

I-12 知的エージェントを用いた構造工学 CAI システムの構築に関する研究

An Intelligent Agent-Based CAI System for Structural Engineering

矢吹 信喜¹ 古川 将也² 飛田 昌良³ 松岡 健一⁴
 Nobuyoshi Yabuki Masaya Furukawa Masayoshi Tobita Kenichi Matsuoka

【抄録】最近の CAI (Computer Aided Instruction) システムは豊富なヘルプやビジュアル機能を有し、高度化しているが、学習者を「個」ではなく「マス」として扱っているため、「何がわからないのかわからない」という問題は依然として未解決である。本研究では、各学習者の知識レベルや性格等を詳細に分析し、知の体系との比較において不足している部分を発見し、的確に指摘し、学習者のシステムへの入力状況を知覚しながら、必要な情報をタイミングよく提供出来る知的な「エージェント (代理人)」機能を付加した CAI システムのモデルを提案する。さらに、大学学部レベルの土木系教科「鋼構造学」を対象として、本モデルを適用し、プロトタイプシステムを構築して有効性等を検証した。

【Abstract】 Although recent CAI (Computer Aided Instruction) systems are generally advanced and improved by the use of rich "help" and visual aid, the problem that students often do not know what they do not understand has not been solved yet since the systems still treat students as a mass but not as individuals. In this research, we propose an intelligent agent-based CAI system, which identifies student's uncomprehending points adequately by comparing the knowledge of the student and the global knowledge system of a particular domain, and by sensing the student's interactions with the CAI system. We have developed a prototype system based on the proposed model for undergraduate level course of steel structures and investigated the feasibility.

【キーワード】 教育支援システム、CAI、エージェント、人工知能、ネットワーク、インターネット

【Keywords】 Computer aided instruction system, CAI, Agent, Artificial Intelligence, Network, Internet

1. はじめに

大学学部レベルにおける鋼構造学あるいは橋梁工学といった構造工学の応用的な教科は、材料力学、構造力学、数学、物理などの基礎的な科目の知識の「積上げ」をベースとしている。それゆえ、こうした基礎的な部分において、よく理解していない、いわゆる「穴」がいくつもあると、積上げがうまくいかず、途中でわからなくなってしまう。特に、近年、学生が多様なバックグラウン

ドを持つようになり、一律に全員を一定の知識レベルまで引き上げていくことは困難となってきた。

大学における構造工学の主たる教育手段は、講義と演習およびテキストによる学生の自習であるが、こうした従来の教育方法では、数式などによって抽象化された理論的な概念を解説するものの、理論を実際に当てはめた具体的な事例の解説や演習が不足することが多い。また、理解力に

-
- 1 正会員 Ph.D. 室蘭工業大学工学部建設システム工学科 助教授 〒050-8585 室蘭市水元町 27-1
 TEL: 0143-46-5219 FAX: 0143-46-5218 Email: yabuki@news3.ce.muroran-it.ac.jp
 2 学生会員 室蘭工業大学大学院工学研究科建設システム工学専攻
 3 正会員 大林組 MM 横浜駅 JV 工事事務所
 4 フェロー会員 工博 室蘭工業大学工学部建設システム工学科 教授

は個人差があり、基礎学力の程度もかなりバラツキがある。講義とテキストによる従来の教育方法の主な問題点としては、以下の3点が挙げられる。

- ① スペースと時間に制約があるため、豊富な具体的事例や図、アニメーションなどの直感的な理解を補助するものが加えにくい。抽象的な話では、理解しにくい。
- ② 教える側から教わる側へ情報の流れが一方的になりがちで、教師は本当に理解したのか確認しにくいし、学生は疑問があっても質問しにくい。
- ③ 学生を「個」ではなく「マス」として扱っているため、教える側は理解力の個人差に対応しにくい。従って、教える側も、教わる側も、何がわからないのか、また、なぜわからないのかが、わからないことが多い。

これらの問題を解決するための一つの方法として、インターネットあるいはイントラネットを利用したマルチメディア CAI (Computer Aided Instruction) システムの利用が考えられる。教育工学の分野では、長年 CAI の研究が続けられ、最近では、FAQ (Frequently Asked Questions)、ヘルプ機能、ハイパーメディア、会話的プログラム、図やアニメーション、ヴァーチャルリアリティ (VR) などを利用した教育支援システムの実例も見られるようになってきた。また、遠隔教育、社会人大学院通信教育等において、ネットワークをベースにした CAI システムが開発、利用されつつある。

しかし、こうしたシステムは、問題点の①はほぼ解決し、②については部分的に解決するものの、③についてはほとんど解決されていない。すなわち、こうしたシステムはあくまで教える相手を「個」と認識しておらず、「マス」としてとらえており、学習者各個人の特性に合わせたものではなく、学生のやる気と忍耐にまだ依存している。またヘルプ機能などは一見双方通行に見えるが、用意したものをユーザーが探しに行くものが多い。根本的に解決するためには、一人の教師に対

