

指導計画支援のための教材構造と機能

田中 淳志 渡邊 豊英 杉江 昇

名古屋大学 工学部

あらまし 本稿では、知的教授システムにおいて専門知識教材が指導計画の立案に対して果たす役割を明確にし、かつより効果的に指導計画を立案できる教材構造を考察する。また、その教材構造に基づいた指導計画の立案プロセスも検討する。専門知識教材は単に個々の学習内容の集合ではなく、個々の学習内容が相互に関連付けられ、一連の教授に有機的に利用可能でなければならない。我々はこの関連情報を教材構造の下に分析し、教材相互の意味付けを明確にして教材構造を定義した。指導方略では、学習者の応答に応じて関連情報を探索することにより、適切な指導計画を立案できる。さらに、柔軟な教材の利用を可能にするためにシナリオ機構を導入し、教師が指導方略を指示可能とすると同時に、学習者が自習レベルに合った教授コースを選択可能とした。

Structure and Function of Tutoring-oriented Text for Support of the Tutorial Planning

Atsushi TANAKA Toyohide WATANABE Noboru SUGIE

School of Engineering, Nagoya University

Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya, 464-01, Japan

Abstract In the Intelligent Tutoring System, the tutorial planning function is one of very important facilities with a view to teaching students effectively. Though the traditional approaches about this planning issues have attached to the representation and utilization of student model in many cases, we investigate the planning function as for the domain knowledge. Namely, the domain knowledge does not only represent individual facts to be derived from textbooks, but can also indicate the instructive information about systematic relationships among all domain facts. In this paper, we propose an experimental tutoring-oriented text structure applicable to assisting the tutorial planning corresponding to individual students.

1. はじめに

知的教授システムの研究における重要な研究課題の一つに、学習者個々人の理解度に応じた個別指導を実現することがある。個別指導のためには学習者の現在の応答内容と現在までの理解状況を的確に把握して次の教授内容、指導方法を決定することが必要である。指導計画はこのような機能を実行するが、効率良く、また効果的な教授のためには、教材知識と教授知識が必要である。教材知識は教授する教科の内容に関し、教授知識は教材知識を運用する手法に関する。これらの知識は専門知識教材に通常格納されるが、必ずしも明確に扱われてきた訳ではない。指導計画は学習者モデルに依存して構成され、直接専門知識教材に関して検討されてはこなかった¹⁻⁴⁾。

本稿では、指導計画の立案に対して、専門知識教材が果たすべき機能について検討する。すなわち、専門知識教材が教材知識だけでなく、教授知識を表現可能とするための教材構造について考察する。我々のアプローチでは、教材から学習単位を明確に組み立て、学習単位間の関係構造を抽出し、意味付ける⁵⁻⁷⁾。指導計画では、学習者の応答に応じてこの関連情報を探索することにより、適切な学習単位を選択できる。関連情報は学習単位相互を意味付けるために、単に前後関係、包含関係などの構造的情報ではなく、教授上の制約なども表現する。さらに、既存の教材構造を教師が学習者個々人の学習に適切な構造として再構築できるシナリオ機構についても言及する。

2. 指導計画と教材構造

学習者個々人に合った教授方略を実現するためには、学習者の理解度を把握し、適切な教材内容を提示して指導することが必要である。指導計画の立案機能は学習者に対する指導方法を、適時状況に応じて構築するために重要である。指導計画は静的に予め決定されるものではなく、動的に学習者の応答に追従しなければならない。

指導計画の立案機能において、

- (1). 専門知識教材に表現された学習単位の構造
- (2). 専門知識教材内の学習単位の活用知識

(3). 学習者個々人の理解度

などが基礎情報として利用可能である。学習者個々人の理解度を、教授システムが正確に把握して適切な個別指導を可能とする枠組みは、学習者モデルを有した知的教授システムの基本である。指導計画は従来学習者モデルに基づいたパラダイムが指摘されてきたが、理解度を如何に表現するかの課題に必ずしも十分に対処した学習者モデルが確立している訳ではない。

