

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 分散マルチプラットフォーム学習環境の検討

仲林 清^{*1,2} 森本容介^{*3} 池田 満^{*4} 瀬田和久^{*5} 田村恭久^{*6}

*1 千葉工業大学 *2 熊本大学 *3 放送大学

*4 北陸先端科学技術大学院大学 *5 大阪府立大学 *6 上智大学

Investigation of Distributed Multi-Platform Learning Environment based on an Extensible Learning Support System Architecture

Kiyoshi Nakabayashi^{*1,2} Yosuke Morimoto^{*3}

Mitsuru Ikeda^{*4} Kazuhisa Seta^{*5} Yasuhisa Tamura^{*6}

*1 Chiba Institute of Technology *2 Kumamoto University *3 The Open University of Japan

*4 Japan Advanced Institute of Science and Technology

*5 Osaka Prefecture University *6 Sophia University

拡張性を有する学習支援システムアーキテクチャ ELECOA に基づく分散マルチプラットフォーム学習環境の検討を進めた。ELECOA の特徴は、プログラムモジュールである教材オブジェクトを構成要素とし、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。これまでの検討で、教材オブジェクト間の4種の基本的な通信パターンを抽出し、この通信パターンで、独習型・グループ学習型のさまざまな環境を実現できることを示した。また、この通信パターンを遵守・再利用するためのデザインパターンの検討を進めた。本発表では、このデザインパターンに則って、Web サーバやスマートフォンなどの複数プラットフォームに分散した教材オブジェクトが連携するマルチプラットフォーム学習環境の検討状況、解決すべき課題、現在の開発状況について述べる。

キーワード: 学習者適応, 拡張可能学習支援システム, 教材オブジェクト, 分散プラットフォーム

1. はじめに

e ラーニング教材や教授方略を共有・流通・再利用するため、さまざまな標準規格が開発されている⁽¹⁾。教材については、独習型コンテンツに関する Sharable Content Object Reference Model (SCORM)⁽²⁾、テスト問題コンテンツに関する Question and Test Interoperability (QTI)⁽³⁾などが開発された。教授方略については、グループ学習を含む幅広い形態を対象とする Learning Design (LD) 規格⁽⁴⁾⁽⁵⁾が挙げられる。

これらの標準規格に準拠した学習環境では、規格範囲外の機能拡張を行うことは困難である。そのような拡張機能を有するコンテンツは、非対応のプラットフォームでは動作せず、相互運用性が損なわれてしまうためである⁽⁶⁾⁽⁷⁾。相互運用性と機能拡張性の両立を図るため、筆者らは拡張可能な学習支援システムアーキテクチャ Extensible Learning Environment with Courseware Object Architecture (ELECOA) を提案してきた⁽⁶⁾⁽⁷⁾。このアーキテクチャでは、相互運用性

と機能拡張性の両立のために、教材オブジェクト⁽⁸⁾という概念を導入している。この機能拡張性を活用し、SCORM 規格準拠の独習環境⁽⁷⁾、LD 規格に沿ったグループ学習環境⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾、作問学習環境⁽¹¹⁾⁽¹²⁾などを実装してきた。また、コンテンツ・教材オブジェクトの流通のためのプラットフォーム要件の明確化を行った⁽¹³⁾。さらに、独習、グループ学習の学習制御に共通する教材オブジェクト間の基本通信パターンを見出し⁽¹⁴⁾⁽¹⁵⁾、教材オブジェクトがこの通信パターンを遵守するためのデザインパターンを導いた⁽¹⁶⁾⁽¹⁷⁾。このデザインパターンに則って教材オブジェクトを実装し、個別に開発された独習用コンテンツをグループ学習で再利用することが可能になること、グループ型作問学習など実用的な学習環境が実現できることを示した⁽¹⁷⁾。

本稿では、ELECOA のアーキテクチャを踏まえて、再利用可能な教材オブジェクトが、Web サーバやスマートフォンなどの複数プラットフォームに分散・連携するマルチプラットフォーム学習環境⁽¹⁸⁾の検討・開発状況を報告する。e ラーニングコンテンツの再利用に