して一人の学生というマンツーマンが最良の方法であろうが、コストがかかりすぎて、非現実的である。

本研究では、各学習者の知識レベルや性格などを詳細に分析し、知の体系との比較において不足している部分を的確に指摘し、学習者のシステムへの入力状況を知覚しながら、ネットワーク上で必要な情報をタイミングよく提供してくれる家庭教師のような知的な「エージェント (代理人)」機能を付加した CAI システムのモデルを提案する。さらに、「鋼構造学」を対象として、本モデルを適用し、プロトタイプシステムを構築して試験的に利用した。

2. 知的エージェント

「エージェント」は、情報工学分野において 1990 年代初期から研究されているが、必ずしも明確な定義があるわけではない。しかし、近年は、人間が細かく指示しなくても自律的、自発的に動作し、外部環境を認識しながら反応し、他のエージェントやシステムと相互的あるいは協調的に作業する社会性を有するような知的なオブジェクトと考えられている^{1) 2)}。

エージェントは、概念、機能、応用分野等から、知的エージェント、インターフェースエージェント、モバイルエージェント、マルチエージェント等に分類されているが、本研究では、教育をサポートする知的な代理人機能を有するエージェントを開発することが目的であることから、知的エージェント技術を応用する。

知的エージェントは、図-1 に示すように、一般的に、状況認識部、知識ベース、学習部、行動部の4つの構成要素を持つ。状況認識部は、環境の変化や状況を認識し、認識結果を知識ベースに反映させる。知識ベースは、そのエージェントが役割を演ずるある環境あるいは領域に関する知識の集合体である。学習部は、外部環境の変化に対応して自己の行動に関する学習を行う。行動部は、知識ベースの変化に応じて自己の取るべき行

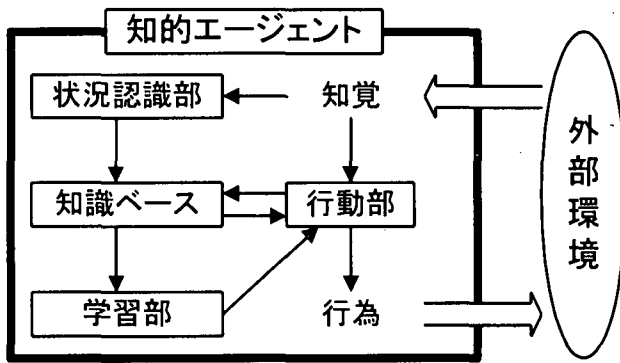


図-1 知的エージェントのアーキテクチャ¹⁾

動を決定し実行する。

エージェントは、ネットワーク上で動作するオブジェクト指向プログラムのオブジェクトと余り変わらないようにも思われるが、外部環境の変化に応じて、あたかも自分で判断して何らかの行為を実行することから、人間の振舞いにより近づいている。こうした擬人化された性質が、人間とコンピュータとの相互作用において、CAIシステムでは有効だと考えられる。

3. CAIシステムについて

CAIに関する研究は、1960年代頃から開始され、当初は人工知能を応用したCAIとして、自然言語対話によるITS (Intelligent Tutoring System)やコンピュータ上に構築した仮想的な世界に対して学習者に何らかの行為を行わせることによって、その世界を変化させ、学習者にフィードバックするようなILE (Interactive Learning Environment)の研究等がなされた。

80年代以降は、教育システムをユーザーフレンドリーにさせるために、マルチメディア、VR、可視化技術を利用したシステムが開発された。こうしたシステムの中で、学習者を「個」として扱う試みとしては、専門家が作ったメタデザイン環境をベースに、学習者自身が自分用の学習環境を作成していくという自己学習環境デザインシス

テムが提案されている³⁾。

90年代に入って広く利用され始めたWWW (World Wide Web)を始めとする多くのハイパーメディアシステムは、CAIシステムを構築する上では極めて有益な道具である。しかし、膨大な網の目のような情報の中で自己の位置を見失ってしまうことがあるため、学習者がネット上を探索する際の履歴や参照時間等の情報に基づいて、次に参照すべき情報の候補を提示するシステムも開発されている⁴⁾。インターネットにより、遠隔地に点在し異なった専門科目を学ぶ学生同志が、協調的に仮想的な建設プロジェクトを遂行するPBL (Project-Based Learning) システムも大学における実際の教科の中で使用されている⁵⁾。

エージェント技術を導入したCAIシステムも最近見られるようになった。例えば、教師と学習者間の学習に対して、仲間学習者 (peer) としてのエージェントを組み込み、時には教師のように、時には学習者と協調的に振る舞い、時には学習者同志の相互作用を仲介したりする知的学習環境が提案されている⁶⁾。

4. 知的エージェントを用いたCAIモデル

本研究で提案するCAIモデルは、図-2に示すように、教材、知的エージェント、個人データ、知の体系、の4つの主要コンポーネントから構成されており、このうち個人データと知の体系はサーバーに格納されているが、教材はユーザーであるクライアントへネットワークを介して転送される。また、知的エージェントは、クライアントとサーバーの間において種々の働きをなす。

