

説明による教育的支援の高度化に関する検討

- 対象理解支援システムLEIEC/Iの開発 -

柏原 昭博 西川 智彦 桐生 健一 平島 宗 豊田 順一

大阪大学産業科学研究所

電気回路やプログラムなどの対象の理解を説明によって教育的に支援するITSでは、(1)学生の理解を説明によって誘導する機能、(2)学生の質問に応答する機能が重要である。さらに、各機能では、学生の理解状態や教育状況などを考慮して支援に用いる説明を使い分けることができなければならない。筆者らは、このような機能を持つITSとしてLEIEC/Iを開発した。LEIEC/Iは、電気回路の理解を支援するシステムであり、(a)電気回路に関する説明の整理、(b)整理した説明を可能とする説明機能のためのモデルEXSELの開発、(c)理解誘導および質問応答のためのEXSELの運用方法の整備、を完了している。本稿では、LEIEC/Iの設計・開発について述べる。

Advanced Learning Environment Based on Intelligent Explanation Capability

- ITS for Object Understanding Support : LEIEC/I -

Akihiro KASHIHARA Tomohiko NISHIKAWA Ken'ichi KIRYU

Tsukasa HIRASHIMA Jun'ichi TOYODA

I.S.I.R., Osaka University

8-1, Mihogaoka, Ibaraki, Osaka 567 Japan

This paper describes our ITS, LEIEC/I (Learning Environment based on Intelligent Explanation Capability/I) which aims at providing advanced instruction based on explanation. LEIEC/I supports a student's understanding of electric circuits by using various explanations. LEIEC/I has two functions, one is to guide his/her understanding and the other is to answer his/her questions. Moreover, LEIEC/I can use explanations properly according to his/her understanding states and the context of instruction. In order to realize these functions, we have (1) classified various explanations about a circuit, (2) provided explanation capability to generate classified explanations, and (3) provided the ways to manage the explanation capability for guiding a student and answering his/her questions.

1. 序論

ITSの研究目的は、人間の教師による高度な教育的支援を計算機上で実現することにある。従来のITS研究の多くは、問題解決過程、学生モデル（誤りのモデル化）を検討することによって、「問題解決過程における助言や誤りの指摘」、「問題解決の繰返し（演習）」による支援の高度化を試みている。しかしながら、対象物の理解支援などでは、これらの支援だけでなく「対象物に関する説明」による教育的支援が重視されているが、説明による支援に関してこれまで十分な検討が行われていない。説明による支援方法の確立は、ITS研究における重要な課題の一つであると考えられる^[1]。本稿では、説明が特に有力な支援手段となる領域として対象の理解を取りあげ、説明による教育的支援の高度化に必要な枠組みについて検討する。また、その検討に基づき筆者らが現在設計・開発を進めているITS、LEIEC/I (Learning Environment based on Intelligent Explanation Capability/I)^[2]について述べる。ここで、対象とは電気回路やプログラムなどの人間によって設計された対象物を指し、LEIEC/Iでは特に電気回路を対象としている。

対象の理解を支援するITSでは、(1)学生の理解を説明によって誘導する機能、(2)ITSが与えた説明や対象そのものに対する学生の質問に応答する機能、の二つが基本機能として重要であり、さらに(3)(1),(2)をうまく運用して学生とシステムが双方に主導権をとり合い対話を行うための機能が、必要になると考えられる。特に、(1),(2)では、学生の理解状態や教育状況に応じて対象に関する説明をどのように使い分けられるかが支援の高度化に重要な課題となる。そこで、本稿では(1),(2)の基本機能について述べる。

STEAMER^[3]に代表される従来の対象理解支援システムでは、対象を操作するための仮想的な実験環境を提供し、学生の自由な操作に対してシミュレーションなどの実験結果を与える機能が重視されている。この機能は、学生の操作をシステムへの問い合わせ（質問）として、システムが与える実験結果を質問に対する応答（説明）として捉えらる(2)に相当する。しかしながら、システムが主導権をとって積極的に学生の理解を誘導するための機能を持たない場合が多い。これは、対象を操作するためのよい実験環境を提供すれば、かなりの教育効果を期待できることを前提としているためであり、またシステムから与えられる説明を十分に理解可能な学生を想定しているためである。

対象の理解をより高度に支援するためには、学生からの質問に応答するだけでなく、積極的に説明を与えて学生の理解を誘導する機能が不可欠であると考えられる。LEIEC/Iでは、(2)だけでなく(1)の機能によって教育的支援の高度化を指向する。そのために、まず電気回路に対する様々な説明を整理しており、さらに整理した説明を可能とする説明機能としてEXSEL (EXplanation Structure model) を利用している。EXSELは、説明の資源となるデータ構造（説明構造と呼ぶ。）を生成する機構のためのモデルとして筆者らが開発したものである^[4]。また、学生の理解誘導・質問応答のためにEXSELを運用することにより支援に用いる説明の使い分けを可能にしている^{[1]、[2]}。

以下、2.では人間の教師による教育的支援に関する考

察を通して、説明による教育的支援に必要な枠組み、およびITSの設計・開発について検討する。3.では、LEIEC/Iについて概説する。4., 5.では、LEIEC/Iが持つ学生の理解誘導、および質問応答について詳述する。6.ではLEIEC/Iでの対話例を示す。