については、学習オブジェクト (Learning Object, LO)⁽¹⁹⁾の重要性が指摘され⁽²⁰⁾、研究・実践も存在する、しかし、多くは学習内容設計⁽²¹⁾⁽²²⁾や学習文脈との整合性⁽²³⁾、検索やリポジトリ⁽²⁴⁾の観点から LO の再利用性を扱っている。ELECOA の教材オブジェクトに類似したプログラムモジュールとしての LO の研究⁽²⁵⁾もあるが、複数の LO を連動させるための通信機能については論じられていない。また、現在、学校への電子教科書やタブレット端末などの導入が積極的に進められているが、コンテンツやツールのほとんどは独自アプリとして開発され、相互連携・利活用の枠組みは規定されていない。標準規格制定の動きもあるが、アプリ間の履歴データ通信⁽²⁶⁾やコンテンツ構造とアプリの対応付け⁽²⁷⁾のレベルに留まっていて、学習制御を含む再利用に踏み込んだものではない。

以下、本稿では、第 2 章で ELECOA の概要、第 3 章で教材オブジェクト間通信パターンについて述べる。第 4 章で通信パターンを実装するためのデザインパターンについて述べ、第 5 章で分散マルチプラットフォーム学習環境の概要、検討課題、開発状況を示す。

2. ELECOA の概要

従来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が一般的である⁽⁷⁾。学習内容に依存しない共通機能はプラットフォームに実装し、コンテンツ作成者はプラットフォームの実装に関与せずに、学習内容に応じたコンテンツを作成する。このような構成では、プラットフォームに予め決められた機能を実装するため、後からの機能拡張が困難であり、不用意な改造で既存コンテンツが動作しなくなるといった問題が発生する。また、コンテンツとプラットフォームの相互運用のためには標準規格が必要であるが、規格準拠のシステムに独自機能を追加すると、相互運用性が確保できなくなる。このように、従来の構成では機能拡張性と相互運用性の両立は非常に困難である。

そこで、筆者らは「教材オブジェクト」⁽⁸⁾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⁽⁶⁾⁽⁷⁾を提案した。図 1 に示すように、ELECOA は、コンテンツ、教材オブジェクト、プラットフォームの 3 層の構成になっている。教材オブジ

ェクトは、従来型アーキテクチャでプラットフォームに実装されていた、学習者適応などの機能を取り出したプログラム部品である。機能追加の際は、新規の教材オブジェクトを作成する。既存コンテンツは既存教材オブジェクトのみで動作するため、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、コンテンツと教材オブジェクトを一緒に流通させることで、相互運用性、コンテンツ再利用性を確保できる。

これまで、階層型 (木構造型) のコンテンツや学習制御構造 (以下、コンテンツと総称する) を対象に検討を進めてきた⁽⁶⁾⁽⁷⁾⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾。教材オブジェクトは、コンテンツの各ノードに配置され、自分の配下のサブツリーの学習制御を行う。独習型環境については、教材オブジェクトの組み合わせで SCORM 規格⁽²⁾に準拠した動作が実現できることを確認した⁽⁷⁾。グループ学習環境については、各学習者に階層型コンテンツを割り当て、教材オブジェクトが、他学習者の教材オブジェクトと情報交換を行うことで、複数学習者の情報を勘案した学習制御を行う。これまで、LD 規格に準拠したシステム⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾や作問学習システム⁽¹¹⁾⁽¹²⁾を開発した。

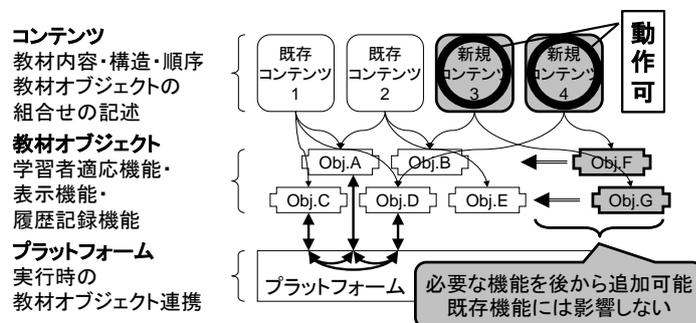


図 1 ELECOA の構成

3. 教材オブジェクト間通信パターン

3.1 通信パターンの機能

ELECOA では階層型コンテンツの各ノードに教材オブジェクトを配置する。木構造の一部のサブツリーを取り出して再利用可能とするため、教材オブジェクト間のもっとも基本的な通信は、直接の親子間に限定する⁽⁷⁾。ツリー全体の学習制御機能は、直接の親子間通信を組み合わせる。このための通信パターンは、独習型コンテンツ⁽⁷⁾で規定された以下の 4 つの処理に対応する⁽¹⁴⁾⁽¹⁵⁾。