CAIシステムの教材としては、豊富なヘルプ機能、ハイパーテキストによる関連情報や専門用語の解説等への容易な移動をサポートする機能、会話的なプログラムによるシミュレーション機能、図やアニメーション等のビジュアルなプレゼンテーション機能等は、当然具備すべき条件である。こうした基本的な教材は、HTML (HyperText Markup Language) あるいはXML (Extensible

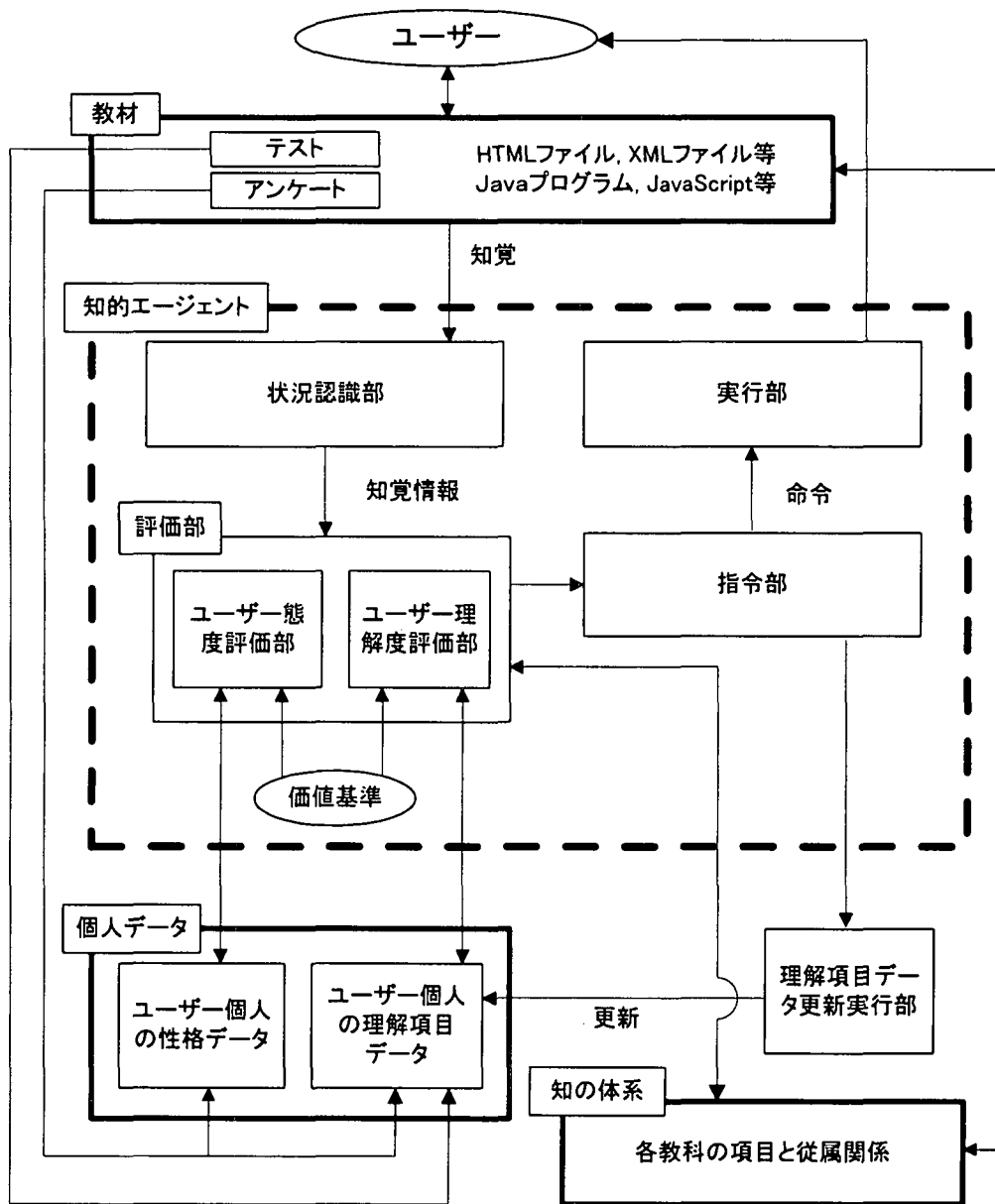


図-2 知的エージェントを用いたCAIモデル

Markup Language) をベースとして、Java 言語等で作成されたシミュレーションプログラム等を有し、インターネット上で閲覧・実行可能であることを前提条件とする。

本モデルにおける眼目は、学習者を「マス」ではなく「個」として扱うことである。そのために、学習者の個人データを予め、蓄えておく。個人データとしては、学習する分野の多岐にわたる項目に関して、自分で理解しているかどうかをアンケ

