

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 5 月 25 日現在

機関番号：32503

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26280128

研究課題名(和文) 拡張可能な学習支援システムの基本アーキテクチャとグループ学習への応用の研究

研究課題名(英文) Basic Architecture of Extensible Learning Support System and its Application to Group Learning

研究代表者

仲林 清 (Nakabayashi, Kiyoshi)

千葉工業大学・情報科学部・教授

研究者番号：20462765

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 11,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、eラーニングにおける自己学習やグループ学習など多様な学習形態を支援し、カスタマイズ可能な機能拡張性と、コンテンツ・学習方略記述の相互運用性を両立可能な学習支援システムの構成法に関するものである。プログラム部品である教材オブジェクトという概念により機能拡張性とコンテンツ再利用性を両立させる。自己学習コンテンツの分析から、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、この通信パターンによってグループ学習環境も実装することができることを示した。教材オブジェクトがこれらの通信パターンを遵守するためのデザインパターンを検討し、それに基づいて実用的な機能を有する学習シナリオを実装した。

研究成果の概要(英文)：This research aims at design principle for learning support system to provide flexibility to enhance functions of learning environments without losing content reusability. A key concept to achieve both function extensibility and content reusability is “courseware objects”, which are program modules included to implement new functions. To allow any combinations of courseware objects, communication patterns between them need to be defined in advance. Investigation for such communication patterns shows that four communication patterns defined for the self-learning environment can be applied to the group learning environment without modification. Design patterns are proposed for courseware objects to comply with the communication patterns, then it is demonstrated that various practical learning scenarios can be implemented with the courseware objects employing the design patterns.

研究分野：教育工学

キーワード：学習支援システム システムアーキテクチャ グループ学習 教材オブジェクト 通信プロトコル

## 1. 研究開始当初の背景

e ラーニング分野では、教育の品質向上や内容の豊富化のために、学習コンテンツや学習方略記述の流通再利用を促進することが不可欠である。しかし、学習者適応機能を有する学習コンテンツや協調学習の学習方略記述を流通再利用する枠組みは確立されていないのが実情である。これは、流通再利用性と学習支援機能の拡張性の両立が困難であるためである。

上記の課題を解決するため、筆者らは「教材オブジェクト」と呼ぶ概念を導入した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) を提案した。教材オブジェクトは様々な学習支援機能を実現するプログラム部品である。新たな要求仕様を実現する際には、新規の教材オブジェクトを追加して機能拡張を行う。既存コンテンツは既存の教材オブジェクトを使用して動作するため、機能追加の影響を受けることはなく、機能拡張性を向上できる。

本研究では、階層型（木構造型）の学習制御構造（コンテンツ）を対象としている。学習者は、階層型（木構造型）の学習制御構造に沿って学習を行う。階層構造のノードには教材オブジェクトが配置されている。階層構造の末端の教材オブジェクトは学習者に提示される Web コンテンツや演習問題などの学習リソースに関連付けられている。中間層の教材オブジェクトは階層構造の親子の教材オブジェクトと情報を交換して学習制御を行う。具体的には、現在の学習者の学習状態に基づいて、次に提示すべき学習リソースの決定を行う。

このような構成により、木構造型の自己学習コンテンツの標準規格である SCORM2004 の全機能が実現可能であり、新たな自己学習支援機能の追加・拡張と教材の流通再利用が両立可能であることを示した。グループ学習についても、Learning Design 規格への対応を念頭に、教材オブジェクトの概念を拡張して、複数学習者の状況集約と学習制御への反映を行うグループ学習環境を提案し、代表的なグループ学習方略のひとつであるジグソー法を実装し、自己学習支援の場合とほぼ同様の考え方で、複数学習者の学習制御や情報共有などグループ学習の基本機能が実現可能であるという見通しを得た。

しかし、個別に開発された教材オブジェクトの連携や、自己学習用コンテンツをグループ学習シナリオに組み込んだ際の動作は保証されていなかった。

## 2. 研究の目的

本研究では、これまでの研究成果を踏まえ、機能拡張性と相互運用性が両立可能な学習支援システムの構成要素間通信インターフェースに関する基本アーキテクチャの確立を図り、独立して開発された教材オブジェク

トの連携や、既存の自己学習用コンテンツをグループ学習シナリオに組み込んで再利用を可能とすることを目的とする。併せて、動的な学習リソースの追加を伴うような実用的なグループ学習環境への応用を図る。