- (1) ロールアップ処理
- (2) ポストコンディションルール処理
- (3) シーケンシング処理
- (4) 学習コマンドリスト生成処理

グループ学習環境でも、各学習者に階層型コンテンツを割り当て、教材オブジェクトが、他学習者の教材オブジェクトと情報交換することで学習制御を行う。グループ学習では、「他学習者の状態を条件とする分岐」、「他学習者との同期(待ち)」、「他学習者の状態を条件とする強制移動」が必要となる。これらのうち、分岐は上記(3)のシーケンシング処理で、同期と強制移動は(2)のポストコンディションルール処理で実現できる⁽¹⁴⁾⁽¹⁵⁾。このように、上記の4つの通信パターンで、独習型コンテンツ・グループ学習環境のいずれも実現することができ、これらの通信パターンを遵守している教材オブジェクトは自由な組み合わせが可能となる。

この具体例として、既存の独習教材をグループ学習環境中で再利用する例を図2に示す。この例では、一定数の学習者が独習教材を終了したら、他のすべての学習者も強制的に議論に移る、といったように、学習者間の同期や強制移動といった制御を行う。このとき、既存の独習教材にはすでに学習制御ルールが記述されており、修正によるデグレードを避ける意味でも、他学習者の状態を参照するような制御機能を新たに書き加えることは、避けることが望ましい。

実際には、同期や強制移動の機能は、独習型教材を改変しなくてもポストコンディションルール処理によって実現できる。このためのポストコンディションルールを、図2の独習型教材とグループ学習のツリーの共通の親となるノード(灰色のノード)に記述する。前記(2)のポストコンディションルール処理では、ツリー全体の最もルートに近いノードのルールが優先して実行される⁽¹⁴⁾⁽¹⁵⁾。このため、強制移動の条件が成立した後で、独習型教材のツリー内で学習者がコマンドを実行すると、このコマンドは灰色のノードのポストコンディションルールによって、グループ学習部分に移動するコマンドに置き換えられる。このように、外部から大域的に学習制御機能を変更することができるので、グループ学習での利用を意識せずに作成された独習型教材でも再利用が可能となる。

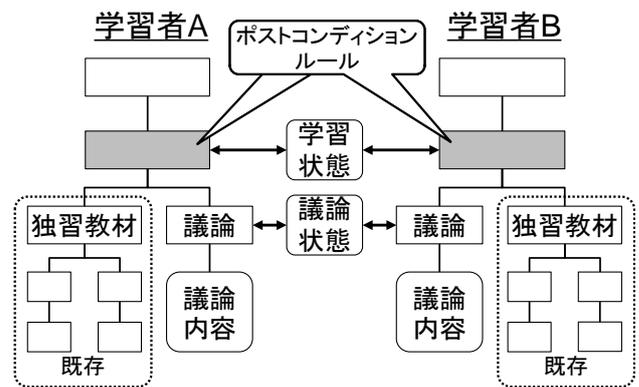


図2 グループ学習環境中の独習コンテンツ再利用

3.2 通信パターンの実装

前節で述べた4つの処理に対応した通信パターンは、いずれも、ツリーの直接の親子の教材オブジェクト間の通信で実現される。また、いずれも、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)が通信の起点となり、親の教材オブジェクトに向けて順次コマンドを送り、それに対する親の応答を子が受け取るという動作を行う。それぞれの教材オブジェクトでは、コマンドに対する処理を独自に実装することができ、さらに新たなコマンドを追加することができる。これによってELECOAの機能拡張性が実現される⁽⁷⁾。

4つの通信パターンは、前節に示した(1)~(4)の順で実行される。どのレベルのノードまで通信が伝搬するかは、処理によって異なっている。ポストコンディションルール処理では、前節の説明のように、最もルートに近いノードのルールを優先するため、中間ノードでルールが成り立っても、必ずルートまで伝搬が行われる。一方、シーケンシング処理では、自分の配下のサブツリー内に次の提示候補となる葉ノードが見つかった教材オブジェクトで伝搬は終了し、カレントオブジェクトに提示候補のノード指定情報が返却される。