ードで記入してもらい、なおかつ、簡単な試験を受けて本当に理解しているかどうか確認する。各項目は、「理解している (A)」「曖昧に理解している (B)」「理解していない (C)」といった理解度評価データを持ち、学習者の理解が深まるにつれ、理解項目データ更新実行部は更新を行う。

個人データとしては、各個人の勉学に対する性格も、アンケートにより蓄えておく。「飽き易い」「見栄を張る」「おっちょこちょい」といった性

格を持つ学習者には、タイミング良く、必要と考えられるアドバイスを与えるために、このデータが使用される。

知的エージェントは、ユーザーである学習者が教材のどの部分を閲覧し、何を実行しているか、どんな入力を行ったかといった行為を常に知覚する機能を有する状況認識部を持つ。状況認識部は、知覚した情報を評価部に渡す。評価部は、ユーザー理解度評価部とユーザー態度評価部があり、ユーザー理解度評価部は、ユーザーが閲覧している学習項目が何であるかを感知し、知の体系のどの部分かを調べ、その学習項目を理解する上で、理解していることが前提条件となっている項目を洗い出し、ユーザー理解項目と比較を行う。理解していることが必要な項目において、ユーザーが理解していない項目がある場合は、指令部にその項目リストを渡し、指令部は実行部にユーザーにその項目を理解するよう注意を喚起するメッセージを送るよう命令する。ユーザーは、その項目を解説する教材を閲覧し、知識の穴を埋めることにより、理解が容易になるのである。

また、ユーザーが新たに学習している項目なのに、極めて短時間で終了させようとした場合等には、ユーザーの性格と照らし合わせて、注意を促すかどうかをユーザー態度評価部が評価を行う。注意が必要と判断された場合は、指令部を通して実行部が、注意のメッセージをユーザーに送る。例えば、見栄を張りがちなユーザーが、ある学習項目を理解したと回答した場合に、それを理解するために必要な別の項目を理解していない時は、本当に理解したかをしつこく聞いたりテストをしたりするのに使用される。

ユーザーがある項目を学習し、理解できたと教材に入力した場合、知的エージェントはその情報を知覚し、評価部、指令部を通して、理解項目データ更新実行部にユーザー個人の理解項目のデータ更新を行うよう指令する。

5. 鋼構造学への応用

本研究では、4. で提案した知的エージェントを用いた CAI モデルを、構造工学の中の鋼構造学に適用させて、モデルの有効性を検討することとした。

まず、各個人の理解度を評価するためには、理解すべき学習領域の知の体系を明確にする必要がある。構造工学の分野においては、一般的に、数学、物理学、材料力学、構造力学等の基礎科目を積上げた上に鋼構造学が位置し、各科目内の項目の積上げもきちんとしている。各科目の標準的なカリキュラムをツリー構造で表示し、各項目を理解する上で理解が前提条件となる項目から矢印を引いた図を知の体系とここでは呼ぶ。図-3に構造工学の事例からの抜粋を示す。左側が基礎的な科目で、右側に行くにつれ応用分野となる。図中の矢印付き破線が前提条件を示す。矢印が指している項目を学ぶためには矢印の元になっている項目が直接的な前提条件である。知の体系および教材の作成に当たっては、文献^{7)~10)}を参考とした。

ユーザーは、本システムを使い始める段階で、図-4に示すような「性格アンケート」に答えることにより、性格や態度のデータをシステムに与える。次に、知の体系の項目を理解しているかどうかを調査する「学習項目理解度アンケート」に答える。その結果表示の一例を図-5に示す。さらに各学習項目に関する簡単なテストに対して答える(図-6)。これらの結果を、ユーザー個人の性格データと理解項目データに蓄える。これらのデータはサーバーで集中管理される。

ここで、あるユーザーが鋼構造学の中で、「残留応力のある圧縮材」という項目(図-3の右下の項目)を学習する目的で、教材の該当するページを閲覧すると仮定する。すると、本システムは、知の体系において、「残留応力のある圧縮材」を頂点として、これを理解するための前提項目の従属ツリー図(図-7)を自動的に作成する。次に、ユーザー理解度評価部が、このユーザー個人の理

