

## ECAルールによる適応型 e ラーニング・シーケンシング制御モデル

延原 哲也<sup>†</sup> 劉 渤江<sup>††</sup> 横田 一正<sup>†††</sup>

<sup>†</sup>(株)ベネッセコーポレーション 〒700-8686 岡山市南方 3-7-17

<sup>††</sup>岡山理科大学 〒700-0005 岡山市理大町 1-1

<sup>†††</sup>岡山県立大学 〒719-1197 岡山県総社市窪木 111

E-mail: <sup>†</sup>tetsuya\_nobuhara@mail.benesse.co.jp, <sup>††</sup>liu@mis.ous.ac.jp, <sup>†††</sup>yokota@c.oka-pu.ac.jp

**あらまし** e-Learning における適応型学習シーケンシングをルールベースにより制御する方式を提案する。教育的に意味のある制御を行うために診断的評価情報に加え学習時間なども利用して学習者の詳細な学習状態を把握し、さらに ECA ルールによる統一的な制御によって高度なシーケンシング制御を実現する。この方式により標準的なシーケンシング方式の課題を改善することができ、さらに、アクティブ・データベースと、独立したルール制御機構とが連携して高度な学習制御を行うモデルを新たに提案する。

**キーワード** e ラーニング, ECA ルール, 知的 CAI, カリキュラムシーケンシング, 適応型提示

## Adaptive e-Learning Sequencing Control Model Based on ECA Rules

Tetsuya NOBUHARA<sup>†</sup> Bojiang LIU<sup>††</sup> and Kazumasa YOKOTA<sup>†††</sup>

<sup>†</sup>Benesse Corporation 3-7-17 Minamigata, Okayama, 700-8686 Japan

<sup>††</sup>Okayama University of Science 1-1 Ridai-cho, Okayama, 700-0005 Japan

<sup>†††</sup>Okayama Prefectural University 111 Kuboki, Soja, Okayama, 719-1197 Japan

E-mail: <sup>†</sup>tetsuya\_nobuhara@mail.benesse.co.jp, <sup>††</sup>liu@mis.ous.ac.jp, <sup>†††</sup>yokota@c.oka-pu.ac.jp

**Abstract** We propose an adaptive e-learning sequencing control model, which is based on rule base mechanisms. We use the diagnostic evaluation method in order to make detailed analysis of learners' learning conditions. This model can measure various kinds of understanding patterns in each unit of a subject. In addition, it is able to realize highly personalized learning sequencing controls. We propose that the Event-Condition-Action (ECA) rule is effective in controlling sequencing more pedagogically because existing standardized sequencing models have some limitations. Moreover, we show that an active database is capable of producing reactive sequencing mechanisms.

**Keyword** e-Learning, ECA Rule, Intelligent Tutoring System, Curriculum Sequencing, Adaptive Presentation

### 1. はじめに

e ラーニングは現在高等教育や企業内教育の分野でさかんに用いられるようになってきている。ここでは、学習管理に LMS(Learning Management System)が利用されるケースが一般的である。多くの LMS は ADL (Advanced Distributed Learning Initiative)が提唱する SCORM 標準をサポートし、複数の LMS 間での教材流通を目指している[1]。最新仕様である SCORM2004 では IMS SS (IMS simple sequencing specifications) [2]を拡張した学習順序制御（以下シーケンシング制御と言う）方式を採用している。しかし、現在でも以前のバージョンである SCORM1.2 が主流であり、新しい SCORM2004 を採用する商用 LMS は少ないという状況である。

e ラーニングでは一般的に学習者のモチベーション

維持が困難であるため、人的サービスとしてのメンターが e メール等で助言を送りモチベーション維持に向けたサポートするようになってきている。しかし、多くのメンターを動員することが困難であることや、今後 WBT 形式の e ラーニング利用者が低年齢化することが予測されること等を考慮すると、学習者のモチベーション維持を改善できる、より個別化されたシーケンシング制御の必要性は一層高まることが予想される。特に非同期型の WBT 形式による e ラーニングにおいてそのニーズが高く、高度な適応型 e ラーニングを実現するシーケンシング制御メカニズムの開発が求められている。

我々は近年 WBT において提案されてきたシーケンシング制御に関するサーベイを行ない、ECA ルールを使った制御機構が有効であることを以前から主張して

きた[3]. これまでの研究では, 学習者の成績パターンや様々な学習者の学習状態をデータベース上で管理し, 逐次的に教育的に意味のある制御を行える可能性を示して来た.