専門知識教材は単なる教授内容の集合ではなく、個々の教授内容の関連をも通常表現している。たとえば、教科書には教授内容に対して、章、節などの論理構造に手順が提示されている。一方、教科書を利用する教師や学習者は、自己の知識の下にその利用法を決定している。もちろん、経験ある教師と、初心者の学習者では教授内容を計画する能力に差がある。教師の場合には、教材に構成された内容以外に、教授知識が指導計画に大きく関与する。このような専門知識教材に関して指示される指導計画立案のための情報を教材構造が支援することの意義は大きい。しかし、従来のコースウェアに見られる指導計画は教材構造が完全に制御していたが、我々の要求では柔軟な、そして動的に指導内容を計画できる機構が実現されなければならない。

我々の専門知識教材モジュールでは、指導計画の立案を支援できるように、上記(1)、(2)の視点から教材構造を実現する。専門知識は、教授すべき教科の知識(教材知識)と教授するための方法の知識(教授知識)があるとして、これらを教材構造に最適に表現することが必要である。教材知識を個々の学習単位とし、そして教授知識を個々の学習単位間の関連情報として捉えて意味付ける。また、教授知識はこのように一定の枠組みで総ての学習者に適用できる訳ではなく、たとえば現場の教師は同一教科書を用いても、教えるクラスによって、また学習者によってその活用法を変えるはずである。このような自由度を教材構造に与えるためにシナリオ機構を導入する。シナリオ機構は従来のコースウェアのように静的に教授手順を決めるのではなく、教材の用い方に関する選択方法を実現し、教材構造の仮想化機能と考えるべきである。

指導計画の立案機能はこのような教材構造内に表現された教授知識を基本として最適な指導

計画を構成する。もちろん、シナリオ機構により、学習者に適切な指導を可能とする。図1が、このような専門知識教材モジュールと指導計画の立案機能の関係を表す。図中の矢印は情報の流れを表す。

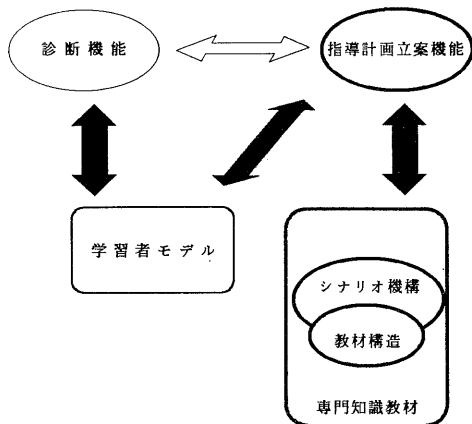


図1 教材構造と指導計画の関連

3. 教材構造の構成

教材構造は図2のように、教材を成す学習単位の構造的情報を表す階層構造と、その階層構造の各階層内の学習単位相互の関係情報を表すネットワーク構造から成る階層ネットワーク構造である。

3.1 階層構造

論理的な構成関係を表すのが、階層構造であり、論理的な教材単位(学習単位)相互の構造情報により構成される。たとえば、通常の教科書では章、節、項などの構成関係である。我々の教材構造では、学習単位を階層構造の終端の教材構成要素とし、教授的なまとまりを有して構成される。学習単位は教授内容の基本要素であるが、一つの学習単位は説明項目、例題項目、問題項目、図・表項目などの学習項目より定義される。図2が、この構成要素間の関係を表す。

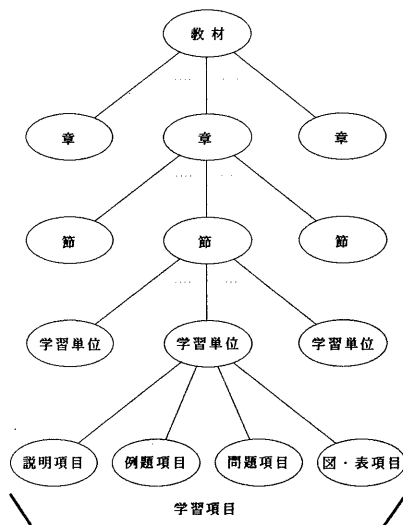


図2 教材の階層構造モデル

階層構造は学習単位の下に教材知識の概念関係を整理する。従って、指導計画の立案に対してよりも、教材の管理・構築に対して効果を有する。たとえば、LISPの関数について示せば、図3のように階層構造の一部を表す。図3では、関数が章となっていて、それを概念的に分類した基本関数、マップ関数などをその下の節として構成している。さらに、節の一つの基本関数は関数car、cdrなどをその下の学習単位として構成している。

