

# 拡張性を有する学習支援システムアーキテクチャに基づく 作問学習支援環境の試作

仲林 清<sup>†1</sup> 森本容介<sup>†2</sup>

拡張性を有する学習支援システムアーキテクチャ ELECOA による作問学習支援環境の開発について述べる。ELECOA の特徴は、教材オブジェクトと呼ぶプログラムモジュールを追加することで、機能拡張性とコンテンツ再利用性を両立させた柔軟な学習環境を提供することにある。今回は教材ツリーへの教材オブジェクトの動的追加機能など、作問学習に必要な機能を追加し、グループ学習型作問学習支援環境のプロトタイプを試作した。これにより、ELECOA の基本的な設計を大きく変更せずに、グループ学習支援環境が構築できる見通しを得た。

## Development of Question-Generation Learning Environment based on Extensible Learning Support System Architecture

KIYOSHI NAKABAYASHI<sup>†1</sup> YOSUKE MORIMOTO<sup>†2</sup>

This paper describes a prototype development of a learning environment where problems are posed by learners applying the Extensible Learning Environment with Courseware Object Architecture (ELECOA). ELECOA is aiming to provide a flexible learner-adaptive system that ensures both function extensibility and content reusability. To achieve this goal, the concept of a “courseware object” has been introduced to allow incremental implementation of various educational functionalities. This paper reports the results of a prototype implementation of ELECOA in an environment for learning by problem posing. This prototype implementation features some new ELECOA functionalities including dynamic addition of courseware objects. The results imply that the learning environment could be developed without modifying basic ELECOA framework.

### 1. はじめに

近年、学習者自身が問題を作ることで、学習領域に関する理解を深めることを狙いとした、作問学習と呼ばれる学習方法が注目されている[1]~[5]。作問学習の研究は、問題解決能力や創造性といった心理学的な立場からのものと、作問学習を支援する教育システムを開発するものに大別される[2]。作問学習支援システムの研究は、さらに、システムにドメイン知識を持たせて作問の支援や診断を行うもの[3]と、グループ学習の課題として、作った問題を学習者相互に共有・レビューさせるもの[4],[5]とに分類される。

本研究では、これらのうち、後者のグループ学習の一種としての作問学習を対象としている。筆者らは、拡張可能な学習支援システムアーキテクチャ ELECOA (Extensible Learning Environment with Courseware Object Architecture) [6]~[8] を提案し、その作問学習環境への適用検討を行ってきた[9]~[11]。これまで、作問学習環境は個別の学習設計に基づいてそれぞれのシステムが作成されてきたが、本研究では、これらに共通的な基本機能を抽出し ELECOA の機能拡張性を活かして、種々の学習設計に対応可能とすることを目標としている。ELECOA では、後述するように、教材オブジェクトと呼ぶプログラム部品を連携させて機能を実現するが、今回のプロトタイプ実装によって、従来の

独習型環境における連携通信パターンが、グループ型の作問学習環境構築にもそのまま適用できる見通しを得た。

### 2. 拡張性を有する学習支援システムアーキテクチャ

#### 2.1 提案アーキテクチャの構成

独習型学習のための学習支援システムは、コンテンツとプラットフォームを分離する構成を採ることが一般的である[6]。これによって、学習内容に依存しない共通的な機能はプラットフォーム側に持たせて、コンテンツ開発を容易にし、両者間のインターフェースを規格化して相互運用性を図ることができる。このような構成の問題点は機能拡張性の欠如にある。すなわち、プラットフォームは事前に定められた機能に従って開発するため、後から新規機能を追加しようとしても、プラットフォームの修正が困難であったり、不用意な改造で既存のコンテンツが動作しなくなるといった問題が発生する。このように、既存の構成で機能拡張性と相互運用性を両立させることは非常に困難である。

この問題を解決するため、筆者らは「教材オブジェクト」[6]と呼ぶ概念を取り入れた学習支援システムアーキテクチャ ELECOA[7],[8]を提案した。教材オブジェクトは、学習者に適した教材の選択や表示、学習履歴の記録、などのプラットフォームで実装されていた様々な教育的な機能を取り出したプログラム部品である。プラットフォームを教材オブジェクトに分解してモジュール化することで、機能拡張性と相互運用性の両立を図る。

