

教材選択の自由度の高い学習における 教員・学習者間のインタラクション支援環境

中村 勝一[†] 佐藤 和彦[†] 藤森 操^{††}
小山 明夫^{††} 程 子学^{††}

本論文では、学習者自らによる自由度の高い教材選択に基づく柔軟な学習を想定した教育支援環境について述べる。このような学習においては、個々の学習者の学習状況をいかに把握するかが、従来の学習スタイルと比較すると教員にとってより重要な課題となる。また、教材選択において満たすべき条件を教員が容易に設定可能であり、それが学習者に的確に伝わるのが重要である。本研究では、これらの課題について教員と学習者の双方を支援することを目的とした支援環境を構築する。まず、教員の教材作成と教材選択に関する条件設定に対する支援を実現した。次に、学習者の教材閲覧履歴の取得・管理についての方式を提案した。また、教員が各学習者の学習状況を視覚的に把握するための情報提示を実現した。さらに、学習者に対する視覚的な教材ナビゲーションを可能とした。最後に、本支援環境を用いた授業実験について報告し、それに基づいた考察を行う。

A Support System for Teacher-Learner Interaction in Learner-oriented Education

SHOICHI NAKAMURA,[†] KAZUHIKO SATO,[†] MISAO FUJIMORI,^{††}
AKIO KOYAMA^{††} and ZIXUE CHENG^{††}

In this research, a support system for learner-oriented education is described. In learner-oriented education, education materials are able to be selected flexibly by learners according to their interests, current knowledge and so on. In such a learning style, it is very important to grasp learning situation. Furthermore, the selection of education materials should be supported properly. To solve these problems, our system provides the support for authoring of education materials, and for setting the conditions in selecting education materials. The support for learners in selecting education materials is also provided. These supports enables learners to learn effectively based on flexible selection of education materials. These also enables teacher to prepare education materials easily and to set conditions for material selecting easily. Learning situation is also able to be grasped by teacher rightly with these supports. Experiments with this support system were performed and their results have shown the effectiveness of it.

1. ま え が き

ネットワーク技術の発達にともない、ネットワーク環境において教育をはじめとする様々な活動が行われるようになってきている。一方、従来のような画一的な教育の問題点が指摘され、理解状況や興味関心など学習者の状況に応じた柔軟な教育の実現が重要となっている。従来は学習内容はあらかじめ決められており、学習者自ら学習内容や教材を選択し、自分の理解速度

に合わせた学習を行うことは実現されていなかった。本研究では、学習者自らが従来と比較してより自由に教材選択を行う学習形態、つまり学習者主体の学習における教員・学習者双方の支援方法について述べる。

一般に教員は限られた時間内で、多くの学習者を指導しなくてはならないため、学習者の理解状況などに応じた柔軟な指導を行うことは難しい。本研究で扱う教材選択の自由度が高い学習においては、このことがいっそう大きな課題となる。よって教員が学習者の状況をできる限り容易に把握するための支援が重要となる。また、学習者自身による自由度の高い教材選択を認めることと、学習にあたりまったく何の条件も与えないこととは本質的に意味が異なる。つまり、学習にあたって最低限満たすべき条件などが教員から学習者に対して的確に伝えられる必要がある。そのため、こ

[†] 会津大学コンピュータ理工学研究科
Graduate School of Computer Science and Engineering,
The University of Aizu

^{††} 会津大学コンピュータ理工学部
School of Computer Science and Engineering, The Uni-
versity of Aizu

これらの学習において満たすべき条件に関する意志伝達、いわば教授・学習活動における一種のインタラクシオンを支援することも重要な課題である。

これらの課題に関する取組みとして、金西らが開発した LOGEMON¹⁾ では、教材をあらかじめ主説明、参考説明などに分類し、学習者の教材閲覧の履歴をそれらの分類と重ね合わせて教員へ提示することにより学習状況把握の支援を行っている。学習内容や教材が限定される場合には有効であるが、教員があらかじめ教材を分類して学習者に提示するため、多様な学習ニーズへの対応には効果的とはいえない。香山らの開発した探索学習支援システム²⁾ では、教材に対して意味特性を付加し、それに基づいた教材探索のためのナビゲーションを試みている。ここでは、教材探索に関する活動履歴を取得しナビゲーションの生成に利用しており、教材が限定される場合には効果が期待できるが、教員があらかじめ意味特性を付した教材のみを使用するため、多様な学習ニーズへの対応という点では、やはり十分な支援とはいえない。桑原らが開発した MESIA³⁾ では、学習者の演習問題への解答や質問履歴などから、学習者の状態を把握する環境が提案されている。学習内容および教材が限定されている場合には有効であるが、学習者が自ら学習内容を自由に選択していく場合には、あまり有効とはいえない。また、学習者の状況の把握が、演習問題における解答状況の監視によるため、授業全体における学習状況の容易な把握には十分ではない。松本らは、マウスの動きなどの物理的履歴の管理により学習者の振舞いを観察し、授業後にもその様子を再現可能な環境を開発している⁴⁾。教材の問題点の検討などには有効であるが、授業時における実時間での学習状況の把握には有効とはいえない。テスト支援を主な目的としたシステムも中山によって開発されているが、テストの解答結果や質問回数などによって教員へ提供する情報の生成を行っているため、テスト以外の学習状況の把握には十分な支援とはいえない⁵⁾。西野らによって学習者の心理状態の把握に焦点を当てたシステムが開発されている⁶⁾。学習者の学習意欲を把握し、教員が授業時の参考にするという側面では一定の効果が期待できるが、授業時における実時間での学習状況の把握には十分とはいえない。谷口により、プログラミング教育において学習履歴を分析し、その結果と成績との関係を調査することで、演習の改善のための資料を得る試みが報告されている⁷⁾。しかし、学習履歴の収集・分析が手作業によるため、先に述べたような現実の時間的制約を考えると、実用的とはいえない。

また、これらの支援システムはいずれもそのシステム専用開発された教材かあらかじめ教員によって指定された教材のみを使用するため、学習者自身による教材選択は考慮されていないか、限られた教材の中での選択しか想定していない。そのため、そこで扱われている学習履歴は、あらかじめ用意された教材だけを対象とするものがほとんどである。つまり、i) 学ばせる内容・教材がすべての学習者に対して同一な場合、ii) 学ばせる内容はすべての学習者に対して同一だが、学習者の理解状況などに応じて、限られた教材の中から選択させる場合、に対する支援は数多く報告されているが、iii) 選択肢の中から学ぶ内容をいくつか選択させ、それに応じて教材も数多くの中から選択させる場合、iv) 選択肢の中から学ぶ内容を比較的自由に選択させ、それに加えて学習者自らが主体的に学習内容や教材を見つけて、深く調査・考察していく場合、に対する支援はあまり実現されていない。

