

## 高校化学の知的 CAI における入力文解釈機構について

青島 弘和\* 沼野井 淳\* 小西 達裕\*\* 伊東 幸宏\*\* 高木 朗\*\*\* 小原 啓義\*

\*早稲田大学理工学部

\*\*静岡大学工学部

\*\*\* (株) CSK

知的 CAI の対話インタフェースは、学生にできるだけ自由な発話を許容できることが望ましい。我々はこれまでに、演習問題の解法、対象世界の振舞い、教育方法等、幅広い内容についての入力文を任意の時点で受付け、システムの行動に反映できる対話インタフェースを持つシステムを開発した。しかし、学生の入力に誤りが含まれる事、解釈結果が一意に定まらない事、等の原因で、入力文の意味解釈に失敗するケースがあった。本稿では、上述の問題の解決のため、「緩和・補完・統合・選択」という意味解釈の処理を行う対話インタフェースを提案し、この対話インタフェースのもとで効果的な教育を行う対話戦略の設計とシステム実装の結果を報告する。

## On interpretation of inputs of students in intelligent CAI system

Hirokazu Aoshima\* Tadashi Numanoi\* Tatsuhiro Konishi\*\* Yukihiro Itoh\*\* Akira Takagi\*\*\* Hiroyoshi Ohara\*

\*School of Sci. and Eng., Waseda Univ. \*\*Faculty of Eng., Shizuoka Univ. \*\*\*CSK Corp.

Interactive interfaces of intelligent CAI should allow students to make free utterances at their will. We have developed a system with the interactive interface accepting at any time so varied types of inputs about how to solve exercises, about behavior of its domain, and about teaching plans. Our system had some cases, however, of failing semantic interpretation of the inputs mainly due to the ambiguities or errors in the students' inputs. To solve this problem, we propose in this paper an interactive interface having the functions of 'mitigation, supplementation, synthesis and selection' for a better semantic interpretation. Further more we report how to design the strategies for interactions which enable the effective education with the interface given and the consequences of its implementation.

## 1 はじめに

我々はこれまでに、高校化学の問題演習を行う知的 CAI システムについて検討を行っており、化学の世界モデルに基づいて問題を解く手法と、その解法を利用して学生に対話指導を行う手法を提案するとともに、システムの試作を行なっている。

このシステムの対話インタフェースは、大槪らの提唱している双方主導型対話をベースとし、特に学習者が主体的に学習する事を支援できるように、次のような能力を強化している。

- 学習者が自由なタイミングでシステムの要求に縛られない内容の自然言語文を入力することができる。
- システムがその入力に基づいてただちに適切な行動を選択できる。

これらの能力を実現するための主要な手法のひとつとして、我々のシステムでは、入力文をシステムの内部知識表現に均一な方法で照合することにより意味解釈を行っている。しかしこの照合処理において、誤りを含む文の解釈手法、および複数の解釈結果の競合解消の手法等について未整理な部分があった。そこで本稿では、これらの処理について詳細に検討し、意味解釈手法の拡張を行う。また、従来の知的 CAI の対話インタフェースにおいてしばしばみられるいくつかの問題点について整理し、これを解消するための対話戦略の設計例を示す。さらに、これらの成果に基づいて構築したシステムについて述べる。

## 2 研究の基本方針と問題点

### 2.1 知的 CAI の対話インタフェースにおける問題点

我々は、従来開発されてきた知的 CAI システムの対話インタフェースにおいて、しばしばみられる以下の問題点に着目し、検討を進めてきた。

1. 学習者がシステムの指示した行動しか許されず、受け身の学習を強いられる。

学習者は、教師側の説明や指示などに受動的に対応するだけでなく、その内容について質問したり、自分の理解を述べてそれが正しいことを確認したり、教師の行動について希望を述べるなど、いわば教師の行動に割り込むような形で主体的に関与しつつ学習を行うべきである。しかし現状では、システムの行動に割りこむこと(例えば、システムの説明中にそれを一旦中断させて、そこまでの説明内容の要約を求める、など)を許容できないものが多い。

2. 学習者の着目点と無関係に対話が進むことによる学習者の負荷が大きくなりがちである。

システムが学生モデルを構築するために行なう質問は、多くの場合その時点における学生の着目点とは無関係に行われる。従ってしばしば、学習者が持つ疑問や興味とは異なる話題についての対話が続くことになり、学習者に負荷のかかる対話になってしまう。