<sup>†1</sup> 千葉工業大学  
Chiba Institute of Technology

<sup>†2</sup> 放送大学  
The Open University of Japan

図1にELECOAの構成を示す。教材オブジェクトはプラットフォームと明確に分離されている。新たな機能を実現する際は、新規の教材オブジェクトを追加する。既存コンテンツは既存の教材オブジェクトを用いて動作するため、新たな機能追加の影響を受けない。このため、カスタマイズが格段に容易になり、機能拡張性を向上できる。また、コンテンツと一緒に教材オブジェクトを流通させることで、相互運用性、流通再利用性を確保できる。

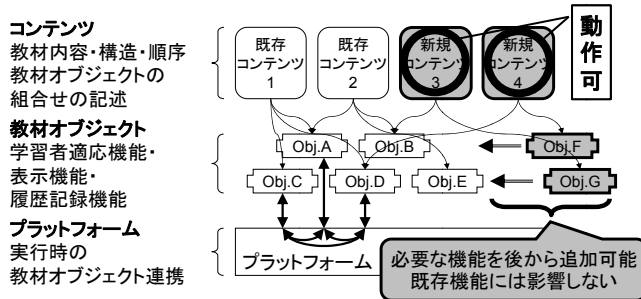


図1 ELECOAの構成  
 Figure 1 ELECOA framework.

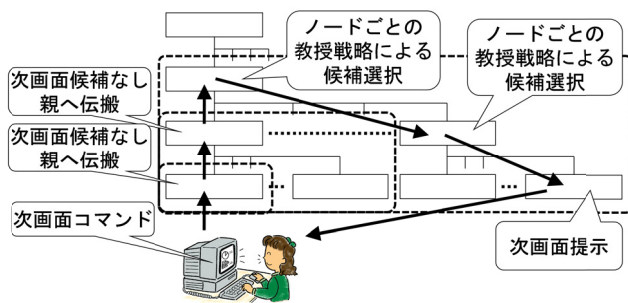


図2 ELECOAの独習型環境への適用  
 Figure 2 Application of ELECOA to self-learning environment.

2.2 独習型環境への適用

ELECOAを、階層型(木構造型)コンテンツを用いる独習型学習環境に適用した。ELECOAの目的を達するためには、複数の開発者が別個に作成する教材オブジェクトが相互に連携して動作することが求められる。そのため、教材オブジェクトの役割分担、保持情報、教材オブジェクト間通信インターフェースなどを標準化する必要がある。そこで、階層型のコンテンツに対して、図2のようにツリーの各ノードに教材オブジェクトを配置し、教材オブジェクトは、配置されたノードを頂点とするサブツリーの学習者適応動作を制御するものとした。すなわち、サブツリーの範囲内の学習者の進捗・習得状態を管理し、これに基づいて提示するコンテンツを決定するシーケンシング動作の制御を行う。これによりサブツリーごとに異なる教授戦略に基づく学習者適応動作を実装できる。また、教材オブジェクト間のメッセージのやりとりは親子間に限定する。これによって、メッセージ伝搬のパターンとメッセージの意味を明確化し、教材オブジェクトが他の教材オブジェクトに対

して提供すべきインターフェースを特定する。このような考え方で、学習者適応コンテンツの標準規格であるSCORM 2004の仕様を実装した。SCORM 2004 3rd Editionに従って実装を進め、同規格のテストスイートで正しく動作することを確認した[8]。

2.3 グループ学習環境への適用

グループ学習に関する標準規格である Learning Design (LD) 規格[12], [13]を対象に検討を進めてきた[14], [15]。LD規格の主要な構成要素は、「活動 (activity)」, 「役割 (role)」, 「環境 (environment)」である。活動は「構造 (activity structure)」を有しており、活動の集約がさらに上位の活動となる階層構造となっている。活動においては、「学習オブジェクト (learning object)」や「サービス (service)」などの複数の環境が使用される。学習オブジェクトの代表例はWeb上の教材やテスト、サービスの代表例はチャットや掲示板である。活動には「学習者 (learner)」や「スタッフ (staff)」などの役割を持つ「人々 (person)」が参加する。LD規格では、アクティビティの進行に対して人やグループのプロパティに応じた制御条件を記述できる。