一方、Web の構造や閲覧履歴の視覚化に関する研究として、塩澤らの研究^{8)~12)} があげられる。これらは、対象となる Web サイトをすべて閲覧しなくてもそれらの構造の視覚化によって、全体の把握を容易にし、内容の類推を可能とするものである。したがって、閲覧履歴を学習履歴としてはとらえておらず、そのままでは学習状況の把握には有効とはいえない。

これらのことから、学習者自身による自由度の高い教材の選択を考慮した、つまり上記 iii), iv) のような学習形態を想定した学習履歴の取得と、そこから生成した学習状況を示す情報を教員に効果的に提示することが重要であるといえる。

そこで本研究では、上記 iii), iv) のような学習形態を想定し、まず学習者の教材閲覧履歴を的確に取得し、そこから得られた情報を教員に対してできる限り分かりやすく提示することによる、教員の学習状況把握の支援方法を提案する。次に、学習者が教材選択において満たすべき条件の教員による設定を容易にし、学習者に対してそれらの条件に基づいた教材選択のためのナビゲート情報を与えることによるインタラクシオンの支援方法を提案する。

本支援環境の実現により、教員は自ら作成した教材はもちろんのことインターネット上に公開されている教材についても、学習者がそれらを選択し学習する際に満たすべき条件を容易に設定し授業に用いることが可能となる。また、本支援環境により提供される学習状況に関する視覚的情報を活用することで、教員による学習状況把握が支援され、結果としてより効果的な指導を行うことが可能となる。さらに、学習者は本

支援環境が提供する教材選択に対する支援（教材ナビゲーション）を活用することで、教員の設定した教材選択に関する条件を満たしつつ自由度の高い教材選択を行うことが可能となる。

本論文では、2章で本研究で想定する学習形態における課題と本研究での支援方針について述べる。3章では、教材作成と教材選択に関する条件の設定についての支援、4章では、学習履歴の取得と学習状況の把握に関する支援についてそれぞれ述べる。次に5章で、学習者に対する教材選択支援について述べる。6章で、本研究で開発した支援環境を用いた授業実験について述べ、その結果に基づく考察を行う。最後に7章で、本論文のまとめと今後の研究課題について述べる。

2. 主体的学習における教員・学習者支援

本研究においては、Webドキュメントを教材として利用することを想定している。従来よりWebドキュメントを用いた学習はなされてきているが、あらかじめ教員が教材として利用するWebドキュメント（以降、教材と呼ぶ）を学習すべき順に順序付けしたうえで、学習者に対して指示するという方法が主であった。そのため教材は限られた数ですむため、授業ごとに教員自らが教材を作成するが多かった。しかし、本研究では、学習者が興味関心などに応じて自ら教材を選択する、いわば主体的学習を想定するため、教員がすべての教材を作成し、その学習順序などを指定することは困難である。そこで本研究では、教員が自ら作成した教材に限らず、インターネット上に公開されている教材も利用することを想定する。また、教員があらかじめ指定する教材に加え、学習者自らが検索などにより発見した教材の利用も想定している。実際の授業イメージとしては、基礎としてすべての学習者が学べき学習内容についての教材を教員が指定し、それらの学習に続いて、設定された何らかの課題を学習者自らが解決していくようなスタイルの学習を想定している。ただし、いわゆる自学自習ではなく、学習者の状況に応じて教員が適宜指導を行う従来の演習授業のような形式を想定している。ここでまず、必ず学べき教材やその学習順序などの条件をいかに設定し、学習者に伝えるかが課題となる。また、学習者の状況をいかに把握するかも重要な課題となる。これは、教材に限られた従来の学習形態と比較して、それぞれの学習者がどの教材に取り組んでいるのかを把握することが大変難しくなるためである。さらに、教員が設定した条件を満たしつつ、学習者が興味関心などに応じて教材を容易に選択できることも重要である。

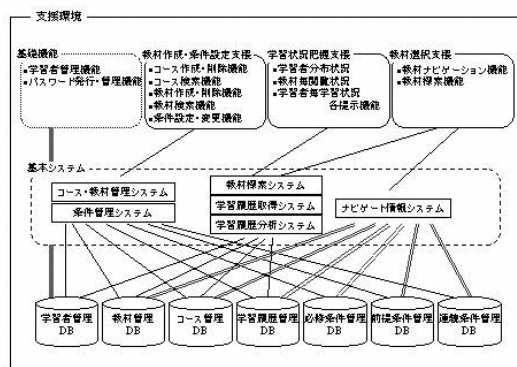


図1 本支援環境の全体構成

Fig. 1 Configuration of this support environment.

これらの課題を解決するために、本研究では以下の支援からなる支援環境を開発する。

- 教材作成・条件設定支援
- 学習状況把握支援
- 教材選択支援

本支援環境は、図1に示すように、これらの支援を構成する諸機能、それらの機能を実現するための、コース・教材管理システム、条件管理システム、学習履歴取得システム、学習履歴分析システム、教材探索システム、ナビゲート情報システム、およびこれらの各システムを統合し、学習者の識別やパスワード発行・管理などの基本機能を実現する基本システムから構成される。また、これらのシステム内で扱う各種情報を蓄積・管理するために以下のデータベースを作成した。

- コース管理データベース
- 教材管理データベース
- 学習者管理データベース
- 学習履歴管理データベース
- 必修条件管理データベース
- 前提条件管理データベース
- 連続条件管理データベース

必修条件、前提条件、連続条件については3.2節で述べる。

3. 教材作成・条件設定支援方法

3.1 教材作成支援

教員が自ら作成した教材、およびインターネット上に公開されている教材を容易に登録し、授業に利用できるようにするため、本支援環境では、以下の機能からなる教材作成支援を提供する。

- コース作成（登録）・削除機能
- コース検索機能

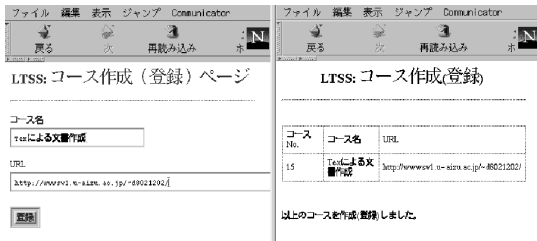


図 2 コース作成 (登録) 画面の表示例

Fig. 2 Screen image of course registration function.

