

## 分散型 e-Learning システムにおける教師用機能の開発 Development of Function for Teacher on a Distributed e-Learning System

平田 崇<sup>†</sup>                      川村 尚生<sup>†</sup>                      本村 真一<sup>‡</sup>  
Takashi HIRATA              Takao KAWAMURA              Shinichi MOTOMURA  
   笹間 俊彦<sup>†</sup>                      菅原 一孔<sup>†</sup>  
   Toshihiko SASAMA                      Kazunori SUGAHARA

### 1. はじめに

近年、インターネットの急速な発展に伴い、インターネットや World Wide Web の技術を活用した Web Based Training (以下 WBT) と呼ばれるシステムが浸透している。この WBT には、学習者は場所を選ばず自分のペースに合わせて学習を進めることができるという特徴がある。この WBT の多くは、サーバ・クライアントモデルによる集中型のシステムとして構築され、提供されるデータや機能をサーバが集中管理し、提供する。これにより、システムの構築からデータの管理、更新が容易である利点を持つ。しかしサーバ・クライアントモデルの欠点として、サーバに負荷が集中する点が挙げられる。システムを利用するクライアントが増加するにつれ、サーバへの負荷が増大し、応答速度の低下やサーバダウンによるシステム全体の機能停止のリスクが生じる。

こうした問題点の解決策として、P2P (Peer to Peer) システムが提案されている。P2P システムは、クライアントとサーバの両方の機能を備えるコンピュータ (以下ノード) で構成される。したがって P2P システムでは機能を多数のノードに分散させることで負荷分散を図ることができる。また万が一、いくつかのノードが故障してもシステム全体が利用不可能になることはない。

そこで、我々は P2P による負荷分散を目指した分散型 e-Learning システムを提案している [1]。提案システムではモバイルエージェント技術を用いて構築することで、コンテンツと機能を複数のノードに分散することを実現している。

提案システムを塾や学校の授業等で使用する事を考えた場合、塾や学校では教師から教師の担当科目の受講者へ、問題が提供され学習を行うという学習スタイルが想定される。よって、これまで提案システムで提供されていた学習コンテンツ作成機能だけではなく、教師が作成した学習コンテンツを学習者へ通知する機能が必要となる。そこで提案システムを利用する全ての学習者の内、教師が担当する科目を受講する学習者などの特定の学習者を対象に学習コンテンツの情報を通知する機能を提案する。提案システムでは、学習コンテンツはカテゴリ単位で管理されるので、実際はカテゴリの情報が通知される。この機能をカテゴリ管理機能として実装する。また、提案システムにおいて、教師が作成した学習コンテンツを受講者以外の、教師からはその存在が確認できない匿名の学習者へ提供したい場合もあると考えられる。そのために、教師がカテゴリに関連するキーワードをタグとしてカテゴリに付与し、タグを学習者がカテゴリの情報

を取得する際の補助として利用する機能も実装する。

また、e-Learning による学習効果を向上させる上で学習履歴の活用は有効であると考えられる。そこで、一人のユーザに対応する1つのエージェントを用意し、そのエージェントに学習履歴などのユーザ情報の管理させる事で、提案システムのような分散システム上でのデータ管理を実現し、学習履歴管理機能として実装する。本稿では、以上2つの教師用機能について述べる。

本稿は次のように構成される。第2章で我々が提案する分散型 e-Learning システムの概要を説明する。第3章ではカテゴリ管理機能を、第4章では学習履歴管理機能について述べる。第5章で実行例を示し、最後に第6章で結論を記し、本稿をまとめる。

### 2. 分散型 e-Learning システム

#### 2.1 概要

提案システムでは、学習者と教師という2種類の利用者を想定している。学習者コンテンツは「微分と積分：演習問題」のようにカテゴリに分類され多数存在する。提案システムにおける学習コンテンツは問題、正解、解説および問題の解答履歴で構成されている。学習者は特定の学習コンテンツではなく、学習したいカテゴリを指定することで、そのカテゴリに属するいずれかの学習コンテンツを得ることができる。また学習中の問題について、答案の採点および正解の表示を求めることができる。また教師は学習者に提供する学習コンテンツの作成や編集、および学習履歴の閲覧ができる。