4. 教材オブジェクトのデザインパターン

ここまで述べたELECOAの機能拡張性やコンテンツ再利用性を実現するためには、すべての教材オブジェクトが前章で述べた通信パターンを遵守する必要がある。この通信パターンは、以下の処理レイヤーに分離することができる。

- (1) 隣接する親子教材オブジェクト間の通信処理
- (2) (1)の隣接通信を組み合わせた 4 つの通信パターンの処理
- (3) (2)の 4 つの通信パターンのコマンドに対する個々の教材オブジェクトの処理

そこで、図 3 に示すように、各処理レベルに対応した層を設けたレイヤーデザインパターン⁽²⁸⁾⁽²⁹⁾を適用する⁽¹⁶⁾⁽¹⁷⁾。このデザインパターンは、「隣接通信層」、「基本通信層」、「アプリケーション層」から構成され、それぞれが、上記の(1), (2), (3)の処理に対応している。左端の Command Entry は、学習者がコマンドを入力すると、カレントオブジェクトに対して、順次 4 つの通信パターンを起動するコマンドを送り、これが葉ノードからルートまで伝搬して学習制御処理が実行される。このように、レイヤーデザインパターンを適用し、「隣接通信層」、「基本通信層」は各教材オブジェクトで共通とし、「アプリケーション層」で独自機能を実装することで、機能の異なるすべての教材オブジェクトが通信パターンを遵守することができる⁽¹⁶⁾⁽¹⁷⁾。

図 4 に、教材オブジェクトのクラス継承構成を示す。Activity クラス群は、学習コンテンツ・学習制御構造の階層構造を規定し隣接通信を行う。Simple クラス群は 4 つの通信パターンを実装する、教材オブジェクト固有の処理は、これらを継承したクラス群で実装する。各クラス群には階層構造の葉ノード・中間ノード・ルートノードに配置されるクラスがある。

このデザインパターンに基づいて、SCORM 規格に準拠した独習環境・ジグソー法⁽³⁰⁾・グループ型作問学習環境を実装した⁽¹⁷⁾。グループ型作問学習環境の教材オブジェクトツリーを図 5 に示す。学習者は、ツリーの左側部分で独習を行い、その後、右側部分で、グループで問題作成・議論・編集を行う。作成した問題はツリーに追加されていき、最後に選択した問題が学習者全員に公開される。対応する画面例を図 6 に示す。