- 教材作成 (登録)・削除機能
- 教材検索機能

[コース作成・削除機能]

本支援環境を用いて授業を行おうとする場合、教員はまずコース作成 (登録) 機能 (図 2) を利用して、その授業をコースとして登録する。ここでは、教員により決定される任意のコース名とそのコースのための教材 (Top ページ) の URL を入力することにより、コース・教材管理システムによってコース No. が自動的に割り当てられ、これらの情報がコース管理データベースに登録される。この情報は、教材作成などの作業時にコース・教材管理システムによって適宜使用される。すでに作成 (登録) したコースを削除する場合には、コース削除機能を利用し、削除するコースをコース No.、コース名、URL などによって指定するだけで削除を行うことができる。これらの作業において、すでに登録したコースに関する情報を必要とする場合には、コース検索機能を用いて、コース No.、コース名、URL などによる検索、あるいはすべてのコース情報の表示を行うことが可能である。これらの作業において、データベースの情報更新などはすべてコース・教材管理システムによって自動的に行われるため、教員はデータベースに関する知識をいっさい必要とせず、簡単に操作を行うことができる。

[教材作成・削除機能]

教員があらかじめ教材を指定する場合には、教材作成 (登録) 機能 (図 3) を利用して教材を登録する。ここでは、コース No.、教員によって決定される教材名とその教材の URL を入力することにより、コース・教材管理システムによって教材 No. が自動的に割り当てられ、これらの情報が教材管理データベースに登録される。教材を URL で管理することにより、教員自身が作成したものとインターネット上に公開されている教材を同様に扱うことができる。教材の削除や検索についても、教材削除機能および教材検索機能を利用し、コースの削除や検索と同様に教材 No.、教材名、

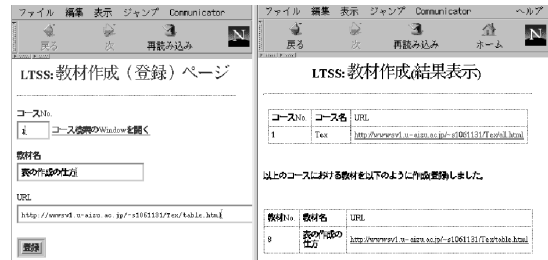


図 3 教材作成 (登録) 画面の表示例

Fig. 3 Screen image of material registration function.

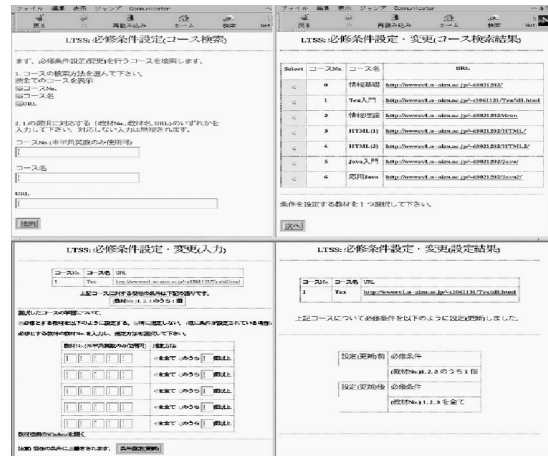


図 4 条件設定画面の表示例

Fig. 4 Screen image of condition setting function.

URL などから容易に行うことが可能である。

3.2 条件設定支援

学習者が教材選択において最低限満たすべき条件として、ここでは必修条件、前提条件、連続条件の 3 種類を定める。これらの条件の設定・変更をできる限り容易に行えるようにするため、簡単な入力のみでそれらの作業が可能なる条件設定・変更機能を開発した (図 4)。

必修条件とは、そのコースの学習上、すべての学習者が必ず学習すべき教材に関する条件を意味する。この条件の設定については、条件を厳密に一般化したレベルまで扱うことも考えられるが、実際の利用を考えると著しく複雑な条件を設定する場合は少ないものと思われる。一方、このような一般化したレベルの条件の入力には論理式などの難しい表現を用いる必要が生じる。ゆえにここでは、条件を設定・変更するコースを選択し、複数あるいは 1 つの教材を指定したうえで、(1)「それらすべてを学ぶ必要がある」、(2)「その中の n 個以上を学ぶ必要がある (n の値は教員によって決定される)」のどちらかを選択することとし、複雑な条件の入力などについては扱わないものとした。よっ

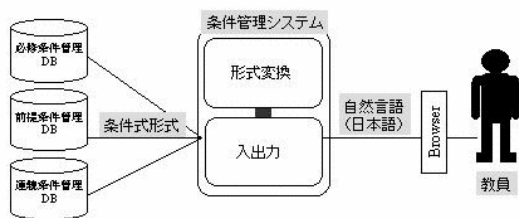


図 5 条件管理システム

Fig. 5 Configuration of condition management system.

て教員は、教材の選択と簡単な入力のみで設定・変更を行うことが可能である。

前提条件とは、ある教材を学習する場合、それ以前に学習していることが必要な教材を意味する。この条件の入力には、必修条件と同様の (1)「それらすべてを学ぶ必要がある」、(2)「その中の n 個以上を学ぶ必要がある (n の値は教員によって決定される)」に加え、(3)「その中のいずれか 1 つを学ぶ必要がある」という形式を設けた。これは、必修条件と比較して設定や変更の回数が多いと思われるため、教員の作業をやすくするためである。この条件の設定・変更も、対象とする教材を選択し、その教材の学習以前に学習すべき教材を複数または 1 つ選択したうえで、(1)~(3)のいずれか 1 つを選択することで容易に行うことができる。

連続条件とは、ある教材を学習した場合、次に必ず続けて学習すべき教材が存在する場合に、その連続すべき教材を意味する。この条件の設定・変更は、対象とする教材を選択し、その教材に連続すべき教材の教材 No. を入力することにより、簡単に行うことができる。これらの条件の設定・変更に関する情報は、条件管理システムによって、必修条件管理データベース、前提条件管理データベース、連続条件管理データベースにそれぞれ自動的に登録・更新される。

入力された条件をデータベース上で管理し、本支援環境を構成する各システム内で利用するためには、条件式として表現する必要があるが、このような表現は教員にとっては理解しにくく、すでに設定した条件を検討・変更する際に理解が容易な表現が必要となる。そこで、入力された条件を各システム内での利用を目的とした条件式形式と教員への提示を目的とした自然言語 (日本語) 形式に変換し、そのうえでデータベースに格納する条件管理システム (図 5) を開発した。

4. 学習状況把握支援方法

4.1 学習履歴の取得

本研究においては、学習者自身による自由度の高い

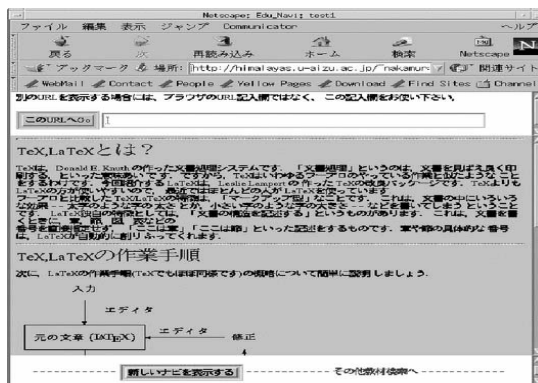


図 6 学習用画面の表示例

Fig. 6 Screen image of learner interface.