本論文ではこれまでの研究をさらに発展させ, ルール処理をデータベースから独立した機構とし, さらにコンテンツの提示制御と ECA ルールの双方とも 2 層構造を採用することで複雑なシーケンシング制御を実現している. その結果として学習者個人に対する教材の適応度を高めることができるようになり, メンターに頼らず学習者のモチベーション低下を予防できると考えている. また, 本方式の実装の方向性についてプロトタイプシステムでの評価を行った.

本論文では, 2 章で関連研究について述べ, 3 章で本研究の全体像について述べる. さらに 4 章で ECA ルール制御方法の改善方法を提案し, 5 章で実装について議論する. 最後に 6 章で結論と今後の課題について説明する.

## 2. 関連研究

### 2.1. e ラーニングの標準化方式について

SCORM2004 で採用されている IMS SS のシーケンシング制御機能は, SCO(Shareable Content Object)のグループとしてのアクティビティ・ツリー単位で制御する方式であるが, 制御できる機能が限られているにもかかわらず, マニフェストファイルへの記述が煩雑であるという課題を有している. また, テスト実施の際に素点や正誤パターンなどの一次情報を効率的に LMS に通知することが難しいため, 問題の正誤情報などの小さな粒度単位でのシーケンシング制御が事実上困難であると言える.

一方学習者の学習状態を把握するためにはテスト機構が重要である. IMS QTI (IMS Question & Test Interoperability)の標準仕様ではテストの表示形態がアセスメント・アイテムとしていくつかの問題表示形式として定義されているが, シーケンシング制御への連携が現状ではまだ考慮されていない[4].

こういった状況では, これら e ラーニングの標準的な機構をベースとして高度な適応型システムを開発していくことは困難であると言える.

### 2.2. 関連研究

適応型 e ラーニング方式は知的 CAI(Intelligent Tutoring System)として従来から研究が進められている. 近年では Adaptive Hypermedia の領域でも同様に研究されてきており, Brusilovsky らによる Adaptive and Intelligent Web-based Educational Systems の分類[5]によると, この 2 つの研究領域配下に以下に示す複数の技術が示されている. それらの技術は Adaptive

Presentation, Adaptive Navigation Support, Curriculum Sequencing, Intelligent Solution Analysis, Problem Solving Support 等である.

例えば, Adaptive Presentation を実現する ActiveMath では教育的なルール制御の実現において, エキスパート・システム・シェルである JESS を利用している[6]. ActiveMath の場合の教育的ルールとは, 試験準備, 練習問題を実施するといった 6 種類のシーケンシングシナリオを学習者の状況に応じて適用するもので, 各シナリオは JESS の知識ベースとして簡単なプロダクションルールで記述されている. しかし, 学習者の学習状態の逐次的な把握が行えない点で我々の提案とは異なっており, さらに, エキスパート・システム・シェルが評価する学習者の状態が我々のシステムに比べ極めて限定的であり, 複雑な状態の評価を行うには不十分な機構であるという点も我々の提案とは異なっている.

一方, 適応型 e ラーニングモデルへの ECA ルールの適用は Ceri らにより Rule Based Navigation and Sequencing Control Mechanisms in e-Learning として提案されている[7]. この方式は, 学習者のテスト得点に応じて提示されるページを適応的に切り替える方式である. もし, 学習者が事前テストを未受験の場合には, システムは事前テストの受験を推薦するが, もし学習者が事前テストを受験済みの場合には, そのテストのスコアに応じた次の学習教材を提示するといった制御モデルとなっている. この研究では一般的な即時的適応型システムの応用例として教育分野への適用の可能性が例示されているが, e ラーニングに特有の教材構造まで考慮はされていない. 我々は教材構造も含め, 教育的意味のある制御を実現しているという点で内容が異なっていると言える.