## 3. 研究の方法

上記の目的を達成するため、以下の(1)～(3)の項目について研究を進めた。実際にはこれらの項目は互いに依存しているため、(1)～(3)の過程を繰り返すことで内容をブラッシュアップした。

### (1) 教材オブジェクト間通信インターフェースの検討

ELECOA の機能拡張性と相互運用性を担保するためには、教材オブジェクト間の標準的な通信インターフェースの確立が不可欠である。これまで、自己学習についてはある程度標準的な通信インターフェースが確立されているが、グループ学習用については複数学習者間の通信パターンや語彙を含めて十分な検討が行われていない。そこで、自己学習とグループ学習を包含した汎用的な通信インターフェースの確立を図る。

### (2) 教材オブジェクトデザインパターンの検討

上記の通信インターフェース・通信パターンは、新規に作成する教材オブジェクトも含め、すべての教材オブジェクトが遵守する必要がある。そこで、通信インターフェースを遵守した教材オブジェクトを開発するためのデザインパターンについて検討する。

### (3) 実用的学習シナリオの実装

デザインパターンに基づいて自己学習・グループ学習の実用的な機能を有するいくつかの学習シナリオを実装し、本提案の有効性を実証的に検証する。

## 4. 研究成果

上で述べた3つの項目について以下の成果を得た。

### (1) 教材オブジェクト間通信インターフェース

自己学習環境・グループ学習環境で求められる学習制御を統一的に実現するための教材オブジェクト間通信パターンの検討を行った。具体的には、自己学習環境で用いられている4つの通信パターンによってグループ学習で必要な機能が実現可能であることを示した。

自己学習環境では、様々な学習制御が以下の4つの通信パターンで実現可能であることが、これまでの研究で示されていた。

#### ① ロールアップ処理

演習問題コンテンツなどに対する学習者の応答から、木構造コンテンツの各ノードの

学習状態を更新する処理である。子の教材オブジェクトは学習状態更新を親の教材オブジェクトに依頼する。親は自身の子の教材オブジェクトの学習状態を参照して自身の状態を更新し、さらに親に更新を依頼する。

#### ② 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処理である。例えば、学習者が先に進もうとして「次画面」コマンドを入力しても、学習状態が満足でない場合、補習対象コンテンツを復習するために「再試行」コマンドに置き換える、というように用いる。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。ルールは、末端の教材オブジェクトから木構造のルートへの経路上でルートに近いノードのものが優先される。

#### ③ シーケンシング処理

ポストコンディションルール処理の結果、あるいは、それが空の場合は、学習者が入力した学習コマンド（例えば「次画面」）を実行し、次に提示する学習資源に対応する末端の教材オブジェクトを決定する処理である。提示する学習資源の決定は、各教材オブジェクトに実装された教授方略によって学習状態を参照しながら行われる。

#### ④ 学習コマンドリスト生成処理

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の処理である。

一方、グループ学習環境では、以下のような、他学習者の状態に応じた学習制御機能が必要である

- (i) 他学習者の状態を条件とする分岐
- (ii) 他学習者との進捗の同期（待ち）
- (iii) 他学習者の状態を条件とする強制移動

これらのグループ学習環境に必要な機能は、以下に示すように、自己学習環境の4つの通信パターンを適用することで実現可能である。これを図1のように、グループ学習環境に自己学習コンテンツを組み込んで利用する場合を例に説明する。

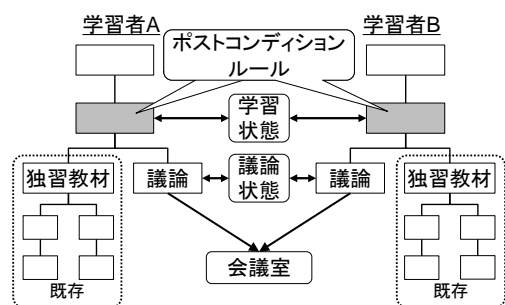


図1 グループ学習環境への自己学習コンテンツの組み込み

#### (i) 他学習者の状態を条件とする分岐

この機能は、複数学習者を習得レベルに応じて異なるグループに割り振るような場合

に用いる。この機能はシーケンシング処理で実現できる。シーケンシング処理で、他学習者の状態も参照して提示する学習資源を選択すればよい。

#### (ii) 他学習者との進捗の同期（待ち）

学習者が移動を要求しても、他学習者の状態が一定の条件を満たすまでは、移動を禁じる機能である。例えば、グループ内のすべて学習者が独習教材を終えて、揃ってグループ学習に進むような場合に必要となる。この機能はポストコンディションルール処理で実現できる。図1のように、同期を行うノード（灰色のノード）に、他学習者の状態を参照して、条件（例えば、他学習者の独習教材の終了）を満たすまでは、学習者の入力したコマンドを「再試行」に置き換えるポストコンディションルールを記述すればよい。