教材選択に基づいた学習を想定しており、教材の選択・閲覧などの学習履歴の取得とその活用は学習状況の把握のために非常に重要である。

学習者の教材閲覧履歴を取得する方法の 1 つにプロキシサーバの閲覧履歴の利用が考えられる。この方法を採用した試み¹⁾も見られるが、この場合、プロキシサーバによって閲覧履歴がつねに記録されているため、わざわざ情報の取得を行う必要がないなどの利点が存在する一方で、プロキシサーバの閲覧履歴の利用には権限が必要であり、教員が自らプロキシサーバを管理するなどの負担が発生してしまう。さらに、すべての学習者が指定されたプロキシサーバ経由で教材を閲覧することが必要なため現実的とはいえない。

一方、プロキシサーバを用いずに教材閲覧履歴を取得する方法として、SSI (Server Side Include) を用いた方法が考えられる。しかしこの場合、Web ドキュメント中にあらかじめ SSI の記述を行う必要があり、インターネット上に公開されている教材の利用も想定している本研究では、全教材のうち一部についてしか教材閲覧履歴が取得できないことになる。また、学習履歴取得システムの設置されているサーバ内に存在する教材についても、新たに SSI の記述を行う必要があるため教員の教材作成の負担が増加してしまうので好ましくない。

本支援環境では、通常の教材の閲覧に加え、学習者が自ら教材を探索するための教材探索機能と任意の URL の入力により該当する教材を表示するための機能をブラウザをインタフェースとして提供している (図 6)。そのため、これらの機能を使用した場合にも、教材閲覧履歴を取得する必要がある。

我々が以前開発した SSI を利用した方式による学習履歴取得システムでは、その理論的な位置付けは図 7

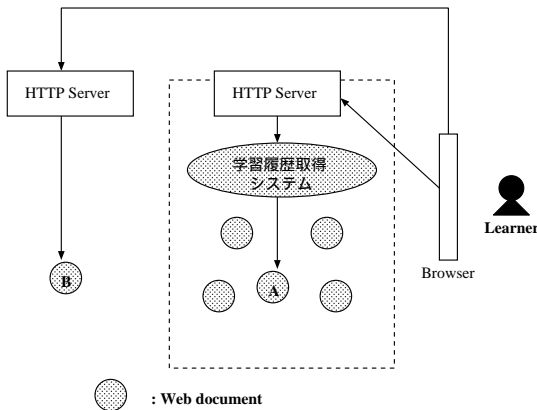


図 7 従来の学習履歴取得方式

Fig. 7 Previous method to get learning histories.

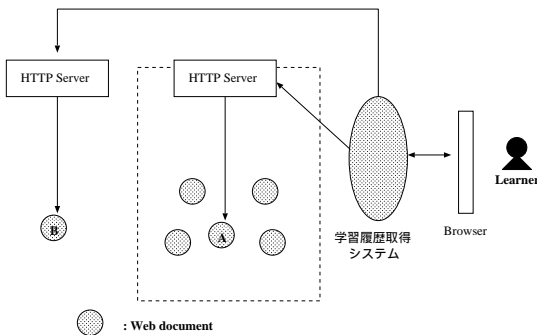


図 8 提案する学習履歴取得方式

Fig. 8 Proposed method to get learning histories.

のようになるため、閲覧対象の教材が学習履歴取得システムの設置されている HTTP サーバ内にある場合(図 7 中 A)には、履歴の取得が可能であるが、教材が別のサーバ内にある場合(図 7 中 B)には、履歴の取得が不可能になってしまう。

そこで我々は、プロキシサーバ、SSI のどちらも用いずに教材の取得と閲覧履歴の取得を行うための学習履歴取得システムを提案する。ここでは、学習履歴として主に以下のような情報を取得している。

- 学習者 ID
- コース No.
- 閲覧した教材の URL
- 閲覧した教材の教材 No.
- 閲覧時刻
- 利用しているホスト名

通常 Web ドキュメントを取得する場合には、ブラウザがその取得を行うが、我々の提案する方式では、学習履歴取得システム自身が Web ドキュメントの取得を行っている。そのため、学習履歴取得システムの理論的な位置付けは図 8 のようになる。これにより、

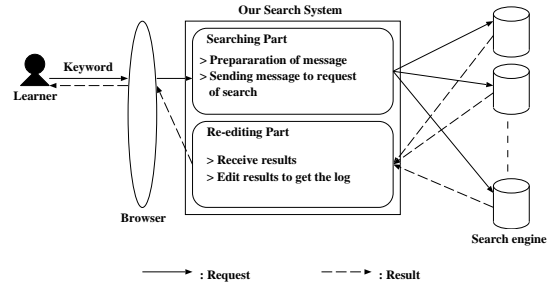


図 9 教材探索システムにおける学習履歴取得方式

Fig. 9 Proposed method to get learning histories in material search system.

あらかじめ教員が指定した教材の閲覧と学習者が任意の URL を入力することによる閲覧については、学習者が学習履歴取得システムが設置されているサーバ以外の場所に存在している教材を閲覧した場合にも、履歴を取得することができる。しかし、教材探索機能を使用して得られる結果、つまりハイパーテキストのリンクをクリックして教材を閲覧する場合には、履歴を取得することができない。これは、教員によってあらかじめ指定された教材の閲覧は、後に述べる教材ナビゲーション機能によって提供されるハイパーリンクを付加したマップをクリックすることによって行われるため、このマップのクリックと学習者の URL の入力による要求はブラウザではなく、学習履歴取得システムに伝わるようになっているのに対し、教材探索の結果得られるリンクは、インターネット上の各検索エンジンによって生成されているため、そのままでは、要求が学習履歴取得システムではなくブラウザに伝わってしまうためである。そこで、教材探索機能を実現している教材探索システムの改良を行った。

まず、本教材探索システムの基本的な仕組みについて説明する。本教材探索システムでは、学習者からキーワードの入力があると、Goo, Yahoo などの既存の検索エンジンのそれぞれの表現形式に合わせてリクエストを作成し、それらの検索エンジンに対して検索を依頼している。そこで得られた結果、つまりリンクとしての URL をすべて合わせたうえで一括して学習者に提示している。上述の問題を解決するために、各検索エンジンから受け取った URL をそのまま学習者に提示せず、それらの URL が示す教材の取得と履歴の取得を学習履歴取得システムに対して要求するためのリンクを生成する 2 次加工を行い、その結果を学習者に提示することとした(図 9)。この教材探索機能によって得られる探索結果は学習者にとっては、見た目も操作法も通常の検索で得られるリンクとほとんど

USER_ID	教材 No.	DATE	HOST_NAME [IP]
a1061157@u.aizu.ac.jp	4	2000/12/20-WED-19:33:40	std3sa43.u.aizu.ac.jp[163.143.57.59]
a1061062@u.aizu.ac.jp	5	2000/12/20-WED-19:35:13	std2sa43.u.aizu.ac.jp[163.143.44.52]
a1061157@u.aizu.ac.jp	8	2000/12/20-WED-19:41:44	std3sa43.u.aizu.ac.jp[163.143.57.59]
a1061157@u.aizu.ac.jp	7	2000/12/20-WED-19:42:05	std3sa43.u.aizu.ac.jp[163.143.57.59]
a1061157@u.aizu.ac.jp	4	2000/12/20-WED-19:53:05	std3sa43.u.aizu.ac.jp[163.143.57.59]

図 10 学習履歴の例

Fig. 10 Example of learning histories.