2. 説明による教育的支援に必要な枠組み

対象の理解では、定性的に対象を捉える能力の重要性が指摘されている^[3]。本章では、このような能力を、対象に関する定性的な説明によって支援する立場から、教育的支援に必要な枠組みについて検討する。以下、説明は定性的な説明を指すものとする。

2.1 人間の教師による教育的支援に対する考察

一般に電気回路などの一つの対象に対して、定性的に様々な説明を行うことができる。人間の教師が説明によって教育的支援を行う場合、対象に関するこれらの様々な説明を用いて学生の理解を柔軟に支援することができる。特に、①対象に関する説明や質問・ヒントを与えることによって学生の理解を誘導する、②与えた説明や対象そのものに対する学生からの質問に適切に応答する、の二つの教育行動が重要である。説明による教育的支援では、②における教師の応答も対象に関する一つの説明であると捉えることができる。①は教師が主導権をとり支援目的の達成を図る場合にとられる教育行動であり、②は学生が主導権を握って自由に発する質問に呼応してとられる教育行動である。それぞれの教育行動によって学生に与えられる教育は異なった形式になるが、ともに支援目的を達成するためのものである。

また、一つの対象の理解を支援する場合でも、一般に対象に関する何を理解させるのか、すなわち支援目的には様々なものが考えられる。教師は①、②の各教育行動において、どの支援目的に着目するのかによって支援に用いる説明を切り分け、さらに学生の理解状態や教育状況を考慮してより適切な説明を行うことができる。このような説明を使い分けられる能力は、高度な教育的支援を可能としている最も重要な要素の一つであると考えられる。

2.2 必要な機能

以上のような教師による教育行動を計算機上で生成するためには、(a)学生の理解を誘導する機能、(b)学生の質問に応答する機能、の二つが基本機能として必要不可欠である。以下では、(a),(b)の設計・開発について検討する。

2.3 基本機能の設計・開発

基本機能では、着目する支援目的に応じて支援に用いる説明を使い分けられることができないなければならない。そのため、基本機能の設計・開発では、(1)対象領域における支援目的の分類、を行い、どの支援目的のときにどの説明を用いるのかといった(2)支援目的に基づく説明の整理、が必要となる。さらに(3)整理した説明を計算機上で可能とする説明機能の開発、が不可欠である。また、より適切な説明（応答）を行うためには、(4)学生の理解状態などを考慮した説明機能の運用、を行う必要がある。このときに用いる学生モデルの記述レベルは、説明を使い分けられる上でどのような情報が必要であるかを定めることによって設定

しなければならない。この他、基本機能を実現するためには、以下に示すことが要求される。

2.3.1 理解誘導機能

学生の理解を誘導するために、対象に関する説明や質問・ヒントを学生の理解状態を考慮してどのような順序で与えるのかといった、支援目的ごとの誘導方法と、その誘導を具体化するための説明機能の運用方法を整備する必要がある。さらに、支援目的をどのような順序で設定・変更するのか、どの誘導方法を選択するのかといったプランニング機構が必要になる。

2.3.2 質問応答機能

ITSの取り扱い可能な学生の質問は、システムの有する説明能力に制約される。そのため、システムの説明能力に基づいて、あらかじめ取り扱い可能な質問を分類しておく必要がある。また、どの質問に対してどのタイプの応答を行うのかを整理し、応答生成のための説明機能の運用方法を整備する必要がある。さらに、学生からの質問に対してより適切に応答するためには、現在の支援目的などの教育状況、および学生の理解状態までも考慮した質問の認識方法を与えなければならない。

3. 対象理解支援システムLEIEC/I

筆者らは、2.3での検討事項をITSに対する要求仕様としてLEIEC/Iの設計・開発を行った。まず、電気回路そのものの理解を支援する観点から、対象モデル、および視点の概念を導入して対象理解の定式化・分類を行い、支援目的を分類している。そして、その分類に基づき電気回路に関する説明を整理している。次に、説明機能のためのモデルとしてEXSELを開発し、学生の理解誘導・質問応答のためのEXSELの運用方法を整備している。本章では、LEIEC/Iの設計・開発について概説する。

3.1 システム構成

図1にLEIEC/Iのシステム構成図を示す。EXSELは、教育戦略部、および質問応答部の要求に応じて、学生に与える説明の資源となる説明構造を生成する。説明生成部は、EXSELを運用した結果得られる説明構造から説明を生成するモジュールであり、現在テンプレートを用いた自然言語文による説明の生成を行っている。教育戦略部は、学生を対象理解を積極的に誘導するための教育行動を生成するモジュールである。LEIEC/Iでは、学生の理解を誘導

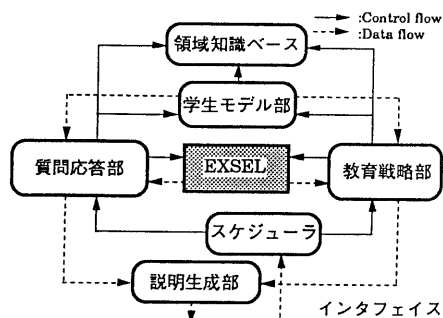


図1 LEIEC/Iのシステム構成

する手続きを教育戦略と呼んでいる。質問応答部は、学生からの質問に対して適切に応答するといった教育行動を生成するモジュールである。スケジューラは、常に教育状況を監視しながら、教育戦略部、質問応答部を使い分けるためのモジュールである。学生モデル部は、学生の理解誘導、および質問応答に必要な学生の情報を提供、更新するモジュールである。領域知識ベースは、対象に関して教育すべき知識を記述している。