本論文はこうした最近の研究結果を踏まえた上で, ECA ルールの高度な活用により教育的なシーケンシング制御に必要な複雑な制御機構を実現する方式を提案している.

### 2.3. 本研究における提案内容

我々は, 学習者に対する形成的又は総括的評価情報及び学習状態などの豊富な学習者の状態情報を活用して, 適応型シーケンシング制御を行なうモデルを提案する. 特に教育的な観点に基づいてシーケンシングを制御する機構を示した. また制御内容は, 学習コンテンツの提示順の制御だけでなく, 適宜アドバイスメッセージを発信するトリガとなる情報なども生成できることを考慮している. また, これら一連のシステムを全体的に ECA ルールで統一的に制御を行なう方式を提案する.

高度な適応的なシーケンシング制御を可能にする

ために、我々は教材及び ECA ルール双方を 2 層構造で構築するモデルを新たに提案する。この仕組みによってルールの複雑化を回避しつつ、高度な適応型シーケンシング制御が実現できるようになる。

### 3. 本研究の全体像

本システムは図 1 に示したように教材モジュール、学習状態データベース、ECA ルールの 3 つの状態連鎖としてその動作プロセスを表現することができる。

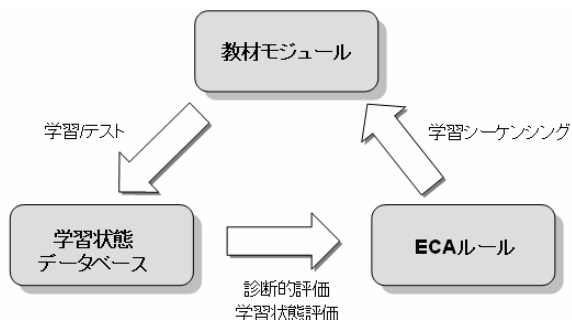


図 1 状態連鎖

学習者が教材モジュールを実行した結果は逐次的に学習状態データベースに格納されるが、もし、意味のある状態変化が検知されれば、ECA ルールがその状態を評価し、必要に応じて Action を起動する。その Action は次に何を学習するかという制御そのものであり、学習者は提示された教材モジュールを実行していくというプロセスが連鎖的に実行されていく。

#### 3.1. 学習者状態の把握

より詳細な学習者の状態を把握する為にはテストの成績だけでなくテスト実施時間や、学習時間など各種の活動状況を把握することが重要になってくる。この様な各種情報を管理する目的は、例えばテスト実施時間と、テスト得点の相互関係から学習者の学習態度を予測できる可能性などがあり、学習者のモチベーション状態を理解しかつ学習者に助言する一助になる可能性があるからである。

仮に、極端に短い時間でテストを終了した学習者がいたとして、その得点が極めて低かった場合にはこの学習者は真剣にテストに取り組んでいないと見なすことができる場合がある。テスト実施時間と得点に一定の閾値を設定しておけばそういう状態の検知は比較的容易に行える。もしシステムがそういう学習者を検知した場合には、学習者本人に対して何らかの警告メッセージをただちに発信できることが望ましい。また、テストの得点パターンから特定の単元の弱点を検知した場合には具体的な復習に関するアドバイス及び、復習教材に関する具体的な提案を即座に生成することがで

きるようになる。

従来型の LMS では学習者情報の把握に関して、主にテスト得点の合計に基づく合格/不合格の判定（総括的評価）が行われていた程度であるため、その結果に基づく提案内容も、合格→次に進む、又は、不合格→復習を指示する程度にとどまっていた。従って学習者の状態把握が不十分であった為に、それ以上具体的な提案情報を生成することができなかった。我々は、総括的評価に加え、形成的評価を行うために詳細な学習状態の把握を重視している。