同じであるが、クリックによる要求が学習履歴取得システムに伝えられるため、履歴取得の問題を解決することができた。また、このリンクに対する加工は再帰的に行われるので、探索結果であるリンクをクリックして閲覧した教材中に含まれるリンク情報も自動的に加工されてからブラウザ上に表示されるため、学習者がそれらのリンクをたどってさらに他の教材を閲覧しても、履歴を取得することができる。学習履歴取得システムによって取得された履歴は、学習履歴管理データベースに格納される。

4.2 学習履歴の可視化

図 10 は学習履歴の一例である。これを見て分かるように、学習者の教材閲覧状況を示す学習履歴は、教員にとってはそのままでは理解しにくい。このため本研究では、取得した学習履歴を教員にそのまま提示するのではなく、そこから生成した情報を理解しやすいように可視化して提供している。

本支援環境では取得した学習履歴を分析し、学習者分布状況、教材毎閲覧状況、学習者毎学習状況の 3 種類の情報を生成して教員に対して提供している。

[学習者分布状況]

ここでの学習者分布状況とは、現在それぞれの教材に対して何人の学習者が取り組んでいるのかを示した情報である。つまり全学習者の各教材への分布状況を示す情報である。この情報は、分布状況が理解しやすいグラフ形式として教員に提示している(図 11)。教員はこの情報を利用することにより、たとえば現在最も多くの学習者が取り組んでいる教材はどれかを把握し、優先的に補足説明を行うといったことが可能である。教員から要求があると、そのつど学習履歴管理データベースに格納されているデータを分析し、最新の情報を提供しているため、時間の経過にともなう分布の変化が逐次反映されたグラフが提示される。

[教材毎閲覧状況]

教材毎閲覧状況とは、ある特定の教材について各学習者が何回閲覧を行ったかを示すものである。この情報も、閲覧回数の多少が一目で分かるように、グラフ形式として教員に提示している(図 12)。また、学習者 No. での検索や閲覧回数順でのソート表示なども可能

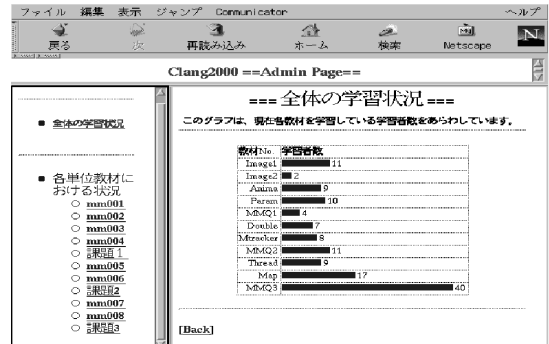


図 11 全教材への学習者の分布状況の表示例

Fig. 11 Screen image of learners distribution to each material.

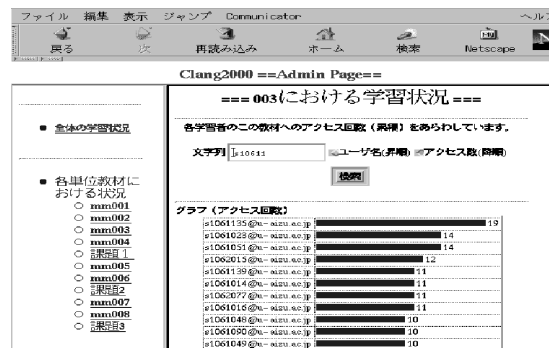


図 12 教材毎閲覧状況の表示例

Fig. 12 Screen image of learning situation in each material.

である。教員は、この情報を利用することにより、たとえばある教材について極端に閲覧回数が多い学習者について、理解に行き詰まるなどの状況を推測することができ、そのような学習者を優先して直接指導などの活用が可能である。

[学習者毎学習状況]

学習者毎学習状況とは、各学習者が現在までにどのような教材をどのような順序で学習したのかを示す情報である。この情報は、学習した教材とその経路を理解しやすいようマップ形式で教員に提示している(図 13)。教員は、学習者を指定することで、その学習者が学習したすべての教材とその順序を把握することができる。また、マップの各ノードにはその教材に対するリンクが付与されており、あらかじめ指定されたもの以外の教材も教員が実際に閲覧することが可能である。この情報により、教員は各学習者の学習状況をより詳細に把握することができる。さらに、他の情報と組み合わせて使用し、学習者が発見した教材を教員が指定する教材に追加したり、教材の作成・改善に役立てたりす

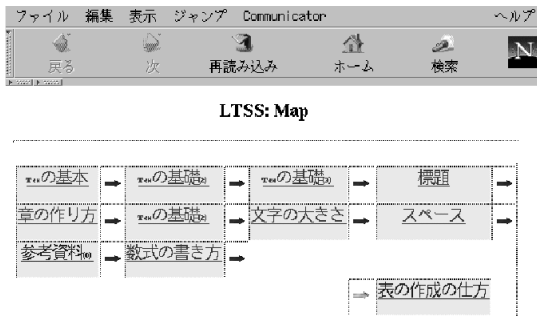


図 13 学習者毎学習状況の表示例

Fig. 13 Screen image of each learner's learning situation.

るなどの活用も可能である。

5. 教材選択支援方法

ここでは、学習者の教材選択に対する支援について述べる。本研究では、先述のとおり学習者自身による自由度の高い教材選択を想定している。しかし、学習にあたっては教員によって設定される最低限の条件を満たさなければならない。本支援環境では、教員によって設定される条件として、必修条件、前提条件、連続条件の3種類の条件を考慮しているが、これらの条件が教員から学習者に対して的確に伝達されることが重要である。従来の学習においてこの種の条件の伝達は、教員による口頭説明やメールなどのテキスト形式によるものがほとんどであった。しかし、本研究で想定する学習者自身の自由度の高い教材選択に基づいた学習では、それぞれの学習者の状況は著しく異なることが容易に予想され、教員が学習者の状況に応じてそのつど条件を説明することは困難である。また、教員にはそれぞれの学習者の状況に応じてできる限り柔軟な指導を行うことに専念することが求められる。一方学習者にとっては、自ら選択した教材の学習により多くの精力を費やすことが重要となる。これらのことから、教材選択における条件が的確かつ容易に学習者に伝達され、学習者が抵抗なく教材選択を行えることが重要となる。そこで、これら教員・学習者間の学習条件に関するインタラクションの支援を行う。具体的には、教員が設定した条件を反映した教材選択のためのナビゲート情報を学習者に提供する。ナビゲーションとして学習者に提示される情報は、学習者自身の学習履歴と次に選択する教材候補である。ナビゲート情報は、ナビゲート情報システムにより以下の手続きに従って生成される。なお、選択候補が複数存在する場合には、必修条件に含まれるものを優先して出力する。

