

## 知能メディア指向の e-Learning システムの実現に向けて

- 学習履歴情報の知識化に基づく統合的評価機構 -

松居 辰則

岡本 敏雄

電気通信大学 大学院情報システム学研究科

情報通信技術, 特にインターネット基盤の整備に伴い, インターネットを学習環境に取り込んだ学習環境が現実化している. e-Learning と呼ばれる自由度の高い学習形態・学習環境はその代表的なものである. 本研究では, e-Learning を「学習活動という人間の最も高度な認知行為を活性化・促進する (intelligent 化) するための技術的方法論の総体」として捉え, それを知能メディアとして実現する. e-Learning システムでは, 様々な学習情報を管理する機構, Learning Management System (LMS) がその中核をなす. RAPSODY ( Remote and AdaPtive educational System, Offering Dynamic communicative environment ) は学習者の学習ニーズに応じて, 適切な教材のみならず適切な学習環境をも適応的に提供する知能メディアとしての e-Learning システムである. 本稿では, RAPSODY の機能を中心に, 知能メディアとしての e-Learning システムのあり方について述べる. 特に, 学習履歴情報の知識化に基づく統合的評価機構について述べ, 知能メディア指向の e-Learning システムの実現のための今後の課題を纏める.

## Toward the Realization of the Intelligent Media Oriented e-Learning System

- Integrated Evaluation Scheme based on Knowledge Extraction from Learning History Data -

Tatsunori MATSUI

Toshio OKAMOTO

Graduate School of Information Systems, The University of Electro-Communications

Rapid growth of information and communication technology enables us to use many kinds of learning tools and media in various educational phases. On the other hand, target of educational assessment has shifted from on achievement to on learning process. In this situation, many kinds of learning history data which include not only structured data set but also semi/ill-structured data set play important roles to assess learning process. Purpose of this study is to provide the effective tools for learning process assessment. Concretely, we propose a new handling method of learning history data, named Digital Portfolio. Digital Portfolio is defined the integrated information of learning history data sets through different learning tools or environments, and extracted rules or patterns on learning activities from learning history data sets. In this paper, we describe construction procedure of Digital Portfolio by discovery scientific approach and visualization method of extracted results of educational meaningful information.

### 1. はじめに

情報通信技術, 特にインターネット基盤の整備に伴い, インターネットを学習環境に取り込んだ学習環境が現実化している. e-Learning と呼ばれる自由度の高い学習形態・学習環境はその代表的なものである. 本研究では, e-Learning を「学習活動という人間の最も高度な認知行為を活性化・促進する (intelligent 化) するための技術的方法論の総体」として捉え, それを知能メディアによって実現する. つまり, 情報通信技術と学習技術とを利活用することで, 様々なニーズを有する学習者の諸活動を支援する環境を提供する.

さて, e-Learning システムでは, 様々な学習情報(利用者情報, 学習対象のカリキュラム情報, 学習コンテンツ, 学習履歴情報, 学習者間のコミュニケーション情報, FAQ など)を管理する機

能が必要になる. このような管理機能を具備するシステムは, Learning Management System (LMS) と呼ばれ, e-Learning の学習基盤を構成するものとされている.

我々はこれまでに, Learning Ecological Modelに基づくLMSとしてRAPSODY(Remote and AdaPtive educational System, Offering Dynamic communicative environment)を開発してきた[1]. RAPSODYは個別学習のみならず一斉学習,そして同期・非同期での協調学習をも支援対象とする学習基盤である. RAPSODYは学習者の学習ニーズに応じて,適切な教材のみならず適切な学習環境をも適応的に提供する知能メディアとしての e-Learning システムである.

本稿では, RAPSODY の機能を中心に, 知能メディアとしての e-Learning システムのあり方

について述べる。

## 2. Learning Ecological Model (LEM)

e-Learning における学習では、学習者は自己の学習目的に合わせて自由に学習コンテンツ (Learning Media : LM) を選び、学習することができる。そこでは、適切な教材のみならず、適切な学習環境をも提供する機能が必要である。RAPSODY では Learning Ecological Model (LEM) を参照モデルとしてこの機能を実現している[2][3]。LEMとは、学習者のニーズを表現するためのモデルである。学習環境を捉える要素は様々である。それらの中から、学習者のニーズを表現し得、かつ学習場を構成し得る要素として、学習内容、学習活動、学習環境が取り上げられ、LEMを構成している。図1にLEMの概略と、LEMに基づく学習の様子を示す。