#### 3.2. ECA ルール

本システムにおいて ECA ルールが動作するイメージを図 2 に示した。我々は以前の研究[3]において、教育的観点で学習者の状態変化を把握する為に、テスト成績や学習時間の変化そのものを評価する ECA ルールを記述する方式を提案したが、膨大なパターンに対するルールの作成が必要となり現実的ではないという点が指摘されていた。そのため学習者の状態変化に対応していくつかの評価指標を事前に生成し、その指標の変化を監視するというステップを新たに導入した。ECA ルールは、指標化された学習者の状態変化を検知し (Event)、学習者の状態が一定の条件を満たした際に (Condition)、対応する学習シーケンシングが実行される (Action) というメカニズムとなっている。



図 2 ECA ルールの構造

したがって、ECA ルールにより評価される状態は、前述したような「この学習者は真面目にテストに取り組んでいない」等の意味的なレベルの内容であり、そうした状態に対して警告メッセージを起動する等の Action が起動されることになる。またある単元の弱点の具体的な内容が検知された場合には、復習という Action が駆動されるといったように、異なるタイプのシーケンシング制御を、ECA ルール方式で統一的に制御することを可能にしている。

#### 3.3. 学習シーケンシングと教材モジュール

教材モジュールの提示順は図 3 上部に示したように、条件付き有向グラフとして表現できる。この全体を学習コースと呼び、一定量の学習内容と学習順序候補があらかじめ教材作成者の教授戦略を織り込んで作成されている。この教材モジュールの提示制御を学習シーケンシングと呼ぶ。

我々は、この教材モジュールを学習者に一度に提示可能な単位としているが、教材モジュールに含まれる全教材が学習者に表示されるのではない。教材モジュールはそれ自身も有向グラフになっており、学習状態に応じてその表示内容を切り替えることができる。この制御を特に教材シーケンシングと呼ぶ。教材シーケンシングに於ける、モジュールのグラフの各接点を教材ノードと呼ぶ。

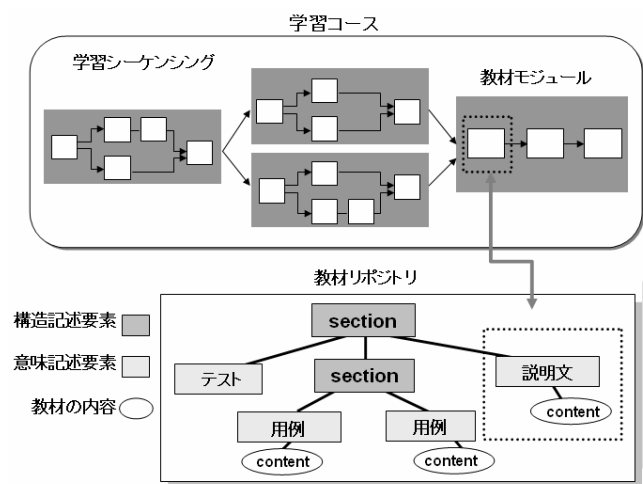


図3 学習シーケンシングと教材モジュール

教材ノードは、図3下部に示したように共通の教材リポジトリの木構造の部分木を参照することで動的に提示される方式を採用している。教材リポジトリ自体はXHTMLで記述されており、入れ子構造ができるセクション要素で構成されている。セクション要素は配下に意味要素として、例、解説、テスト要素を持つことができる。

この2層の教材提示モデルにより、ECAルールは学習シーケンシングに関するルールを担い、教材モジュール内の細かい表示制御は教材シーケンシングに任せるといった役割分担を実現でき、ECAルールレベルにおけるルール記述の複雑化を回避している。

## 4. 学習シーケンシング制御

### 4.1. 階層的なECAルールの動作

これまで議論してきたように、ECAルールが評価する学習者の状態は教育的に意味のあるレベルの内容である。たとえば、その判断ルールの例は以下のような内容となる。

- ある学習やテストに極めて長い時間かかっている場合には、警告メッセージをただちに送信する。
- 学習活動やテストの結果重要な未理解単元が

検知された場合には、復習提案として具体的な未理解単元の簡単な例題への取り組みを推奨する。

このような制御実施の為に、ECAルールは学習者の一時的な状態データの中である程度指標化され教育的意味のある情報を基に制御を行う。我々は、Event部において評価指標を事前に生成する過程にも図4に示したようにECAルールを適用する2層のルール記述モデルを採用している。