Step1: 学習履歴の取得: ユーザからの要求があると、

その学習者の学習履歴を学習履歴管理データベースから取得し、これまでに学習した教材および現在の教材についての情報を生成する。Step2へ。

Step2: 連続条件の診断: 現在の教材について連続条件が設定されているかを、連続条件管理データベースの情報をもとに診断する。連続条件が設定されていれば、連続して学習すべき教材として指定された教材を選択候補とし、Step5へ。連続条件が設定されていなければ、Step3へ。

Step3: 前提条件の診断: まだ学習していない教材について、前提条件が設定されているものが存在するかを前提条件管理データベースの情報をもとに診断する。前提条件が設定されているものがあれば、その条件式に基づいて前提条件を満たしているか否かを診断する。満たしているものがあれば、その教材を選択候補とし、Step5へ。前提条件を満たしているものがないか、該当する前提条件が存在しない場合には、Step4へ。

Step4: 未修得教材の診断: 登録されている教材の中で、まだ学習していないものがあるか否かを教材管理データベースの情報をもとに診断する。学習していない教材が存在すれば、それらを選択候補とし、Step5へ。すべての学習が終了してれば、Step6へ。

Step5: 必修条件の診断: 必修条件管理データベースの情報をもとに、必修条件を満たしているかを診断。Step6へ。

Step6: 結果の出力: これまでの学習履歴、選択候補の順に出力する。Step5での必修条件の診断に基づいて、必修条件をすでに満たしているか否かを表すメッセージを出力する(終了)

なお、すべてのStepにおいて選択候補が存在しない場合は、あらかじめ登録されている教材をすべて学習したことを意味し、必修条件はこれらあらかじめ登録された教材の中で設定されるため、必修条件を満たしていないにもかかわらず選択候補が存在しないということはいえぬ。そのため、ナビゲート情報の生成手続きは必ず終了する。

1つの教材の学習を終え、次の教材を選択しようとする際に、学習者は教材ナビゲーション機能を利用して、ブラウザ上のボタンを押すだけでナビゲート情報の提示が受けられる(図14左)。1つの教材の学習が終わりナビゲート情報を要求するたびに、現在の教材の学習までを学習履歴として反映した新しい情報が提示される(図14右)。ナビゲート情報には、選択候補だけでなく、その学習者自身の学習履歴も含まれるため、これまでの学習を振り返るなどして、次に学習する教材の選択の参考にすることが可能である。ま

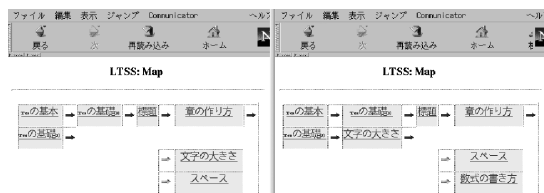


図 14 ナビゲート情報の提示例

Fig. 14 Screen image of material navigation.

た、マップの各ノードはその教材へのリンクとなっており、教材名が表示されている。そのため、選択候補はもちろんのこと、過去に学習した教材も容易に閲覧することができる。

6. 本支援環境を用いた授業実験と考察

本研究で提案する支援環境の有効性を確かめることを目的とした授業実験を行った。ここでは、授業実験とその結果について述べ、実験結果から有効性についての考察を行う。

なお、授業実験に用いた支援環境は、主に CGI と Perl を用いて Sun のワークステーション上に開発し、データベースには Postgres を使用した。また、データベースへのアクセスには、ODBC を用いた。

6.1 授業実験

[実験 1]

本実験は、学習者分布状況および教材毎閲覧状況の提示の有効性を調査することを目的とし、会津大学コンピュータ理工学部の専門科目である「コンピュータ言語論」の演習授業に本支援環境を導入して実施した。

まず、「コンピュータ言語論」の概要について述べる。本授業は、コンピュータソフトウェア学科 3 年次生の履修を標準とする科目であり、受講学生は本授業の開始以前に他の授業などで 2~3 種類のプログラミング言語について一定の知識を身につけている。本授業は、プログラミング言語の種類と特徴について学ぶとともに、Java や Prolog などの演習を通して実践力の習得も目指す内容となっている。本実験において特筆すべき点としては、本授業は他学年の学生やコンピュータハードウェア学科の学生の受講も認められており、さらに各学生の卒業研究などの内容により学習希望が異なることなどもあり、結果として授業開始時点での知識や学習ニーズが大変多様であることがあげられる。教員側もこのような多様なニーズにできる限り対応すべく柔軟な内容・授業展開を目指しているが、受講生が約 160 名にのぼり、大きな負担がともなうため容易には実現し難いのが実情である。つまり、先述したような我々の想定する学習者主体の学習形態とそ

のための支援の必要性が高いケースといえる。従来、本授業における Java 言語の演習は主にネットワーク関連の内容に焦点を当てて行われてきたが、これに加えマルチメディア関連の演習教材を準備し、1 週分の演習 (180 分) を行うという形で本実験を実施した。被験者は、本授業を受講する約 160 名の学生と教員およびティーチングアシスタントとなる。

次に、本実験の全体的な流れについて説明する。演習開始時に本支援環境利用のための学習者 ID とパスワードの発行を各学生自らが本支援環境の基本機能を利用することにより行った。その後は、通常の演習と同様に各学生が Web 上の教材を用いて学習を進め、レポートを作成するという流れである。この間、教員およびティーチングアシスタントは、本支援環境によって提供される学習者分布状況および教材毎閲覧状況を利用しながら学生への指導を行った。演習の最後に、受講学生に対するアンケート調査および教員・ティーチングアシスタントに対する意見の聞き取り調査を実施した。受講学生に対してのアンケートの内容は、以下のとおりである。

- Q1: 学生が現在どの教材を閲覧しているのかを教員へ視覚的に提示する機能についてどう感じたか。
- Q2: 各教材におけるそれぞれの学生の閲覧回数を教員へ視覚的に提示する機能についてどう感じたか。
- Q3: 本支援環境の利用により、自分の学習状況が教員に分かってもらえると感じたか。
- Q4: このような支援環境の導入により、従来より学習者自身の興味・関心などに応じた教育が可能となるとすればそれをどう思うか。
- Q5: 本支援環境の操作に不便や煩わしさを感じたか。
- Q6: 現在の機能に加えて、どのような機能があればよいと考えるか。