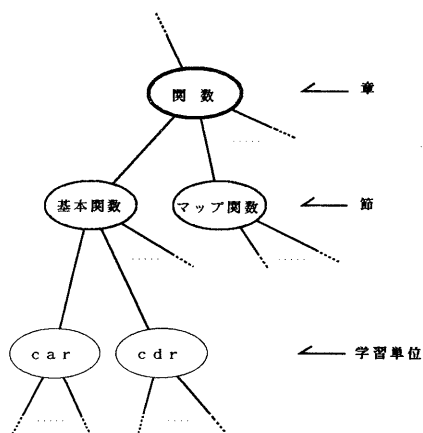


図3 階層構造の例

3. 2 ネットワーク構造

ネットワーク構造は教材構造の終端である学習項目に対して構成される。これは、階層構造の最小構成要素である学習単位よりも、より密に教材内容を意味付ける。

教授プロセスにおいては、一つの学習知識の下に構成される学習単位だけでなく、学習項目による分類概念の下に操作する必要が不可欠である。たとえば、ある学習単位の問題に対して学習者と対話状況にあったとき、不正解時にそれに関連する学習知識を再確認するには関連問題を実行することが必要であり、このような状況を実現するには学習項目間での操作を可能にする必要がある。

ネットワーク構造は学習項目相互間の関連情報を表し、項目間の関連に対して意味付けるために、種々のリンクを導入する。

1) 学習項目間のリンク

- ① 必要知識リンク：総ての学習項目間（ただし、リンクの指定元、指定先共に説明項目であった場合は学習単位間のリンクで扱えるので省略する）に設定され、ある学習項目の教授より以前に学習すべき知識（前提知識）であることを指示する。一学習項目に対し、複数の必要知識を指定できる。指導計画の立案時に、ある学習項目に対する学習の前提知識が未学習か否かを調べるなどの利用目的に設定する。
- ② 目的知識リンク：例題、問題項目に対して設定され、これらの例題、問題の学習により理解を促進する説明項目を指示する。一つの例題、問題に対して、ただ一つの説明を指示する。
- ③ 同種例題リンク：問題項目に対して設定され、同じ解法を用いるか、あるいは問題の内容が類似している例題を指示する。原則として一つの問題に対して一つの例題を指示する。問題解決時に学習者の質問に対する対処や、誤り検出後の指導計画に利用できる。
- ④ 導出用例題リンク：問題項目に対して設定され、その問題を導出する基になる例題を指示する。一つの問題に対して、複数の例題を指示できる。同種例題リンクと同様に質問に対する対処や、解答の誤り検出後の指導計画に利用できる。