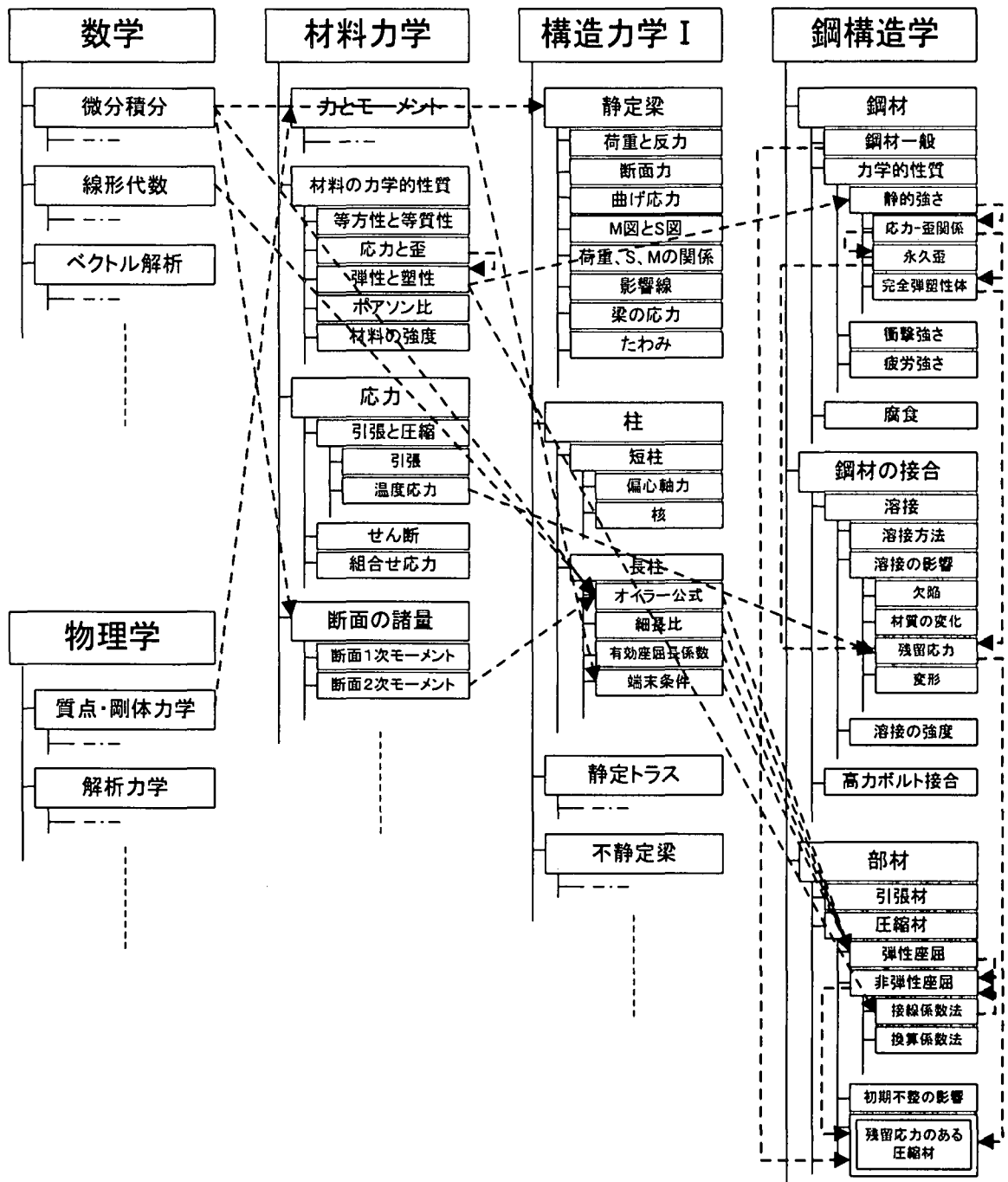


図-3 構造系教科の「知の体系」からの抜粋

解項目データ (図-5) と従属ツリー図とを比較し、理解していない項目 (理解度: C) および理解があいまいな項目 (理解度: B) が見つければ、その項目をユーザーに即座に知らせるメッセージを出すよう、指令部から実行部へ命令が行き、ディスプレイ上に表示される (図-8)。この例では、ユーザーが理解していない「温度応力」と「残留応力」の2項目が白抜きで強調され、他の理解度 B の項目と区別して表示されている。この

ように、ユーザーの知識レベルと知識の従属ツリーの照合を行い、学習すべき項目を示すだけでなく、難易度や必要とされる努力の度合いを個別に提示することが可能である。

このメッセージに表示されている項目から各項目を解説する教材のページへリンクされているので、ユーザーは項目をクリックすることにより、前提項目を事前に学習することが可能である。この例では、温度応力の項目を見た後、残留応力

