

ハイパーテキストによる知識の伝達とその評価

渋澤 良裕¹ 渡辺 成良² 宮道 壽一³

¹ 群馬大学電気電子工学科 ² 電気通信大学電子情報学科 ³ 宇都宮大学情報工学科

コンピュータによる知識の伝達は、教室において教師が複数の学生に教授する授業方式に比べ、学生の知識状態に適合した個別の学習環境が提供できる可能性があるために注目されている。ハイパーテキストは教科書のもつ逐次的な知識の伝達方法に加えて、コンピュータのもつランダムアクセス機能によって非逐次的な学習環境を提供できる利点がある。知的な教育システムを目指すITSの研究でも、どのような方法で学習者に知識を伝達しそれを定着させるかが問題とされている。本文は知識をハイパーテキストで学習し、知識を定着させるためにITSによって演習する方法を提案する。このために、テキストのページに対応するカードの書き方、カードを関連づけるリンクの張り方を説明する。さらにハイパーテキストを用いた学習者の学習過程を追跡するプログラムを示す。ハイパーテキストはテキストや例題による学習過程で利用する。この過程を終了した学習者は問題を解決する知識の定着過程に移る。学習者は学習過程の知識状態に基づいて問題を解決しようとするから、学習過程で学習者が開いたカードを追跡して学習者の観点や行き詰まりを推定する方法を説明する。提案した方法で学習した場合と授業によって学習した場合についての演習の差を調べた結果、明らかな違いが見られたので報告する。

KNOWLEDGE COMMUNICATION BY HYPERTEXT AND ITS EVALUATION

Yoshihiro Shibusawa¹ Shigeyoshi Watanabe² Jyuichi Miyamichi³

¹Gunma University ²University of Electro-Communications ³Utsunomiya University

This paper presents a method of making cards of HyperText and linking them in teaching circuit analysis by ITS (Intelligent Tutoring Systems). HyperText gives students a nonlinear learning environment and their learning process can be traced by HyperTalk. Since student's learning process depends on his knowledge state, the history of the process presents us the information of texts and examples learned, his viewpoint, his impasse and so on. Before practicing problem solving by using an ITS, students learn lessons and examples by browsing HyperText. The result of their learning process determines initial state of the student model of ITS. In the process of problem solving the ITS controls interaction with the students according to their student models. For evaluating the effectiveness of our proposed idea, we prepared two different learning environments for students. One group of students was learned a lesson theory and examples by lecture and the other was learned by HyperText. Two groups practiced problem solving by ITS and the effectiveness was evaluated by pre- and post-tests.

1. まえがき

コンピュータによって学習者の知識獲得を支援するITSの研究が様々になされてきた⁽¹⁾。知識獲得の支援方法として、テキストや例題を通して伝達される知識の学習過程と、学習した知識を用いて問題を解決する知識の定着過程からなるITSを構築することが考えられる^{(2)・(3)}。学習者とITSとの対話過程は学習者の知識状態によって様々に変化するから、知識状態の推定は対話の制御に欠かせない。例えば、学習者は知識状態に基づいて解釈したり質問したりするから、ITSの応答は学習者の知識状態に適応して生成されるのが望ましい。最近、この知識状態に関係したITSの研究が展開されつつある^{(4)・(5)・(6)}。

さて学習者の知識状態は様々だから、通常の授業やテキスト・例題による知識の逐次的伝達は、必ずしも学習者にとって最適な学習過程となっていない。ハイパーテキストは学習者に非逐次的な学習環境を提供できることから、コンピュータによる知識獲得支援ツールとして注目されている^{(7)・(8)}。学習者はコンピュータ画面を操作することによって、予め作成されたテキスト・例題を知識状態に応じて飛び越したり戻ったりしながら学習することができる。このとき、伝達知識を記述するテキストや知識が実際に適用される例題の表現形式は一般に多様である。そして伝達知識が同じでもその表現形式が異なれば、学習者の知識状態によって知識を正しく理解できないことがある。

そこで同一の伝達知識のテキスト・例題をいくつかの異なる観点でハイパーテキストに表現し、学習過程を追跡して学習者が選択した観点やテキスト・例題を特定し、その結果を学習過程の知識状態とする方法を考案した。この方法によれば、学習者は自分により理解しやすい観点で表現されたテキスト・例題を選びながら学習でき、しかもITSは定着過程で必要となる学習者の知識状態を学習者の選択結果から推論することが可能になる。