#### (iii) 他学習者の状態を条件とする強制移動

図1の例で、一定数の学習者が独習教材を終えたら、あるいは、一定時間経過したら全員がグループ学習に移る、という学習制御を行う場合、独習教材を学習している学習者も強制的にグループ学習に移動させる必要がある。この機能はやはり、ポストコンディションルール処理によって実現できる。図1の独習教材のツリーとグループ学習（議論）のツリーの共通の親となるノード（灰色のノード）に、強制的にグループ学習（議論）に移動するためのポストコンディションルールを記述する。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、このコマンドは共通の親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ることができる。

以上のグループ学習で必要となる(i)～(iii)の機能は、教材オブジェクト間通信パターンの修正を必要とせず、従って、既存のコンテンツもまったく修正せずに追加できる。(i)の「分岐」については、分岐先に既存のコンテンツや学習資源が指定できるのは当然である。(ii)の「同期（待ち）」、(iii)の「強制移動」についても、既存のコンテンツをまったく修正せずに追加できる。これが可能なのは、ポストコンディションルール処理の説明で述べたように、最もルートに近いノードのポストコンディションルールが優先して実行されるからである。つまり、ポストコンディションルールによって、既存のコンテンツ・教材オブジェクトの外部から大域的に学習制御機能を追加できる。これによって、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も再利用することが可能となる。

#### (2) 教材オブジェクトデザインパターン

(1)で述べた通信パターンを満たすための教材オブジェクトのクラス構成を検討した。クラス構成については、すでに検討が行われ

ているが、今回は(1)の検討内容に従って、役割分担の明確化、インターフェースの統一を図った。

図2にクラス継承構成を示す。コンテンツの階層構造を規定する Activity クラス群と、実際の学習制御機能を実現する Simple クラス群およびその派生クラス群から構成される。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。Activity クラス群は、親子ノード間の関係の定義と、直接の親子間の通信を行うメソッドを有している。Simple クラス群は、学習制御機能を実装するクラス群の基底クラスで、4つの通信パターンを実現するためのメソッドを実装する。これによって、Simple クラス群を継承したクラス群は、4つの通信パターンを実現するためのメソッドを必ず持つことになり、相互の組み合わせが可能となる。

これらのクラスを用いた通信動作の概要を図3に示す。Leaf, Block, Root は木構造の各ノードの教材オブジェクトである。それぞれのノードは、Activity レイヤのインスタンス（以下、Activity インスタンス）と、それを継承した Simple レイヤのインスタンス（以下、Simple インスタンス）で構成される。Activity インスタンスは親子間のコマンドの送受信を行うが、その内容には関知しない。4つの通信パターンの処理は、学習者がコマンドを入力し、これを受け取った Command Entry が4つの通信パターンを順次起動し、Activity インスタンスが、Simple インスタンスのコマンドに対応したメソッドを呼び出すことで実行される。