3.2 支援目的

3.2.1 対象理解の定式化

電気回路などの対象は、一般に構造、振舞い、機能(目的)の三つのレベルで捉えることができる¹。構造、機能は、他のレベルと独立して捉えることができるが、振舞いについては一般に構造、機能を決めなければ捉えることができない。LEIEC/Iでは、対象に対する構造、振舞い、機能の三項組とそれらの関係を表現したものを対象モデルと呼び、振舞いを捉えるための知識源となる構造、機能の二項組を視点と呼んでいる。

設計などの対象をとりまく様々な問題では、構造、振舞い、機能を関係づけて対象を理解する重要性が指摘されている¹⁵⁾。このような三つのレベルの関係づけは、視点から振舞いを取り出すこと、すなわち視点に基づいて対象から対象モデルを生成することであると考えることができる。本研究では、視点に基づく対象モデルの生成を対象理解であると定式化している。

3.2.2 対象理解の分類

一般に、一つの対象は様々な視点から捉えることができ、対象から得られる対象モデルは視点によって異なったものとなる。例えば、図2(a)の電気回路からOM-1などの複数の対象モデルが得られる。

筆者らは、対象理解を大きく二つに分類している。一つは視点を固定して対象から対象モデルを生成するものである。もう一つは、視点を様々に変更し、さらにそれぞれの視点から対象モデルを生成するものである。前者を狭義の対象理解、後者を広義の対象理解と呼ぶ。広義の対象理解において、ある視点を決めてからの対象モデルの生成は狭義の対象理解となる。広義の対象理解は、視点の変更の仕方により、さらに(UG1)機能の変更による対象理解、(UG2)視点のグレインサイズの変更による対象理解、(UG3)既知の対象による対象理解、の三つに分類できる。例えば、図2(a)の電気回路に対して、TrとRをひとまとまりの構造(Tr-R)として捉えたまま機能だけを変更し(Viewpoint-1,2)、さらに各機能から対象モデル(OM-1,2)を生成することがUG1である。また、視点を与える機能は等価²⁾であるが、機能、構造を全体として捉えたり(Viewpoint-2)、部分的な機能、構造に分解して捉える(Viewpoint-3)といった、異なる詳細度で視点を設定して対象モデル(OM-2,3)を生成することがUG2である。

¹本研究では、対象の構成要素とそれらの結合関係を構造とし、構造上における電圧、電流などの属性のうち、入出力となる属性とそれらの因果的関係を振舞いとしている。また、入出力属性とそれらの因果的関係に対する目的を表す概念を機能としている。

²OM-2のVoltage amplifierがOM-3のCurrent amplifierとCurrent to Voltage converterの二つの機能から構成されることを意味する。

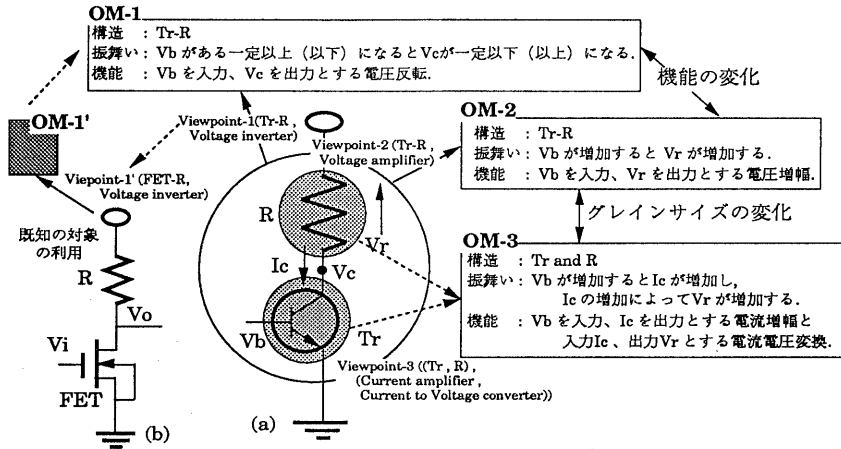
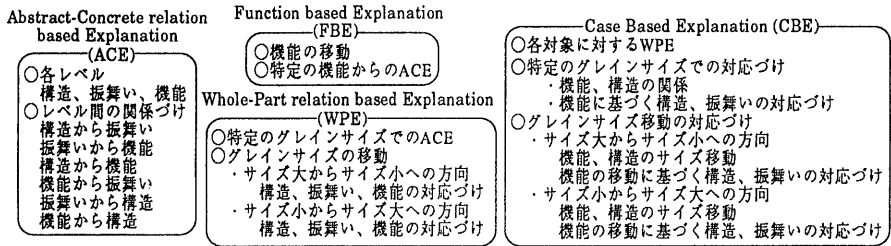


図2 広義の対象理解と対象モデルの関係



(a) 説明の分類

(ACE) V_b を V_r として電圧増幅する機能から捉えたと、振舞いは " V_b が増加すると V_r が増加する" となる。

(FBE) この回路は、電圧増幅機能の他に V_b を V_c として電圧反転する機能を持つ。

(WPE) " V_b が増加すると V_r が増加する" は、" V_b が増加すると I_c が増加し、 I_c の増加により V_r が増加する" を意味する。