このようにハイパーテキストを学習者の知識状態の推論ツールの一つとして利用するためには、テキストのページに対応するカードの書き方、カード間の関連づけに対応する結合リンクの張り方、および学習過程の追跡に十分注意する必要がある。本文はこれら3つを考慮したハイパーテキストの例を示し、学習過程の追跡プログラムが作成できたので報告する。2. ではITSにおける学習形態、3. では伝達知識の分類に従ったカードの書き方と伝達知識間の結合リンクの張り方、4. では学習過程の追跡法、5. ではシステム評価を示す。

2. 学習形態

ITSと学習者との知識の相互伝達では、学習者からITSへの知識の伝達方法が限定されているため、学習者がITSに知識状態を正確に伝達できないことがある。人と人との間での知識の相互伝達では、知識状態はしばしば説明によって相手に伝えられる。教師が生徒に教材知識を教える場面では、新しい知識であっても教師は生徒が理解できる表現形式で説明しようとする。生徒は言葉や図、表などの表現形式で伝達された知識を、これまでに獲得した知識や常識を用いて解釈し、理解できないときは質問する。

また生徒は伝達知識を教師の質問に答えたり問題解決において使用することによって、次第に理解を深めていく。すなわち学習者は教材知識を

- (1) 知識状態に基づいて解釈する
 - (2) 問題解決に適用する
 - (3) 適用した結果を評価して知識状態を更新する
- 過程を繰り返して獲得すると考えられる。

学習者のITSへの知識の伝達はこのような動的な知識状態に基づいて行われている。このため、教材知識の獲得過程における学習者の知識状態のモデル(理解モデル)の研究は、学習者に適合した適切な個別指導を可能にするために重要である。

本文ではそのような理解モデルは学習者が

- (1) テキストから事実や法則を学ぶ、
 - (2) 事実や法則の適用例を学ぶ、
 - (3) 事実や法則を適用して問題を解く、
- 問題解決過程で更新されると仮定する。そこでITSの学習形態をこの3段階で構成する。そしてテキスト・例題学習が終了した時点、問題解決過程の途中、および定められた問題が全て解決できた時点のそれぞれの理解モデルを、初期、動的および理想の理解モデルと呼ぶことにする。初期理解モデルはハイパーテキストによって学習した学習者の知識状態であり、問題解決過程における動的理解モデルの初期状態でもある。

2. 1 学習過程

テキストと例題による2学習を学習過程と呼ぶ。教材知識は文章や図、表などを用いてテキスト中に逐次的に編集されている。テキスト学習は、授業のように学習者の知識状態と関係なく教材知識が逐次的に伝達されていくのと異なり、学習者の意志によってテキストの学習順序を自由に変更することができる利点がある。またこの段階の途中で例題学習に移行したり、すでに学んだ知識(プリミティブ)を復習したりすることも可能である。

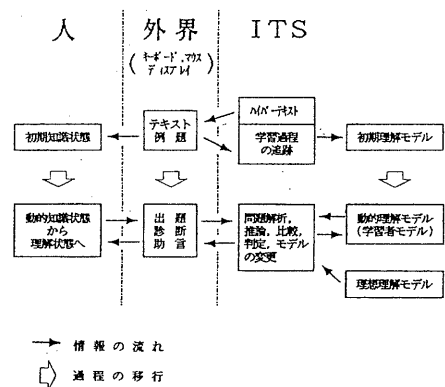


図1 ITSを用いた知識の学習・定着過程

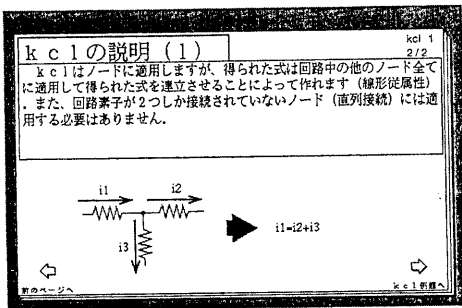
例題学習では、テキスト学習で知った教材知識が実際どのように用いられているかを学ぶ。学習者は例題に示された説明の解釈過程で教材知識が適用できる条件や適用手順を学んだり、教材知識の誤った理解や不明確な理解に気付いてテキストを読み直したりできる。学習者の知識状態が把握しにくい学習過程では、ITSは学習者に非逐次的な学習環境を提供するだけで、質問に答えたり質問したりしない。

