

高等学校数学での実践的ウェブ利用の試み

TESTS : TEacher Support System for Web Based Training

藤岡健史, 荻野哲男, 岡田顕, 上林彌彦

京都大学大学院情報学研究科

〒606-8501 京都府京都市左京区吉田本町

TEL 075-753-9140 Fax 075-753-4970

e-mail: {fujioka, togino, aokada, yahiko}@db.soc.i.kyoto-u.ac.jp

概要

我々は、TESTS (TEacher Support System for Web Based Training) の研究開発を行っている。TESTS は高校数学のウェブベース学習を対象とした、生徒の学習活動の記録と再利用を統合的に支援するシステムである。TESTS では、生徒が計算機上で学習活動を行い、ここでの操作を全て操作ログとして記録してデータベース化する。この操作ログを多角的に再利用することで、様々な教育上の問題解決に役立てることが可能となる。本システムの最大の特徴は、あらかじめ計算機上の全データを記録しているために後からでも新しい利用法を構築することが可能となり、アプリケーションが単一のものに限られていない点にある。本論文では、この操作ログの一再利用機構である教師支援用可視化画面の実装とその評価について述べ、操作ログの定量解析結果についての考察を行う。

1. はじめに

計算機を用いた環境で教育を行う際の大きな利点として、学習の進捗上あるいは何か教育上の問題が起こった場合に過去の活動内容を調べられることが挙げられる。生徒の学習記録や教師の授業活動を計算機を通して行い、ここでの操作を全て記録することで、このような問題の原因の究明に役立てられる。

本研究室では、昨年度から TESTS (TEacher Support System for Web Based Training) の研究開発を行っている。TESTS は高校数学のウェブベース学習を対象としており、生徒の学習活動の記録と再利用を統合的に支援するシステムである。

現在、京都市教育委員会および京都市立堀川高等学校の協力の下、本格的な評価実験プロジェクトが稼働している。本論文では、TESTS の概要および評価実験プロジェクトについて述べる。

2. 操作ログによる活動の記録

2.1 活動の記録手法

本研究では、計算機上で生徒の学習活動を記録し、過去の活動内容を調べて様々な学習上の問題に対処する。多種多様な問題に対応するためには、できるだけ豊富な意味情報を、再利用しやすい形で蓄積することが求められる。

一般的な活動記録手法としては、ビデオ撮影が挙げられる。ビデオは記録が簡単で手軽という特徴を持つが、得られたビデオ映像から画像処理や音声認識等を用いて意味情報を取得するにはたいへんなコストがかかる。また、詳細な情報を得るためには逐次再生が必要であり、これには時間を要する。

そこで、TESTS では操作ログを用いて生徒の学習活動を記録する。TESTS で記録される操作ログはクライアントにおけるログであり、4W1H 構造(When, Where, Who, What, How)を採用している。この 4W1H 構造によ

り、サーバでのログ[1]やビデオから意味抽出を行った場合と比べて精度の高いログを得ることができる。また、操作ログを構造化する

ことによって、自由度の高い柔軟な再利用が可能となる。

logwhen	logwho	loghow	logwhat	logwhere
2002/06/08 10:59:28	hz02g123	open	http://localhost/contents/niva/math1/quadratic_funtion/question/q151/h151_4.php	
2002/06/08 10:59:27	hz02g123	incorrect	Q151_4	
2002/06/08 10:59:26	hz02g123	answer	Q151_4=<mo>mK/mo<mn>4</mn><mo>or</mo><mn>5</mn>	http://www
2002/06/08 10:59:25	hz02g120	open	http://localhost/contents/niva/math1/quadratic_funtion/question/q151/q151_6.php	
2002/06/08 10:59:24	hz02g130	open	http://localhost/contents/niva/math1/quadratic_funtion/question/q151/q151_5.php	
2002/06/08 10:59:24	hz02g120	open	http://localhost/contents/niva/math1/quadratic_funtion/question/q151/a151_5.html	
2002/06/08 10:59:23	hz02g120	correct	Q151_5	
2002/06/08 10:59:23	hz02g120	answer	Q151_5=<mn>5</mn><mo>or</mo><mn>1</mn>	http://www
2002/06/08 10:59:21	hz02g130	open	http://localhost/contents/niva/math1/quadratic_funtion/question/q151/h151_5.php	
2002/06/08 10:59:20	hz02g130	answer	Q151_5=<mo>mK/mo<mn>5</mn><mo>or</mo><mo>mK/mo<mn>1</mn>	http://www
2002/06/08 10:59:20	hz02g130	incorrect	Q151_5	
2002/06/08 10:59:12	hz02g137	open	http://localhost/contents/niva/math1/quadratic_funtion/question/q151/q151_2.php	
2002/06/08 10:59:10	hz02g137	open	http://localhost/contents/niva/math1/quadratic_funtion/question/q151/a151_1.html	

