

## LMS “WebStudy” の開発と評価 Development and Evaluation of LMS “WebStudy”

青木 謙二\*, 鍵山 茂徳\*

Kenji AOKI\*, Shigenori KAGIYAMA\*

鹿児島大学\*

Kagoshima University

e ラーニングを行う上で必要不可欠な Web アプリケーションである LMS (Learning Management System) を独自に開発した。この LMS を実利用と負荷テストにより処理性能を評価した。開発したシステムは、一般的な LMS の機能を備え、さらに教務システムとの連携、複数の問題演習形式と解答形式、数式入力ツールなどの特徴的な機能を持つ。システムの処理能力を、実運用時の CPU 使用率と、負荷テストによる他の LMS との比較によって評価した。その結果、開発したシステムは非常にパフォーマンスの高いシステムであることがわかった。

キーワード: e ラーニング, LMS, 処理能力, 負荷テスト

A web application LMS was originally developed for e-Learning. The processing performance of this LMS was evaluated by the using and the load test. This system has functions of general LMS, and has feature functions such as cooperates with the affairs system, some exercise forms and answer forms, and the mathematical input tools. The processing performance of the system was evaluated by the CPU using rate during operating and the comparison between this system and other LMS by the load test. As a result, this developed system is very high performance.

Keywords: e-Learning, LMS, Processing Performance, Load Test

### 1. はじめに

近年、コンピュータテクノロジーを利用した教育方法である“eラーニング”が世界中の先進国で注目され、これに必要な LMS の開発と供給が盛んに行われている。eラーニングが最も進んでいるとされる米国を中心に世界中で様々な LMS が開発され、企業や高等教育機関などで利用されている。日本においてもここ数

年の内に大学への LMS の普及が飛躍的に進んだ。しかしながら、国内の大学で利用されている LMS のほとんどは外国で開発されたものであり、外国と日本の教育スタイルの違いから日本の教育に適しない部分を持つものもある。また、LMS が日本国内で開発されたものであっても、大学教育にそのまま適することはない。それは、国内で開発された大部分の LMS が企業での社員研修を目的として作られているからである。そのうえ、市販されている LMS は大学にとって非常に高価で、誰もが容易にこれを購入することができない。また、購入したとしてもその維持費に毎年多額のメンテナンス

\* 学術情報基盤センター  
〒890-0065 鹿児島市郡元 1-21-35  
Computing and Communications Center  
〒890-0065 1-21-35, Korimoto, Kagoshima-city,  
Kagoshima  
E-mail: aoki@cc.kagoshima-u.ac.jp

費が必要になる。国内でも多くの利用実績のあるフリーの LMS も存在するが、その多くは小規模での利用には問題ないものの大学単位の大規模で一斉に利用する場合は十分なパフォーマンスを得られず、実利用に耐え得るものではない。

そこで我々は、独自に LMS を開発することにした。独自に開発することによって我々の必要に応じて柔軟に改良することができ、実際の教育現場に即した LMS を開発することができる。開発は 2003 年頃から開始し、改良や試用を経て今日に至る<sup>1),2)</sup>。本研究で開発した LMS を "WebStudy" と呼んでいる。この LMS の開発に際しては、以下の 5 つの項目を主な目標としている。

- 1) 受講者の学力到達度を総合的かつ詳細に把握できること
- 2) 択一式解答の演習から脱却し、記述式解答の演習が行えること
- 3) 動的に応答する学習コンテンツを作成できること
- 4) 教務システム<sup>3)</sup>と連携できること
- 5) 大規模機関での利用に耐えうること

我々は現段階で 1), 2), 4), 5) の目標を達成することを優先し LMS を開発した。本論文では、我々が開発した LMS の機能と処理性能の評価について述べる。

## 2. システム構成

開発環境としては、Windows XP Professional を OS とし SQL Server 2000 Enterprise Edition SP4, IIS 6.0, 及び .NET Framework 1.1 を搭載したパソコンを用いた。この構成の PC は、クライアントの同時アクセス数が限られていることを除けば、アプリケーションを運用するサーバとほぼ同じ機能を有するため、サーバと同じ環境で開発を行うことができる。また、プログラム統合開発環境として Microsoft Visual Studio.NET を用いた。Web アプリケーションの開発には ASP.NET 及び