2.2 定着過程

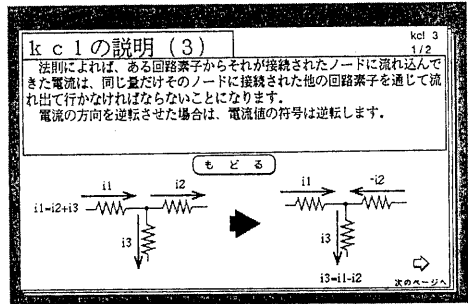
学習過程では学習者に教材知識の概念や原理の自主的な理解を促すことになるが、定着過程では教材知識を問題解決に適用して問題を解決するスキルを獲得させることになる。学習者が学習過程で発見できなかった知識状態の誤りを発見したり、問題解決に必要な知識を実用的な規模に再構成(チャンク化)するためには、学習者にとって知識の定着過程が必要になる。そこで定着段階でのITSの役割は、

- (1) 学習者に知識状態の誤りを発見させ、あるいは指摘して、学習者を正しい知識状態に導くこと
- (2) 学習者に適切な問題解決手順を発見させ、あるいは紹介して、知識のチャンク化を促すことになる。

ITSの研究は従来、この知識の定着において数々の有用な成果を得ており、学習者の知識状態に適合した個別指導の研究が重要視されている^{(9)・(10)}。学習者モデルはこの定着段階における理解モデルに対応している⁽¹¹⁾。ところが学習過程を終了して定着過程に進んだ時点の学習者の理解モデル、すなわち初期理解モデルの構成について、従来から明白な議論がなされていない。定着過程の学習者は、始めは学習過程に大きく依存してテキストや例題に示された知識を直接的あるいは自分なりに解釈して問題解決に適用しようとする。このために、ITSによる定着段階の個別指導では図1が示すように、学習過程の追跡データから構築される初期理解モデルを用いて、そのモデルと定着過程の目標である理想理解モデルとの差を明らかにし、その差を解消するように学習者を指導する方略が適用される必要がある。本文ではこのような指導方略は議論しない。

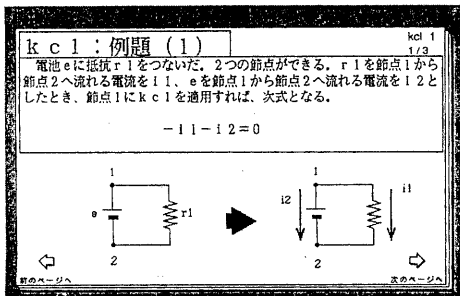


(a) 保存則の観点

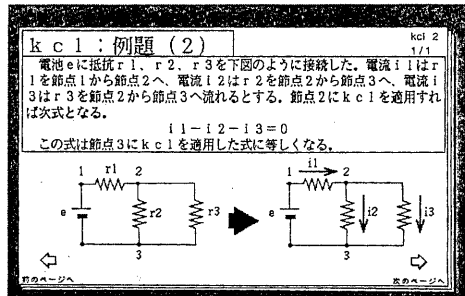


(b) 流れの類推

図2 異なる観点からの説明の例



(a) 単純な問題



(b) 標準問題

図3 異なる状況の例題カードの例

3. ハイパーテキスト

ハイパーテキストはコンピュータが取り扱うことができるテキスト情報である。書物などのテキストは情報の1単位であるページが順に並んだ線形構造をしているが、ハイパーテキストは情報の1単位であるカードに別のカードとの結合リンクを任意に張ることができるため非線形構造にすることができる。1枚のカードには飛び越しの起点となるボタンが複数個設定できる。学習者はボタンを指定することにより、そのカードからボタンにリンクされたカードへ飛び越すことができる。

ハイパーテキストは学習者にこのような非逐次的な情報の検索環境を提供できることから高機能の知識伝達ツールとして注目され、様々な画面・音声操作技術を駆使する研究が進められてきた。しかしコンピュータの機能や概念を学習する場合を除いて、学習者がコンピュータの操作を意識せずに伝達知識の学習に集中できるように、単純で明解な操作環境がITSに要求される。例えばコンピュータに馴染みのない学習者は複雑な機能が利用できないために、結果として学習効果が上がらなかったということもあり得る。そこでこの章では単純で明解な操作性を考慮した情報の記述法とリンクの張り方に関して述べる。

3. 1 伝達知識の表現

知識状態が多様な学習者を対象にしてハイパーテキストを作成するためには、コンピュータの表示画面と対応したカードに、どのような情報をどのように表現するかを決定しなければならない。そこでテキスト学習のための教材は、新しい知識を伝達する主媒体に言語を、概念化の手助けに図を用いることを原則に、

- (1) 新しい知識はそれぞれ1つずつ、連続したカード上に説明する、
- (2) 形状、配置、動作などは説明と一緒に図で示す、
- (3) 新しい知識は必ず異なるいくつかの観点で説明する、
- (4) 新しい知識はすでに学習済みの知識（プリミティブ）と常識を用いて説明する、
- (5) どのプリミティブにもリンクを張り、プリミティブを説明するカードを用意する。