#### 2.2 コンテンツの分散と P2P ネットワークの構築

提案システムは学習コンテンツとユーザ情報の2種類のコンテンツを用意する。学習コンテンツとはユーザが学習するために必要な問題データを指す。提案システムでは、この学習コンテンツをカテゴリ単位で管理し、分散配置する。学習コンテンツはこのカテゴリ名を検索時に用いるコンテンツ名とする。ユーザ情報はユーザのアカウント情報や学習履歴を指す。ユーザ情報は1ユーザにつき1つ用意し、グループごとに管理する。グループはシステム中に  $n$  個<sup>§</sup>存在し、各ユーザ情報はユーザ名をもとにハッシュ関数により算出される番号からグループが決定する。ユーザ情報はこのグループ番号をコンテンツ名とする。提案システムはコンテンツの分散と P2P ネットワークの構築に Content-Addressable Network (以下 CAN) [2] に基づく分散ハッシュテーブルを用いる。CAN では (Key, Value) の組を格納するため図1 (左図) のような仮想座標空間を用いる。この空間はいくつかの領

<sup>§</sup> $n$  は予想されるシステムの最大参加ノード数を用いる。

<sup>†</sup>鳥取大学大学院 工学研究科情報エレクトロニクス専攻

<sup>‡</sup>鳥取大学 総合メディア基盤センター

域に分割され、領域はノードによって所有される。提案システムにおいて、*Key*にはコンテンツ名、*Value*にはコンテンツ自身が格納される。各ノードは座標空間の領域の一部を管理し、管理領域に含まれる(*Key, Value*)の組を保持する。領域は参加時に他のノードから分譲され、離脱時に返還する。また各ノードは管理領域の領域切片が接するノードを隣接ノードとする。隣接ノードの領域情報とIPをルーティングテーブルとして登録することでP2Pネットワークを構築する。図1(左図)における領域分割では、図1(右図)矢印で示し合うノードが互いに隣接ノードとなる。

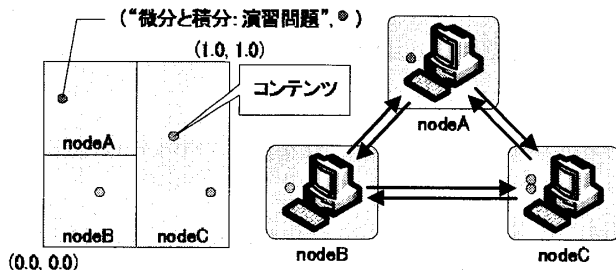


図1: コンテンツの分散とP2Pネットワークの構築

### 2.3 コンテンツの検索

(*Key, Value*)の組は*Key*をハッシュ関数を通して写像されたポイントに配置される。よってコンテンツ名さえ分かれば該当コンテンツを検索することができる。コンテンツを検索するノードは、まずコンテンツ名とハッシュ関数により領域にコンテンツが含まれるか確認し、含まれていなければコンテンツ配置位置により近い領域を持つ隣接ノードに検索メッセージを送る。メッセージは領域にコンテンツを含むノードまで伝搬され、コンテンツを含むノードが検索結果を返す。

### 2.4 システム構成要素

提案システムでは、参加ノードの管理、学習コンテンツやユーザ情報の管理・提供などバックエンドの処理を行う各種エージェントと、ユーザが学習および学習コンテンツ作成時に利用するユーザインタフェースから構成される。これらのエージェントは我々の開発しているモバイルエージェントフレームワーク Maglog[3] 上に実現している。各ノードには次に示すエージェントおよびユーザインタフェースプログラムが存在する。

**ノードエージェント (NA)** 分散ハッシュテーブルの領域情報の管理とメッセージのルーティングを行う。

**カテゴリーエージェント (CA)** カテゴリーごとに学習コンテンツを管理する。

**エクササイズエージェント (EA)** 学習コンテンツごとに存在し、ユーザへの問題提供および採点、解答解説を提供する。

**グループエージェント (GA)** ユーザのグループごとにユーザエージェントを管理する。またユーザのログイン認証を行う。

**ユーザエージェント (UA)** ユーザごとに存在し、ユーザの学習履歴などのユーザ情報を管理する。

**インタフェースエージェント (IA)** ユーザインタフェースプログラムと他のエージェント間の通信を実現する。

**学習者用インタフェース** ユーザが提案システムで学習するためのユーザインタフェースプログラム。

**教師用インタフェース** ユーザが学習コンテンツ管理機能を利用するためのユーザインタフェースプログラム。

## 3. カテゴリー管理

### 3.1 概要

提案システムにおいて学習者が学習を行う際、分散ハッシュテーブルの*Key*となるカテゴリ名を指定し対象カテゴリの検索を行うことで、学習コンテンツを取得する。しかし提案システムでは、全てのカテゴリを管理するノードは存在しないので、学習者はカテゴリの検索に必要なカテゴリの情報を知る事ができない。そのため、学習者がカテゴリの情報を取得する方法が必要となる。そこで、提案システムを利用する全ての学習者を、教師が担当する科目の受講者などの特定の学習者と、教師からはその存在が確認できない匿名の学習者の2種類に分け、それぞれの学習者へ以下に示す方法でカテゴリの検索に必要なカテゴリの情報を提供する。