図1 Learning Ecological Model に基づく学習

学習内容とは、個々の e-Learning システムが扱うドメインを指す。内容を表現する粒度は登録される LM の粒度に依存する。学習活動とは、学習内容を理解するために必要とされる行為を指す。具体的には、課題設定、調査・分析、計画・設計、問題解決、評価・改善、発表・報告等の活動で表現される。学習環境とは、学習を具体的に展開する環境、あるいは学習形態を指す。RAPSODY では、遠隔講義環境、遠隔個別学習環境、探索活動支援環境、課題解決活動支援環境、そして遠隔グループ活動支援環境の 5 形態のいずれかの環境が提供される。

LEM に基づく e-Learning システムは、LM の集合として具体化される。これらの 3 項目を指定することにより、学習対象 (Learning Object) が決定され、当該の学習対象を学習するための LM が選定される。学習者は RAPSODY から提示された LM 候補から自らの学習意図に適したものを選択し、学習を進めることになる。

## 3. 知能メディア指向の e-Learning 環境

ここでは RAPSODY の機能を中心に、知能メディア指向の e-Learning 環境のあり方について述べる。

### 3.1 システム概要

知能メディア指向の e-Learning システムとして実現される RAPSODY の機能イメージを図 2 に示す。知能メディアとは、「知的な Learning Media」と「Learning Media に対する知的制御」との 2 つの意味をもつ。LM とは人間の知的活動を増殖させる役割を有するメディアを意味し、学習に利用される様々なリソース (学習教材や学習用ツール / アプリケーション、そして情報通信ネットワークやコンピュータも含む) を指す。知能メディア指向の e-Learning 学習環境では、IT と LT とを利活用することで、様々なニーズを有する学習者の諸活動を支援する環境を提供する。情報通信ネットワーク上で展開される学習活動の参加者 (学習者および学習支援者) の意思決定を支援するために、学習過程で表出されるデータ・情報を整理・統合・制御することが、本環境の主要な機能となる。

学習基盤としての RAPSODY の機能は、「LM 管理」、「学習支援」、「学習活動管理」とに大別され、次の 5 つの機構から構成されている。

#### LM 管理機構

- ・教材オーサリング機構
- ・カリキュラム設計支援機構

#### 学習支援機能

- ・個別・協調学習支援機構

#### 学習活動管理

- ・評価機構
- ・レポート機構

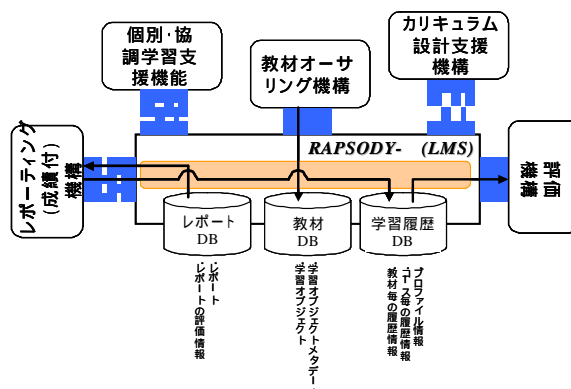


図2 RAPSODY の機能イメージ

なお、RAPSODY は、Ethernet と ATM ネットワークを利用して運用されている。ネットワーク上には、映像・音声等のマルチメディア情報の

みならず、学習活動の履歴情報や学習支援のための情報等も送受信される。現状、Ethernet では学習情報が、ATM ネットワークではマルチメディア情報がそれぞれ送受信されている。情報通信技術と学習技術を利用した、より高度でより知的な e-Learning 機能を学習基盤に求める場合、データ送受信路の帯域は必然的に広いものが要求される。本基盤は将来的には IP over ATM により運用される。

### 3.2 LM 管理機能

本システムは、LEM に基づき、LM を管理するためのメタデータとして、LOM (Learning Object Meta Data) を採用する。LM に対し、「コース」、「章」、「ページ」という 3 階層の粒度で LOM を付与し、管理を行う。この階層関係を図 3 に示す。コースとは、単元に相当する粒度のレベルである。コースの下の階層に位置する粒度が章であり、学習内容のまとまりを表す。最も粒度の小さいレベルが、章の下の階層となるページである。ページは URI 単位であり、インターネット上に存在する実体を指す。