学習者の一次状態データから指標を生成するプロセスは、アクティブ・データベースのルール記述言語レベルで構築することで、インクリメンタルな指標の生成を実現する。意味的な部分を担うECAルールはこの評価指標の変化を検知して、教育的に意味のある状態の判断を行ない各種のActionを実行していく。

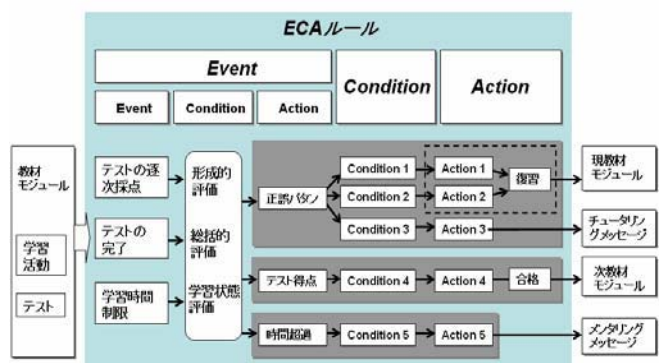


図4 ECAルールの2層動作モデル

### 4.2. 統合的なルール処理

すべての教育的な状態評価は、ECAルールのコンディション評価部で行なわれる。評価する状態イメージは前述の通りであるが、総合的に実行されるルールは図4の網がけ部分に示したが、以下のように異なった種類を網羅することが可能であると考えている。

- 学習やテストの制限時間に関するルール
- 学習状態に応じた学習者への動機付け等に関するルール
- テスト成績に応じた具体的な学習教材の指示に関するルール等

しかし、ルールの評価を統合的に行くとルール間の矛盾が発生する危険性も同時に増大する。ECAルールによるシーケンシング制御に関する矛盾については別途研究を行っている[8]。

### 4.3. 学習シーケンシングの具体例

以下の図5において、学習シーケンシングを高校物理の教材を例に説明している。この例では、節（ベク

トル) が6つの単元と確認テストで構成されている。これ全体が一つの教材モジュールであり、この例では「復習」という学習シーケンシングが起動されている。

これは、ある学習者がベクトルの各単元を A2 → B2 → C2 → D2 → E2 → F2 の順で標準的なレベルの学習を実施し、その理解度を問う確認テスト T2 を実施した例を示している。確認テストは、ただ単にベクトル節全体が合格/不合格という判定(総括的評価)をするだけでなく、この例のように B2, D2, F2 が誤答であった場合(形成的評価)には、不合格とし、誤答単元の方に絞って復習を提示するという制御を行っている。

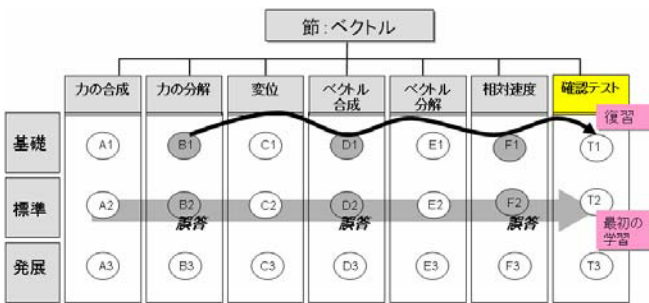


図5 高校物理の教材例

ここで、復習の実施方法にもいくつかのパターンが存在する。それらは、①該当単元の別問題を実施する、②該当単元の例題を実施する、③該当単元の入門的な解説を提示するといったパターンである。学習シーケンシングレベルでは、復習を提案するテストの判定基準と、①～③の復習方式の選択基準を教材作成者がルールとして決定しておく必要がある。この例では、③の復習方式を提案している例となっている。同時に、具体的な未理解単元に関する情報等をパラメータとして教材モジュールに引き渡すことにより教材シーケンシングが実行可能となる。