- **科目によるカテゴリ管理・通知** 科目の受講者などの特定の学習者が対象。教師は自分の担当する「数学」、「英語」などの科目ごとにカテゴリを分類する。学習者は科目の受講登録を行い、それに従って教師が学習者へカテゴリの情報を通知する。
- **タグを利用したカテゴリ検索** 匿名の学習者が対象。教師はカテゴリに複数のタグを付与し、カテゴリの分類を行う。学習者がタグを指定することで、カテゴリの情報を取得する。

学習者はユーザインタフェース上からこれらの手法を利用する。こうして得られたカテゴリの情報は、学習者のUAがユーザ情報として保持する。

### 3.2 科目によるカテゴリ管理・通知

この機能は、教師が持つカテゴリの情報を学習者へ通知する事で、学習者が教師が追加した問題を取得できるようにする事が目的である。この機能を実現するにあたり、教師からどの学習者へ、何のカテゴリの情報を通知するのかが決定する必要がある。それを以下の処理により実現する。

- 科目の受講登録
- 科目によるカテゴリの分類

科目の受講登録とは、学習者が教師の担当する「数学」、「英語」などの科目の受講を依頼する事である。次に教師が科目の受講依頼を受け取り、それに従って学習者を

受講する科目の受講者として登録する。このようにして、教師はどの学習者へ通知するかを決定する。この際、学習者の登録処理は、教師のUAが担当する。そして、科目の受講者へどのカテゴリの情報を通知するかを決定するため、教師が科目ごとにカテゴリを分類する。科目とそれに対応するカテゴリの情報は教師のUAが管理する。科目ごとに分類されたカテゴリの情報を教師のUAが科目の受講者のUAへ通知し、受講者のUAが通知されたカテゴリの情報を管理する。受講者は自身のUAから必要なカテゴリの情報を得る事で、学習を行える。また、教師が科目に対応するカテゴリの追加、または削除を行った際に、その都度更新情報が教師のUAから科目の受講者のUAへ通知される。このように科目の受講登録によるカテゴリ情報の通知処理、管理を学習者、教師に対応するそれぞれのUAが担当することで、機能を分散させることができるため、負荷分散を実現する事ができる。

### 3.3 タグを利用したカテゴリ検索

この機能は匿名の学習者に、教師が追加したカテゴリの存在を知らせる事を目的としたものである。匿名の学習者が、教師が追加したカテゴリの学習コンテンツの取得を行うには、まずカテゴリ名を指定する必要がある。しかし、2.3節で述べたように現在のカテゴリ検索方式では、学習者が指定したカテゴリ名と分散ハッシュテーブルのKeyとなるカテゴリ名とが完全に一致していなくては検索が成功しない。よって、教師から検索に必要なカテゴリの情報を通知されない匿名の学習者が、教師が追加したカテゴリの学習コンテンツの取得を行うのは難しく、匿名の学習者が検索に必要なカテゴリの情報を取得できる仕組みが必要である。そこで、教師がカテゴリに関連のあるキーワードを「タグ」として付与し、学習者がタグを指定する事でカテゴリの情報を得る方法を提案する。このタグを利用した検索を実現するため、新しくタグエージェント(以下TA)を作成する。TAは以下の特徴を持つ。

- CAと同様に、タグ名をKeyとして分散ハッシュテーブル上に配置される。
- タグが付与されているカテゴリのカテゴリ名の一覧を保持する。
- 学習者からの依頼に応じ、保持しているカテゴリ名一覧を学習者へ提供する。

カテゴリへのタグ付与は、教師が教師用インタフェースを操作して行う。この操作が行われると、タグを付与するカテゴリを担当するCAへタグ名が通知され、保持される。次にCAが付与するタグを担当するTAを検索し、見つければそのTAへカテゴリ名が通知され、保持される。発見できなければ、CAによりタグを担当するTAが新しく作られ、そのTAにカテゴリ名を保持させる。このようにして準備されたTAが学習者のカテゴリ検索の補助を行う。TAは2.3節で示した方法と同様の方法で検索する。