C# 言語を用いた。

開発した LMS を「WebStudy」と呼んでおり、そのログイン画面を図 1 に示す。本システムは、ID ごとに管理者、教員、学生の 3 つの権限に分け利用可能な機能を定めた。各権限に対する利用可能な機能をそれぞれ表 1, 表 2, 表 3 に示す。

管理者はシステム全体のメンテナンスを行うことができる。システム運用のベースとなる科目や教員・学生のマスタデータの管理、システムを使う科目の更新や各科目で扱われるコンテンツの管理、システムの初期化やシステム定数の更新設定など運用に関する管理などである。

教員は自分がシステム上に開講した科目それぞれについて、章節設定や機能の設定、テストの設定などの基本的な設定、受講者の確認や受講者の更新、受講者のパスワードの初期化など受講者に関する設定、受講者の学習状況の確認やその評価など成績処理、レポート課題の作成と採点、配布資料などのテキストや参考資料のアップロード、問題演習の問題や正解の作成などコンテンツ作成、学生アンケートや授業評価項目の設定、結果の参照などを行うことができる。



図 1 開発した LMS のログイン画面

表 1 管理者機能

項目	機能
マスタ管理	開設科目マスタ更新 学生マスタ更新 教員マスタ更新 履修受験調査科目更新
コンテンツ管理	e ラーニング開設科目更新 科目コンテンツ更新 問題・正解マスタ検査
システム運用管理	システム初期化 サブシステム設定 システム定数更新

表 2 教員機能

項目	機能
科目設定	章節設定 選択機能設定 テスト設定
受講者設定	受講者リスト 受講者追加更新 パスワード初期化
成績処理	演習成績一覧 成績発表
レポート	課題作成 採点対象者選択 レポート採点 レポート成績更新
コンテンツ作成	テキストアップロード 参考資料アップロード 正解作成 簡易問題作成
アンケート・授業評価	アンケート項目設定 アンケート結果参照 授業評価項目設定

表 3 学生機能

項目	機能
学習	テキスト参照 参考資料閲覧
問題演習	選択型演習 ステップ型演習 テスト型演習 学力判定型演習
学習記録	演習記録閲覧 成績発表
レポート	レポート作成 レポート成績閲覧
コミュニケーション	質問箱 掲示板 意見箱
アンケート・授業評価	アンケート 授業評価

学生は、教員がアップロードしたテキストや参考資料の閲覧やダウンロード、用意された問題の演習、学習履歴の閲覧、レポートの作成・提出と採点結果の閲覧、学生・教員間及び学生間の質疑応答などのコミュニケーション、アンケートや授業評価への回答などを行うことができる。

本システムの最も優れた特徴の一つに教務システムとの連携がある。教員データ、学生データ、科目データなどを教務システムと LMS が共有しているため、どの教員がどの科目を担当しているのか、また、どの学生がどの科目を履修登録しているのかを教務システムと LMS にそれぞれ入力する必要がなく大幅にデータ入力の手間を省くことができる。図 2 は教員が LMS 上に科目を開設する画面を示している。教員は LMS 上に科目を開設したい場合、システムにログイン後「e ラーニング科目開設」ボタンを押す。すると LMS は教務システムのデータベースを調べ、この教員が担当している科目の一覧を表示する（図 2 上部）。教員は一覧

から、開設したい科目を選ぶことによって簡単に LMS 上に科目を開設することができる。また、LMS 上に科目を開設すると同時に、教務システムのデータベースにアクセスして、その科目を履修登録している学生を自動的に開設した科目の受講者として登録する。教務システムと LMS を別々に運用する場合、システム双方に教員情報や学生情報、履修登録情報を入力しなければならないが、本システムでは教務システムとの連携によりこの行程を省くことができる。