図 1 操作ログの一例

2.2 操作ログの再利用

本研究では、生徒・教師が記録された操作ログを再利用して過去の活動内容を調べ、様々な学習上の問題に対処する。生徒は、自分自身の操作ログから学習到達度をチェックし、反復学習すべき項目を調べて自分の弱点を把握する。教師は、生徒達の操作ログを分析して学習到達度評価を行い、特に弱点としている生徒の多い分野については教師自身の授業方法や教材の内容を再検討する。

TESTS では、生徒・教師による操作ログの再利用機構を、可視化技術を用いて実現する。

2.3 操作ログの可視化

TESTS では、focus+context と呼ばれる情報可視化手法を用いて操作ログの可視化を行う。表示する画面の大きさや人間の認知能力等の制限により、一度に表示すべきデータ量は制限されるが、この制限の下で、ユーザの知りたいことをユーザの観点で分かりやすく表示することができる。

この情報可視化手法を用いて、抽象化された大量の操作ログを生徒・教師にとって分かりやすい形で提示する。

3. システムデザイン

3.1 システム概要

TESTS のシステム概略図を図 2 に示す。

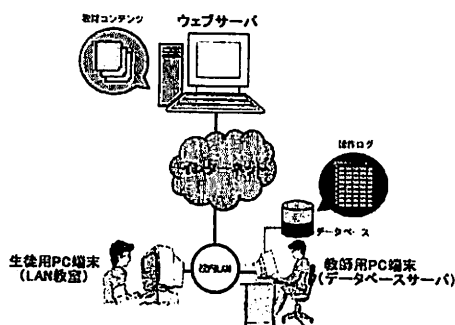


図 2 システム概要

教材コンテンツは、学校を越えた教材共有を考慮してインターネット上に配置する。生徒は LAN 教室の PC にインストールされた専用ブラウザからインターネットを介して教材コンテンツを閲覧しウェブベース学習を行う。この際、生徒のブラウザ上での全ての操作がデータベースに操作ログとして蓄積される。操作ログを蓄積するデータベースは、セキュリティ問題を考慮して校内 LAN 内に設置する。

3.2 教材コンテンツ

本プロジェクトで用いる教材コンテンツは、

2種類が用意されている。1種類は生徒が自主的に演習を行うための問題集（ドリル）であり、もう1種類は基本から学ぶことのできる基礎学習テキストである。この基礎学習テキストは、IPA（情報処理振興事業協会）の平成12年度未踏ソフトウェア創造事業に採択されているものであり、作者である関西学院高等部の丹羽時彦教諭の全面的な協力を得ている。

3.3 可視化画面

本システムで提供する操作ログの可視化画面は以下の4種類である。

- ▶ 問題別達成度確認画面

各問題別に正解した生徒を四角のアイコンで表現する。赤色は何回もやり直した後ようやく正解を出した事を意味し、青色に近付くほど容易に正解に辿り着いたことになる。
- ▶ 問題別正答率確認画面

各問題別に、正解数と不正解数の延べ数をグラフ化したものである。赤のグラフが長いほど不正解した生徒が多い問題であることを示す。
- ▶ 生徒別学習履歴確認画面

学習履歴を表示する画面は2種類が容易されている。一つは解答入力状況表示画面で、生徒一人一人の解答の入力情報が表示される。またもう一つは活動状況表示画面で、一日の学習の中で各問題に取り組んだ時間と正解・不正解の別が表示されるようになっている。
- ▶ 問題別閲覧頻度確認画面