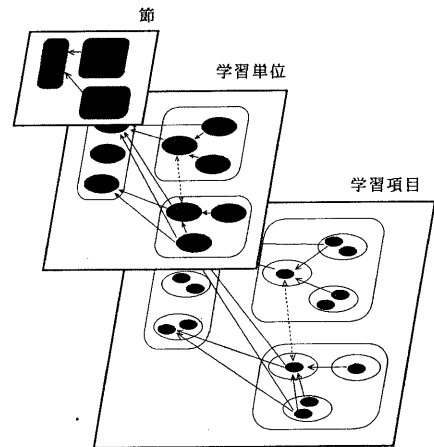


図4 ネットワーク構造の概略

- ⑤ 専用例題（問題）リンク：説明項目に対して設定され、その説明内容をさらに深めるために用いられる例題（問題）を指示する。一つの説明に対して、複数の例題（問題）を指示できる。
 - ⑥ 図（表）リンク：図、表以外の学習項目に対して設定され、それに関係する図（表）を指示する。他の学習項目と図（表）を独立させることで複数の学習項目から一つの図（表）を関係付けることを可能にする。ある学習項目の学習を補助するために同時に表示すべき図（表）がある場合に利用できる。
- このように最小単位の学習項目間に対するリンク以外に学習単位、または階層構造の各層に対しても関連性があり、リンクを設定できる。
- #### 2) 学習単位などの階層上のリンク
- ① 必要知識リンク：各階層間に設定され、ある知識・概念の教授より以前に学習すべき前提知識であることを指示する。一つの階層に対し、複数の必要知識を指定できる。指導計画の立案時に、ある概念の学習の前提知識が未学習か否かを調べるなどの利用目的に設定する。
 - ② 類似知識リンク：各階層間に設定され、内容や使用法の似た知識、あるいは混同しやすい知識を指示する。類似性は知識相互に作用するため、このリンクは双方向のリンクとなる。指導時の知識の比較・参照や、解答診断時に、

学習者が混同していると想像される知識を調査するなど利用可能である。

ネットワーク構造の概略を図4に示す。ただし、章におけるネットワークは省略した。たとえば、LISPの教材の一部について、このネットワーク構造を用いて表現したのが図5である。図5は学習単位の関数atomからアトム（これはLISPのデータ型である）に設定された必要知識リンクと、それぞれの学習単位の下に構成された学習項目間に設定された各種リンクを表す。

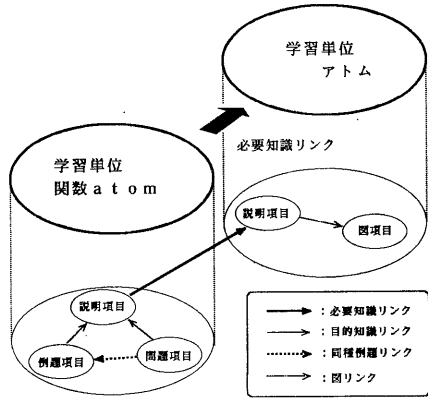


図5 ネットワーク構造の例

4. シナリオ機構

シナリオ機構は既存の教材構造に対して様々な修正を可能とする。従来のコースウェアのように指導手順を設定するのではなく、教材構造の多様な利用法を可能とする。現実においても、教師個々人は彼自身の教授法を有し、また学習者個々人は彼自身の学習法を有しているはずであり、同一教科書を用いても様々な状況を観察できる。シナリオ機構は教授法、利用法に関して同一の教材構造を仮想化させることができる。図6に概念的にシナリオ機構を示した。

たとえば、LISPに関して、教材構造の一部を章「述語」の学習において、その下にある節「論理演算」の内容は他の教科で既に学習済みのため省略するというシナリオで仮想化すると、図7の上部に示したように教材構造は変更される。

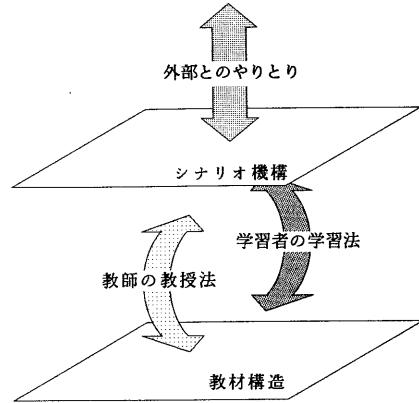


図6 シナリオ機構の概念図

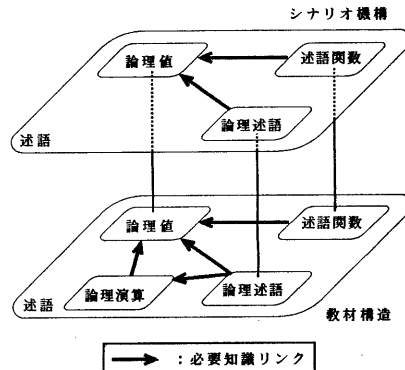


図7 シナリオによる教材の例

シナリオ機構を構成するための機能には、教材構造に対して学習項目、学習単位などにリンクを設定、削除などのリンク操作、学習項目、学習単位などを追加・削除などの教材操作、既存の教材構造を再編成するなどの構成操作、教授順序を変更するなどの変更操作が必要である。