(b) 説明の例

図3 EXSEL から得られる説明の分類

ここでグレインサイズ (grain size) とは、視点を構成する機能、構造の粒の大きさをいう。また、回路(a)に対する視点 (Viewpoint-1) を回路(a)と関係のある既知の回路(b)に対する視点 (Viewpoint-1') に変更し、さらに変更した視点から得られる対象モデル (OM-1') を対応づけることによって、間接的に理解すべき対象の対象モデル (OM-1) を生成することがUG3である。LEIEC/Iでは、既知の対象として類似な対象と一般化された対象³を取り上げている。

LEIEC/Iでは、広義の対象理解が狭義の対象理解を包含することから、一つの対象に対する三つの広義の対象理解のそれぞれを支援目的として分類している。

3.2.3 対象とする学生のレベルと教育方法

LEIEC/Iでは、電気回路に関する電圧などの基本的概念やオームの法則などの回路原理を既知とする学生を想定しており、様々な視点から対象を理解する能力の向上を支援するシステムである。また、教育方法に関しては、学生の誤りに基づいた教育を現在のところ考慮していない。これ

³類似な対象とは、機能が同一で構造が異なる対象である。一般化された対象とは、機能が一般化され、機能の差が構造上の差として明示的に現れる対象を一般化された対象と呼ぶ。図2の(a)と(b)は、類似な対象である。

は、定式化した対象理解についてあらかじめ誤りを予想するのが困難であることに起因する。

3 説明構造モデルEXSEL

3.3.1 取り扱い可能な説明

図3(a)に、EXSEL から得られる説明の分類を示す。ACEは、狭義の対象理解を支援するための説明である。抽象-具体関係 (Abstract-Concrete relation) とは、構造、振舞い、機能の関係であり、構造から機能の方向を抽象化とする。FBEは、UG1を支援するための説明である。WPEはUG2を支援するための説明である。全体-部分関係 (Whole-Part relation) とは、グレインサイズの異なる構造、振舞い、機能の関係である。CBEは、UG3を支援するための説明である。図3(b)に図2(a)の回路に対する説明例を示す。

3.3.2 EXSELの枠組み

EXSELは、図4(a)に示すような構造フレーム、機能フレームを用いて、各説明の資源となる説明構造を生成する。説明に必要な構造・機能フレームは、あらかじめEXSEL内の知識ベースに用意されている。EXSELは、入力として図4(b)に示すような要求仕様をとり、知識ベースを用いてその要求に応じた説明構造を出力する。説明構造を記述する基本的な単位 (基本構造と呼ぶ) は、構造

```

((Structure-Unit St-TrR)      ((Function-unit
(I-O-Relations ((Vb Vr ME+)    (Vin Vout AMP)
              (Vb Vc DM-)      Behavior
              ..... ))        (Vin Vout ME+))
(SUN (Tr (Term-in (Vb Ib))     (Term-ground (Ve Ie)) (FUN ( (Vin Im AMP)
              (R (Vc Ic)))      (Im Vout CONVERT))))
(R (Tr (Vc Ic))                (Term-s (Vcc)
              (R (Vr))))))

```

(a) 構造フレームと機能フレーム

(説明の種類 Structure-Units

Function-Units 既知の対象に対する Structure-Unit)

(b) EXSEL に対する要求仕様

図4 EXSEL の枠組み

```

Object name: ST-TrR
Viewpoint-f: (St-TrR, [Vc] = NOT[Vb])
              (St-TrR, [Vr] = AMP[Vb])
Viewpoint-g: for (St-TrR, [Vc] = NOT[Vb])
              ((Tr R) ([Ic] = SWITCH[Vb] [Vr] = INVERT[Ic]))
              for (St-TrR, [Vr] = AMP[Vb])
              ((Tr R) ([Ic] = AMP[Vb] [Vr] = CONVERT[Ic]))
Viewpoint-k: for [Vc] = NOT[Vb]
              Analogy: St-FET-R, St-FET-FET General: nil
              for [Vr] = AMP[Vb]
              Analogy: St-FET-R General: nil

```

図5 対象フレームの例

フレームとそれに対応する機能フレームを、構造フレームから抽出した振舞い (I-O-Relation) によってリンクしたものである。基本構造は、構造・機能フレームの構造単位、機能単位 (Structure-Unit, Function-Unit) を視点として得られる対象モデルを学生に生成させるときに用いる説明の説明構造を表している。各説明の説明構造は、基本構造の組み合わせとして表現される。

3.4 領域知識ベース

領域知識ベースは、対象フレームを記述単位として表現される。図5に図2(a)の電気回路に対する対象フレームを示す。対象フレームには、そのフレームの表現する回路が、どの機能から捉えることができるかを表す視点 (Viewpoint-f)、どのグレインサイズで捉えることができるかを表す視点 (Viewpoint-g)、対応づけが可能な類似または一般化された対象 (Viewpoint-k)、が記述されている。これらの視点に基づく対象モデルの生成支援に用いられる説明に必要な知識は、EXSEL内部の知識ベースにあらかじめ用意されている。