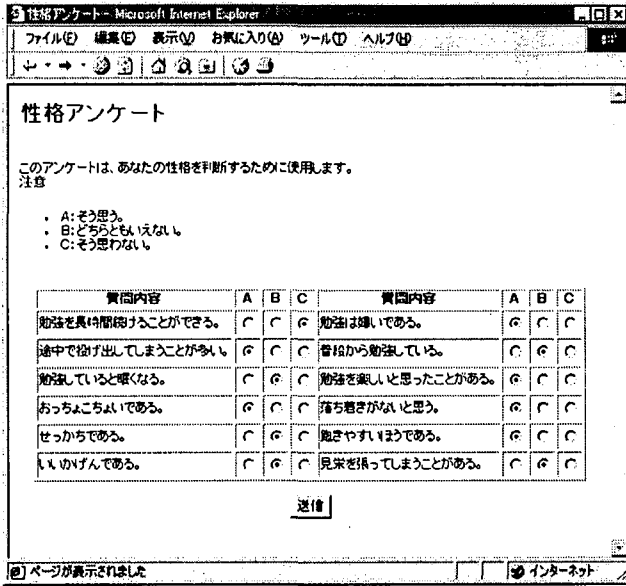


図-4 性格アンケート

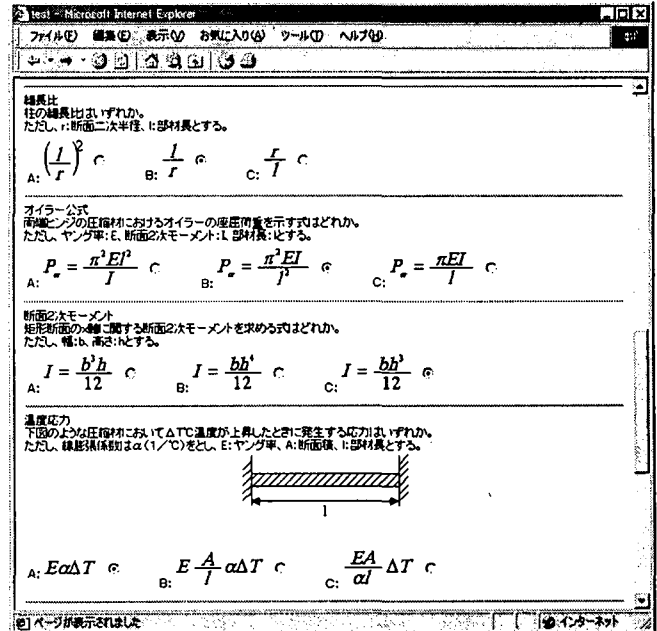


図-6 学習項目理解度のテスト

である場合は、1分以上経ってクリックした場合でも、本当に理解したのか、と再確認するメッセージが表示される。また、ページ表示後5分以上経過してもユーザーが学習を終了しない場合は、図-11に示すように、現在閲覧している項目より先に学習した方が良いと思われる項目を学習するよう促すメッセージを表示する。さらに、1分以上ブラウザ上でマウスが止まったままだと、「学習していますか」というメッセージが表示される(図-12)。

ユーザーが、このようにエージェントの補佐を得て、「理解した」という情報をシステムに送ると、システムはユーザーに理解度を確認するテストを受けるかどうか質問し、なるべく受けるよう推奨する。テストの一例を図-13に示す。テストにはヒントが用意されており、ユーザーの性格アンケートにおいて、「途中で投げ出してしまふことが多い」という項目または「飽きやすい方である」という項目が該当する場合、「ヒントがあるが希望するか」質問し、希望する場合はヒントを表示する。

以上のようにして、ユーザーが「理解した」という情報をシステムに送ると、エージェントの中

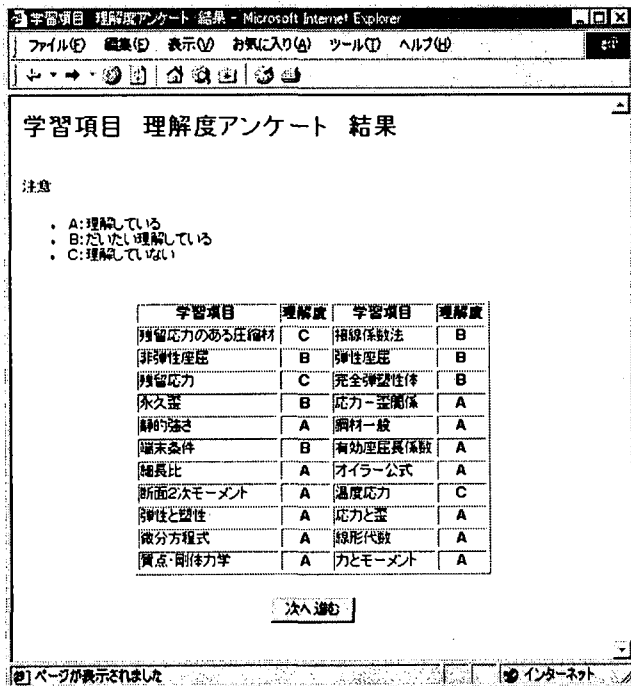


図-5 学習項目理解度アンケートの結果

のページ(図-9)をユーザーは訪れ、さらにページ上の「理解した」というボタンをクリックする。

各学習項目において該当するページが表示されてからわずか1分以内に「理解した」というボタンをクリックすると図-10に示すように、早すぎるという注意を促すメッセージが表示される。また、ユーザーの性格が「おっちょこちよい」