キルヒホッフの電流則について考えよう。電流則は図2 (a)、(b)のカードで説明されるように、

- ・電流は保存される
- ・電流は連続である

というそれぞれ異なった観点で表現できる。通常の教科書では保存則による説明が一般的であるが、流れの方向と量の関係が水流に類似していることから、電流を水流に例え

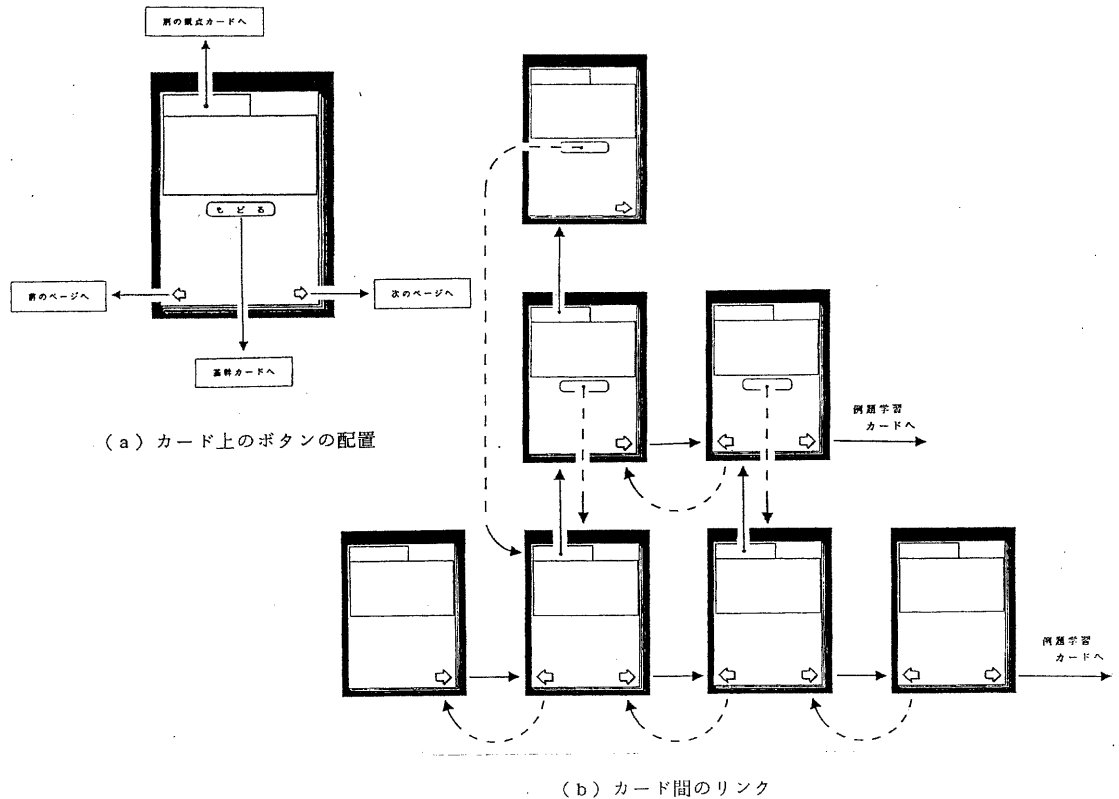


図4 ボタンとリンクの関連

で理解している学習者が電流の符号と向きに関係に気付かない場合には、保存則は理解しにくい。いずれの説明が学習者にとって分かりやすいかは学習者の知識状態に依存する。このため、異なった観点で記述したカードを作成することは重要である。ここで最も一般的な観点で説明したカードを主カード、それを副カードと呼ぶことにする。

理解を促進する方法に例題学習があることは2. で述べた。例題学習のためのカードは、新しい知識の適用場面を示すものである。例題学習のカード作成においてもテキスト学習と同様の原則が適用される。図3 (a)、(b)はキルヒホッフの電流則に対する例題である。

これらカード作成の原則は、学習者が理解しやすい表現形式であることを要求しているだけでなく、学習者がカードを開いたときに、伝達知識をどのような観点とプリミティブによって理解しようとしているかを明白にするためのものでもある。