3.5 学生モデル部

学生モデルの表現は、対象フレームに対するオーバーレイモデルであり、対象フレーム内の各視点に対して、視点の設定可能性 (SetProbability:SP)、視点からの対象モデル生成可能性 (Generation Probability:GP)、の二つを表現している。各可能性に対しては、unknown, true, false の三値が割り当てられる。unknown, true, false は、それぞれ視点の設定、および対象モデルの生成について、その可能性を判断できない状態、可能である状態、可能でない状態を表している。LEIEC/Iでは、説明を使い分けるために必要な情報はこのようなオーバーレイモデルで得られる情報で十分である。学生モデルの初期値は、すべての視

点に対してunknownとなっている。学生モデル部は、理解誘導・質問応答の過程を通して、これらの初期値を更新していく。教育戦略部・質問応答部から要求された理解状態がunknownとなる場合は、学生に対して質問を行いunknownからtrue, falseに理解状態を更新する。LEIEC/Iの目的は、学生モデルに表現される、現在の対象に対するすべての視点に対する Generation Probabilityをtrueに変更するように教育行動をとることであるといえる。そして、すべてがtrueとなった時点でその対象に対する理解支援が達成されたと判断する。

4. 教育戦略 [2]、[4]

4.1 教育戦略の枠組み

図6に、LEIEC/Iにおける、学生を対象理解を誘導するための枠組みを示す。教育戦略は、一つの電気回路に対して三つに分類した広義の対象理解を順に支援目的 (理解ゴール: Understanding Goal, UGと略す) として設定し、学生を対象理解を誘導する。設定された理解ゴールの達成は、理解ゴールに含まれる狭義の対象理解の支援を繰り返すことにより行う。また、誘導過程において学生から質問を受けた場合、単に質問応答部を起動して応答するだけでなく、質問に応じた理解誘導を行うといった柔軟な教育行動を実現している。

4.2 理解ゴールの決定

理解ゴールの決定では、現在教育しようとしている一つの回路に対する三つの広義の対象理解のうち、どれを理解ゴールとするのかを決定する。理解ゴールの決定方法には、(a)現在の対象に対して順に理解ゴールを設定する、(b)学生の質問をトリガーとして動的に理解ゴールを設定する、の二つがある。通常は(a)によって理解ゴールが設定される。決定方法の切り換えは、スケジューラにより管理されている。(b)については5.3で述べる。

4.3 理解ゴール達成のためのプランニング

理解ゴール達成のためのプランニングでは、4.2で設定された理解ゴールに含まれるいくつかの狭義の対象理解に対する支援をどのような順序で繰り返し、理解ゴールの達成を図るかを決定する。プランニングは、①現在の電気回路に対応する対象フレームから理解ゴールに応じて教育すべき視点を選択する、②選択した各視点に対する誘導方

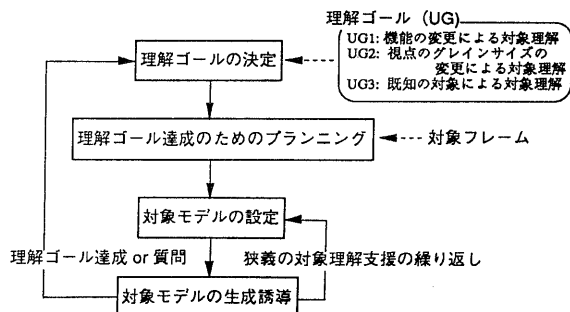


図6 教育戦略の枠組み

誘導方法	誘導方法の決定基準／決定値
抽象・具体関係に基づく誘導 ・抽象化による誘導 ・具体化による誘導	視点に対するSPの値 false true
全体・部分関係に基づく誘導 ・グレインサイズ拡大による誘導 ・グレインサイズ縮小による誘導	GP=trueとなる最もサイズが隣接する視点のグレインサイズ 視点のサイズより小さい 視点のサイズより大きい
既知の対象を用いた誘導	既知の対象に対してGP=trueとなる視点のグレインサイズ

図7 プランニングにおける誘導方法の決定

理解ゴール	設定される対象モデル／EXSELへの要求仕様
UG1	最大のグレインサイズの構造に対する複数の対象モデル (fbc SU FU1 …… FU n nil)
UG2	ある機能から捉えた各グレインサイズでの対象モデル (wpc SU FU nil)
UG3	各対象の対応づけ可能なグレインサイズまでの対象モデル ([cbe-a or cbe-g] SU FU Known-SU)

SU: ,FU: 最大のグレインサイズにおけるStructure-Unit, Function-Unit

図8 設定される対象モデルとEXSELに対する要求仕様の関係

法を決定する、の二つの過程からなる。①では、例えば理解ゴールがUG1の場合Viewpoint-fから視点を選択する。

プランニングの結果得られるプランには、教育すべきいくつかの視点とその設定・変更順序、および各視点に対する誘導方法が記述される。視点の設定・変更順序は、基本的に対象フレームに記述されている順序となる。以下では、プランニングの各過程について述べる。

4.3.1 視点の選択過程

視点の選択では、対象フレームの各視点に対する学生の理解状態を調査し、対象モデル生成が不可 (Generation Probabilityの値がfalse) である視点を理解支援すべき視点として選択する。また、選択対象がViewpoint-kの場合、視点の設定が不可 (SetProbabilityがfalse) である視点はプランニングの対象外とする。これは、学生が知らない電気回路を用いてUG3を誘導できないためである。