ELECOAでLD規格に基づくグループ学習環境を実現するために、図3のような構成を検討した[14]。独習型の場合と同様、個々の学習者の学習の流れは、ツリーの各ノードに配置された教材オブジェクトが制御する。チャットや掲示板などの学習サービスは、独習型の場合の学習資源と同様、末端ノードに配置して複数の学習者で共有する。さらに、複数学習者の状態に応じて個々の学習者の学習制御を行うため、教材オブジェクトが、他の学習者の教材オブジェクトと情報交換を行う。これによって、他の学習者の学習進捗状況も勘案して次に学習者に提示する末端ノード(学習資源)を決定するようにする。このような複数学習者の状態集約交換のための拡張は、階層構造の親子の教材オブジェクトとのメッセージのやりとりや語彙には影響を与えないので、2.1, 2.2で述べたELECOAの基本的な枠組みを変更する必要はない。これまでこのような考え方でジグソー法の実装を行った[15]。

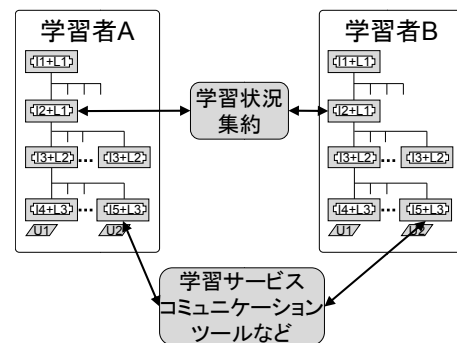


図3 ELECOAのグループ学習環境への適用  
 Figure 3 Application of ELECOA to group-learning environment.

### 3. 作問学習環境への適用

#### 3.1 グループ学習型作問学習環境の必要機能

本研究では、グループ学習型の作問学習を対象とする。学習者が問題を作成し、その問題を他の学習者や教員が共有・レビューし、場合によっては、作成した問題を教材として授業などで利用する形態である[4],[5]。グループ学習型の作問学習環境は、これまで、個別の学習設計に基づく機能要件に沿って個々のシステムが作成されてきたが、ここでは共通的な基本機能を抽出し、それを反映したELECOAの教材オブジェクトを設計して、その組み合わせで種々の学習設計に対応することを目標としている。

グループ学習型の作問学習で必要とされる機能は大きく以下のように整理できる。

- (1) 問題や問題に付随する議論の動的な追加
- (2) 問題に付随する議論や学習の制御
- (3) 問題の教材としての提供・利用

それぞれについて以下の各節で説明する。

#### 3.2 問題や議論の動的な追加

問題や議論の動的な追加は、作問学習環境に特有の機能である。これまでELECOAでは、コンテンツや学習制御の階層構造、および、学習資源は、学習開始前にすべて定義されていることを前提としていた。作問学習では、学習時に複数の学習者が動的に問題を作成し、それらを相互に共有して、議論・修正を行う機能が必要となる。

このような機能を実現するために、図4に示すような教材オブジェクトを用意する。「問題リスト」という教材オブジェクトの下に、「問題」教材オブジェクトが複数あり、「問題」教材オブジェクトには「問題内容」の学習資源と、「議論」教材オブジェクト、「議論内容」学習資源が付随している。学習に参加しているすべての学習者にこの構造が割り当てられる。問題リスト教材オブジェクトは、問題の新規作成、一覧、選択といったコマンドを受け取り実行する。問題教材オブジェクトは、「問題」の新規作成コマンドによって、問題リストの配下に生成される。問題教材オブジェクトは、問題編集、問題閲覧、問題提出などのコマンドを実行する。議論教材オブジェクトは、コメント編集、コメント閲覧などのコマンドを実行する。

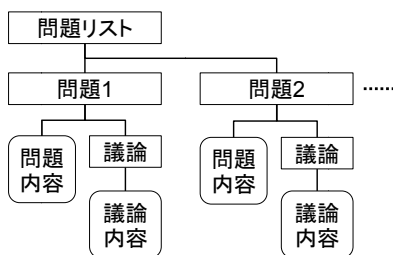


図4 作問学習の教材オブジェクト構成

Figure 4 Courseware object structure for problem posing learning environment.