3. 2 カードとリンク

単純な操作によって非逐次的な学習過程を達成するために以下のような方法を採用した。教科書のページのように、カードの逐次的な関係は図2に示した2つのボタンである左矢印(前のページに対応するカードへリンクする)と右矢印(次のページに対応するカードへリンクする)のどちらかを指定することにより与える。同図(a)の主カードは必ずこの逐次的な関係にあるカードの並び(これを基幹カード群と呼ぶ)に含まれる。同図を見ればわかるように、各カードにはそれぞれの先頭にカード名(この例はkc1の説明(1)である)がつけられた枠がある。この枠もボタンになっており、これを指定すれば主カードと異なる観点で説明された同図(b)のような副カードに飛び越すことができる。この図のカードにもカード名が付けられており、もし異なる観点の説明がさらにあればここにボタンが設定される。従ってこの枠を指定したとき、ボタンがあれば新たな副カードに飛び越すことができるが、何も応答がなければ「元へ戻る」のボタンによって基幹カード群へ戻ることができる。

新しい知識ごとに一連の逐次的な関係にあるカードが基幹カード群として作成されており、その基幹カード群と異なる観点のカードがリンクされている。このようなテキスト学習カードの次に、その知識の例題学習カードが続く。例題学習カードは、易しい状況から難しい状況へとカードが逐次的に並べられている。新しい知識に対する学習過程のカードがすべて関係づけられれば、次の新しい知識のカードが同様に接続されていく。

図4(a)はカード上のボタン位置を示している。同図(b)ではボタンの指定によるリンクの違いを示している。テキストの作成では当然統一した観点で説明を行うのが望ましい。また例題における説明もその観点から行うべきである。したがって図4(b)の行並びのカードは、同一の観点で説明されている。このため、異なる観点のカードを捜すために列方向へ移動するときには、学習者はカード名のボタンを指定することになる。このように列方向の移動は、学習過程に入るときの知識状態で解釈可能な説明を学習者が扱っていると考えるべきである。

さてプリミティブのボタンは、各カード中のどのプリミティブについても設定されている。図2(a)のノードについてリンクされたカード例を図5に示す。このカードは、カード名がボタンになっていれば、別の観点から説明されたカードに飛び越せるし、「元へ戻る」ボタンによってこのカードを呼び出したカードへ戻ることができる。

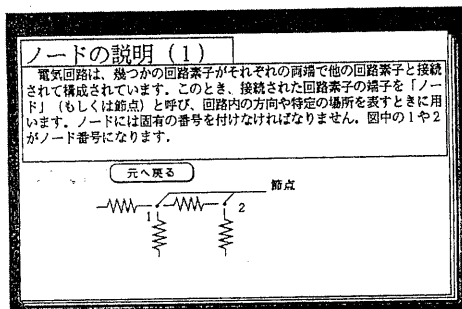


図5 プリミティブのカード例

4. 学習過程の追跡

学習者が開いたカードの内容と順序は学習者がカードから得た情報の履歴である。教科書における拾い読みで生じるように、学習者が望む情報が開いたカードに必ず記述されているとは限らない。このため開いたカードの内容は学習者にとって必要な情報を必ず含んでいるとは断定できないが、初めて開いたカードについては、このカードから学習者は何等かの情報を得たと仮定できる。

ハイパーテキストによって伝達される知識のモデルを理想理解モデルとする。理想理解モデルは定着過程におけるITSの理想の学習者モデルでもある。観点の相違はITSの対話に反映される。定着過程における学習者の誤り指摘や助言が学習者の観点に立って行われれば、その応答は学習者にとって理解しやすい。基幹カード群を作製順序に忠実に従って学習した学習者の初期理解モデルは、理想理解モデルと一致させることができる。また、基幹カード群の学習過程でプリミティブのカードを開いたり途中で引き返した場合の初期理解モデルは、理想理解モデルの対応した要素が不十分な理解としたモデルである。基幹カード群で開かれなかったカードについては欠落しているとしたモデルである。ハイパーテキストの追跡結果はこのような初期状態の設定と対話の制御に利用される。以下では学習者が開いたカードの記録と、初期理解モデルの推定について述べる。

4. 1 追跡ツール

実際に電気回路のキルヒホッフの2法則を説明するハイパーテキストを、アップル社マッキントッシュのハイパーカードに作り上げた。さらにオブジェクト指向型言語に類似の機能をもつハイパートークを用いて学習過程を追跡するスクリプトを図6のように作成した。スクリプトは学習

者がボタンで指定したカード名を記録するプログラムであり、カード名が指定された順序にしたがって記録される。プログラムは単にカード名しか記録していないが、3.1節の原則のために、開いたカードから学習者の観点と伝

```

on openCard
  global Switch
  if Switch is "yes"
    then
      put "no" into Switch
      EXIT openCard
  END IF
  put line 1 of bkgnd field "Title" into X
  set lockScreen to true
  push card
  go to card "モデルカード"
  put X after bkgnd field "モデル"
  put "," after bkgnd field "モデル"
  put "yes" into Switch
  pop card
  set lockScreen to false
end openCard