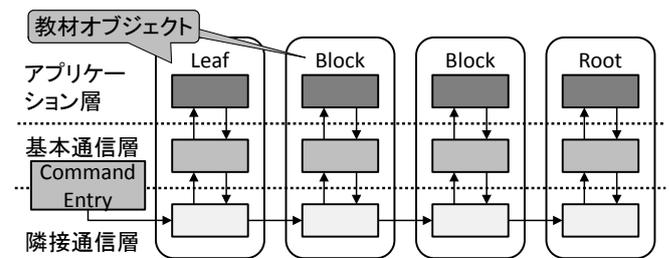


図 3 レイヤーデザインパターンによる教材オブジェクト間通信

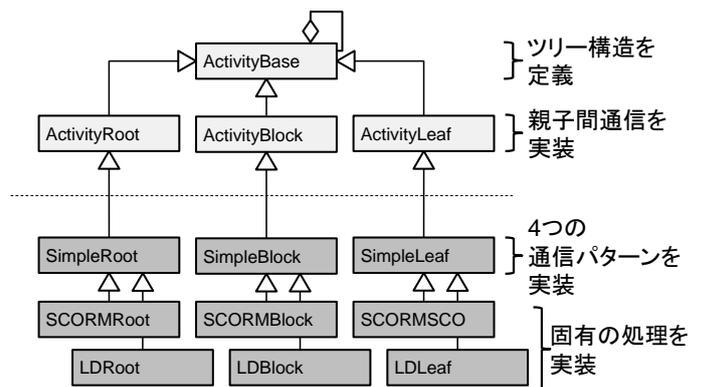


図 4 教材オブジェクトのクラス継承構成

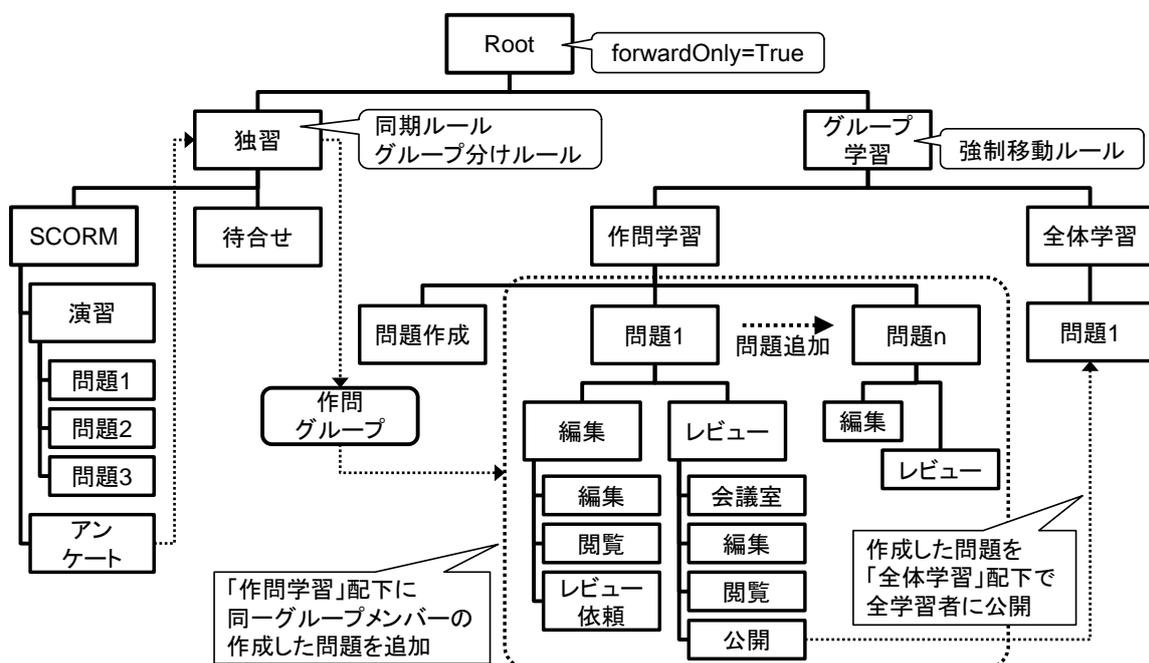


図 5 作問学習の教材オブジェクトツリー



図 6 作問学習の画面例

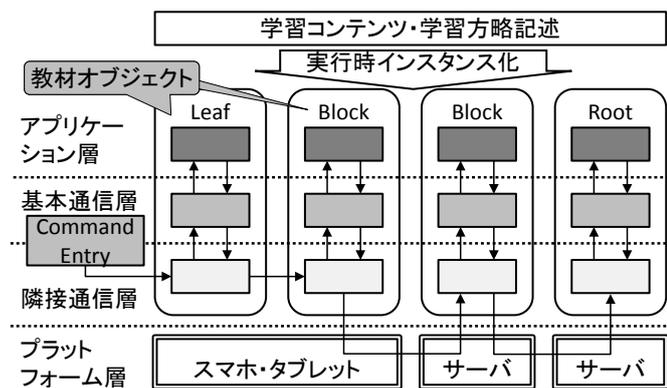


図 7 レイヤーアーキテクチャによる物理的な通信の隠ぺい

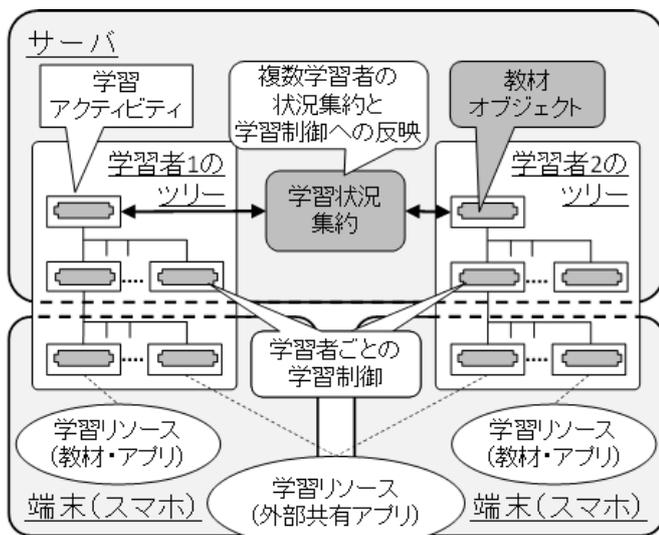


図 8 分散マルチプラットフォーム学習環境

5. 分散マルチプラットフォーム学習環境

5.1 概要と検討課題

ここまで、4つの通信パターンを遵守した教材オブジェクトの組合せで、独習やグループ学習などさまざまな学習制御が可能となることを示した。さらに、これらの学習制御を実装するための教材オブジェクトのデザインパターンを示した。