## 4. 学習履歴管理

### 4.1 学習履歴の分散管理

一般的なクライアントサーバモデルのe-Learningシステムでは、学習者の学習履歴はサーバ上で集中管理されている。これに対し提案システムでは、学習履歴の管理や提供における負荷分散のため、学習履歴をその管理機能と併せUAに保持させ、分散配置する。UAは必要に応じてノード間を移動して機能を提供する。提案システムにおいて、1つのUAは1人の学習者に対応し、対象の学習者についての学習履歴を管理する。UAはGAにより管理される。このGAはシステム中に複数(n個)存在し、それぞれ0~n-1の番号が割り当てられる。GAは2.2節でも述べたように、この番号をkeyとして分散ハッシュテーブル上に配置され、各ノードに分散される。UAの管理対象となるGAは、学習者のユーザIDからハッシュ関数を用いて算出される番号から求められる。UAは自身を管理するGAのノード上に存在する。

また、GAのようなユーザ情報を管理するコンテンツは、分散ハッシュテーブルの中心点(0.5,0.5)を中心とした点対象位置に、バックアップコンテンツが配置される。そして、バックアップ用GAはGAがUAを管理するように、バックアップ用のUAを管理する。よって、GAとGAが管理するUAを含むノードがダウンしユーザ情報が失われても、バックアップを元に復元可能である。

### 4.2 学習履歴の収集と提供

学習履歴は、学習コンテンツごとの学習履歴と学習コンテンツを管理するカテゴリごとの学習履歴の2つを用意する。提案システムにおいて学習者が学習者用インタフェースを通じて学習を行う際、学習に先立ち学習者に対応するUAが学習者のノードに移動してくる。このUAが学習された学習コンテンツの採点結果や学習者の解答などの学習履歴を収集する。学習が終了すれば、UAは自身を管理するGAのノードに移動する。学習履歴はUAにより、学習を行った学習者自身と教師に提供される。なお学習者には自身の学習履歴のみを、また教師には自身の科目を受講する学習者の学習履歴を提供し、それぞれのユーザインタフェース上から閲覧することができる。また学習者用インタフェースは、学習コンテンツ取得処理の際に、学習履歴を利用することで、正答率の低い問題を集中的に提供することができる。そして、教師用インタフェースから閲覧できる学習履歴の情報は、CSVファイルとして出力可能である。

## 5. 実行例

ここでは、カテゴリ管理機能と学習履歴管理について動作確認を行った。その実行例を示す。

### 5.1 カテゴリ管理

科目の受講登録について、学習者と教師が実際に行う操作とその際のエージェントの動作を、具体的な例として教師が科目「英語」を担当している場合を用いて説明する。最初に教師が行う操作について述べる。教師は、「英語」の講義で使用する学習コンテンツを作成する。「リスニング：練習問題」、「リーディング：練習問題」などのカテゴリを追加し、作成した学習コンテンツを分類する。教師はこれらのカテゴリを科目「英語」に分類する。

科目とそれに対応するカテゴリの情報は教師のUAが保持する。以上が教師が行う操作である。教師はこれらの操作を教師用インタフェースを通じて行う。また教師は、自身が担当する科目と科目に対応するカテゴリ、科目の受講者の情報を教師用インタフェースで確認する。次に学習者が行う操作と、受講登録処理の流れを以下に示す。

1. 学習者は学習者用インタフェースを操作して科目「英語」と科目を担当する教師のユーザIDを指定し、受講登録を行う。
2. 学習者の受講登録依頼は、NAにより対象の教師のUAを管理するGAを含むノードへ転送され、教師のUAが依頼を受け取る。
3. 依頼を受け取った教師のUAは学習者を「英語」の受講者として登録する。
4. 教師のUAは「英語」に対応するカテゴリのカテゴリの情報(ここでは、「リスニング:練習問題」、「リーディング:練習問題」など)を学習者のUAへ返信し、学習者のUAはそれを保持する。

このように教師から学習者へカテゴリが提供される。学習者は自身のUAから提供されるカテゴリの情報から、学習したいカテゴリを選択して学習を行う。学習者がカテゴリの情報を取得して学習を行う様子を図2に示す。