```

図6 スクリプトのプログラム

達知識を特定できる。また3.2節のカードとリンクの関係から、観点の変更やプリミティブの呼び出しなどがこの記録からわかる。例えば図7はある学習履歴の途中結果から作製した追跡の記録である。図中の記述、例えばk c 1の説明(1) [1/2]、k c 1の説明(3) [1/2]、k c 1:例題(1) [1/3]、およびk c 1:例題(2) [1/1]はそれぞれ、図2(a)、(b)、図3(a)、(b)に対応しており、[1/2]は説明カードが2枚あって、その1枚目を意味する。矢印の番号は開かれた順番を示す。

図7は次のように解釈できる。テキスト学習のカードは、学習を進めるときのボタンの使用法を説明している。学習者はこのカードから必ず出発する。学習者は保存則による主カードの観点(矢印の1)が理解できないのか、別の観点(粒度がより細かい保存則)の説明カードを選択した(2、3)。その観点のカードはすべて開いたがそれだけでは満足せずに、また別の観点(水流)のカードを開いてみた(4、5)。しかしそれには興味がなかったので主カードに戻り(6)、基幹カード群を定められた順序で開いて例題学習に進んだ(7、8、9)。図3(a)の次のカードで行き詰まったため、その内容が理解できるテキストカードまで戻った(10、11、12)。理解できたので行き詰まったカードまで進み(13、14、15)、さらに例題学習を続けた(16、17)。

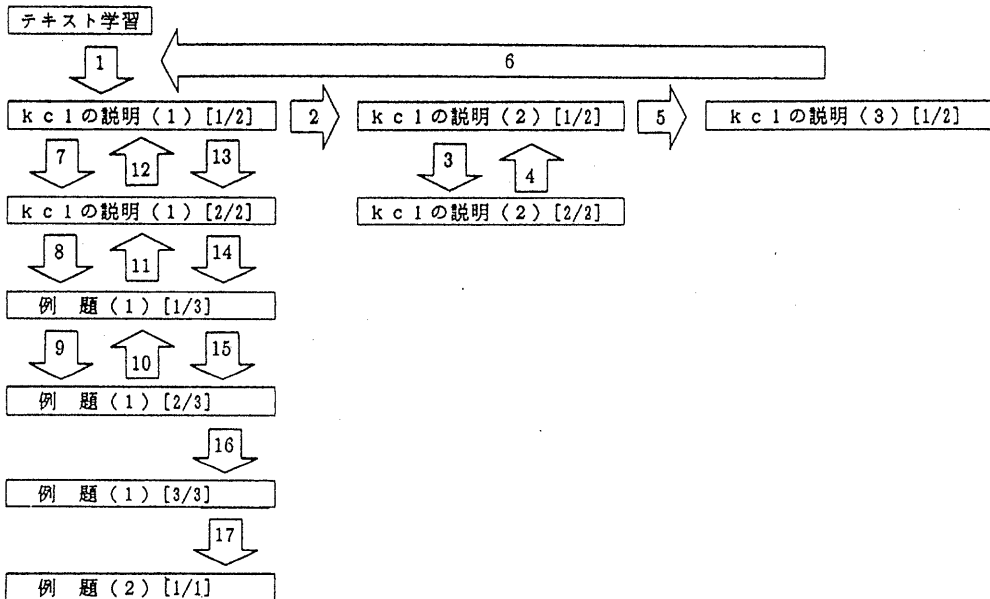


図7 学習過程の記録の例

4. 2 追跡結果の利用法

追跡結果の解釈は現在プログラムで行えないが、将来はこの解釈を用いて定着過程のための初期理解モデルの決定と対話の制御に利用する。例えば図7は、

- (1) 学習者は保存則の観点で学習した
- (2) 細かい粒度の保存則を学習した
- (3) 例題学習で不十分な理解が判明した

と解釈できるから、細かい粒度の保存則の観点で誤り指摘や助言を行い、モデルの初期状態としてはk c lについて不十分な理解とした理想理解モデルを考えることになる。

例えば文献(9)のITSはキルヒホッフの電流則と電圧則の正しい理解をスクリプトで表現した学習者モデルを用いている。スクリプトには伝達知識やプリミティブに対応したスロットがあり、誤りの記号を埋めることができる。またITSは学習者モデルの解析結果から問題を選択する機能や、指導方略としてシステムの指導に従って問題を解決していくシステム主導型と学習者が誤ったり助言を求めたときだけシステムが支援する学習者主導のフィードバック機能をもつ。問題や指導方略は学習者の知識状態に依存するためにこれまでは適切な初期値が決定できなかった。しかし今後は学習過程の追跡結果を用いることができるからこれらの困難さは解消できるであろう。