さらに、シナリオで定義された教材内容を教材構造として実際に更新することも実現される。これにより、シナリオ機構を介して教材内容を構築することも可能である。

5. 教材構造に基づいた指導計画

専門知識教材モジュールでは教材知識と教授知識を教材構造として構築し、指導計画の立案

機能は主に教授知識を活用して適切な個別指導を実現可能である。指導計画の立案機能は教材構造の各種関係リンクを探索して、指導すべき学習項目、学習単位などを整合させて教授計画を構成する。

教授システムにおいて指導計画の立案機能は、指導開始時、設定された指導計画が空になり再計画が必要なとき、及び学習者の誤解答に対する指導再構成時に実行される。また、学習者の質問処理時にも指導計画の再構成が必要である。従って、指導計画の立案手続きには3種の状況があるが、指導案は学習者個人々人に対して常に正しく保証されなければならない。

- (1) 計画開始モード状態：指導開始時、あるいは既設の指導案が空になったとき。このような場合、システムはその内部情報に従い、指導計画を立案しなければならない。
- (2) 計画修正モード状態：教授状況によって指導案別に修正が必要なとき。すなわち、学習者の解答が不正解であり、誤り同定により原因が判別され、その誤りに関する指導を優先させる場合が該当する。
- (3) 学習者モード状態：学習者の指示に従って現指導案に修正が必要なとき。すなわち、システム主導の指導計画実施時に、ユーザの質問などの割込みにより、ユーザ主導の対話状態になると、その話題に対する指導計画を構築しなければならない。

以上の3種の指導計画の立案手続きに対して教材構造の利用を述べる。ここで、指導計画は指導案の列として構成される。

[例]

(指導案1 指導案2 … 指導案n)

5. 1 指導計画の形式

指導計画は、基本的に学習教材の個々の概念を表す学習単位ごとに立案される。しかし、実際に構成・実施される指導案は最小の構成要素である学習項目に基づいている必要がある。従って、学習単位に従って構成された指導計画を学習項目に基づいた指導計画に修正しなければならない。

図8に、指導計画列を示した。

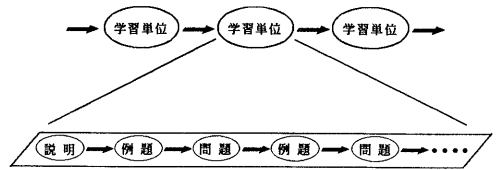


図8 学習項目に基づいた指導計画

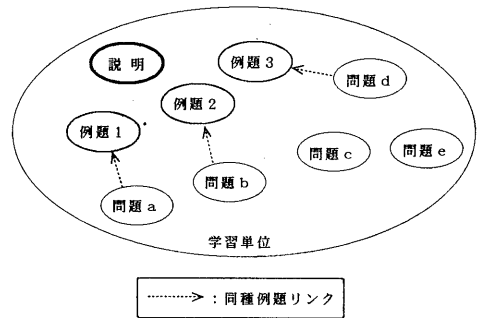


図9 指導計画例のための学習項目

教授手順では、まず学習単位の概念内容を表す説明を学習し、次に同じ学習単位内の例題（これは説明を目的知識とする例題である）一題を学習する。例題はその難易度や学習者の理解度などにより選択される。さらに、同じ学習単位内で、その例題を同種例題とする問題が出題され、学習する。問題が用意されていない場合、あるいは用意された問題総てを出題し終わった場合には、次の例題を同様に実行する。最後に、同じ学習単位内に同種例題がない問題が出題され、学習する。従って、図9のように学習単位が構成されている場合に、最初に立案される指導計画は次のようになる。

((学習 説明)(学習 例題1)(出題 問題a)

(学習 例題2)(出題 問題b)(学習 例題3)

(出題 問題d)(出題 問題c)(出題 問題e)