3. 入力として許される表現の表現能力が十分とは言えない。

学習者からの入力を一単語のみの入力、入力可能な意味内容が強く制限されたメニューからの入力などに限定している場合、問題演習において学習者が表現したい事柄が十分表現できないことが多い。

4. システムの指示の意図がわからない。

一般に教師が学習者に対して行動を指示する場合、学習者に教師の意図を伝えることが教育上有効である場合がある。たとえば、知識の定着を目的とする演習において、出題意図がどの知識の定着にあるかを学習者に伝えることは、定着の支援になると考えられる。また、ある知識に対する学習の達成度をはかる目的で問題演習を行なっている場合、学習者が出題意図に気づき、それを確認する質問を出した場合、それが正しければ肯定的評価を与える事も効果的であると考えている。従って、学習者は必要ならば教師の指示の意図を話題にできることが望ましい。

これらの問題から、我々是对話インタフェースにおいて次の2つの能力を実現する必要があると考えている。

- (a) 学習者が自由なタイミングでシステムの要求に縛られない内容の自然言語文を入力することができる。
- (b) システムがその入力に基づいてただちに適切な行動を選択できる。

上記1.の問題は(a)により解消される。2.の問題については、学習者が望む場合に自らの着目点に合った話題を設定でき((a)に相当)、かつ以後のシステムの行動を、この話題に関するものできれば((b)に相当)解消される。3.については入力を自然言語文とすることで、ある程度は解決されると考える。最後は4.については、学習者がシステムの行動計画についての文を入力できればよいので、(a)の能力の実現という問題に含めることができる。

### 2.2 基本方針とこれまでの成果

まず、上述の(a),(b)の能力を実現するための基本的な考え方と、これまでに提案した手法について簡単に述べる。

#### 2.2.1 意味解釈処理の基本手法

入力文の解釈は、入力文をシステムの知識表現と突き合わせることによって行うのが普通である。上述の目的から、本研究で想定される入力文の内容のタイプは、求解に関するさまざまな知識や手続き、対象世界の振舞い、教師の行動やその意図などのバリエーションを持つ。さらにシステムの要求と無関係な文が入力されるため、入力文がどのタイプの内容をもつかあらかじめ知ることはできない。従って解釈処理は入力文のタイプによらず均一でなければならない。このことから本研究では、システムの知識表現を、内容のタイプによらず均一なものにしている[5]。この知識表現の基本構造は、自然言語の係り受け表現をベースとした[3]に示されている意味表現を簡略化したものであり、名詞的概念に連体修飾表現を付与した構造と、動詞的概念に連用修飾表現を付与した構造から構成される。本研究では、名詞的概念・動詞的概念をそれぞれ名詞フレーム・動詞フ

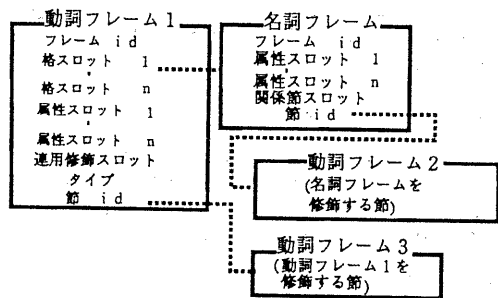


図 1: 認識表現の一般形

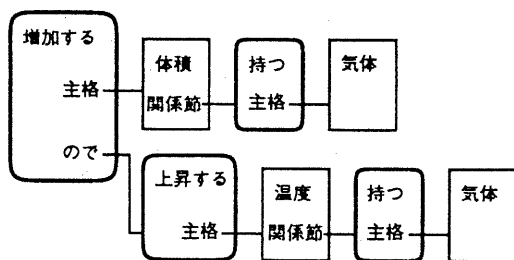


図 2: 認識表現の例

フレームと呼ばれるフレームで表現している。この知識表現の一般形は、図1のようになる。この表現法で「気体の温度が上昇するので、気体の体積が増加する。」を記述すると、図2となる。