双方主導型ITSは学習者との知識の相互伝達を可能にするために、研究の重要な対象になっている⁽¹⁾。学習者は問題解決や質問を行う場合に、学習者もつ知識状態に応じた行動をとると考えられる。このために、問題解決の過程で生じたバグの原因や行き詰まり打開のための質問は、この知識状態から生成されると考えてよい。学習者の問題解決や質問は学習過程で伝達された知識に関連しているはずだから、バグや行き詰まりは伝達知識の学習過程に関係していると仮定できる。したがって、学習者から得られた学習過程の記録を用いてこの原因を推論したり異なる観点から対話を制御する方法は、この仮定が成立する事例に対して有効な双方主導型対話環境を提供できることになる。

ここで示したハイパーテキストは、

- (1) 伝達知識の理解モデルをいくつかの異なる観点からなるカードで記述しリンクを付ける
- (2) 授業の代わりとして利用する
- (3) 学習履歴を記録する

ことができるだけでなく、機能が十分ではないけれども、学習者の知識状態を推論するための実験ツールとして利用できることがわかる。

5. システム評価

学習者の理解状態を試験の点数で評価することにした。まず最初に、14名の学生(大学2年および3年生)に対して、前々試験(プリミティブの理解を問う問題4題から構成される)を30分行った。その結果を用いて、学生を平均点が等しい7名づつの組(講義組とm a c組)にわけた。システムの評価は以下の手順に従って行われた。

<学習過程>

学生が伝達知識を学習する学習過程では、講義組が教師による1時間の講義を受講した。またm a c組はマッキン

トッシュを用いたハイパーテキストを最大1時間にわたって学習した。

<前試験>

伝達知識の理解を問う問題3題から構成される前試験を、14名全員に受けさせた。

<定着過程>

学生に伝達知識を定着させる定着過程では、14名全員にチュータ主導直接指導方略を適用したITS^[6]を1時間使用させた。

<後試験>

前試験より難しい伝達知識の理解を問う問題3題から構成される後試験を14名全員に受けさせた。

図8はプリミティブな知識の理解を問う前々試験の結果である。2つの組の学生ごとに成績が示してある。横軸の番号は学生を示す。図9は前試験と後試験の結果を示し、図10は後試験と前試験の差が示されている。図10の講義組では、前試験の高得点者に比べて低得点者にITSが有効に機能したことがわかる。文献(6)の報告でも同様な傾向が得られた。これに対してm a c組では、講義組と比べて低得点者がやや悪い結果になったが、高得点者に有効に機能した例が含まれている。このような傾向が正しいかどうかを調べるために、より多くの学生を対象にシステム評価を続けなければならない。

6. おわりに

ITSのための学習過程支援ツールとしてハイパーテキストの利用法を提案した。作成したハイパーテキストを筆者らが開発した電気回路のITS⁽⁹⁾のテキスト・例題学習に用いて評価した結果、授業の代わりに使用しても理解に悪い影響を与えないことがわかった。それまでは授業形式でテキストの内容を伝達していたために、どの学習者も同一の表現を同一の時間内に理解することになり、定着過程に移行する時点の知識状態に大きな差が見られた。しかし、ハイパーテキストでの学習は学習者に自主的な学習環境を提供できたために、利用した学習者から授業よりも勉強し易いという回答を得ている。

ITSと学習者との双方主導型の対話を実現するためには、伝達知識の学習過程における学習者の知識状態に対応する理解モデルをITSに持たせなければならない。本文ではハイパーテキストが学習者に多様な学習環境を提供できるだけでなく、ハイパーテキストによる学習過程の追跡データがITSによる知識の定着過程支援に必要な学習者モデルの事例として利用できることを述べた。このような利用を可能にするために、ハイパーテキストの作成法を述べ、学習過程の追跡プログラムの例を示した。

今後は学習過程の追跡データから理解モデルを生成する方法とその有効性について議論しなければならない。

なお、本研究は文部省科学研究費重点領域研究(1)課題番号03245106による。

7. 参考文献

- [1] E. Wenger : "Artificial intelligence and tutoring systems", Morgan Kaufmann Publishers.

(1987).