#### 3.3 問題に付随する議論や学習の制御

前節で述べた問題教材オブジェクトと議論教材オブジェクトは、内部の状態遷移マシンで議論や問題修正の進捗を管理している。作問学習では、問題を作成した学習者と、その他の学習者および教員の役割が異なっていて、議論の順序に制限が加わることもある[5]。したがって、作成された問題や利用者の役割ごとに異なる議論の制御を行うことが求められる。作問学習における学習制御の状態遷移の例[5]を示す。この例では、作問者が他学習者と議論を行い、問題を修正していく。また、教員にコメントを求めることもできる。ただし、問題の修正は必ず作問者自身が行うようになっている。このように実現したい制御に対応する状態遷移を、問題教材オブジェクトと議論教材オブジェクトに実装する。

#### 3.4 問題の教材としての提供・利用

学習者が学習中に動的に作成した問題を、実際に演習問題教材として提供し、複数の学習者に解答させることが考えられる。演習問題の提供・解答・履歴記録は従来の独習型環境と同様の機能であるが、このような問題を動的に追加・提供することは、やはり作問学習環境に特有の機能である。

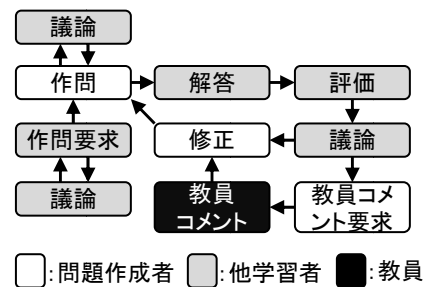


図5 作問学習の状態遷移の例[5]

Figure 5 Example of state transition for problem posing learning [5].



図6 試作システム画面

Figure 6 Screenshots of prototype implementation.

### 3.5 プロトタイプの試作

以上のような要求条件を踏まえて、ELECOAにおける作問学習環境のプロトタイプを試作した。図6に画面例を示す。現在、上記の機能のうち、問題の作成・議論・修正という一部の機能を実装し[9],[10]、試行的に大学の授業で活用した[11]。

### 4. 教材オブジェクト間通信に関する考察

前節で述べたような学習制御を、図4のような教材オブジェクト構成で実行するための教材オブジェクト間通信パターンについて検討する。一般的な状況として、図7のような教材オブジェクト組合せの構成を考える。

二人の学習者AとBが作問学習を行っており、同じ教材オブジェクトツリーが割り当てられている。「問題」教材オブジェクトと「議論」教材オブジェクトは内部の状態遷移マシンで学習の流れを制御する。その際に、自学習者の状態だけでなく、他学習者の「作問状態」、「議論状態」も参照する。問題には、階層構造を持つ独習型の「教材」も付属しており、学習者は作問を要求される分野の基礎知識を学習して作問を行うものとする。

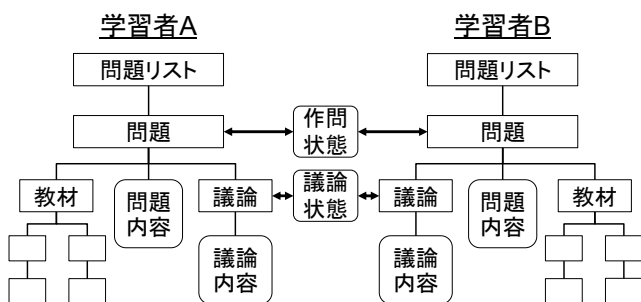


図7 一般的な教材オブジェクト連携の構成

Figure 7 Generic structure of courseware object combination.