4.3.2 誘導方法の決定過程

誘導方法の決定では、学生の理解状態に応じて、4.3.1でプランニングされた各視点に対して理解誘導に用いる方法を選択する。誘導方法には、図7に示すように大別して、(GM1)抽象・具体関係に基づく誘導、(GM2)全体・部分関係に基づく誘導、(GM3)既知の対象を用いた誘導、の三種類がある。各誘導方法は、それぞれUG1,UG2,UG3の支援に用いられる。

誘導方法の決定は、図7に示すような決定基準に基づいて行われる。理解ゴールがUG1の場合、プランにおける理解支援すべき視点に対するSetProbabilityの値によって決定する。理解ゴールがUG2の場合は、理解支援すべき視点のグレインサイズに最も隣接し、かつGeneration Probabilityの値がtrueである (もしくは視点の設定・変更順序からtrueになることが期待できる) サイズでの視点を求め、その視点と理解支援すべき視点のグレインサイズの大小関係から誘導方法を決定する。GM2では、学生にとって対象モデル生成が可能 (Generation Probabilityがtrue) なグレインサイズから可能でないサイズの方向に誘導を行うため、学生の理解可能なサイズでの視点 (誘導に用いる視点と呼ぶ) を求める必要がある。プランには、理解支援

すべき各視点ごとに決定した誘導方法と誘導に用いる視点が記述される。誘導に用いる視点が存在しない場合は、GM1による誘導を選択する。

理解ゴールがUG3の場合は、既知の対象に対する学生モデルからGeneration Probabilityがtrueであるグレインサイズでの視点 (対応づけに用いる視点と呼ぶ) を求め、その視点のサイズを現在の教育すべき回路

と対応づけて誘導を行うサイズとする。対応づけに用いる視点が多数ある場合は、大きなサイズから順に誘導を繰り返すようにプランニングを行う。プランには、教育すべき視点ごとに決定した誘導方法と対応づけに用いる視点が記述される。各誘導方法については、4.5で述べる。

4.4 対象モデルの設定 (プラン実行過程1)

対象モデルの設定では、プランに設定された複数の視点から得られる複数の対象モデルを設定する。具体的には、EXSELに対する要求仕様の生成を行い、設定された対象モデルの生成支援に用いる説明のための説明構造を生成する。図8に理解ゴールに対して設定される対象モデルのタイプと、EXSELに対する要求仕様を示す。

4.5 対象モデルの生成誘導 (プラン実行過程2)

対象モデルの生成誘導では、プランにおける理解支援すべき視点ごとに設定された誘導方法を実行する。具体的には、理解支援すべき視点ごとに、4.4で生成された説明構造からその視点に基づく対象モデルの生成支援に必要な説明構造を取り出す。例えば、理解ゴールがUG2の場合、理解支援すべき視点と誘導に用いる視点から得られる二つの対象モデルを対応づけて誘導を行うため、これら二つの視点のグレインサイズに対応する部分を説明構造から取り出す。次に、取り出した説明構造を加工して、説明や質問・ヒントを生成し学生の理解を誘導する。以下では、各誘導方法について述べる。

GM1では、特定のグレインサイズでの対象モデルの生成を抽象・具体関係に沿って誘導する。理解支援すべき視点に対するSetProbabilityの値がtrue (false) の場合、学生は機能を既知 (未知) とするため、機能 (構造) から構造 (機能) の方向へ学生の理解を誘導するといった具体化 (抽象化) による誘導を行う。

GM2では、理解支援すべき視点からの対象モデルの生成を全体・部分関係に沿って誘導する。プランニングの過程で設定した、誘導に用いる視点のグレインサイズが理解支援すべき視点より大きい (小さい) 場合、大きい (小さい) サイズから対応づけて誘導するといったグレインサイ

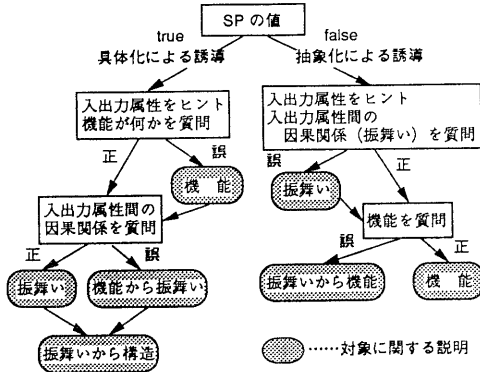


図9 抽象-具体関係に基づく誘導のための誘導木

ズ縮小(拡大)による誘導を行う。ここでの対応づけとは、サイズが異なる視点、および振舞いの対応づけを意味し、対応づけるレベル(抽象-具体関係)の方向はGM1と同様に理解支援すべき視点のSet Probabilityの値によって決められる。

GM3では、プランに設定された類似または一般化された対象を対応づけて、理解支援しようとする対象に対する対象モデルの生成を支援する。対応づけは、プランニングの過程で設定した対応づけに用いる視点のグレインサイズにおいて行う。ここでの対応づけとは、各対象の視点の対応づけ、および振舞いの対応づけを意味し、対応づけるレベルの方向はGM2と同様に決められる。