このデザインパターンは、図3のようなレイヤーデザインパターンであり、隣接教材オブジェクト間の通信を司る隣接通信層と各教材オブジェクトの学習制御を実装する基本通信層、アプリケーション層が明確に分かれている。従って、図7のように物理的な通信手段を上位層から隠ぺいすれば、教材オブジェクトとして実装されたさまざまな学習制御機能がサーバ、スマートフォン、電子教科書など、複数プラットフォームで再利用可能な分散マルチプラットフォーム学習環境を実現できる⁽¹⁸⁾。

この学習環境の構成イメージを図8に示す。コンテンツツリーは、サーバとスマートフォンなどの端末にまたがって配置される。通常は、端末がサーバと通信してグループ学習のための学習制御が行われる。端末がオフラインになった場合も、端末上の教材オブジェクトによって独習を進めることができる。

このような分散マルチプラットフォーム学習環境を実現するうえで検討すべき課題を挙げる。

- (1) 分散プラットフォームアーキテクチャ
- (2) 教材オブジェクト間通信方式
- (3) 教材オブジェクト動的再配置方式
- (4) 実用的学習支援環境への適用

以下、それぞれについて説明する。

5.1.1 分散プラットフォームアーキテクチャ

これまでの実装では、図8のような複数のコンテンツツリーは、ひとつのサーバ上に配置されており、教材オブジェクト間の通信は、オブジェクト指向言語のメソッド呼び出しで実装されていた。今回はコンテンツツリーが複数プラットフォームにまたがる環境を対象とする。分散環境での教材オブジェクトの流通再利用のためには、プラットフォーム内とプラットフォーム間の通信の区別がないことが望ましい。しかし、サーバや携帯端末の開発言語・動作環境はさまざまであ

る。教材オブジェクトの流通を図るためには、プラットフォーム環境の影響を受けないことが望ましい。そこで、前述の教材オブジェクトのデザインパターンを参照モデルとして、教材オブジェクトからプラットフォーム間通信や開発言語・動作環境を隠ぺいした分散プラットフォームアーキテクチャの検討を行う。

5.1.2 教材オブジェクト間通信方式

教材オブジェクトは複数プラットフォームに分散配置されるため、その間の通信オーバーヘッドが問題となる。また、動的に生成される作問結果などを教材オブジェクトとして複数学習者で共有したり、コンテンツの一部をタブレットでオフライン実行する、といったことも想定される。そこで、教材オブジェクト間の通信パターンが定型化されていることを活用して通信オーバーヘッドを抑制することのできる通信方式を検討する。具体的には、ロールアップ処理やポストコンディションルール処理など、学習状態に依存する処理で、状態変化がなければ、判断結果が変わらないことを利用して、不要な通信を抑制する方式を検討する。

5.1.3 教材オブジェクト動的再配置方式

携帯端末や電子教科書は、学校内外で通信環境が異なることが考えられる。一方、教材オブジェクトは、図3のデザインパターンのように実装され、アプリケーション層はどのプラットフォームでも動作する。これを活かして、教材オブジェクトを動作させるプラットフォームを動的に変更する方式を検討する。具体的には、教室内のように学校サーバと直接通信が可能な環境では、グループ学習などが円滑に実施できるように、サーバ上で教材オブジェクトを動作させて学習者間の通信オーバーヘッドを低減する。家庭や移動中など、サーバと通信できない環境で学習を継続するためには、サーバ上の独習教材部分を携帯端末にダウンロードし、後で学習状態をサーバと同期する方式を検討する。

5.1.4 実用的学習支援環境への適用

以上で開発した分散マルチプラットフォームアーキテクチャを、これまで開発してきた学習者適応型コンテンツやグループ型作問学習に加え、アクティブラーニングなど実用的な学習シナリオへ適用する。これらのシナリオには、全学習者が独習を行ったあと、一斉にグループディスカッション・全体プレゼンテーションを行う反転授業型、先に問題を解き終わった学習