本 LMS は学生が演習問題を解く際に、「選択型演習」、「ステップ型演習」、「テスト型演習」、「学力判定型演習」の 4 つの演習方法を使って問題演習を行うことができる特徴を持つ。図 3 に問題演習の演習形式選択メニューを示す。

「選択型演習」は用意された問題の中から、学習者が任意の 1 問を選んで解答することができる。「ステップ型演習」は教員が設定した正解率を満たせば次のレベルの問題が表示され解答することができ、基礎、基本、応用と段階的に学習することができる。「テスト型演習」は教員が設定した章節の範囲内から全てのレベルの問題がランダムに出題される小テスト形式の演習方法である。これにより、ある範囲内での学力状況を確認することができる。最後に、「学力判定型演習」は、その科目の全ての範囲、全てのレベルからランダムに問題を出題する演習形式である。これは、学習が全て終わったあとで、その科目の学力状況を確認するために利用できる。

問題の解答方法には次の 3 つの方法がある。

I) 直接入力方式: 単語、数値、数式などの解答をキーボードから直接入力し、準備された解答と合致すれば正解とする。さらに、数式解答においては、用意された答と入力された解答を簡単な並び替え規則で決めた「標準形」に変換して比べ、一致したら正解とすることもできる。  
II) 択一方式: 解候補として複数の選択肢を用意し、その中から正解を一つ選んで解答する。

III) 複数選択方式: いくつかの解候補から、正解を複数選んで解答する。

数式の入力には MathML で使用されている数式表現を使って入力する。しかし、この記述方法では全ての受講者が初めから知っている記法ではないため、受講者が慣れるまでに時間がかかる。そこで、本システムには図 4 で示すような数式入力支援ツールを作成した。演算記号や数学記号、ギリシャ文字などをボタンやプルダウンメニューから選ぶことによって、選んだものに対応する MathML 表記が自動で入力される。このツールは数式を入力する際にいつでも起動することができる。

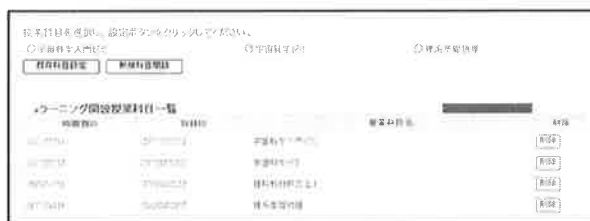


図 2 eラーニング科目開設画面



図 3 演習形式選択メニュー

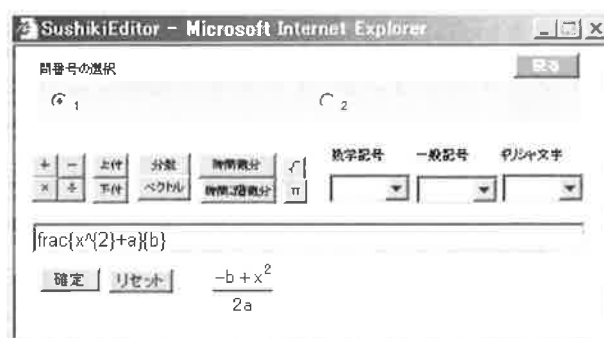


図 4 数式入力支援ツール

### 3. システム運用と処理能力評価

本研究で開発したシステムを実際の授業で使用し、動作確認と処理能力の評価を行った。また、多くの教育機関で利用されているオープンソースの LMS である Moodle と処理能力を比較した。