回答方式としては、Q1 については、(1)「自分の取り組んでいる箇所を説明してもらえそうで) 大変よい」~ (5)「役に立たなかった」の選択肢中から 1 つを選んで回答する形式で行った。Q2~Q5 についても同様である。Q6 については、選択肢として具体的な機能をいくつかあげ、その中からの選択に加え自由記述による回答も認めた。なお、本演習は 4 つの演習室を使用して同時に行われ、各演習室には教員とティーチングアシスタントがそれぞれ 1 名ずつ配置されており、演習中補足説明などを行う形がとられている。全学生・教員・ティーチングアシスタントには 1 人 1 台のワークステーションが割り当てられている。

[実験 2]

本実験は、学習者分布状況および教材毎閲覧状況の提示以外の支援について、有効性を調査することを目的として行った。ここでは、筆者らが作成した Tex による文書作成についての 14 の Web ドキュメントを教材として用いた。

学習者側被験者は、会津大学コンピュータ理工学部の学部 4 年生 3 名、情報系以外の分野出身の大学院修士 1 年の学生 1 名、経営分野出身で多少コンピュータの利用経験のある社会人（共同研究の連絡役として筆者らの研究室に在籍中）1 名の計 5 名である。また、教員側被験者は、ティーチングアシスタントの経験を持つ大学院生 2 名である。ここでの学習者側被験者にとって Tex による文書作成に関する知識が共通して必要なものであることと、現時点における各被験者の Tex に関する知識がかなり異なっていることから、本研究で想定する学習者主体の教育とそのための支援の必要度が高いケースと判断し、このような設定とした。

本支援環境について簡単な説明を行ったうえで実験を行い、終了後に学習者側被験者に対するアンケート調査を行った。また、教員側被験者については、実験後に意見の聞き取り調査を行った。学習者側被験者に対してのアンケートの内容は、以下のとおりである。

Q1: 本支援環境で提供している、学習条件を反映した教材選択支援（教材ナビゲーション）についてどう感じたか。

Q2: このような支援環境の利用により、教材選択の自由度が上がるとすれば、それをどう思うか。

Q3: 本支援環境では、教員に対して各学習者の学習状況を表す情報を提示し、効果的な指導の支援を目指している。これについてどう思うか。

Q4: 本支援環境では、あらかじめ指定された教材に限らず、学習のために閲覧したすべての教材についての閲覧履歴を管理し、ナビゲート情報に反映している。これについてどう思うか。

Q5: 本支援環境の操作に不便や煩わしさを感じたか。

Q6: 現在の機能に加えて、どのような機能があればよいと考えるか。

回答方法としては、Q1 については、(1)“次にどの教材を学習すべきが大変分かりやすかった”～(5)“役に立たなかった”という選択肢中から 1 つを選択する形式で行った。Q2～Q5 についても同様である。Q6 については、自由記述による回答とした。

6.2 実験結果と考察

まず、実験 1 における受講学生に対するアンケート調査の結果（Q1～Q5）は、図 15 に示すとおりであ

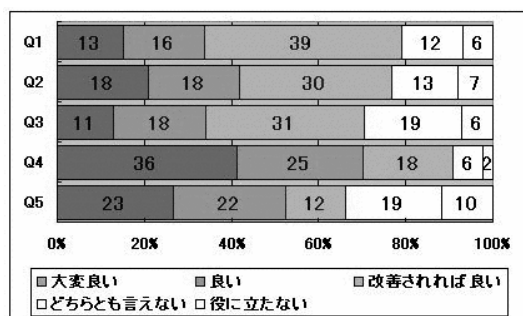


図 15 実験 1 におけるアンケート調査の結果

Fig. 15 The result of the questionnaire in Experiment 1.

る。“改善されれば役に立つと思う”という回答も含めると、過半数の被験者が各学習者の取組みの分布、および各教材におけるそれぞれの学習者の閲覧回数が教員へ提示されることにより、“従来と比べ効果的な指導がなされた”，あるいは“改善によるその実現に期待できる”と感じていることが分かる。また、本研究において想定している学習者自身の興味・関心などに応じた自由な教材選択による柔軟な学習についての大きな期待が存在することが分かる。さらに、Q5 に対する回答結果からブラウザのみの使用ですべての操作が行えるという本支援環境の特徴が一定の効果をあげていると考えることができる。また、Q6 に対する回答としては、質問機能や他の学生とのコミュニケーションのための機能の実現を期待する意見が多かった。これらは、本実験の評価に直接影響を与えるものではないが、貴重な意見であり、今後の研究の参考としたい。特に、本論文では教員・学習者間のインタラクションに焦点を当てているが、ここであげられた学習者間のコミュニケーションは学習効果の向上にとって重要な要素であると考えられる。一方、教員・ティーチングアシスタントに対する意見の聞き取り調査においては、以下のような回答が多かった。

- 従来のように机間巡視などのみによって学習者の状況を把握する場合に比べ大変指導しやすい。
- 閲覧回数だけでなく閲覧時間の長さも知りたい。
- 以前の学習履歴や成績などと関連付けたより詳細な情報が必要である。
- 補足説明や質問などを効率的に蓄積し、再利用できれば助かる。

聞き取り調査で得られたこれらの結果から、学習者分布状況および教材毎閲覧状況の提示が、指導を行ううえで一定の効果があると考えられる。しかし同時に、学生の取組みの分布や閲覧回数だけではなく、他の情報と組み合わせたより効果的な情報提示が必要である

と考えられる。

次に、実験2におけるアンケート調査においては、Q1~Q4については選択肢(1)大変良い、(2)良い、(3)改善されれば良い、という回答がほとんどであった。この結果から、本支援環境による教材選択支援について一定の効果があるものと考えられる。また、教材選択の自由度の向上に対する強い期待が筆者らに寄せられた。一方、Q5については、煩わしさをやや感じたという回答が多かった。これは、今回の授業実験に用いた支援環境では、機能の実現を優先し、筆者らが比較的容易に実装可能な言語としてPerlを用いているためにドキュメントの取得にやや時間がかかることが原因だと考えられる。実験後の聞き取り調査からも同様の意見を得た。この点については、今後実用を視野に入れ、ドキュメント取得部分について高速化をはかる必要がある。一方、教員側被験者への聞き取り調査では以下のような意見が寄せられた。

- 各学習者ごとの学習状況のマップ形式での提示が分かりやすく、個別の補足指導に役に立つ。
- 教材の登録や条件入力が容易に行えるので実際の授業でも使用できるのではないか。
- 似たような学習状況にある学習者を検索するための支援があると助かる。
- 教員が行った補足説明なども逐次教材として追加できるとよい。

聞き取り調査の結果から本支援環境における学習者毎学習状況の提示が学習状況の把握を支援しうるものと考えられる。また、教材作成ならびに教材選択に関する条件の設定の支援にも一定の効果があることが分かる。似たような学習状況にある学習者の検索、補足説明などの教材としての有効利用など要望としてあげられた新たな機能の実現は、支援の向上のために重要であると考えられ、本支援環境の今後の改善の参考としたい。