独習型教材は、2.2節で説明したELECOAの独習型学習環境で動作するものをそのまま再利用することとする。ELECOAの独習型学習環境では、基本となる4つの通信パターンが定義されており[8]、独習型教材を図7のようなグループ学習環境でもそのまま再利用するためには、この4つの通信パターンがそのまま保たれる必要がある。以下、4つの通信パターンと、その通信パターンによってグループ学習での動作シナリオも実行可能であることを説明する。

#### 4.1 独習型学習環境の通信パターン

ELECOAの独習型学習環境では、以下の4つの通信パターンで様々な学習制御が行えることを示した[8]。ELECOAでは、教材オブジェクト間の通信は、ツリー構造の親子間に限定しており、現在、学習者に提示されている学習資源に対応する葉の教材オブジェクト（これをカレントオブジェクトと呼ぶ）から、親の教材オブジェクトに順次通信を行う。以下の4つの通信パターンも、この親子間通信を基本としている。なお、通信は実際にはオブジェクト指向言

語のメソッド呼び出しとして実装されているので、通信ルートに沿って返り値が返却される。

#### (1) シーケンシング処理

学習者からの学習コマンド（例えば「次画面」）を受け取り、学習状態に応じて、次に提示する学習資源（に対応する葉の教材オブジェクト）を決定する。提示学習資源の決定は各教材オブジェクトに実装された学習戦略によって行われる。もし、学習コマンドを受け取った教材オブジェクトが、その学習コマンドに対応する処理を実装していない場合や、処理の結果、適切な提示学習資源を選択できなかった場合は、学習コマンドを親の教材オブジェクトに転送して処理を委譲する。これを繰り返し、最終的には、次に提示する学習資源へのポインタが返却され、カレントオブジェクトが移動する。

#### (2) ロールアップ処理

カレントオブジェクトに対応した演習問題コンテンツなどに対する学習者の応答から、ツリーの各ノードの学習状態を更新する。カレントオブジェクトは学習状態の変化を親の教材オブジェクトに通知し、これに基づいて親も状態を更新する。これをツリーのルートノードまで繰り返す。

#### (3) ポストコンディションルール処理

学習者からの学習コマンドを学習状態に応じて変更する。例えば、学習者が先に進もうとして「次画面」とコマンドを入力しても、学習状態が満足でない場合は、補習対象コンテンツを含むサブツリーを「再試行」するコマンドに置き換える、というように用いられる。コマンドの置き換えルールは、各ノードで記述することができ「If ノードの学習状態 Then 実行学習コマンド」という形をしている。置き換えルールは、カレントオブジェクトからルートノードへの経路上のルートに近いものが優先されることになっている。このため、置き換えルールをカレントオブジェクトから順次評価し、ルールが成り立った場合は、ルールに書かれた学習コマンドを親の教材オブジェクトに送り、親の教材オブジェクトは、自身のルールが成り立った場合は、受け取った学習コマンドを自身の学習コマンドで置き換えて、さらに自身の親に送るようにしている。これを繰り返し、最終的には、次に実行すべき学習コマンドがカレントオブジェクトに返却される。

#### (4) 学習コマンドリスト生成処理

(1)で述べたように、学習コマンドは、順次、親の教材オブジェクトに送られて処理される。そこで、学習者に、その時点で選択可能な学習コマンドを提示するために、カレントオブジェクトからルートノードへの経路上の各教材オブジェクトで処理が定義されている学習コマンドのリストを作成する。各教材オブジェクトは実行可能なコマンドをリストに追加して親教材オブジェクトに転送する。これを繰り返し、最終的には、選択可能な学習コマンドのリストがカレントオブジェクトに返却される。

以上の動作は、実際には、学習者がカレントオブジェクトに対して学習コマンドを入力した後、

- ロールアップ処理で学習状態を更新する。
- ポストコンディショナルルール処理で必要に応じて学習コマンドを置き換える。
- シーケンシング処理で次に提示する学習資源にカレントオブジェクトを移動する。
- コマンドリスト生成処理で次に入力可能なコマンドを提示する。