本システム完成後には、多くの教育機関で使用してもらうことを想定している。そのため、システムの構築に特別なサーバが必要になることや、設備の構築に高額な費用がかかってはならない。そこで本システムでは表 4 に示した入手が容易で一般的なサーバを用いてシステムの運用環境を構築した。サーバにはサーバ用として構成・販売されている DELL PowerEdge 2800 を選定した。ハードディスクは RAID 5 により冗長化し、デュアル CPU 構成とすることでサーバの処理性能の向上を図った。一般的にデータベースを用いる Web アプリケーションシステムを構築する際、Web サーバとデータベースサーバを別サーバに分け、パフォーマンスとセキュリティの向上を図ることが多い。しかし、本システムは Web アプリケーションとデータベースを一台のサーバで運用した。これは、処理速度低下の原因と考えられるアプリケーションとデータベース間のデータの受け渡しに、アクセス速度が低速なネットワークを用いることは処理速度向上のボトルネックになると考え、これを回避するためである。また、このシステムの特徴としてメモリが 6GB と一般的な Web サーバと比べると大きい点にある。これは、今回開発した Web アプリケーションが、オンメモリ処理による高速処理を実現するために、全てのデータベースのデータを一旦メモリ上に格納し、メモリ上のデータを使って処理を行うプログラム構造となっているためである。今回はメモリ使用量の詳細な評価は行っていないが、実運用中に使われるメモリは最大でも 2GB 程度であった。個人的に使用するなどの小規模運用では、CPU

のデュアル構成、HDD の RAID 構成は必ずしも必要なものではないが、大規模に運用する場合はシステム性能の向上とシステムの安定稼働のために本研究で用いた性能程度のシステムを構成する必要があると思われる。また、ここで用いたサーバ上では教務システムも同時に稼働している。

開発した本システムは平成 16 年度から大学の授業にて試験的に利用されている。本大学に所属する全教員と全学生をシステムに登録しており、教員が LMS の利用を希望する場合には自由に科目の開設ができる。平成 19 年度においてはのべ 62 科目が登録されている。全ての科目について詳細な利用状況を把握するには至っていないが、LMS の機能の一部を使っている場合がほとんどである。そのうち全学の一年生(約 2000 人)を対象とした必修科目「情報活用基礎」では、平成 18 年度と平成 19 年度において、本 LMS の「問題演習」機能を用いて情報基礎学力状況の確認テストを全学で行った<sup>4)</sup>。情報活用基礎受講者全員が一斉に本システムを利用することはないが、一クラス 50 名程度が一斉に問題演習を行うことがある。この際、システムが不安定になる、サーバからのレスポンスが遅い、などの問題を生じることなく稼働した。また、平成 19 年度には受講者数 90 名における一斉テストを、問題演習機能を用いて行い、本システムの実用性能を評価した。図 5 は LMS への一斉ログイン、一斉テ

表 4 運用システム構成

CPU	Intel Xeon 2.8 GHz×2
メモリ	6 GB
HDD	220 GB, RAID 5
光学ドライブ	CD-RW/DVD-ROM
モニタ	15 インチ XGA 液晶
ネットワーク	100Base-TX
OS	Windows Server 2003
データベース	SQL Server 2000

スト、一斉ログアウト中のサーバの CPU 使用率の時間変化を示したものである。試験監督の合図に合わせ、一斉にログイン、テスト開始、ログアウトを行った。図 5 中 Login 矢印で示すように、ログイン時が最もサーバに対する負荷が大きく最高 12%であった。テスト中(図 5 中 Test Time)はテスト開始時も含めて大きな CPU 使用率の上昇は見られなかった。ログアウト時は 10%程度まで CPU 使用率が上昇した

(図 5 中 Logout)。実運用を考えると全ての受講者がタイミングを同じくしてログインやログアウト行うことは考え難いため、実運用環境では図 5 に示すような CPU 使用率の上昇はほとんど起こらないと考えられる。たとえ同時のログイン、ログアウトが行われたとしても数百人程度までは問題なくシステムが稼働することが図 5 からわかる。この結果より、本研究で開発システムは大学などでの大規模利用に対しても安定して稼働するシステムであると言える。

さらに、他の LMS の負荷テストを行うことによって性能を比較することにより、本研究で開発した LMS の性能を評価した。比較対象にはオープンソース LMS である Moodle を用いた。Moodle は無料で利用でき、利用者・開発者が多く情報が手に入りやすいなどの利点から多くの教育機関で利用されている<sup>5)</sup>。表 5 に示した構成のサーバに Windows と Open