者が順次解き方のわからない学習者を指導する相互教授型、など多様なバリエーションが含まれる。これらの学習シナリオが機械可読な形で流通可能となること、本アーキテクチャの特徴の一つである。

5.2 開発状況

現在、5.1.1で述べた最初の課題について、教材オブジェクトの学習制御部分から、プラットフォーム間通信や動作環境を隠ぺいした分散プラットフォームアーキテクチャの検討・実装を進めている。

プラットフォーム間通信を教材オブジェクトから隠ぺいする方法としては、

- (1) TCPポートで共通インターフェースを実装する、
 - (2) JavaScriptなどのAPIを設ける、
 - (3) アプリケーション層の機能記述言語を開発する、
- といった選択肢があり得るが、現在、(2)の方針を進めている。すなわち、Webサーバとスマートフォンに分散した環境において、WebサーバはNode.js、スマートフォンはReact Nativeを開発環境とし、プラットフォーム間の通信はWebSocketを用いる。教材オブジェクトはJavaScriptで実装する。

現在、学習実行時の教材オブジェクト間の通信手順、複数学習者の教材オブジェクトツリー間の通信手順、学習開始時の教材オブジェクトのインスタンス化手順などについて、詳細検討と実装による動作検証を進めている。Webサーバ、スマートフォン双方で教材オブジェクトをJavaScriptで実装することができれば、複数プラットフォームにまたがる教材オブジェクトの再利用が可能となり、5.1.3で述べた教材オブジェクトの動的再配置の技術的な基盤が確立できる。

5.1.2で述べた教材オブジェクト間の通信オーバーヘッドの抑制については、以下のいくつかの単独ないし組合せによる方式の検討を進める。

方式1) シーケンシング処理やポストコンディションルール処理など、学習状態に依存する処理は、ロールアップ処理での学習状態変化に影響を受けるが、ルートに近いノードほど学習状態変化は起きにくいことを利用して通信を省略する方式。

方式2) 学習状態を上位に伝搬させるロールアップルールやポストコンディションルールを学習実行前に評価して、ルール実行の条件を洗い出しておくル

ールプリコンパイル方式

方式 3) 他学習者の学習状態変化や、作問学習での新たな問題教材オブジェクトの追加などの状態変化を、学習コマンド入力前に先行伝搬させてコマンド入力時の応答を改善する方式

さらに、5.1.1 で述べた分散プラットフォームアーキテクチャに関連して、これらの最適化方式を図 7 のどの層で実装するかも検討する。

6. まとめ

拡張可能な学習支援システムアーキテクチャ ELECOA を基とした分散したマルチプラットフォーム学習環境の検討を行った。ELECOA のデザインパターンはレイヤー型であり、物理的な通信手段を上位のレイヤーから隠ぺいすれば、さまざまな学習制御機能を実装した教材オブジェクトが複数プラットフォームで再利用可能な、分散マルチプラットフォーム学習環境を実現できる。このようなアーキテクチャを、サーバと携帯端末にまたがった分散環境で実現するうえでの検討課題と開発状況について述べた。今後、さらに課題の検討と実装開発を進める。

謝辞

本研究は科研費 26280128, 17H00774 の助成を受けた。

参考文献

- (1) 仲林 清：“eラーニング技術標準化と学習教授活動のデザイン —オープンな教育エコシステムの構築を目指して—”，人工知能学会誌，Vol.25, No.2, pp.250-258 (2010)
- (2) Advanced Distributed Learning: “Sharable Content Object Reference Model SCORM® 2004 3rd Edition” (2006)
- (3) IMS Global Learning Consortium: “IMS Question & Test Interoperability™ Specification Ver. 2.1 Final Specification” (2012)
- (4) Koper, R. and Tattersall, C. (Eds.): “Learning Design: A Handbook on Modelling and Delivering Networked Education and Training”, Springer (2005)
- (5) IMS Global Learning Consortium: “IMS Learning

Design Ver. 1.0 Final Specification” (2003)