という順で実行される。

#### 4.2 グループ学習動作シナリオの実現

前節で説明した独習型学習環境では、ツリーの各ノードが学習状態を保持しており、葉ノードの状態の変化によって、親のノードの状態が変化する。また、各ノードは、ノードに記述されたルールに応じて、自身の状態を参照して、提示する学習資源の選択や学習コマンドの置き換えを行う。

図7に示したグループ学習型の作問学習環境が、独習型学習環境と最も大きく異なるのは、学習者自身に割り当てられたツリーの状態だけでなく、他の学習者の状態も参照して学習制御を行う必要があることである。

例として以下のような学習シナリオを考える。学習者AとBは、まず、図7中の独習教材を用いて学習を行う。この際の動作は、既存のELECOAの独習型学習環境に従う。ここで、一方の学習者が学習を終了して作問を行ったら、他の学習者は学習を中断して、他の学習者が作成した問題に解答しなくてはならないものとする。例えば、学習者Aが学習を終了して作問を行ったとすると、学習者Bも教材を抜けて、問題内容ノードに移動しなくてはならない。

ここで、独習教材は、既存の独習型学習環境で動作するように作成したものをそのまま再利用しており、他の学習者の状況に応じて、学習を中断するような機能は組み込まれていない。しかし、前節で述べた通信パターンを図7の構成にそのまま適用することで、独習教材に手を加えずに他の学習者の状況を考慮した動作を実現することができる。

この動作を行う際にポイントとなるのは、ポストコンディショナルルール処理である。前節で述べたように、ポストコンディショナルルール処理では、各ノードに記述されたコマンド置き換えルールを、カレントオブジェクトからルートノードへの経路上で評価し、ルートに近いものを優先して使用する。また、学習者が学習コマンドを入力すると、ロールアップ処理の後、ポストコンディショナルルール処理によって、実際に実行されるコマンドが決定する。

従って、上に述べた、「学習者Aが学習を終了して作問を行うと、学習者Bも教材を抜けて問題内容ノードに移動する」という状況では、まず、学習者Aが学習を終了して作問を行うと、学習者Bと共有された「作問状態」が変化する。ここで、学習者Bが教材内を移動する学習コマンドを入力すると、それを契機に、ポストコンディショナルルー

ル処理が実行される。このとき、学習者Bの「問題」ノードに共有された「作問状態」に応じた学習コマンド書き換えルールを記述しておけば、学習者Bが入力した、教材内を移動する学習コマンドを、問題内容ノードに移動するコマンドに書き換えることができる。

また、別の例として、図7では、問題教材オブジェクトと議論教材オブジェクトで状態遷移の制御を行っているが、例えば、議論教材オブジェクトで特定の状態になった時に、問題教材オブジェクトに制御を移す、といった処理は、前節のシーケンシング処理で述べた、親の教材オブジェクトへの処理の委譲によって実現できる。

さらに、学習コマンドリスト生成処理により、独習型教材自体を修正しなくても、独習型教材の画面には、「問題」ノードで定義された作問学習用のコマンドも表示され、学習者にこれらのコマンドを選択させることが可能となる。

このように、ELECOAの独習型学習環境で規定した4つの通信パターンをまったく変更せずに、グループ学習型の作問学習環境が実現できる見通しが得られた。上記の例では、ひとつの学習シナリオに沿って説明を行ったが、一般に、他学習者の学習状況を参照する教材オブジェクトに、学習コマンドを変更する書き換えルールを記述しておけば、ポストコンディショナルルール処理によって、当該教材オブジェクト配下の動作を自由に制御できることがわかる。また、上位のノードで定義されたコマンドが、学習コマンドリスト生成処理によりカレントオブジェクトで表示されるので、既存の教材を下位のノードとして修正せずに利用できる。このように、独習型学習環境で規定した通信パターンはまったく変更されていないので、ELECOAの独習型学習環境で動作する既存の独習型教材を、グループ学習型の作問学習環境でそのまま再利用することができる。

