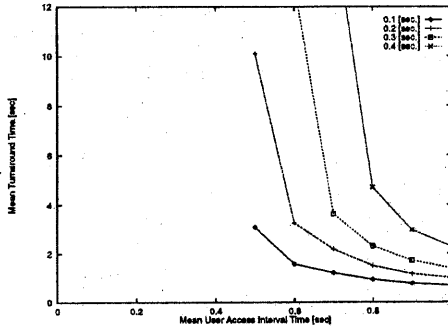


図 3: CGI スクリプトによる負荷 (試行回数 2000, 伝送速度 10Mbps)

和とみなすと、飽和時のユーザアクセスインターバルタイムを表 1 に示す。

## 4 CGI スクリプト

CGI スクリプトが Web サーバに与える負荷とターンアラウンドタイムの関係を調査を行なう。この調査では前節の 80kByte の Web ページに CGI スクリプトの要求を付け加えた Web ページを使用する。呼び出される CGI スクリプトを次の種類を用意した。(1) CPU 時間を一定時間消費を行なう。(0.1 秒, 0.2 秒, 0.3 秒, 0.4 秒) (2) 一定時間停止する (CPU 時間は消費しない)(0.1 秒, 0.2 秒, 0.3 秒, 0.4 秒)

CPU 時間の消費のある CGI スクリプトを使用した測定結果を図 3 に示す。

この図より CGI スクリプトの CPU 消費時間はターンアラウンドタイムに大きな影響をおよぼすことがわかる。CPU 時間の消費の無い CGI スクリプトを測定結果を図 4 に示す。この図より CGI スクリプトによる一定時間の停止ではターンアラウンドタイムに大きな変化は見られない。

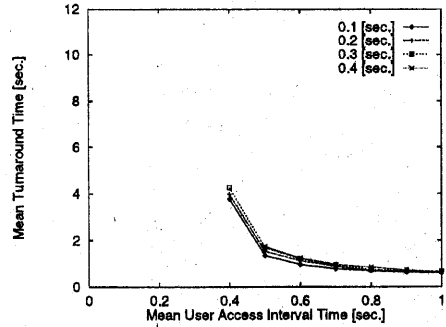


図 4: CGI スクリプトによる負荷—CPU 時間の消費なし (試行回数 2000, 伝送速度 10Mbps)

## 5 ネットワークを考慮にいたしたシミュレーションモデル

Web サーバを待ち行列、ネットワークを遅延装置と見立ててモデル化を行なう。ネットワーク遅延は伝搬遅延および伝送遅延時間からなる。伝搬遅延が一定であるとする、Web サーバ/クライアント間の遅延には伝送サイズの違いにより次の 2 種類の遅延を設定する。Delay1 は一つのバケットが TCP バケットが Web サーバから伝送が開始されてから Web クライアントで完全に受信されるまでの時間。Delay2 は HTML 文書を Web クライアントが HTML 文書を受信した後、インラインイメージの GET リクエストの伝送を開始するまでの処理時間とする。このモデルではネットワークでパケットのロスは何分布にしたがって発生するものと仮定する。また、TCP のウィンドウサイズは常に 1 と仮定する。Web ページへのアクセスが開始されると HTML 文書の GET リクエストがアクセス開始から Delay1 後に Web サーバへ到着する。Web サーバでひとつのパケットを伝送する時間を  $Q$ 、パケットサイズを  $P_{size}$ 、HTML 文書のサイズを  $x_{HTML}$  とすると、HTML 文書は  $Qx_{HTML}/P_{size}$  時間 Web サーバでサービスを受ける必要がある。また、インラインイメージのサイズを  $x_{IMAGE}$  とするとインラインイメージは  $Qx_{IMAGE}/P_{size}$  時間 Web サーバでサービスを受ける必要がある。Web サーバは各ジョブをパケット単位でサービスを行なう。サービスを受けたジョブのパケットがネットワーク内で損失するかを幾何分布にしたがい確率的に決定し、損失した場合は Timeout 後にジョブ

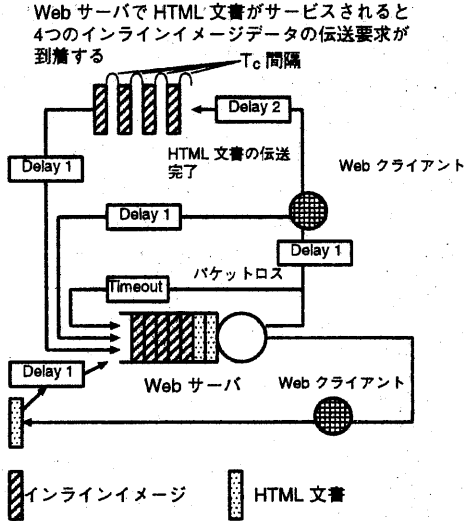


図 5: Web サーバ/クライアントモデル

は再び Web サーバの待ち行列の最後に到着する。損失しない場合は  $Delay1 \times 2$  後に Web サーバの待ち行列の最後に到着する。HTML 文書のサービスが完了すると、HTML 文書データはサービス完了から  $Delay1$  後に Web クライアントで受信され、その後 HTML 文書はクライアントで解析される。このときの HTML 文書の処理時間は  $Delay2$  である。HTML 文書の処理後 Web クライアントは最初のインラインイメージの伝送要求を送信を開始し、続けて  $T_c$  ごとに残りのインラインイメージの伝送要求の送信を行なう。この各伝送要求はクライアントからその伝送要求の送信を開始してから  $Delay1$  後に Web サーバに到着する。