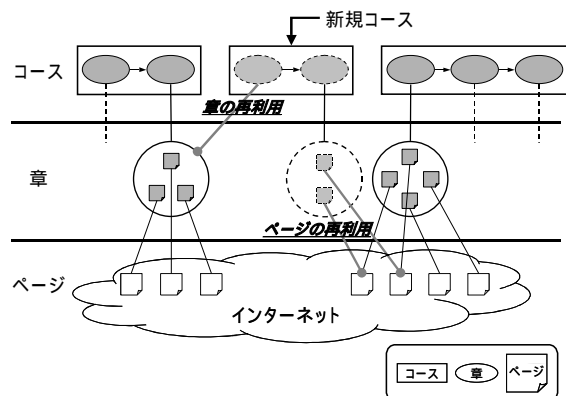


図 3 LM の再利用例

3 階層での LM 管理は、再利用をする上で特に効果的である。図 3 のように、既存の LM を再利用して新規のコースを作成する際、章全体の再利用と、その 1 部分 (ページ) の再利用の双方を行うことが可能である。よって、多くのパターンで LM を再利用・再編成することができる。本研究で用いる LOM スキーマの各項目は、IEEE-LTSC の規格[4]の中から、LEM を考慮する上で重要なものを採用している。

本システムは、LM を体系的に管理するためのオーサリング機構を具備している。図 4 のように、コース、章、ページの順序で LM の各項目を登録していくことにより、コース以下の階層を体系化することができる。

問題を有するページを登録する場合は、引き続

き問題の作成と登録を行う。通常、問題に対する解答の正誤判定や、それによる分岐といった処理を実現するためには、LM 作成者によるプログラム記述が必要である。本システムはこの負担を軽減させるため、問題作成・登録ツールを具備している。作成できる問題の形式は、多肢選択問題と自由記述問題である。図 5 で示すように、問題に関する項目を登録していくことにより、その問題についての Java アプレットの HTML コードが出力される。この HTML コードを対応するページに挿入することにより、登録した問題の表示、解答の取得、正誤判定、正誤による分岐といった処理を実現することが可能である。

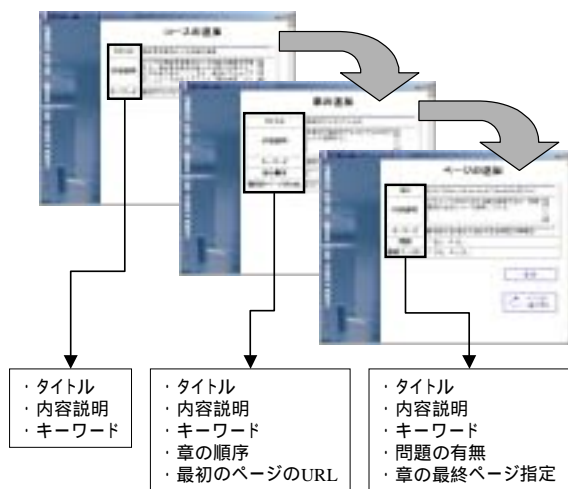


図 4 LM の登録

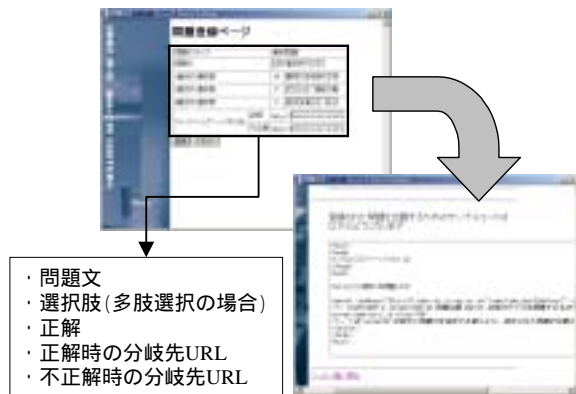


図 5 問題の作成・登録

学習支援機能は、学習プランの生成、学習進行のガイド、学習情報の共有・再利用といった 3 機能から構成される。学習プランとは、学習者のニーズや学習目標に照らし合わせて系列化された LM の集合を指す。特定の LM による学習が終了した時点でなされる、次に利用することが望まれる LM (集合) の提示が、学習進行のガイドにあたる。また、学習情報の共有・再利用は学習者におけるナレッジマネジメントにより実現