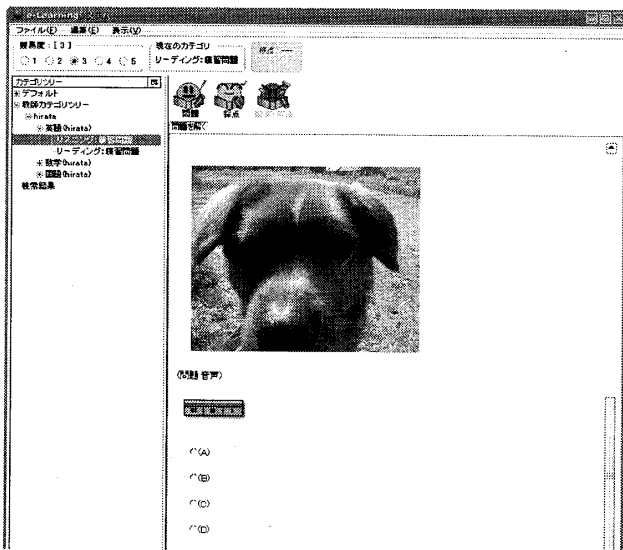


図 2: 学習画面

## 5.2 学習履歴管理

学習者、教師が、収集した学習履歴を閲覧する様子の実行例を以下に示す。学習者は、学習時に学習者インタフェースを通じて自身の過去の学習履歴を閲覧する。なお閲覧される学習履歴は、学習開始時に移動してきたUAが提供する。教師は教師用インタフェースを通じて学習履歴の閲覧を行う。学習履歴を閲覧する際は、まず教師は教師用インタフェースを操作し、学習履歴を閲覧した

い学習者を選択する。その依頼がIAを通じて、対象の学習者のUAに送られ、UAは保持している学習履歴をIAに返信する。IAは受け取った学習履歴を教師用インタフェースに提供する。以上のような通信を経て、教師は学習履歴を閲覧する。教師用インタフェース上で学習履歴を閲覧する様子を図3に示す。

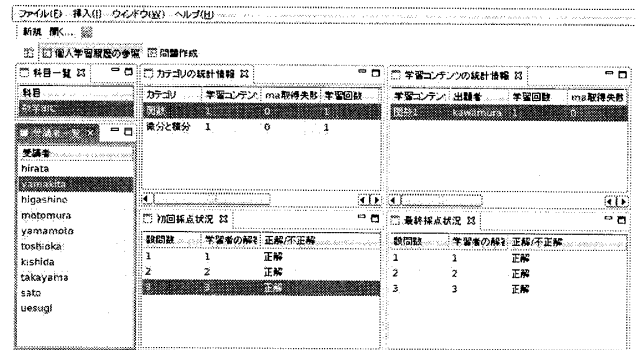


図 3: 教師用インタフェースの学習履歴閲覧画面

## 6. おわりに

クライアントサーバモデルによる非同期 WBT システムでは、サーバへの負荷集中による応答性や安定性が問題となる。この問題を解決するため、我々は P2P モデルによる分散型 e-Learning システムを提案している。本稿では、提案システムにおけるカテゴリ管理と学習履歴管理という2つの教師用機能について述べた。提案システムにおいて、1) 科目によるカテゴリの管理・提供、2) タグを利用したカテゴリ検索という2つの手法によるカテゴリ管理機能を実現したことにより、教師は学習者へカテゴリの情報を提供する事が可能となった。そして、1人の学習者に対応する1つのUAが、その学習者の学習履歴などのユーザ情報を管理する事により分散システム上でのデータ管理を実現した。また、これら教師用機能の動作確認を行った。今後、分散型 e-Learning システム特有の問題点、例えば学習履歴閲覧の際の遅延時間などの調査や、本稿で述べた教師用機能を含む提案システムを大学などの機関で実際に運用し、提案システムの有効性を検証することが必要である。

## 参考文献

- [1] 川村尚生, 菅原一孔: モバイルエージェントに基づく P2P 型 e-Learning システム, 情報処理学会論文誌, Vol. 46, No. 1, pp. 222-225 (2005).
- [2] Sylvia, R., Paul, F., Mark, H., Richard, K. and Scott, S.: A Scalable Content-Addressable Network (2001).
- [3] Motomura, S., Kawamura, T. and Sugahara, K.: Logic-Based Mobile Agent Framework with a Concept of "Field", *IPSS Journal*, Vol. 47, No. 4, pp. 1230-1238 (2006).