以上よりこのモデルは図 5 となる。

## 6 シミュレーション結果

Web サーバのサービス率とネットワークの伝搬遅延を変化させた時のターンアラウンドタイムを図 6, 図 7 に示す。また、パケット損失率を変化させた時のターンアラウンドタイムを図 8 に示す。図中に特に指定が無い限り HTML のサービス時間は 10msec、インラインイメージのサービス時間は 100msec、 $Delay1$  は 60msec、 $Delay2$  は 90msec とする。

Web サーバのサービス時間の変化は Web サー

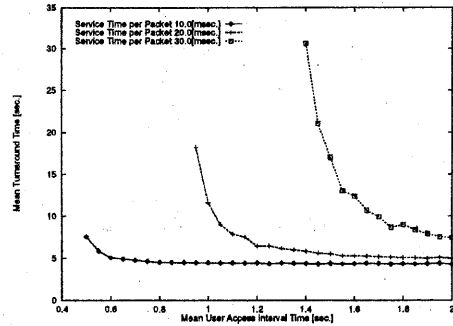


図 6: Web サーバのサービス時間が伝送時間に与える影響 (HTML 文書のパケット数 1, インラインイメージのパケット数 10,  $Delay1=60msec, Delay2=90msec$ , パケット損失率 0.01)

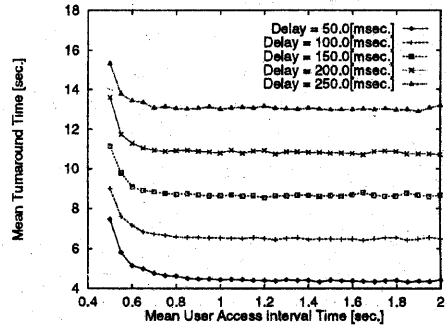


図 7: 伝搬遅延時間が伝送時間に与える影響 (HTML 文書のパケット数 1, インラインイメージのパケット数 10, 1 パケットのサービス時間 10msec,  $Delay1=Delay+10msec, Delay2=Delay+40msec$ , パケット損失率 0.01)

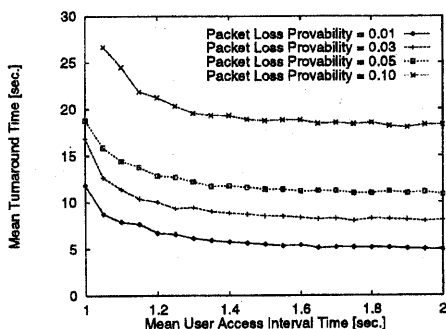


図 8: パケット損失率が伝送時間に与える影響 (HTML 文書のパケット数 1, インラインイメージのパケット数 10, 1 パケットのサービス時間 10msec, Delay1=60msec, Delay2=90msec)

バが飽和するユーザアクセスインターバルタイムに大きく影響することがわかる。

遅延およびパケット損失率の変化は飽和するユーザアクセスインターバルタイムにあたる影響は比較的小さい。この原因としては、このシミュレーションモデルがネットワークの状態が Web サーバの負荷に対して変化しないと仮定していることにある。Web サーバと基幹ネットワークを結ぶ回線などにボトルネックが存在し、Web サーバが発生するトラフィックが遅延やパケット損失率に影響を与える場合をこのモデルでは表現できない。

Web サーバの負荷特性の計測から通常の Web ページデータの伝送においては Web サーバがボトルネックとなるとは考えにくい。Web サーバがボトルネックになる原因としては、(1) CGI スクリプトによる CPU 資源の使用 (2) ディスクアクセス時間による場合が主で CGI スクリプトを使用しない場合は CPU 資源が不足することは少ないものと思われる。

## 7 まとめ

本研究では Web クライアントがアクセスする Web ページサイズと Web ページのアクセス頻度の違いによる Web ページの伝送時間への影響を把握するため疑似 Web クライアントプログラムを作成しさまざまなパラメータのもとで、伝送時間の

測定を行なった。また、CGI スクリプトが消費する CPU 時間の違いに注目し、CGI スクリプトが CPU 時間を消費する場合と消費しない場合について Web ページの伝送時間の測定を行なった。また、ネットワークを考慮にいたした場合の Web サーバ/Web クライアントのモデルを提案した。

今後、ネットワークを使った実験を行ない各モデルのシミュレーション結果と比較しモデルの精度を検証、またシミュレーションのためのパラメータの測定を行なう必要があるだろう。

## 参考文献

- [1] Shuang Deng and Alan R. Bugos. "Access Traffic Model Inferred from WWW Server". *4th International Conference on Telecommunication System*, March 21-24 1995.
- [2] Virgilio A.F. Almeida, Jussara Marques de Almeida, Cristina Duarte Murta, Adriana Andrade Oliveira, and Marco Aurelio de Souza Mendes. "Performance Analysis and Modeling of a WWW Internet Server". *4th International Conference on Telecommunication System*, March 21-24 1996.
- [3] Simon E Spero. "Analysis of HTTP Performance problems" can find. URL <http://sunsite.unc.edu/mdma-release/http-prob.html>.
- [4] ローラ・リメイ著, 武舎 広幸+久野 禎子+久野 靖訳. HTML 入門—WWW ページの作成と公開. プレンティスホール, 1995.
- [5] 名部正彦, 馬場健一, 村田正幸, 宮原秀夫. "World-Wide-Web におけるユーザートラフィックの分析". 電子情報通信学会技術研究報告, SSE96-75~94, pp. 91-96, 1996.