される。詳細は紙面の都合上割愛する。

学習活動管理機構、特に評価機構については次章で述べる。

#### 4. 学習履歴の知識化に基づく統合的評価機構

ここでは、LMS の機能の一つである評価機構に焦点をあて、その必要要件と新しい学習環境に対応した機能に関して述べる。具体的には、学習プロセスの評価支援、学習プロセスの再現、教材評価に関して述べる。その中では学習者の学習履歴情報が評価のための情報源となるが、学習者履歴情報の扱いへの新しいアプローチとして発見科学的アプローチを提案する。これらの新しい機能は、学習者のリフレクション思考や気づきを喚起させ、真の形成的診断・評価を実現することを目的としている。本稿では、特に学習者履歴情報の発見科学的な知識化手法と、それらの学習プロセス評価への利用の可能性について検討する。

##### 4.1 発見科学的アプローチ

本研究では、学習履歴情報の扱いに関する新しいアプローチとして発見科学的アプローチを提案する。本研究では「発見科学的アプローチ」を従来の仮説検証型の研究方法論を発展させる形で提案する。例えば、質的研究法において仮説検証型の研究方法論を絶対的なものであると考えるのではなく、仮説の要因を状況から発見・説明するなどのアプローチも包含する。また、データ解析、数理モデル構築においても因果関係、順序関係を前提としてモデルへの当てはまりのよさでデータ構造を説明するのではなく、データから説明の前提となる成立関係を導出するという方法論を重視する[5]。

##### 4.2 評価機構の要件と新しい機能

学習履歴管理・学習進捗管理、成績管理・分析の機能はLMSにおいて重要な機能として位置付けられてはいるものの、学習履歴情報の統計量をグラフ表示するのが一般的である。また、チャットや掲示板に記入された情報などの非構造データに関しては、対話の展開や対話内容の要約を階層構造で表示し、対話推移を可視化するシステムが開発されている。

そこで、本研究では、評価の対象を学習者個人、学習者集団、学習教材の3点とし、従来の評価機構の機能に加えて、次の4機能を評価機構の機能として実現する枠組みを提案する。これらの機能はすべて発見科学的アプローチの枠組みの中で実現される。

- ・学習プロセスの分析支援（個人，集団）
- ・学習プロセスの評価支援（個人，集団）
- ・学習プロセスの再現（個人，集団）

- ・学習教材（コースウェア）の評価

#### 4.3 統合的評価機構の機能

本研究で開発中の統合的評価機構における各機能の目的について概要を述べる。

##### （1）学習プロセスの分析支援（個人，集団）

教材構造やコースウェアに関する情報と学習履歴情報に関して単なる基本統計量を提示するだけではなく、以下のような点に関して、評価者が探索的に評価可能な環境を提供する。特定集団の学習プロセス分析に関しても基本的には同様であるが、特に、統計的手法を用いて、当該の学習集団の特徴抽出手法を提案する。

- ・つまづき、反復または参照が多い箇所
- ・特異な回答、反応をしている問題
- ・読解時間や回答時間が長い箇所
- ・学習過程全体が冗長な者
- ・所要時間数が短すぎるまたは長すぎる者
- ・全体を通して理解度が低い者

##### （2）学習プロセスの評価支援（個人，集団）

インターネット学習環境において学習プロセス評価を可能とするための支援に関する枠組みを提案する。形成的評価も学習プロセス評価を指向した概念であるが、評価のための情報を取得する時系列的な時間間隔において、総括的評価との相対的な概念として位置付けられ、実現の困難さが指摘されている。すなわち、学習プロセス評価を実現するためには、学習者の学習活動に関する情報を絶対的に短い時間間隔で取得する必要がある。一方、コンピュータ支援による学習環境においては、学習者の学習履歴やメディア・ツールの操作履歴を容易に、かつ任意の時間間隔で取得し蓄積することが可能である。したがって、これらの情報は学習プロセス評価の情報として極めて重要であると考えられる。そこで、本研究では学習履歴情報への新しいアプローチとしてDigital Portfolio (DP) を定義し、インターネット学習環境におけるDPの構成方法を提案し、学習プロセス評価の可能性を検討する。さらに、DP構成時における学習履歴情報から教育的観点からの有意な情報の抽出（知識化）を発見科学的に行う手法に関して述べる。

##### （3）学習プロセスの再現

学習者や教授者が学習プロセスを振り返ることは評価のフェーズでは重要である。学習履歴情報から得られるデータの多角的な分析により学習プロセスに関する情報を得ることは可能であるが、本研究では学習プロセスを学習プロセスのダイジェストとして実現することを目的とす