各誘導方法による誘導過程は、木構造によって表現される。この木構造を誘導木と呼ぶ。図9に抽象-具体関係に基づく誘導のための誘導木を示す。各誘導方法は、それぞれの誘導木を持つ。誘導は、誘導木の根から葉の方向に行われ、学生の理解状態やシステムからの質問に対する学生の応答に応じて分岐を行い、各節において説明、質問・ヒントといった具体的な教育行動を生成する。LEIEC/Iでは、誘導木によって誘導のための説明を使い分けている。

教育戦略部は、対象モデルの生成誘導を終えるたびに、学生モデル生成部に対して現在の視点に対するGeneration Probabilityの値をtrueに更新するように要求する。

5. 質問応答^[1]

LEIEC/Iでは、EXSELから得られる説明によって学生の質問に応答する。そのため、学生が行える質問はEXSELの説明能力に制約される。現在LEIEC/Iで取り扱い可能な質問は、図10に示すようにAC-question, FB-question, WP-question, CB-questionの4種類に分類できる。各質問は、さらにいくつかの質問(質問プリミティブと呼ぶ)に細分化されている。

5.1 質問応答の枠組み

学生からの質問は、メニュー形式であらかじめ用意された語句を組み合わせることによって入力される。質問応答部は、まず入力された質問がどの質問プリミティブに対応するかを認識する。次に、学生の質問に応じてEXSELを運用し、質問に対する応答を生成する。質問応答は、学生モデル、および教育状況を参照して行われる。ここで、

質問の型	意味
AC-question AC-level AC-abstract AC-concrete	ACEで取り扱える質問 各レベルが何であるかの要求 レベルに対する抽象化の要求 レベルに対する具体化の要求
FB-question FB-others	FBEで取り扱える質問 視点を与える他の機能の要求
WP-question WP-decomposition WP-aggregation	WPEで取り扱える質問 グレインサイズ縮小の要求 グレインサイズ拡大の要求
CB-question CB-analogy CB-difference CB-justification CB-generalization CB-specification	CBEで取り扱える質問 類似な対象間の対応関係の要求 一般化の関係にある対象間の差異の要求 対応(差異)関係の正当性の要求 対象の一般化の要求 対象の特殊化の要求

図10 LEIEC/Iにおいて取り扱い可能な質問の分類

教育状況はスケジューラによって管理されており、現在の電気回路、現在の理解ゴールおよび視点、現在の回路に対してLEIEC/Iの行った説明(応答)の履歴、といったデータ群で構成されている。

5.2 質問の認識

質問の認識では、学生から入力された質問がどの質問プリミティブに対応するかをテンプレートを用いて判断する。ただし、判断に利用されるテンプレートは必ずしも一意に質問プリミティブに対応していない。これは、同一の質問でも異なった解釈が可能であることを反映している。例えば、LEIEC/Iが図2(a)の回路に対して「Vbが増加するとVrが増加する。」と説明した後、「なぜそうなりますか?」といった質問がなされた場合、より詳しい振舞いの説明を要求しているのか(振舞いのWP-decomposition)、あるいは振舞いの持つ目的を要求しているのか(振舞いから機能のAC-abstract)、の二つの解釈が可能である。このような場合、説明した振舞いを得るための視点に対するSet Probabilityの値がfalseの場合はAC-abstractと解釈し、より小さいグレインサイズでの視点に対するSet Probabilityがfalseの場合はWP-decompositionと解釈する。このように、LEIEC/Iでは学生モデルや教育状況を参照することによって、質問プリミティブを一意に決定することができる。

また、学生からの質問が一つの質問プリミティブから構成されている(単一的な質問と呼ぶ。)と認識する以外に、いくつか複合されている(複合的な質問と呼ぶ。)と認識して応答を行うのが教育的に有効な場合がある。例えば、図2(a)の回路をTr,Rをままとまりと見なすグレインサイズで「VbをVrとして電圧増幅する機能を持つ」という機能の説明を行った後に、Q1:「Trの振舞いはどうなりますか?」といった質問が考えられる。この質問は、Trに対するAC-levelと捉えて「Vbの増加にとまないIcが増加する」と応答することができる。しかしながら、最大のグレインサイズにおける機能から振舞いの要求(AC-concrete)とそのサイズからより詳細な振舞いの要求(WP-decomposition)とが複合されたものであると捉えて、「この機能に対する振舞いは、Vbが増加するとVrが増加する。これは、Vbの増加にとまないIcが増加し、Icの増加によりVrが増加する。」ことを意味する。Trでは、Vbの増加にとまないIcが増加する。」と応答する方が、

- 1:シ>入力をVb 出力をVc とすると(a) の機能は何でしょうか
 - 2:学>電圧反転
 - 3:シ>正解です Vb とVc との因果関係(振舞い) はどうなりますか?
 - 4:学>Vb がある一定以上になるとVc が一定以下になる
 - 5:シ>正解です
 - 6:学>Vr の振舞いはどうなりますか?
 - 7:シ>Vb をVc として電圧反転する機能は二つの部分的な機能からなります。その二つの機能は何でしょうか?
-
- 10:シ>(a) は入力をVb 出力をVr とすると別の機能となります Vb とVr の因果関係はどうなりますか?
 - 11:学>わかりません
 - 12:シ>Vb が増加するとVr が増加します 機能はどうなりますか?
 - 13:学>増幅
 - 14:シ>正解です Vb をVr として電圧増幅する機能になります