ここで、図9では計画立案及び図の簡単化のために必要知識、目的知識の両リンクは省略した。

5. 2 指導開始モードの計画立案

指導開始モード状態の計画立案はさらに三つの状態に分類される。まず、教材に対する指導案を最初から構成する状態、次に中断されていた指導案を再開する状態、最後に設定された指

導計画が空になったために再計画する状態である。しかし、指導実施の再開時と指導の再計画時は教授指導が中断されていて、指導案別の操作は同じ状態であり、同一とみなす。実際には、指導実施の再開時は中断前の復習を必要とするがここでは無視する。本研究では、指導計画は基本的に状況の変化に対応し易いように比較的短い系列を立案するようにし、指導計画が空になった際に繰り返し、再計画するという方法を採択する。

最初から指導計画を構成する場合について述べる。この場合、指導計画の選択のための探索はネットワーク構造ではなく、階層構造に依存して実施される。まず、階層構造で表現された構成順序により指導開始点を選択する。つまり、上位層から下位層へとたどり、最下層において最初の学習単位を選択し、指導案とする。次に、その学習単位から出ている指導順序リンクを探索し、そのリンクが指定する学習単位を先の指導案の後ろに追加する。指導順序リンクがない場合は指導計画の立案手続きを停止する。

次に、指導実施の途中から指導案を再計画する場合を述べる。この指導計画の立案手続きは次のようになる。

- ① 必要知識を持たない、あるいは必要知識総ての学習を終了した学習単位を探索する。
- ② ①で探索した学習単位が複数の場合、階層構造の指導順序と、学習者の候補学習単位の必要知識の学習状況から最良の指導案を決定する。
- ③ ②で選択した学習項目が指導順序リンクを有するならば、それが指定する学習単位を指導案の後ろに追加する。また、類似知識リンクを有していて、かつその指定先の学習単位が学習を終えている場合には、指定先の学習単位内の学習項目である説明内容を、学習単位の説明項目の学習に対して参照内容として比較・提示する。

たとえば、図10のような教材において、計画開始モードの指導計画案は次のようになり、立案された計画の学習単位③は既学習単位④の説明内容を参照する。

((学習 ①)(学習 ③)(学習 ⑤))

ただし、図10において①から⑤の各楕円部は順不同の学習単位であり、特に破線の楕円部は

学習済みの学習単位とする。また、次の指導の開始点は学習状況から学習単位①が選択されているとする。

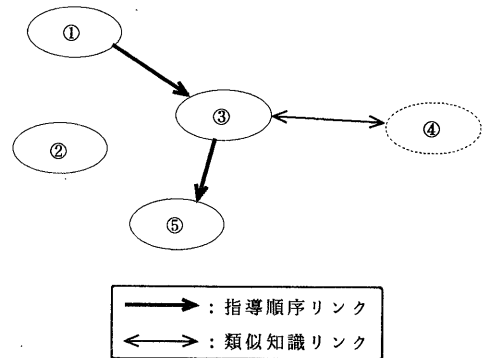


図10 計画開始モードのため教材例

5.3 計画修正モードの計画立案

教授状況により、指導計画に修正が必要になる。これは問題に対する解答の診断結果に誤りが検出された場合である。この場合、診断結果によって修正・立案される指導計画案が異なってくる。ここでは、誤りを正す再教育の指導案を一般的に述べる。

誤った解答を発生した問題に対しての目的知識リンクが指す説明項目の理解状況を検証し、以下のように指導計画案を決定する。

- 1) 理解状況が良い場合、簡単な誤りメッセージによる誤り示唆を行い、指導計画を続行する。
- 2) 理解状況が普通の場合、誤りを直接指摘し、その誤り原因となった問題を含む学習単位の必要知識における説明項目を参照・提示する。
- 3) 理解状況が良くない場合、説明項目を解説し、同種例題がある場合には再提示する。

この後、学習者モデルの理解状況を変更する。

5.4 学習者モードの計画立案

学習者が希望する学習範囲を提示した場合、システムはそれを受け入れる必要がある。この場合、システムは学習者が希望する教授を選択できるように指導計画を立案できなければならない。そして、学習者が希望する学習内容を指導計画内に組み込むことが必要となる。この際、現在進行中の指導計画を中断し、希望する学習内容に対して次のように指導計画を立てる。