る。具体的には、学習プロセスにおいて学習者が閲覧した教材ページ、用いた学習ツール等の履歴情報から、全学習プロセスと意味的に同程度の圧縮された学習プロセスとして表現する。教材構造における脈絡性、閲覧ページや利用ツールの学習プロセスにおける重要度等の指標を定義し、多目的最適化問題として定式化し、遺伝的アルゴリズムを用いて実現する[6]。

#### (4) 学習教材(コースウェア)の評価

学習教材(コースウェア)の評価は、あらかじめシステムに組み込まれたコースウェアや教材構造に関する情報と学習者履歴情報を用いて次のような点に関する評価を行うことにより実現する。本研究ではこれらの点に関する評価手法を提案する。

- ・当該のコースウェアの特徴分析
- ・教材全体の困難度、学習所要時間
- ・カリキュラムに位置付けられた能力形成度
- ・コースウェア構成の問題点
- ・小問の正答率、回答所要時間
- ・助言・フィードバック情報の適切性
- ・教材ストーリーの論理性と展開の適切性
- ・興味関心、説得性
- ・説明詳細度

#### 4.4 学習履歴情報の知識化の試み

学習履歴情報の知識化の具体的方法としてDPを定義し、その構成手法に関して述べる。さらに、DPを用いた学習プロセス評価への試みに関して述べる。

##### 4.4.1 Digital Portfolio の定義と構成手法

本研究ではDPを「各種LMを利用した学習履歴に関する情報をメタ表象上に記述し統合的記述のもとで管理したもの、およびそこから抽出された意味のある情報との総体」と定義する。DPは次のような手順で構成される。

Step1 LMの利用履歴、学習履歴を蓄積

Step2 蓄積された履歴情報を時系列に系列化

Step3 意味のある情報を抽出

Step4 履歴とStep3の結果を統合管理(DP) DPからは学習者や教授者の要求に応じてフィードバック情報が生成される。ここで、DPにおける履歴データ集合から抽出される意味のある情報とは、学習活動に関するルール、時系列的な学習活動の推移状態(パターン)などを意味する。意味のある情報の抽出には、相関ルール抽出および決定木学習の手法を用いる。

##### 4.4.2 履歴データベースにおけるフォーマット統合と精練化手法

DPの構成過程では履歴データベースから相関ルール抽出と決定木学習によって意味のある情報の抽出を行う。しかし、学習履歴データを対象にする場合、次の問題点が存在し、分類能力の高い決定木が生成されない。以下ではこれらの問題点への対処に関して述べる。

- ・データベースに蓄積されるデータはフォーマットが統一されていない。
- ・決定木学習には多くのデータが必要である。

##### (1) 履歴データベースのフォーマット統合

履歴データベースの精練化過程においては、Apriori[7]により属性間の相関ルールを抽出し、これらをもとに新規属性の生成を行う。しかしながら、Aprioriは本来2値属性を前提とした相関ルール抽出アルゴリズムであるため、本システムのように多値属性で構成されるデータに適用することができない。そこで、従来のAprioriを次のような点において拡張行った。結果、より確信度の高い相関ルールが抽出されるとの知見を得ている[8]。

- ・多値属性へ適用可能
- ・属性値数を考慮した相関ルール抽出
- ・連続値属性へ適用可能

##### (2) 履歴データベースの精練化手法

決定木学習において分類性能の高い決定木を得るためには膨大なデータを必要とする。しかし、教育データを対象にした場合、膨大なデータを収集することは非現実的である。そこで、比較的少ない数(量)のデータからより分類性能の高い決定木を得るために履歴データベースの精練化手法を提案した。履歴データベースの精練化の流れは次のとおりである。結果、従来の決定木学習と比較して少ない量のデータから分類性能の高い決定木が得られるとの知見を得ている[9]。

Step1 属性間の相関ルールを抽出

Step2 新規属性候補を生成

Step3 新規属性候補を決定木で有用性評価

Step4 評価基準に基づき属性を統廃合

##### 4.4.3 学習プロセス評価支援システムへの実装

システムの初期画面では、処理可能な学習履歴データベースの属性とその属性のタイプ(フォーマット)が示され、情報抽出のための前処理(離散属性値数の情報量調整、連続値属性の多値離散属性化、欠損値の処理)、履歴データベースの精練化を行うことが可能である。その後、評価目標を設定し、相関ルール抽出と決定木の構成を行うことができ、図6のように出力される。評価目標