(a) 対話例

```
Plan-ug1 (
  ((ST-TrR [Vc]=NOT[Vb]) GM1_concrete)
  ((ST-TrR [Vr]=AMP[Vb]) GM2_abstract))
```

(b) プランの例

```
Student model for ST-TrR
Viewpoint-f: f1 ((ST-TrR [Vc]=NOT[Vb]) (SP=true GP=false))
f2 ((ST-TrR [Vr]=AMP[Vb]) (SP=false GP=false))
```

(c) 学生モデルの例

図 1 1 理解誘導例

教育の文脈上、より効果的であるといえる。このように、LEIEC/I では教育状況、及び学生モデルを参照することによって学生の質問を複合的な質問としても認識できる。

5.3 応答の生成

応答の生成では、あらかじめ用意された質問プリミティブとそれに応答するための説明の関係から、質問認識の結果に基づき応答のための説明を生成する。具体的には、教育状況を参照して応答に必要な説明構造が現在EXSELにおいて存在する場合はそれを加工して応答を生成する。存在しない場合は、EXSEL に対する要求仕様を生成し、EXSEL の運用、および生成される説明構造の加工を行う。そして、説明生成部に加工された説明構造を渡して応答を生成する。複合的な質問として学生の質問を認識した場合には、学生の質問を構成する質問プリミティブごとに応答を生成する処理を繰り返し、順に応答を提示する。

次に、教育状況における応答の履歴を用いて、学生モデル部に対して理解状態の更新を要求する。応答の履歴において、視点(視点の対応づけ)の説明を行っている場合はその視点に対するSetProbabilityの値をtrueに、かつその視点からの振舞い(振舞いの対応づけ)の説明を行っている場合はGenerationProbabilityの値をtrueにするように要求する。この更新は、「システムが与えた説明によって学生は対象を理解することができる」といった仮定に基づく。

5.4 理解誘導の過程における質問処理

LEIEC/I では、理解誘導の過程における学生の質問に対しては、単に応答を生成するだけでなく、現在の理解ゴールおよび現在の視点と、質問の関係によって対処方法を変えている。誘導過程における学生の質問は、(1)現在の視点に関係のある質問、(2)現在の視点に関係なく理解ゴールに関係のある質問、(3)現在の理解ゴールに関係のない質問、の三つに分けることができる。LEIEC/I では、これらの質問に対してそれぞれ、(1)質問に対する応答を保留して誘導を続ける、(2)質問応答部を起動して質問に対する応答を生成する、(3)質問に応じた新たな理解ゴールを

設定して誘導を行う、によって対処する。(3)は、例えば現在UG1の誘導過程で、学生からグレインサイズの変更を要求する質問(WP-question)がなされたとき新たにUG2を設定して学生の理解を誘導するといった場合に用いられる。(2)、(3)を行った後は、再び元の理解誘導を続ける。これらの使い分けは、スケジューラが教育状況を管理して行う。また、(3)を行う場合、教育戦略では質問に応じた視点だけを理解支援すべき視点としてプランニングを行い、学生の理解を誘導する。

6. 対話例

図11(a),(b),(c)に、理解ゴールUG1のもとで図2(a)の電気回路に対して行っている誘導例、それに用いられている誘導のためのプラン、およびプランニングに用いられた学生モデルを示す。1~5では、視点f1に対する具体化による誘導が行われている。途中6で学生の質問が理解ゴールに関係のないWP-decompositionであるため、7から新たに理解ゴールUG2を設定して誘導が行われている。10~14では、再び理解ゴールUG1のもとで、視点f2に対する抽象化による誘導が行われている。

7. 結論

本稿では、電気回路などの対象の理解支援を取りあげ、ITSにおける説明による教育的支援の高度化に必要な枠組みについて検討した。また、検討に基づき現在Macintosh上で開発中であるITS、LEIEC/Iについて述べた。LEIEC/Iでは、(1)学生の理解を誘導する機能、(2)学生の質問に応答する機能、によって学生の対象理解を支援する。現在のLEIEC/Iは、一つの対象が設定された場合の支援を可能としているが、どういった順序で対象を設定・変更していくかといったコースウェアについては未検討である。今後の課題としては、コースウェアの設定、基本機能の運用による双方主導型教育の実現、およびプログラムなどの領域にLEIEC/Iの枠組みを応用すること、などが挙げられる。

参考文献

- [1] 柏原他: "対象理解を支援するためのITSにおける対話戦略について", 信学技報, ET90-89, pp.13-20 (1990).
- [2] 西川他: "説明構造モデルEXSELに基づく対象理解支援のためのITS の設計・開発", 人工知能学会研資SIG-HICG-9003-6, pp.53-62 (1991).
- [3] J.D.Hollan, E.L.Hutchins, L.M.Weitzman: "STEAMER: an interactive, inspectable, simulation-based training system", AI Magazine, 5, 2, pp.15-27 (1984)
- [4] 柏原他: "対象理解支援モデルEXSELに基づく教育戦略と学生モデル", 人工知能学会研資SIG-HICG-9002-4, pp.23-30 (1990).
- [5] J.Rasmussen: "Information Processing and Human-Machine Interaction: An Approach To Cognitive engineering", Elsevier Science (1986).