SUSE Linux のデュアルブート環境を構築し、それぞれ WebStudy と Moodle を稼働させた。Microsoft Visual Studio 2005 Team Suite のテストツールである Visual Studio 2005 Team System for Testers がインストールされた一台のクライアントパソコンを用いて、「サイトにアクセスしてログインを行う」テストスクリプトを作成し、このスクリプトをマルチスレッド実行しそれぞれのシステムに負荷を与えた<sup>6)</sup>。図 5 の結果よりログイン時が最もサーバに対する負荷がかかるものと判断し、負荷テストの実行項目としてログイン動作を選んだ。スレッド数を時間と共に増やしていき、その時の一秒あたりのリクエスト数と平均応答時間を計測した。Moodle に対する負荷テストの結果を図 6 に、WebStudy に対する負荷テストの結果を図 7 に示す。図は横軸に時間、縦主軸にスレッド数 (=ロードユーザ数) と一秒間あたりのリクエスト数、縦第 2 軸に平均応答時間をログスケールで示している。スレッド数は 10 秒毎に 10 スレッド、2000 まで増加させた。図 6 から、はじめ一秒間あたりのリクエスト数は増加傾向にあるが、30 スレッドに達した頃から増加しなくなっている。また、平均応答時間もおよそ 100 スレッドまでは増加しているが、それ以降は一定である。つまり、本実験に用いた Moodle では 100 ユーザ程度の利用までが処理の限界であると言える。一方、図 7

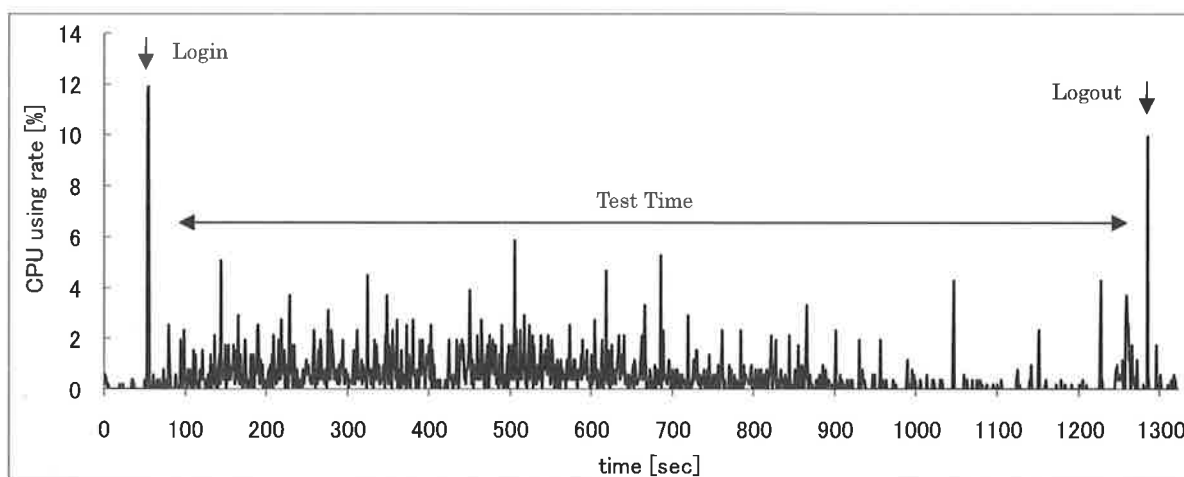


図 5 一斉テスト時における CPU 使用率の時間変化

表 5 評価システム構成

CPU	Intel Pentium D 3.2 GHz
メモリ	2 GB
HDD	54 GB SATA
光学ドライブ	CD-RW/DVD-RW
モニタ	15 インチ XGA 液晶
ネットワーク	1000BASE-T
OS	Windows Server 2003 (WebStudy 使用時) Open SUSE 10.2 (Moodle 使用時)
データベース	SQL Server 2000 (WebStudy 使用時) MySQL 5.0.26 (Moodle 使用時)