問題別にアクセス数をグラフで表示する画面である。生徒の学習中に参照すれば、生徒の学習進捗状況をリアルタイムで把握することができる。

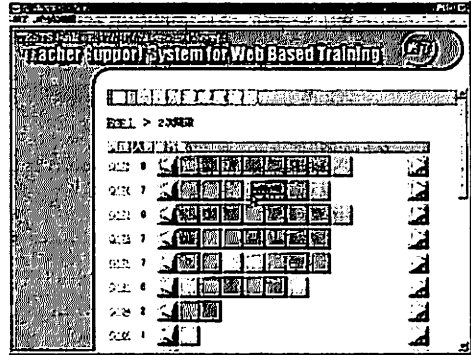


図3 問題別達成度可視化画面

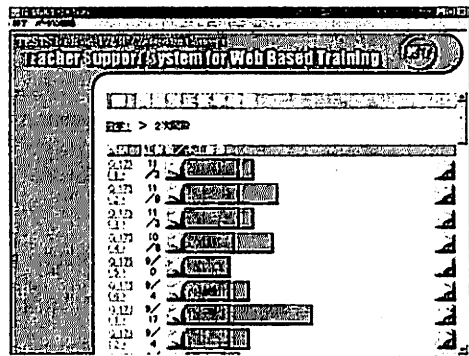


図4 問題別正答率確認画面

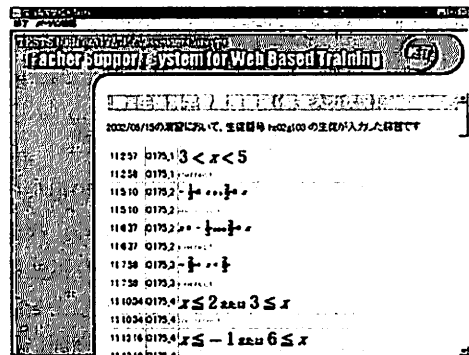


図5 生徒別学習履歴確認画面
(解答入力状況)

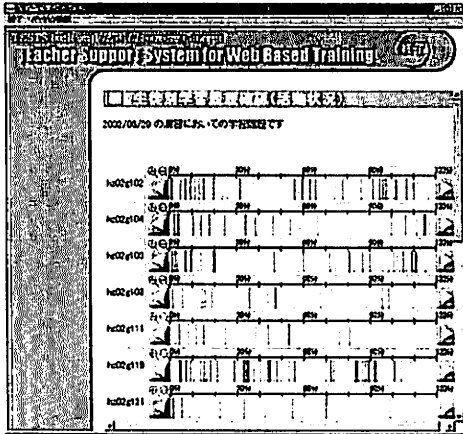


図 6 生徒別学習履歴確認画面
(活動状況)

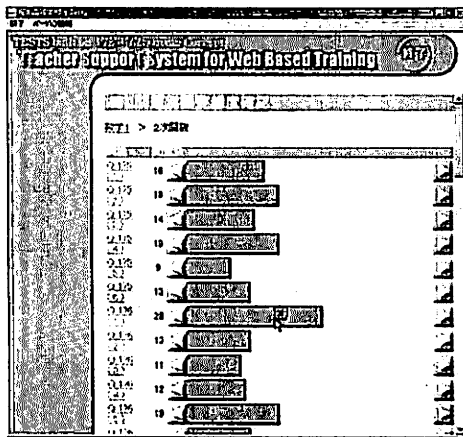


図 7 問題別閲覧頻度確認画面

これらの可視化画面は、操作ログ可視化モデルに基づいて設計されたものである。操作ログ可視化モデルでは、操作ログの属性値4W1Hの5次元データのうち2次元以上を固定し、3次元以下のデータを可視化画面に描画する。この可視化画面では、縦軸・横軸・色または形状を用いて3次元データの可視化を行う。こうして設計された可視化ビューのうち、高等学校の先生方から有益であると意見を頂いた上記3種類を本プロジェクトでは採用している。

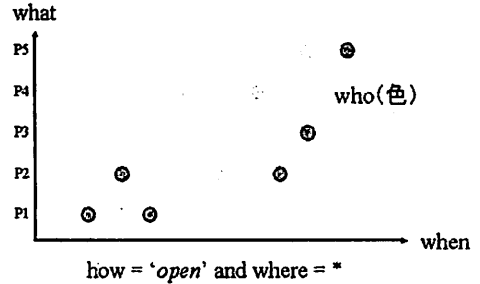


図 8 操作ログ可視化モデル

4. 実装

TESTS では、生徒のブラウザへの操作を全てキャプチャする専用ブラウザがサポートされている。これは Visual C++を用いて実装されており、Visual C++から Web Browser コンポーネントを制御し独自スクリプトを用いてイベントを定義・発生させて操作ログを生成・記録する。