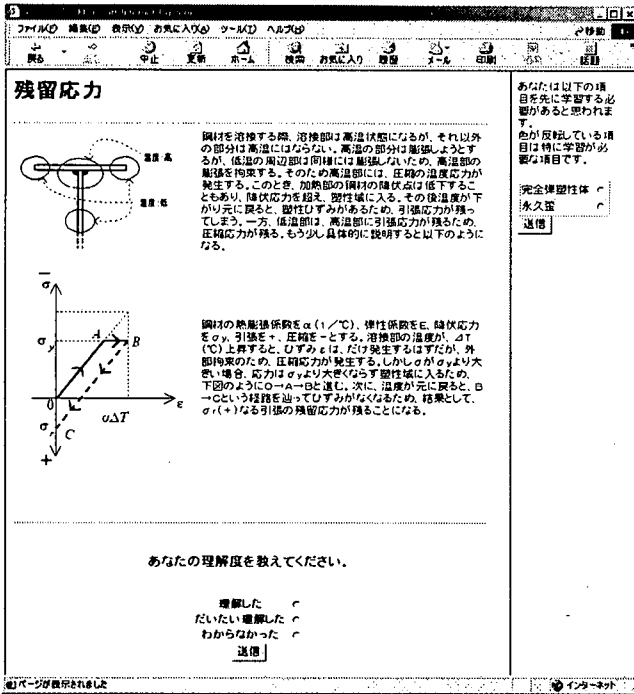


図-9 残留応力のページ

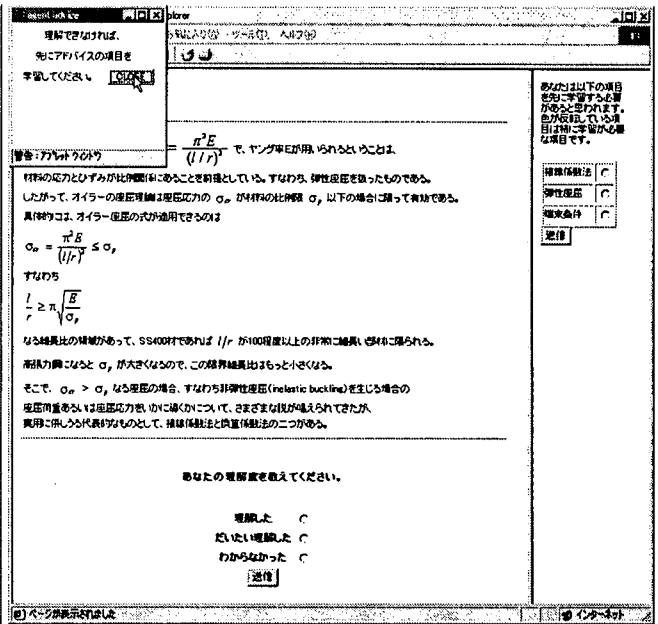


図-11 5分以内に学習が終了しない場合の注意

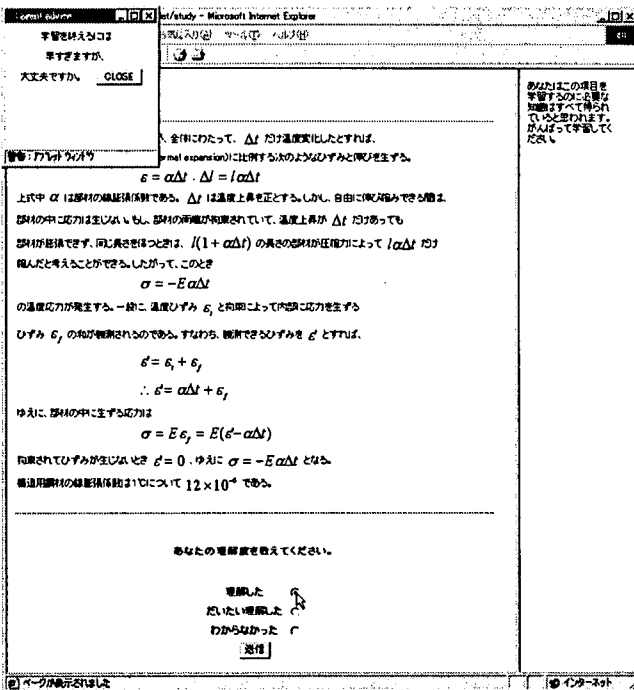


図-10 1分以内にクリックした場合の注意

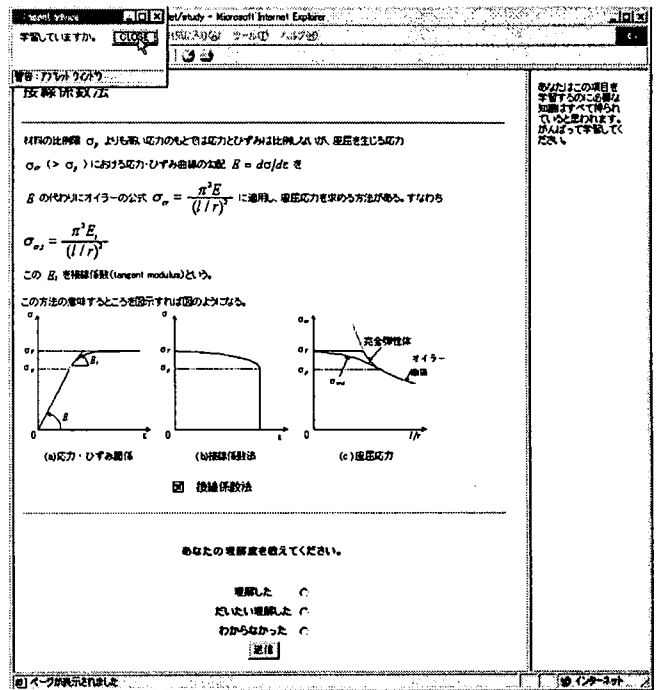


図-12 1分以上マウスの入力がない場合の注意

6. おわりに

本研究では、教わる側をマスではなく個として扱えるようなCAIシステムについて検討した。その結果、知の体系をベースに、各個人の理解度情報や性格態度データを事前に調査し、学習において、理解が前提となる項目を理解していない場合に、

タイミングよく、そうした情報を学習者に提示し、理解すべき項目を記した教材に即座にアクセス出来るようにしたり、適切なアドバイスをしたりする知的エージェントを考案し、CAIモデルを構築した。本モデルのプロトタイプシステムを、鋼

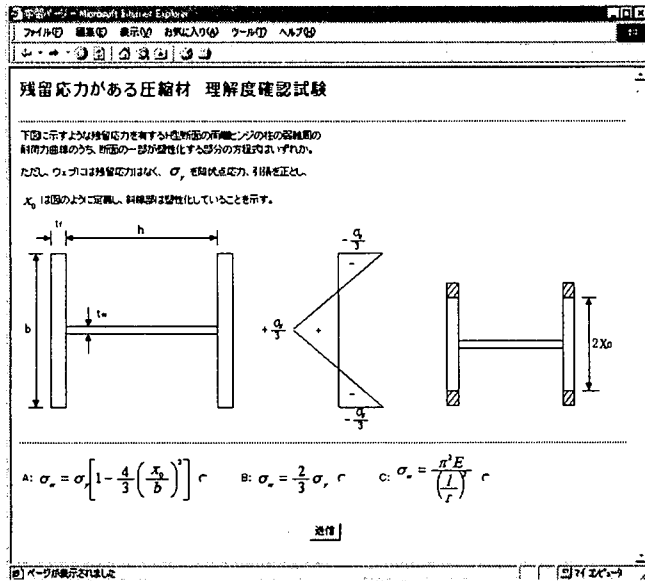


図-13 学習終了後の理解度確認試験

構造学および構造・材料力学の一部を対象として構築し、本モデルの有効性を検証した。但し、プロトタイプシステムはフィージビリティの考査とデモンストレーションが主目的で、実際の供用のためにはさらにシステム開発を行う必要がある。

本モデルは基本的には有効であると考えられるが、学習者がある項目を学習しようとする時、必要な前提項目を全て理解していても、理解できないことはある。それは、項目そのものは容易であっても、複数の項目を組合わせて一つの理論を構築していく過程そのものが複雑であったり、想像力が必要であったりして、難解である場合に起こり得る。本モデルは、そうした場合には限界がある。また、学習する意欲がないユーザーにモチベーションを持たせることや、ユーザーがわかっていないのに「わかった」と言う虚勢を見抜く、優れた家庭教師のような機能、あるいは、グループ学習における協力やチームワークの育成といった教育項目には対応していないので、今後の課題としたい。