に示した WebStudy での負荷テストの結果は、ユーザ数にほぼ比例して一秒間あたりのリクエスト数は増加している。平均応答時間は約 1000 ユーザまでは 0.003 秒で一定で、1000 ユーザ以上ではユーザ数に比例して増加しており、2000 ユーザに達しても飽和していない。この結果から、WebStudy では数千人の一斉ログインに対しても安定したレスポンスを返すことができるシステムであると言える。

#### 4. おわりに

本研究で開発した LMS は鹿児島大学での実運用によってその有用性を確認することができた。さらには本研究での負荷テストによって、システムの処理能力の高さを確認することが出来た。これは、本 LMS がデータベース上の全てのデータを一旦メモリに展開し、メモリ上のデータを使用して処理を行うため、アクセス時間を短縮することができる。これにより処理時間が短縮でき、処理能力の向上につながったものと考えられる。

今後は本 LMS を多くの人に使ってもらいた

めの準備に入る。配布方法などを検討しなければならないが、まずは無償で配布することを前提に、Microsoft Visual Studio 2005 のフリーバージョンである Express Edition に対応した LMS を現在再構築中である。これによりフリーのツールを使って環境を構築することができる。配布できる体制が整えば、大学のみならず高等専門学校や高等学校へも提供でき、安価で構築できる画期的な LMS となるであろう。また、配布後は利用者からの改善要望を受け、共用性の高い機能についてシステムに組み込み、より広く普及することを目指す。

また、本研究では実現できていない冒頭に掲げた目標の 3) についても実現できるように改良していく。目標の 2) についても、本システムでは簡単な数式の並び替えによる正誤判定程度しか実現できておらず、複雑な数式や長文の文書の正誤を判定することができず不十分である。このことは現在普及しているどの LMS も持たない機能であり、この機能を獲得することがこれからの LMS 開発の大きな課題である。今後は数式や文書の構造を解析して正誤を判定できるシステムの開発を行っていく。

#### 参考文献

- (1) 青木謙二, 久保田真一郎, 鍵山茂徳: eラーニングによる理系基礎学力評価システムとコンテンツ開発, 情報処理学会研究報告, 2005-CE-82, pp.25-32, (2005).
- (2) 青木謙二, 久保田真一郎, 鍵山茂徳: LMS「WebStudy」の開発とオンデマンド型ビデオコンテンツの配信, 情報処理学会研究報告, CMS 研究会, pp.31-38, (2005).
- (3) 青木謙二, 鍵山茂徳: Web 教務システムの開発と評価, 大学情報システム環境研究, Vol.10, pp.32-39, (2007).
- (4) 青木謙二, 鍵山茂徳: 大学における教科「情報」の基礎学力確認テストの実施と結果の分析, 情報処理学会論文誌, 48 巻, 8 号, pp.2759-2766, (2007).

(5) Martin Dougiamas : Moodle オフィシャルサイト, <http://moodle.org/>, (2001). による Web アプリケーションテスト技法, 日経 BP ソフトプレス, (2007).