を設定すると、評価目標に関連した相関ルール、評価目標を分類目的属性とした決定木が構成される[11]。



図6 抽出された相関ルールと構成された決定木

## 5. まとめと今後の課題

本稿では、e-Learning システム RAPSODY の機能を中心に、知能メディア指向の e-Learning システムのあり方について述べた。ここで、求められるものはインターネット環境における学習活動において、情報通信技術と学習技術とをを活用することで、様々なニーズを有する学習者の諸活動を支援する環境の提供である。

LMS としての RAPSODY については、今後は、学習制御および学習支援の拡張を図り、知能メディアとして機能する学習基盤としての拡充が望まれる。特に、遠隔講義配信に関しては、講義配信のインフラではなく、コンテンツの質、非同期型受講の環境の提供(協調ツール、講義アーカイブの充実)が重要な要因となる。技術的側面のみならず教育観点からの機能およびコンテンツの充実が必要となる。また、協調学習に関しては一斉学習・個別学習との連携を前提とした高等教育機関における学習プランの具体化が求められる。

評価機構に関して発見科学的アプローチによる評価支援の手法に関して述べたが、学習過程振り返りのための可視化技術や提示方法は重要な課題である。定量的データの利用という観点からは、学習者個人ベース、特定集団ベース、教材ベースに対応した状態遷移グラフ、統計的グラフ、フローチャート、ワークフロー、時系列チャート、木構造グラフ、3次元座標グラフ、アニメーション等の適用が考えられる。どのような提示形態が適切かは、評価者(学習者、教授者、教材作成者、管理者)のニーズに対応させて選択・表現することが望ましい。さらにその提示のタイミングも、ユーザの要求時に示すか、システムから重要な時点で自動的に提示するかは、目的、内容、運用といった要因に依存する。いずれにしても、結果の

提示と同時に、学習過程の特徴を踏まえた再現表示が「リフレクション思考」や「気づき」を喚起させ、形成的診断・評価につながり、より学習効果を高めるものと期待できる。本稿では先端の情報処理技術(特に知識処理技術からの観点で)の応用によって、統計的自然言語処理、データ・マイニングやテキスト・マイニング等により、定量的分析のみならず、定性的分析(内容分析)も可能になりつつあると考えられる。

## 参考文献

- [1] 関, 松居, 岡本: "School Based Curriculum に基づく遠隔教師研修システムの構築", 教育システム情報学会論文誌, Vol.17, No.3, pp.307-318, 2000.
- [2] T. Okamoto and A.I.Cristea: "A Distance Ecological Model for Individual and Collaborative-Learning Support", ETS journal, Vol.4, No.2, pp.80-87, 2001.
- [3] T. Okamoto, A.I.Cristea and M. Kayama: "Towards Intelligent Media-Oriented Distance learning and Education Environments", Proceedings of ICCE2000, 2000.
- [4] IEEE : Draft Standard for Learning Object Metadata, [http://ltsc.ieee.org/doc/wg12/LOM\\_WD4.htm](http://ltsc.ieee.org/doc/wg12/LOM_WD4.htm), 2000.
- [5] 松居, "発見科学的アプローチによる学習履歴情報の知識化", 人工知能学会第16回全国大会, 3D5-04, 2002.
- [6] 李, 関, 松居, 岡本, "学習履歴情報に基づいた学習過程のダイジェスト化", 信学技報(発表予定)。
- [7] Argrawal, R. and Srikant, R., "Fast Algorithms for mining association rules", Proc. of the 20<sup>th</sup> VLDB Conference, pp.487-499, 1994.
- [8] 松居, 岡本; "決定木学習を用いた Portfolio の概念に基づいた学習者モデル構築手法", 信学技報, ET2000-31, pp.71-78, 2000.
- [9] 松居, 岡本; "Digital Portfolio の発見科学的扱い", 信学技報, ET2000-88, pp.87-94, 2000.
- [10] D.M. Campbell, "How to Develop A Professional Portfolio", Allyn and Bacon, pp.3-39, 1997.
- [11] D.J. Cole, "Portfolio Across the Curriculum and Beyond", Corwin Press, Inc., pp.5-25, 1995.
- [12] B.D. Shaklee, et al., "Designing and Using Portfolio", Allyn and Bacon, pp.3-27, 1997.