参考文献

- 1) 前田隆、青木文夫：新しい人工知能、オーム社、2000.
- 2) 本位田真一、飯島正、大須賀昭彦：エージェント技術、共立出版、1999.
- 3) Bergeron, A. and Paquette, G.: Discovery Environments and Intelligent Learning Tools, In Frasson, C. and Gauthier, G. (eds), Intelligent Tutoring Systems, pp.34-55, Ablex Publishing Corp., 1990.
- 4) Kayama, M. and Okamoto, T.: A Mechanism for Knowledge-Navigation in Hyperspace with Neural Networks to Support Exploring Activities, The 4th World Congress on Expert Systems, pp.41-48, 1998.
- 5) Fruchter, R.: Conceptual, Collaborative Building Design Through Shared Graphics, IEEE Expert, Intelligent Systems & Their Applications, Vol. 11, No. 3, pp.33-41, 1996.
- 6) 笠井俊信、岡本敏雄：Peer Agent を組み込んだ知的学習環境の構築、教育システム情報学会誌、Vol.14, No.3, pp.38-47, 1997.
- 7) 能町純雄：構造工学 I、朝倉書店、1975.
- 8) 伊藤學：改定鋼構造学、コロナ社、1999.
- 9) 倉西茂：鋼構造 (第四版)、技報堂出版、2000.
- 10) 土木学会：土木用語大辞典、技報堂出版、1999.