- ① 学習者が選択した学習単位を指導案とする。
- ② 同学習単位の必要知識内で未学習のものを、階層構造における順序に従って指導案とし、同学習単位の前に加える。
- ③ ②と同じ処理を指導計画の前の学習単位から再帰的に行う。ただし、その途中で発生した学習単位と同じものが、計画の前の部分に既に存在する場合はこれを省略する。必要知識がなくなれば、計画作成を停止する。

たとえば、図 1 1 のように学習単位のネットワークが構成される教材について指導計画案を構成する。ただし、図 1 1 において楕円は学習単位を表し、その①から⑥の数字は階層構造における相対的な順序関係を表している。また、これらには学習済みの学習単位を含まないものとする。このとき、太線の楕円で表示した学習単位に対して指導計画案は次のようになる。

((学習 ①)(学習 ②)(学習 ⑤)(学習 ③)
(学習 ④)(学習 ⑥)(学習 [希望学習単位]))

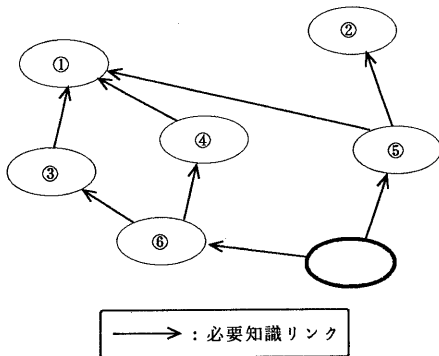


図 1 1 学習者モードのための教材例

6. おわりに

本稿では、指導計画に対する教材構造の役割について検討し、その役割に基づいて教材構造を考察した。さらに、その個別指導への適用に対してシナリオ機構を構成した。最後に、この教材構造とシナリオ機構に基づいた個別指導の計画立案について検討した。これらにより、本稿の教材構造、シナリオ機構が個別指導のための一つの枠組みとして有効であることを確認できた。

しかし、実際にはいくつかの問題点がある。

まず専門知識教材中に、システムによる問題解決プロセスのための知識が欠如していることや、指導計画に対して学習者モデルからの視点に立った検討ができていないことが挙げられる。また、今回検討した専門知識教材及び指導計画各モジュールを実現し、問題点を明確にしなければならない。しかし、そのためには作成された教材、あるいはシナリオの矛盾点を検証できる機能が必要である。これらを今後の課題とし、早急に対処する予定である。

謝辞

本研究を進めるにあたり、日々ご指導いただいている本学工学部稲垣康善教授、鳥脇純一郎教授、中京大学情報科学部福村晃夫教授、並びに日頃より熱心に討論していただいた藤居藤樹君を初め、杉江研究室の皆様と色々配慮いただき杉野花津江氏に感謝します。

参考文献

- 1) D. Sleeman & J. S. Brown: Intelligent Tutoring Systems, Academic Press, Inc. (1982), 和訳/人工知能と知的 C A I システム, P. 418, 講談社(1987)。
- 2) E. Wenger: Artificial Intelligence and Tutoring Systems, P. 432, Morgan Kaufmann Publishers, Inc. (1987)。
- 3) R. Winkels: A New Framework for Describing and Designing Intelligent Tutoring Systems, Artificial Intelligence in Higher Education, pp. 230-243 (1989)。
- 4) 豊田, 中村: 知的 C A I における知識表現と教授法, 情報処理, Vol. 29, No. 11, pp. 1266-1282 (1988)。
- 5) 加藤他: L I S P - C A I システムにおける診断と計画機能, 情報処理学会コンピュータと教育研究会報告, Vol. 90, No. 39 (1990)。
- 6) 田中他: 知的 C A I における教材モデル, 平成 2 年度電気関係学会東海支部連合大会講演論文集, pp. 512。
- 7) 田中他: 学習単位相互のネットワークに基づいた教材モデル, 信学技報, Vol. 90, No. 284, pp. 21-28 (1990)。