以下に、上記のアプリケーションへのシステム要件を列挙する。

- (1) ブラウザへの操作を全てキャプチャ
- (2) 学習履歴レビュー画面の提供
- (3) 教材コンテンツのインタラクティブ性
- (4) クライアントへのインストール作業軽減
- (5) 操作ログはローカルに保存

これらの実装方法について、以下に説明する。

(1)については、ActiveX を用いて WebBrowser コンポーネントを制御し、独自 Script にてイベントを定義・発生させサーバよりクライアントを操作・記録を行う方式とする。

(2)および(3)については、Java Applet を利用する。これは、Java Applet を用いることで様々なビューを Web 上で表示できるという理由による。また、Internet Explorer を利用する。Internet Explorer

により、XML、CSS など構造化機能に素早く対応可能となる。

(4)については、ブラウザアプリケーションを使用し、また(5)については、ActiveX より ADO を用いてローカル DB に接続する。これは、Java Applet ではセキュリティ問題を考慮してローカル DB への接続を禁止しているためである。

以上を考慮し、提供するアプリケーションは表 1 のようなアーキテクチャとする。

レイヤ 1	ブラウザ (Internet Explorer)	
レイヤ 2	ActiveX	
レイヤ 3	ブラウザ (WebBrowser コンポーネント)	ADO (ActiveX Data Object)
レイヤ 4	Java Applet	

表 1 アプリケーションの
4 レイヤアーキテクチャ

5. システム評価

5.1 システム運用形態

現在、京都市立堀川高等学校の協力の下、本格的な評価実験プロジェクトを稼働させている。本年度は土曜日の PST (自主学習時間) を用い、隔週で 1 年生普通科クラスに対して運用を行っている。

生徒は定められた時間に LAN 教室に入り、TA のサポートの下でウェブベース学習を行う。

5.2 評価検討項目

評価実験では、操作ログの解析による定量的な評価とアンケートによる定性的評価を行う。評価・検討項目は以下の通りである。

➤ WBT における操作ログの再利用方法

の検討

➤ 高等学校における効果的な WBT の利用方法の検討

5.3 アンケート結果による定性評価

前節で述べた評価・検討項目に対し、生徒へのアンケートを用いて定性評価を行った。以下は、初回(5月25日)、二回目(6月8日)に行ったアンケートの分析結果である。

参加生徒の普段のパソコンの使用状況は、普段はほとんど使わないと答えた生徒が 34%であった。また、パソコンや携帯電話等の IT 機器の操作が苦手と回答した生徒は、全体の 16%であった。このように参加した生徒の一部にはパソコンへの抵抗が見受けられたにも関わらず、初回のアンケートの結果によると数学のウェブベース学習自体に対しては肯定的な意見を持っていた。さらに、二回目のアンケートでも同様の質問を行ったが、初回と同様にウェブベース学習への意欲は高い。

また、誤答を出した時に表示されるヒントページの解説に対する満足度は、役に立たないと答えた生徒が初回 6%・二回目 13%となっており、満足度は高かったと言える。

さらに、二回目は前回と比べて勉強がはかどったと回答している生徒が 62%にのぼり、その理由は「パソコンの操作に手間取らなかったから」が最も多かった。つまり、パソコンの操作に慣れるための時間を減らすことができれば、生徒はウェブベース学習に抵抗なく取り組めると言える。

最後に、生徒が自分の操作ログから達成度グラフを閲覧できることに対する意見としては、勉強中に頻繁にグラフをチェックする生徒が 25%、勉強後(テスト前など)にチェックする生徒が 62%にのぼっている。このため、操作ログデータベースを再利用して自己到達度のチェックを行うことの意義を生徒自身が感じていることが分かる。