この例の場合のECAルールの動きを図6に示した。

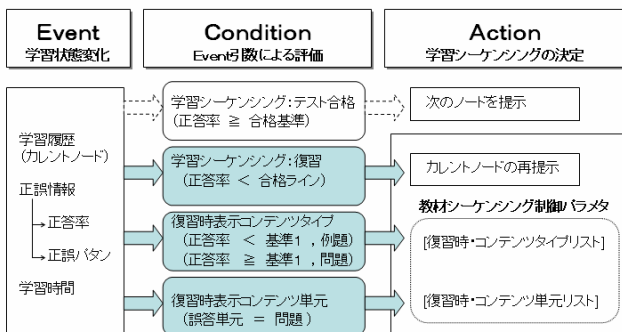


図6 学習シーケンシングの決定

Condition部は、Event発生時に決まる値(学習状態)を引数に持つ複数のルールによって構成され、ルールが条件を満たした場合に対応するActionを起動する(学習シーケンシング)。また、一部のルールはActionとして教材シーケンシングに渡すパラメータを生成する。

同様に、正誤パターンに対応したアドバイスメッセージや、前述したような正答率と学習時間を基にした即時的なメッセージに関するルールなど、複数のルールを追加的に記述することができる。

## 5. 実装

### 5.1. プロトタイプシステムADELの開発

我々は提案方式を実現する適応型eラーニングシステムADEL(Adaptive e-Learning Sequencing Control System)の開発を進めている。その機構は図7に示したように学習制御部、学習状態評価部、ECAルール制御機構の主要な3機能より構成されている。

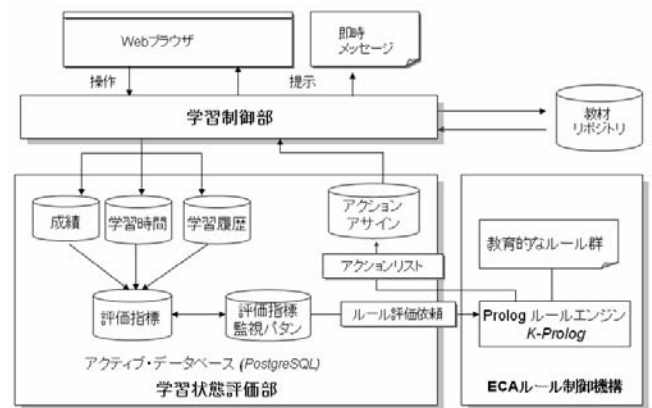


図7 ADELの構造

ADELでは、学習者の状態データの格納、及び、評価指標のインクリメンタルな生成をPostgreSQL上でやっている。一方、学習シーケンシングを担うECAルール制御機構はデータベースとは別にPrologインタプリタであるK-Prolog[9]で実装し、データベース側と相互に連携できる構造にしている。また、学習制御部はRubyでCGIにより作成した。

### 5.2. ADELの機能

ADELではまず、学習者の状態変化をアクティブ・データベースが検知するとストアドプロシージャを起動し、ECAルール制御機構に対しどのようなアクションを実行すべきかの問合せを行う。ECAルール制御機構のPrologインタプリタは、学習状態制御部からの問合せ時に渡された引数を基に実行すべきアクションを決定し、アサインテーブルにアクションリストとして情報を返す。

ECA ルール制御機構は Prolog ルールエンジンで Condition 評価を行うが、その Prolog での記述は、Event 毎に用意した述語を head として、Condition を body としてもつ規則として以下のように記述した。

```
Event( 学習状態, [Action1, Action2, ... ] )
:- Condition1, Condition2, ...
```

学習制御部はルールエンジンが決定したアクションリストを基に必要な教材を教材リポジトリから検索し、Web ブラウザで表示可能な形式に変換して表示する。提示の種類は現在のところ「教材モジュールの提示」、「メッセージダイアログの提示」の2種類である。