- (6) Nakabayashi, K., Morimoto, Y. and Hada, Y.: “Design and Implementation of an Extensible Learner-Adaptive Environment”, Knowledge Management & E-Learning: An International Journal, Vol.2, No.3, pp.246-259 (2010)
- (7) 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.2, pp.97-109 (2012)
- (8) 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)
- (9) 仲林 清, 森本容介, 青木久美子: “拡張性を有する学習支援システムの協調学習環境への適用性の検討”, 信学技報, ET2011-50 (2011)
- (10) Nakabayashi, K., Morimoto, Y. and Aoki, K.: “Application of Extensible Learning Support System Architecture to Collaborative Learning Environments”, Proc. 12th IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies, pp.69-73 (2012)
- (11) 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”, 信学技報, ET2013-131 (2014)
- (12) Nakabayashi, K. and Morimoto, Y.: “Applying an Extensible Learning Support System to Learning by Problem Posing”, Proc. 22nd International Conference on Computers in Education, pp.325-330 (2014)
- (13) 森本容介, 仲林 清, 芝崎 順司: “ELECOA における教材オブジェクト・プラットフォーム間インタフェースの設計と実装”, 電子情報通信学会論文誌 D, Vol. J98-D, No.6, pp.1033-1046 (2015)
- (14) 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における教材オブジェクト間通信パターンの検討”, 信学技報, ET2014-100 (2015)
- (15) Nakabayashi, K. and Morimoto, Y.: “On Generic Communication Patterns between Courseware Objects in Extensible Learning Support System Architecture for Self- and Group Learning”, Proc. 15th IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies, Hualien, Taiwan, pp.64-65 (2015)
- (16) 仲林 清, 森本容介: “拡張性を有する学習支援システム

- における教材オブジェクトのためのデザインパターンの検討と試作, 信学技報, ET2016-39 (2016)
- (17) 仲林 清, 森本容介: “拡張性を有する学習支援システムにおける再利用性向上のための教材オブジェクトデザインパターンの設計と実装”, 教育システム情報学会誌, Vol.35, No.2 (2018 掲載予定)
- (18) 仲林 清, 森本容介: “拡張性を有する学習支援システムの分散マルチプラットフォーム学習環境への適用検討”, 電子情報通信学会技術研究報告, ET2017-34, pp.17-22 (2017)
- (19) IEEE: “IEEE Standard for Learning Object Metadata (1484.12.1-2002)” (2002)
- (20) Murray, T.: “An Overview of Intelligent Tutoring System Authoring Tools: Updated Analysis of the State of the Art”, in Murray, T., Blessing, S. and Ainsworth, S. (Eds.): “Authoring Tools for Advanced Technology Learning Environments”, pp.491-544. Kluwer (2003)
- (21) Barritt, C. and Alderman Jr., F. L.: “Creating a Reusable Learning Objects Strategy: Leveraging Information and Learning in a Knowledge Economy”, John Wiley & Sons (2004)
- (22) Wiley, D. A.: “Learning Objects and Instructional Theory”, in Reigeluth, M. and Carr-Chellman A. A. (Eds.): “Instructional-Design Theories and Models”, pp.349-363. Routledge (2009)
- (23) Frantiska, J.: “Creating Reusable Learning Objects”, Springer Briefs in Educational Communications and Technology, Springer (2016)
- (24) Santos, R., Werner, C., Costa, H. et al.: “Managing Reusable Learning Objects and Experience Reports in EduSE Portal”, Proc. 13th IEEE International Conference on Information Reuse and Integration, pp.631-638 (2012)
- (25) Gutiérrez, I., Álvarez, V., Paule, M. P. et al.: “Adaptation in E-Learning Content Specifications with Dynamic Sharable Objects”, Systems, 4(2), 24 (2016)
- (26) IMS Global Learning Consortium: “Learning Tools Interoperability® Ver. 1.1” (2012)
- (27) 田村 恭久: “EduPub 電子教科書と EDUPUB 規格の現状”, 教育システム情報学会誌, Vol.32, No.2, pp.148-159 (2015)
- (28) Buschmann, F., Meunier, R., Rohnert, H. et al.: “Pattern-Oriented Software Architecture: A System of Patterns”, John Wiley (1996)
- (29) Gamma, E., Helm, R., Johnson, R. et al.: “Design Patterns”, Addison-Wesley (1994)
- (30) Aronson, E. and Patnoe, S.: “The Jigsaw Classroom: Building Cooperation in the Classroom”, Addison Wesley Longman (1996)