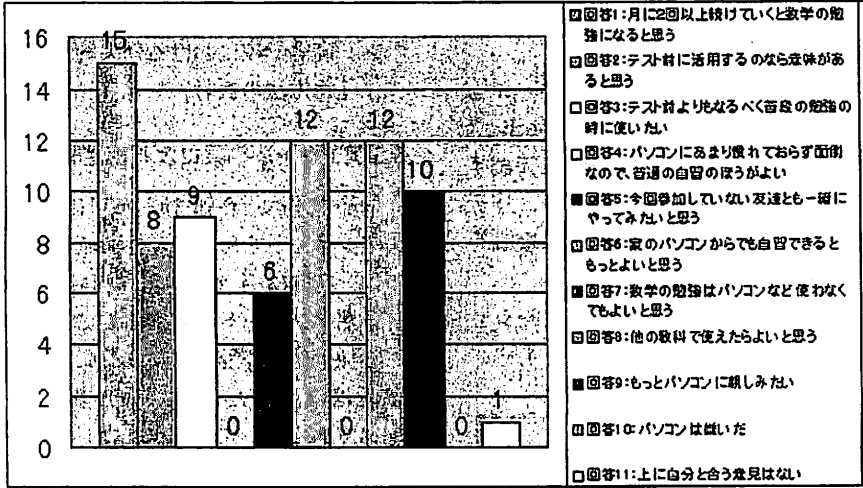


図9 アンケート結果（初回分）

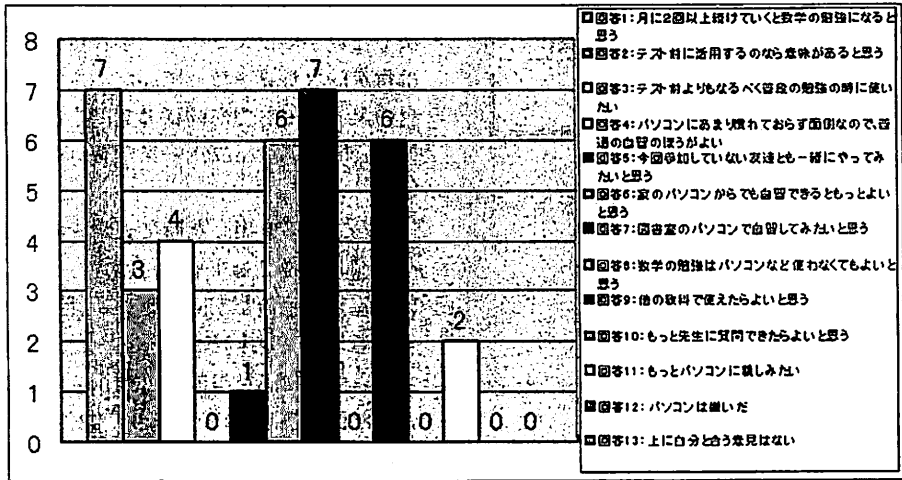


図10 アンケート結果（二回目分）

5.4 操作ログの解析による定量評価

WBT における操作ログの再利用方法を検討し、その妥当性を検証する為、今回の実験で得られた操作ログを用いて教師に正答率を可視化することを考える。この場合、正答率は、一般的には、生徒が正解した回数を正解と不正解の合計回数で割ることで定義することが出来る。しかし、WBT を用いた教育システムの場合、計算機に対するリテラシーの

違いにより、操作ミスに起因する不正解などが存在する。具体的には、システム上で数式を入力することに慣れていないため、不等号記号を入力し忘れたり根号記号を閉じずに数式を続けて入力してしまうことで、操作ログに余分な不正解という記録が行われることがあった。このような記録は本来、正答率の算出から除外されるべきである。

そこで我々は、各生徒の計算機に対するリテラシーの差がどの程度操作ログに影響を与

えているのか、定量的に評価することにした。この結果を考慮することで、リテラシーに影響されない正答率を教師に可視化でき、より信憑性の高い情報を提供できると考えている。

まず、操作ログにある不正解の記録について、その原因を調べることで、表2のような結果が得られた。

通常の不正解	710 個
操作ミスに起因	62 個
ヒントを見るために適当に入力	58 個
解答ボタンを連打	60 個
システムの不具合	4 個

表2 不正解の原因

これらのうち、ヒントを見るために適当に入力したものの（解答が不正解になるとヒントページが見られるために明らかに誤答となる解答を入力する場合が見受けられる）や、システムの応答の悪さなどの理由から解答ボタンを連打したもの、システムの不具合に起因するものは、生徒のリテラシーとは無関係であるため、定量評価に用いるデータから除外した。

まず、我々は「本システムを使う回数が多くなればなるほど操作ミスが減る」と仮定した。これにより、本システムをどのくらいの頻度で利用すれば正答率の精度があがるのかの指針が得られると考えたからである。

利用回数	全不正解数	操作ミス	割合(%)
1回目	378	18	4.8
2回目	222	27	12.2
3回目以上	172	17	9.9

表3 利用回数と操作ミスの頻度

結果は表3のとおりである。 χ^2 乗検定(以下の検定も同様)の結果、確率 $P=0.0079$ より、利用回数と操作ミスの頻度に関係がないという結論になった。そこで、この原因を調べてみると、学習単元(実験実施日に依存)によって操作ミスの起こりやすさが大きく異なり、この影響が大きいからであることが分