### 5.3. プロトタイプシステムの評価

本論文で提案した ECA ルールの2層モデルをアクティブ・データベース、Prolog インタプリタ各々が連携する機構として実際に構築することができた。しかし、本プロトタイプではまだ教材リポジトリや、テスト機構の組み込みを行っていない。テスト機構に関しても別途研究を行っている[10]。

## 6. 結論と今後の課題

我々は WBT 形式の e ラーニングにおいて有効に機能する、ECA ルールを活用したシーケンシング制御モデルを提案した。本システムは、アクティブ・データベースと Prolog インタプリタが連携して2層の ECA ルールを駆動させることにより、複雑な制御ルールを即時的に処理できるモデルを示した。

同様に教材の提示制御に関しても学習シーケンシングと教材シーケンシングと言う2階層構造を提案し、それらをルール制御構造と有機的に連携させることにより、詳細な提示制御実施に伴うルールの複雑化への対処方法を示した。

適応型シーケンシング制御に関する近年の研究の中で我々はシーケンシング制御に関する機構のサーベイを行ってきたが、ルールベースによるシーケンシング制御例はあるものの、比較的簡単な制御のモデルが示されているに留まっていた。従って複雑で教育的な意味をルールベースにより制御している実現例は現在のところあまりないと言える。我々の ECA ルールを利用したシーケンシング制御モデルに関する改善は、この意味で新たな提案であると言える。

さらに、これらのコンセプトを実証するプロトタイプシステムを実際に構築し、アクティブ・データベースと Prolog インタプリタがそれぞれ ECA ルールに基づく処理を行い、連携してシーケンシングを制御することが確認できた。また、Prolog による実装実験の結果、ルールの拡張も比較的簡単に行えることを示せ

たという点で、本方式の大きな可能性を示すことができたと言える。

今後は、別途検討しているテスト機構やシーケンシングの矛盾検知システムなどのモジュールと本システムを統合していくことを予定している。また、本システム上で稼動する教材を充実させ、サービス利用者からの評価を行う予定である。

## 文 献

- [1] SCORM2004, <http://www.adlnet.org/scorm/>.
- [2] IMS SS, "IMS Simple Sequencing Information and Behavior Model," Version 1.0 Final Specification, <http://www.imsglobal.org/simplesequencing>.
- [3] 延原哲也, 庄司成臣, 劉渤江, 横田一正, "ECA ルールを活用した e ラーニングシステムにおけるシーケンシング制御の改善," DBSJ Letters Vol.4(No.2):pp.81-84, 2005.
- [4] IMS QTI, "IMS Question and Test Interoperability Integration Guide," Version 2.1 Public Draft Specification, Revision, 9 January 2006, <http://www.imsglobal.org/question/>.
- [5] P.Brusilovsky, C.Rollinger, C.Peylo (eds.), "Adaptive and Intelligent Technologies for Web-based Education," Special Issue on Intelligent Systems and Teleteaching, Künstliche Intelligenz, 4, 19-25, 1999.
- [6] Erica Melis, Eric Andrès, Jochen Büdenbender, Adrian Frischauf, George Gogudze, Paul Libbrecht, Martin Pollet, Carsten Ullrich, "ActiveMath: A Generic and Adaptive Web-Based Learning Environment," International Journal of Artificial Intelligence in Education, 385-407, December 2001.
- [7] Stefano Ceri, Florian Daniel, Vera Demaldé, Federico Michele Facca, "An Approach to User-Behavior-Aware Web Applications," Web Engineering 5th International Conference, 417-428, ICWE 2005, Sydney, Australia, July 2005.
- [8] 小西 裕, 延原哲也, 劉渤江, 国島丈生, 横田一正, "e ラーニングにおける学習シーケンシングの妥当性検証," DBWS2006.
- [9] K-Prolog, <http://www.kprolog.com/>.
- [10] 西 輝之, 延原哲也, 劉渤江, 国島丈生, 横田一正, "適応型 e-ラーニングに必要な診断的テスト機構," DBWS2006.