(6) 赤間信幸, Microsoft Visual Studio 2005

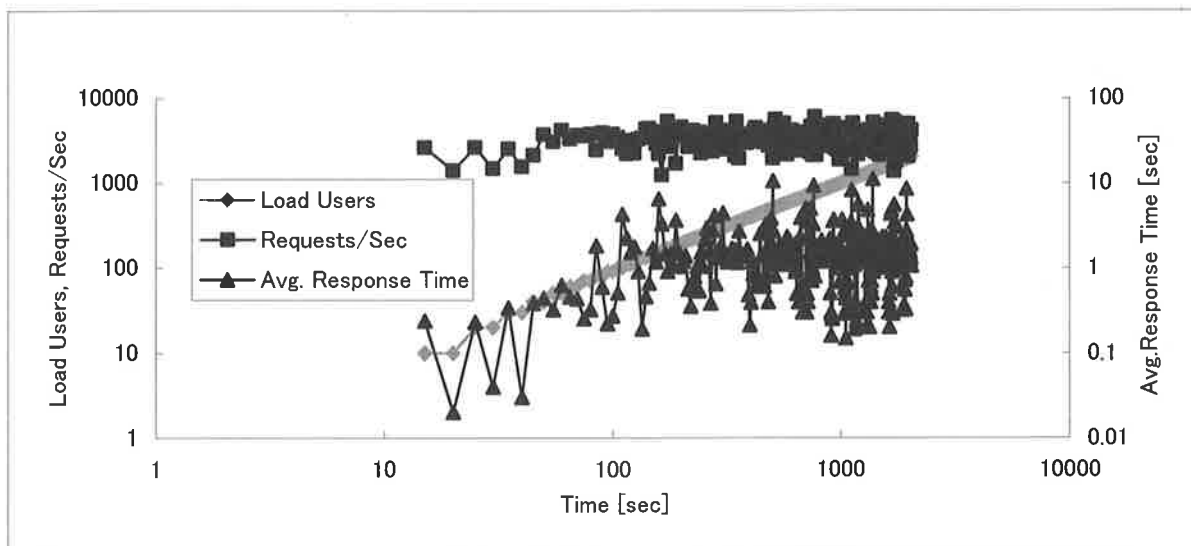


図 6 Moodle ログイン負荷テスト

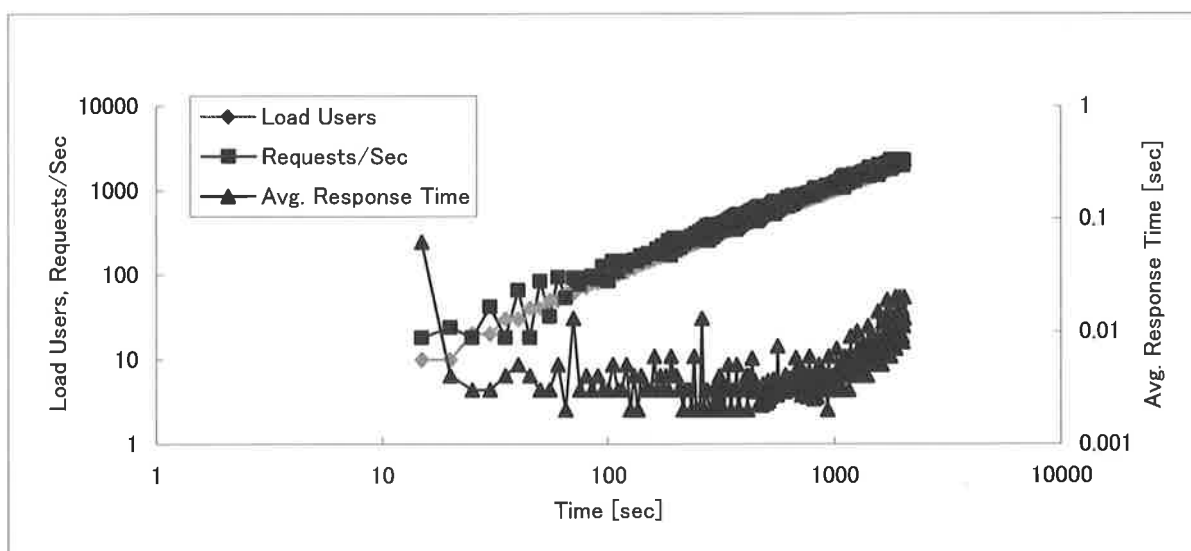


図 7 WebStudy ログイン負荷テスト



(2007年11月16日原稿受付)

(2008年3月24日採録決定)

### 著者略歴



青木 謙二 2000年九州工業大院・情報工学研究科・博士前期課程・情報科学専攻 修了, 2002年 鹿児島大・工学部・教務職員, 2003年 鹿児島大・学術

情報基盤センター・助手, 2007年 同・助教, 専門はeラーニング, システム開発.

鍵山 茂徳 1972年 九州大院・理学研究科・博士後期課程・物理学専攻・修了, 同年 福岡大・理学部・講師, 1973年 鹿児島大・教養部・助教授, 1982年 鹿児島大・教養部・教授, 2003年 鹿児島大・学術情報基盤センター・教授, 専門はシステム開発, 素粒子論.