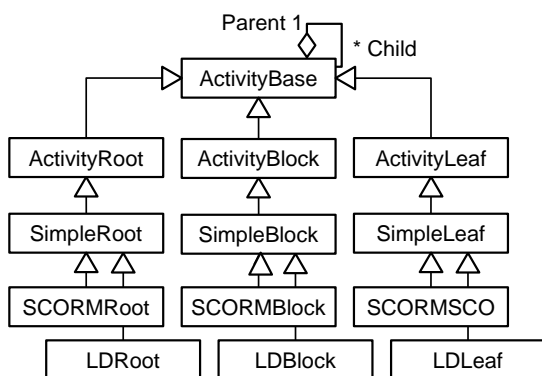


図2 教材オブジェクトクラス継承構成

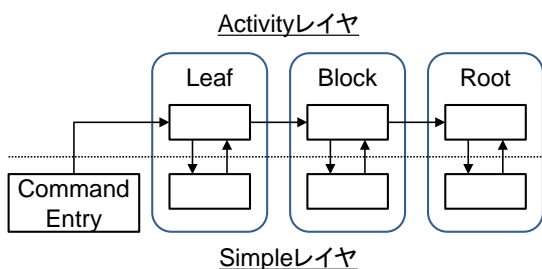


図3 教材オブジェクト間通信動作の概要

### (3) 実用的学習シナリオの実装

上で述べたデザインパターンを用いて、いくつかの教材オブジェクトを開発し、それを用いて実際のコンテンツの動作確認を行った。なお、グループ学習のためのグループ分け機能、実行時に動的に教材オブジェクトを追加する実行時ノード作成機能も開発した。

#### ① SCORM

SCORM 規格については、教材オブジェクト間の4つの通信パターンによって実装可能であることがすでに検証されているが、今回、提案したデザインパターンに則って教材オブジェクトをリファクタリングした。SCORM 2004 テストスイートを用いて、これまでと同様の動作が行われることを確認した。

#### ② シグソー法

ジグソー法はグループ学習の一手法である。ある課題（例えば「地球温暖化」）を、いくつかの要素課題（例えば、「温室効果ガス」、「海水面上昇」、「異常気象」）に分割する。各学習者に要素課題のいずれかを調査させ、同じ要素課題を担当した学習者を集めたエキスパートグループで議論させる。次に、異なるエキスパートグループの学習者からなるジグソーグループを作り、要素課題の情報をもとに、全体の課題の議論・発表を行わせる。このように、学習中にグループの組み合わせが動的に行われるのが、ジグソー法の特徴である。



図4 ジグソー法の画面例

ジグソー法の学習シナリオを実装した画面例を図4に示す。左側に学習の流れ（教材オブジェクトツリーの構成）が表示されている。「学習フェーズ」がエキスパートグループに、「発表フェーズ」がジグソーグループに相当する。調査フェーズから学習フェーズに移る前、および、学習フェーズから発表フェーズに移る前に学習者の同期が行われ、進捗の早い学習者は「待ち合わせ」ノードで待機する。学習フェーズから発表フェーズに移る際には、異なるエキスパートグループに属していた学習者が同じジグソーグループに属するように、グループ割り当てが行われる。

#### ③ 作問学習

独習型教材をグループ学習の中で活用した事例として、グループ型作問学習を実装した。図5に画面例を示す。学習の流れは、独

習フェーズとグループ学習フェーズに分かれている。

独習フェーズでは、SCORM 教材を用いて演習問題を解き、アンケートに回答する。この結果に基づき「独習」ノードのグループ分けルールがグループ分けを行い、結果を「作問グループ」学習目標に書き込む。また、「独習」ノードには同期のポストコンディショナルルールが記述されており、全学習者が独習を終えると全員がグループ学習に移動する。

グループ学習は、さらに、作問学習と全体学習（公開問題）に分かれている。作問学習では、複数の作問グループに分かれて作問を行う。まず、問題を作りたい学習者が、「問題作成」ノードで、実行時ノード作成機能を用いて「問題」ノードを作成する。「問題」ノードは、「編集」と「レビュー」からなるサブツリーで構成され、同じ作問グループに属する学習者に共有される。まず、問題作成者は「編集」ノード配下の機能を用いて問題の編集・閲覧を行う。問題ができれば「レビュー依頼」を行う。これによって、「レビュー」ノード配下が表示され、グループ内の他学習者にも作成した問題が閲覧可能になる。「ディスカッション」での議論を受けて、問題作成者が問題を修正し、最終的に「公開」を行う。すると、作成した問題のコピーが実行時ノード作成機能によって「公開問題」配下に追加される。「グループ学習」ノードには、強制移動のポストコンディショナルルールが記述されており、公開問題数が一定以上になると全学習者を強制的に「公開問題」に移動する。