- [2] M.T.H. Chi, M. Bassok, M. Lewis, P. Reimann and R. Glaser: "Self explanation: How students study and use examples in learning to solve problems", *Cognitive Science*, 13, pp.145-182 (1989)
- [3] 大槻説乎、竹内章: "知的C A Iにおける高度個別化に関する研究"、電子情報通信学会教育工学研究会、90, 4, pp.21-28 (1990)
- [4] 大槻説乎、竹内章、有村博紀、森英一: "マイクロワールド型C A Iと学習者の意図の推定"、情報処理学会コンピュータと教育研究報告、91, 33, pp.137-144 (1991)
- [5] T. Hirashima, Y. Nakamura, M. Ikeda, R. Mizoguchi and J. Toyoda: "A cognitive model for ITS", *Advanced Research on Computers in Education*, R.Lewis and S.Otsuki (Editors), Elsevier Science Publisher, pp.211-217 (1991)
- [6] 渡辺成良、波澤良裕: "伝達知識の理解モデルに依存したITSの指導方略"、電子情報通信学会教育工学研究会、91, 21, pp.43-50 (1991)
- [7] 田中譲: "プラットフォームとしてのハイパーメディア"、情報処理学会第42回全国大会「チュートリアル・セッション」資料、pp.1-15 (1991)
- [8] T. Marray and B.P. Woolf: "A knowledge acquisition tool for intelligent computer tutors", *SIGART Bulletin*, 2, 2, 1-13 (1990)
- [9] S. Watanabe, J. Miyamichi and I.R. Katz: "Teaching circuit analysis: A Mixed-initiative intelligent tutoring system and its evaluation", *Advanced Research on Computers in Education*, R.Lewis and S.Otsuki (Editors), Elsevier Science Publisher, pp.81-87 (1991)
- [10] J.R. Anderson, C.F. Boyle, A.T. Corbett and M.W. Lewis: "Cognitive modeling and intelligent tutoring", *Artificial Intelligence*, 42, 1, pp.7-50 (1990)

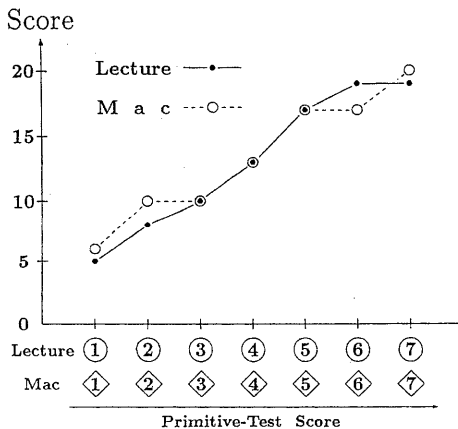
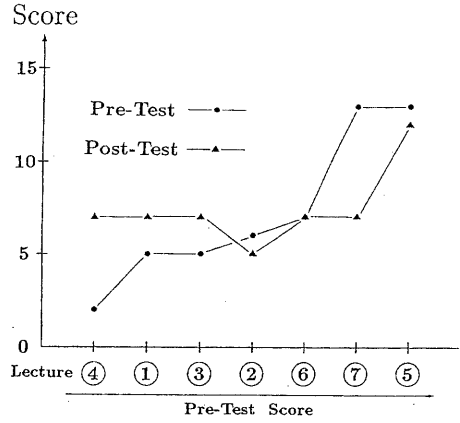
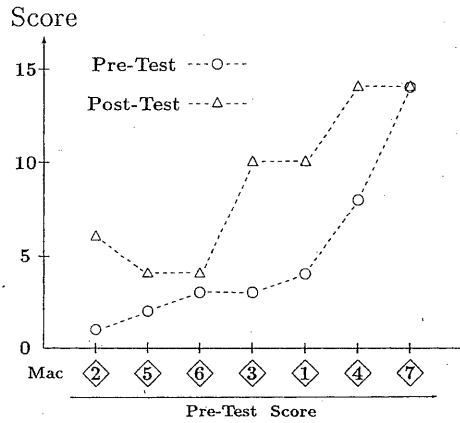


図8 前々試験の成績



(a) 講義組



(b) m a c 組

図9 前試験と後試験の成績

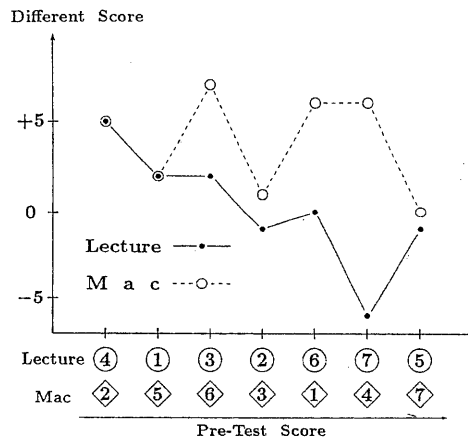


図10 後試験と前試験との差