今回の授業実験の結果からただちに本支援環境が本研究で想定するような学習形態に対して十分な支援であるとまではいえないが、教員の教材作成、教材選択に関する条件設定、学習状況把握、および学習者の教材選択を支援しうることを確認することができた。このことは、これまであまり支援が行われていなかった学習者主体の学習形態の実現にとって、重要な意味を持つものと考えられる。

7. む す び

本研究では、学習者自らの自由度の高い教材選択による学習を想定した教員・学習者双方に対する支援に

ついて述べた。このような学習形態においては、教員が学習状況を的確に把握することが従来の学習形態と比較してより重要となる。そこで、本研究では学習者の教材閲覧履歴を取得・管理する学習履歴取得システムを開発し、得られた学習履歴を分析して生成した情報を教員に対して視覚的に提示する機能を実現した。これにより、1) 全学習者の各教材への取組み分布状況、2) 各教材についてのそれぞれの学習者の閲覧状況、3) 学習者ごとの学習状況について教員の状況把握を支援することが可能となった。また、教材作成や教材選択に関する条件設定などを支援するための機能も実現した。この支援により、インターネット上に公開されている教材の活用も含めた、教材作成(登録)および教材選択の条件設定を容易に行うことが可能となった。さらに、教員の設定した教材選択の条件や学習履歴を反映した視覚的な教材ナビゲーションの提供により、学習者の教材選択に対する支援も可能とした。我々の開発した支援環境を用いた2種類の授業実験を行い、そこでのアンケート調査および聞き取り調査からこれらの支援に一定の効果があることを確認した。同時に、学習者自らの自由度の高い教材選択による学習に対する大きなニーズが存在することも確認することができた。

今後の課題としては、ドキュメント取得の高速化を含めた本支援環境の改善を進め、実際の授業における実験と教員・学習者による評価を重ねることが重要であると考えられる。また本論文では、教員によって設定される条件と学習履歴によって、教材選択支援のためのナビゲート情報を生成しているが、今後は学習者の興味・関心などの要素も考慮した教材選択支援について研究を進める予定である。

謝辞 本研究を進めるにあたり、システムの実装について有意義なご意見をいただいた中谷良平氏(会津大学、現在(株)ジャストシステム)、和田裕氏(会津大学)、実験などにご協力いただいた会津大学コンピュータネットワーク学講座の皆さんに感謝いたします。また、数々のご助言をいただいた横山節雄先生、宮寺庸造先生(東京学芸大学)、中村直人先生(千葉工業大学)に感謝いたします。

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 D-I, Vol.J83-D-I, No.6, pp.658-670 (2000).

- 2) 香山瑞恵, 岡本敏雄: 自己組織化特徴地図に基づくハイパ空間での探索学習システム, 電子情報通信学会論文誌 D-I, Vol.J83-D-I, No.6, pp.561-568 (2000).
- 3) 桑原恒夫, 玉城幹介, 山田光一, 中村喜宏, 満永豊, 小西納子, 天野和哉: 個人進捗別教育支援システム (MESIA) における行き詰まり生徒の支援機能とその効果, 電子情報通信学会論文誌 D-I, Vol.J83-D-I, No.9, pp.1013-1024 (2000).
- 4) 松本寿一, 中易秀敏, 森田英嗣, 亀島鉦二: 教育支援のための教材学習履歴分析システム, 情報処理学会論文誌, Vol.40, No.9, pp.3596-3607 (1999).
- 5) 中山 洋: 一斉授業改善を目的としたテスト支援システムの開発と効果, 教育システム情報学会誌, Vol.16, No.1, pp.25-33 (1999).
- 6) 西野和典, 横山 宏, 石桁正士: 授業における学習者の内的状態を把握するためのシステムの開発と活用, 教育システム情報学会誌, Vol.15, No.4, pp.238-243 (1999).
- 7) 谷口るり子: プログラミング演習における学習履歴とエラーデータの分析, 教育システム情報学会誌, Vol.16, No.3, pp.160-165 (1999).
- 8) 塩澤秀和, 西山晴彦, 松下 温: 「納豆ビュー」の対話的な情報視覚化における位置づけ, 情報処理学会論文誌, Vol.38, No.11, pp.2331-2342 (1997).
- 9) Wexelblat, A.: History-based tools for navigation, *Proc. 32nd Hawaii Int. Conf. on Systems Sciences (HICSS-32)*, IEEE Computer Society Press (1999).
- 10) Wexelblat, A. and Maes, P.: Footprints: History-rich tools for information foraging, *Proc. ACM Conf. on Human Factors in Software (CHI '99)*, ACM Press (1999).
- 11) Chi, E.H., Pitkow, J., Mackinlay, J., Pirolli, P., Gossweiler, R. and Card, S.K.: Visualizing the evolution of web ecologies, *Proc. ACM Conf. on Human Factors in Software (CHI '98)*, pp.400-407, ACM Press (1998).
- 12) Lamping, J., Rao, R. and Pirolli, P.: A focus + context technique based on hyperbolic geometry for visualizing large hierarchies, *ACM Conf. on Human Factors in Computing Systems (CHI '95)* (1995).

(平成 13 年 6 月 13 日受付)

(平成 13 年 11 月 14 日採録)



中村 勝一 (学生会員)

1975 年生. 1998 年東京学芸大学教育学部情報環境科学課程教育情報科学専攻卒業. 2000 年会津大学大学院コンピュータ理工学研究科コンピュータシステム学専攻修士課程修了. 現在, 同大学院博士後期課程在学中. 教育支援システム, グループウェア, 情報教育等に関心を持つ. 電子情報通信学会, 教育システム情報学会各会員.



佐藤 和彦 (学生会員)

1974 年生. 1997 年会津大学コンピュータ理工学部コンピュータソフトウェア学科卒業. 1999 年会津大学大学院コンピュータ理工学研究科コンピュータシステム学専攻修士課程修了. 現在, 同大学院博士後期課程在学中. マルチエージェントシステム, 遠隔教育, 心理エージェントに関する研究開発に関心を持つ.



藤森 操

1979 年生. 1998 年会津大学コンピュータ理工学部コンピュータソフトウェア学科入学. 現在, 在学中. 教育支援システム, グループウェア等に関心を持つ.



小山 明夫 (正会員)

1958 年生. 1987 年山形大学工学部情報工学科卒業. 山形大学工学部文部技官を経て, 現在, 会津大学コンピュータソフトウェア学科講師. 工学博士. 高速ネットワークプロトコル, ネットワークエージェント, ルーティングアルゴリズム, 遠隔教育, 携帯電話用アプリケーションに関する研究に従事. IEEE Computer Society, 電子情報通信学会各会員.



程 子学 (正会員)

1957 年生. 1993 年東北大学工学部研究科博士課程修了. 同年会津大学講師, 1999 年同大学助教授. 分散アルゴリズム, 遠隔教育, 心理エージェント研究開発に従事. IEEE, ACM,

IEICE 各会員.