図5 作問学習の画面例

#### (4) 本研究の意義

本研究のアーキテクチャ的な有効性について考察する。本アーキテクチャは、図3に示すように、

① Activity レイヤで実装される隣接親子間通信

② Simple レイヤで実装される4つの通信パターン

という2層のLayersアーキテクチャパターンを用いている。

①の親子間通信による親へのコマンドの依頼は、Chain of Responsibility デザインパターンの応用であり、これによって、異なるコマンドを有する教材オブジェクトを混在させ、適切な教材オブジェクトに処理を実行させることが可能となっている。また、②のSimpleクラス群を継承したSCORMクラス群などによる各種処理機能の実装はTemplate Method デザインパターンの応用であり、4つの通信パターンを守った機能拡張が可能となっている。今回は、これによってグループ学習を実現している。さらに、①の親子間通信に基づくポストコンディショナルルール処理によって、教材オブジェクトの連鎖による大域的な学習コマンドの書き換えが可能であり、今回、これによって既存のコンテンツを無修正でグループ学習に組み込んで、同期や強制移動を実現できることを示した。

このように、本アーキテクチャでは、教材オブジェクト間の通信パターンとそれに基づく機能拡張のルールをデザインパターンとして規定し、これによってグループ学習を含む幅広い学習支援環境でコンテンツの再利用性を確保している。モジュール化オペレータの用語を用いれば、従来の学習者適応型システムを、「分離」して、組み合わせ可能な機能モジュール(教材オブジェクト)を「抽出」し、新たなモジュール(例:グループ学習用教材オブジェクト)を容易に「追加」できるようにするとともに、既存モジュール(例:独習用教材)の異なる学習環境への「転用」を可能としたことが本アーキテクチャの意義である。

#### 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計1件)

① 森本容介, 仲林 清, 芝崎 順司 (2015) 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, J98-D (6), 1033-1046, 査読有。

[学会発表] (計6件)

① 仲林 清, 森本容介 (2016年9月24日) 検討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. 電子情報通信学会技術研究報告, ET2016-38, 鳥取環境大学 (鳥取県鳥取市)

② Nakabayashi, K., Morimoto, Y. (2015年7月6日~9日) On Generic Communication Patterns between Courseware Objects in Extensible Learning Support System

Architecture for Self- and Group Learning, Proc. of the 15th IEEE International Conference on Advanced Learning Technology, 64-65, Hualien (Taiwan)

- ③ 仲林 清, 森本容介 (2015年12月4日~6日) 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. 電子情報通信学会技術研究報告, ET2014-100, 福井市地域交流プラザ (福井県福井市)
- ④ Morimoto, Y., Sugiyama, H., Shibasaki, J. (2015年11月30日~12月2日) Development and Provision of the Moodle-based Self-study System for Diverse Students at the Open University of Japan, Proc. 29th Annual Conference of the Asian Assoc. of Open Universities, 11 pages, Kuala Lumpur (Malaysia)
- ⑤ 仲林 清, 森本容介 (2015年3月14日) 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. 情報処理学会研究報告, 2014-CLE-14(5), 四国大学交流プラザ (徳島県徳島市)
- ⑥ Nakabayashi, K., Morimoto, Y. (2014年11月30日~12月4日) Applying an Extensible Learning Support System to Learning by Problem Posing. Proc. of the 22nd International Conference on Computers in Education, 325-330, 奈良春日野国際フォーラム (奈良県奈良市)

[図書] (計3件)

- ① 仲林 清, 森本容介 (2016) オンラインコースウェアとLMS, Moodleベースのオンラインコースウェア管理・運用技術. 教育工学選書Ⅱ-1, eラーニング/eテストィング, ミネルヴァ書房, 2-17.
- ② 仲林 清, 緒方広明, 舟生日出男 (2016) 協調学習を支援するテクノロジー. 教育工学選書Ⅱ-4, 協調学習とCSCL, ミネルヴァ書房, 169-201.
- ③ 仲林 清 (2016) コンテンツ標準規格SCORMの導入と運用, 大学におけるeラーニング活用実践集, ナカニシヤ出版, 41-45.

[その他]

ホームページ等

<http://elecoa.ouj.ac.jp/>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

仲林 清 (NAKABAYASHI, Kiyoshi)  
千葉工業大学・情報科学部・教授  
研究者番号: 20462765

### (2) 研究分担者

森本 容介 (MORIMOTO, Yosuke)  
放送大学・教養学部・准教授  
研究者番号: 00435702

### (2) 研究分担者

池田 満 (IKEDA, Mitsuru)  
北陸先端科学技術大学院大学・知識科学研究科・教授  
研究者番号: 80212786