かった。(表4)

実験実施日	全不正解数	操作ミス	割合(%)
2002/05/25	336	17	5.0
2002/06/08	124	13	10.5
2002/06/15	84	15	17.9
2002/06/29	165	15	9.1
2002/07/13	52	2	3.8

表4 実験実施日と操作ミスの頻度

一方、アンケートから得られた定性的な情報で生徒を分類することで、計算機に対するリテラシーと操作ミスとの関係を調べてみた。利用したアンケート内容は表5である。

パソコンは日常的に使用しますか?	回答数
ほぼ毎日使う	4
週に数回程度使う	4
月に数回程度使う	4
ほとんど使わない	6

表5 パソコン利用頻度に関するアンケート結果

このアンケートに回答した生徒を、同じ単元の学習・同じシステム利用回数(1回目)という条件下の実験結果を集計したのが、表6である。

パソコンは日常的に使用しますか?	全不正解数	操作ミス	割合(%)
ほぼ毎日使う	52	0	0
週に数回程度使う	85	8	9.4
月に数回程度使う	95	5	5.3
ほとんど使わない	92	7	7.6

表6 アンケート回答と操作ミスの頻度

検定の結果、 $P=0.1765$ より、アンケートで生徒が回答したパソコンの利用頻度と操作ミスの頻度に関係がみられることが分かった。また、パソコンをほぼ毎日使うと答えた生徒は操作ミスによる不正解が極めて少なく、ほとんど利用しないと答えた生徒のほうに操作ミスが多いことがわかる。

以上の評価によって、操作ミスによる不正解は学習単元に大きく依存し、生徒が自己評価するパソコンの利用頻度が高いほど操作ミスが減少することがいえる。このことにより、正答率の可視化を行う際には、生徒のパソコン利用頻度も考慮に入れた方法を考える必要がある。また、学習単元に大きく依存することが分かったので、操作ミスが予想される単元では正答率が低く計算される可能性が高いことを踏まえて、あらかじめそれを考慮しておく必要がある。

6. 関連研究

[1]では、学習者の閲覧履歴をプロキシサーバのログから構成する。本研究ではクライアントのログを用いており、より精度の高い解析が可能である。

また、[2]では、大学を対象として WWW を利用した講義支援システムを構築している。本研究では高等学校を対象としており、大学に比べて生徒自身に学習のモチベーションが少ない場面でのウェブベース学習の有り方についての検討が必要である。

ジョージア工科大学における eClass プロジェクト[3]は、電子教室における講義を前提として、大学で大規模な評価実験を行っている。

7. まとめ

本論文では、TESTS の概要および評価実験プロジェクトについて述べた。今後は本格的なログ分析を含めた評価を行い、新たな知見の検証を進める。

謝辞

この TESTS プロジェクトの実施にあたり、コンテンツ作成に関して多大な協力を賜りました関西学院高等部丹羽時彦教諭に感謝致します。また、評価実験の実施にあたり全面的な協力を頂きました京都市教育委員会・情報

教育センター・京都市立堀川高等学校に心より感謝致します。

ならびに、平素より大変有益な議論を頂きました研究室の皆様にも感謝致します。

参考文献

- [1] 金西計英, 妻鳥貴彦, 矢野米雄, “LOGEMON: Web 教材を使用した授業での教師支援システム-学習者の閲覧履歴の視覚化による教師支援-”, 電子情報通信学会論文誌 Vol.J83-D-I No.6, pp.658-670, 2000.
- [2] 小島勇治, 赤池英夫, 角田博保, “WWW を用いた講義支援システムの開発-”, 情報教育シンポジウム論文集, vol.2001, no.9, pp.123-128, 2001.
- [3] G. D. Abowd, “Classroom 2000: An Experiment with the Instrumentation of a Living Educational Environment”, IBM Systems Journal, vol.38, No.4, pp. 508-530, 1999.
- [4] 荻野哲男, 藤岡健史, 住友千紗, 岡田頭, 上林彌彦, “操作ログを活用した高度な教育システムの実践”, 電子情報通信学会技術研究報告, vol.102, no.208, pp.127-130, 2002.
- [5] 藤岡健史, 荻野哲男, 岡田頭, 上林彌彦, “高校数学教育でのウェブベース学習実践とその評価”, 第 1 回情報科学技術フォーラム FIT2002, 掲載予定, 2002.