## 5. まとめ

学習者適応機能の機能拡張性とコンテンツの流通再利用性の両立を図る学習支援システムアーキテクチャELECOAの作問学習への適用について述べた。ELECOAでは、「教材オブジェクト」というプログラムモジュールによって様々な学習支援機能を実装する。今回は、グループ学習型の作問学習環境への適用について検討した。また、既存の独習型学習環境で規定した通信パターンで、グループ学習型の作問学習の学習制御も実現可能であり、既存の独習型教材を、グループ学習型の作問学習環境でそのまま再利用することができる可能性を示した。今後、作問学習における複数の学習制御の事例について適用性を検討し、システムの実装を行って、本アーキテクチャの有用性の検証を進める。

**謝辞** 本研究は科研費(26280128, 26242013)の助成を受けた。

## 参考文献

- 1) Yu, F.-Y. and Wu, C.-P.: Student Question- Generation: The Learning Processes Involved and Their Relationships with Students' Perceived Value," J. Research in Education Science, Vol.57, No.4, pp.135-162 (2012).
- 2) 小島一晃, 三輪和久, 松居辰則: 産出課題としての作問学習支援のための実験的検討, 教育システム情報学会誌, Vol.27, No.4, pp.302-315 (2010).
- 3) 東本崇仁, 市将治, 平嶋宗, 竹内章: 多桁減算を対象とした作問学習支援環境の設計, 日本教育工学会論文誌, Vol.31, No.1, pp.61-68 (2007).
- 4) 高木正則, 田中充, 勅使河原可海: 協調的に作問する過程で競争可能なオンラインテストシステムの実装と評価, 教育システム情報学会誌, Vol.24, No.1, pp.13-25 (2007).
- 5) 平井祐樹, 樫山淳雄, 井上智雄: 学習者による作問に基づく学習支援システムの分散非同期環境への適用とその効果, 教育システム情報学会誌, Vol.27, No.1, pp.62-73 (2010).
- 6) 仲林清, 永岡慶三: 拡張性向上のための教材オブジェクトアーキテクチャを用いた WBT システムの開発, 信学論(D-I), Vol.J88-D-I, No.6, pp.1104-1114 (2005).
- 7) Nakabayashi, K., Morimoto, Y. and Hada, Y.: Design and Implementation of an Extensible Learner-Adaptive Environment, Knowledge Management & E-Learning: An International Journal (KM&EL), Vol.2, No.3, pp.246-259 (2010).
- 8) 仲林清, 森本容介, 拡張性を有する適応型自己学習支援システムのためのオブジェクト指向アーキテクチャの設計と実装, 教育システム情報学会誌, Vol.29, No.1, pp.97-109 (2012).
- 9) 仲林清, 森本容介: 拡張性を有する学習支援システムアーキテクチャの作問学習環境への適用検討. 電子情報通信学会技術研究報告, ET2013-131 (2014).
- 10) Nakabayashi, K. and Morimoto, Y.: Applying an Extensible Learning Support System to Learning by Problem Posing, Proc. of 22nd Intl. Conf. Computers in Education, Nara, Japan, to appear (2014).
- 11) 森本容介, 仲林清: Moodle で動作する協調作問学習システムの開発と実践, 第 39 回教育システム情報学会全国大会講演論文集, pp417-418 (2014).
- 12) Koper, R. and Tattersall, C. (Eds.), Learning Design: A Handbook on Modelling and Delivering Networked Education and Training, Springer (2005).
- 13) IMS Global Learning Consortium, IMS Learning Design Version 1.0 Final Specification (2003).
- 14) Nakabayashi, K., Morimoto, Y. and Aoki, K.: Application of Extensible Learning Support System Architecture to Collaborative Learning Environments, Proc. of 12th IEEE Intl. Conf. Advanced Learning Technology, pp.69-73, Rome, Italy (2012).
- 15) Nakabayashi, K. and Morimoto, Y.: Investigation on Function Extension of Extensible Learning Support System Architecture to Group Learning Environment, Proc. of IEEE Intl. Conf. Teaching, Assessment and Learning for Engineering, pp.335-339. Bali, Indonesia (2013).