意味解釈の基本手法について説明する。まず、システムの知識及び話題となりうる事柄に関する推論結果（例えば、演習問題の解法のモデル、その問題における化学現象のモデルなど）を、ワーキングメモリ上に格納しておく。このワーキングメモリを「認識の場」と呼び、格納された知識や推論結果を総称して「認識」と呼ぶことにする。このとき入力文の解釈は、入力文を認識の場に置かれた認識群と突き合わせ（この処理を、以後「照合」と呼ぶ）、入力文が認識の場のどの位置に相当するものであるかを調べて、その結果に応じたルールを起動し、認識の場を書き換える処理として実現できる。ここで突き合わせの結果に応じて起動されるルールを解釈ルールと呼ぶ。解釈ルールの例は、5.3に示す。

以上の方法では、入力文の解釈にシステムからの要求内容を用いていない。従って学生はシステムの要求によらず自由に入力を行うことができる。

なお、現在は認識の場に、以下のようなタイプの認識を置く事している。これらは高校化学の問題演習において2.1で述べたような対話を実現するために最低限必要なものである。

- 正しい解法に対する認識 (解法過程モデル)
- 学習者の解法に関する認識 (学生モデル)
- 化学の専門知識

- 問題で与えられた反応の様子 (化学の世界モデル)
- 教育計画
- その他の認識

## 2.2.2 システム制御の基本手法

学習者からの入力に対して、たとえそれがシステムの要求した事柄でない場合にも、ただちにその意味解釈結果を反映した行動を取る能力を実現するために、我々は以下のようなシステム制御手法を用いている。

システムは基本的に、行動の最終目的を根とし、その副目標を節点とし、その手段となる行為を葉とするプラン木の構築と実行を繰り返しながら行動する。プラン木の構築には、ある目的とその副目標の列、もしくは目的達成の手段となる行為列の関係を記述した知識（目的手段型知識）を用いる。

プラン木中の行為を1ステップ実行するか、もしくは一つの副目標から1段プラン木を伸ばす毎に入力バッファが参照され、入力文が格納されていれば、入力文解釈処理がただちに行われる。学習者がシステムの要求していない入力（割り込み入力）を行った場合、その入力の解釈結果に応じて、プラン木の書き換え（もしくは再構築）を行うための知識（計画修正知識）が呼び出される。割り込み入力によりプラン木を書き換える必要があるのは、プラン構築の際の仮定が誤りであると判明した場合などである（詳細については[5]に譲る）。

以上により、学習者からの割り込み入力に対して、システムの行動の最小ステップ毎に意味解釈を行い、必要であれば行動プランを修正して意味解釈結果をただちに行動に反映させる能力が実現されている。

## 2.3 基本手法に対する問題点

### 2.3.1 意味解釈における問題点

我々はこれまで、上述の基本手法に基づいて入力文の意味解釈を行う対話インタフェースを構築してきたが、その際以下のような問題点があった。

- 誤りを含む入力文の取扱い方法が整備されておらず、適切な解釈を行えないことがある。

従来、誤りを含む入力文に対しては、認識との照合の際に特定の概念（解法における数値概念、公式、数式など）についての差異があっても、照合を認めることにより意味解釈を行っていた。これを照合条件の緩和（もしくは、単に緩和）と呼んでいる。しかし、

- どの認識中の、どの概念について緩和すべきか
- 緩和の結果照合された入力文の解釈のために、どのような解釈ルールを与えるべきか
- 緩和によって生じる照合先の曖昧性をどう解消するか

等の点について未整備であったため、必要な緩和が行われず、誤りを含む入力に対して正しい文と同様の応答をしてしまう、入力文が非常に多くの認識と照合成功してしまう、等の現象がみられた。

- 複文の処理において、入力文で述べられている節間関係が、認識の場に直接表現されていないと照合が成功しない。

基本解釈手法では、複文が入力された場合、まず節の照合を行い、次いで入力文の各節に対応する認識が、入力文の節間関係と同じ関係で結ばれている場合に照合成功としていた。しかしこの手法では、意味解釈が失敗する場合がある。例として、認識の場に「A するために B する」「B するために C する」という目的手段関係が記述されている場合を考える。このとき「A するために C する」という文が入力された場合、この関係は認識の場に直接記述されていないため、照合は失敗する。しかしこの入力文の主張は認識の場の記述と無矛盾であり、本来照合に成功すべき文であると考えられる。

- 入力文が認識の場の複数の箇所に対して照合成功する場合に、適切な解釈結果を選択する方法が未整備である。これまで上述の状況における照合結果の選択には、ヒューリスティクスにより照合の順序に優先度を設定し、照合可能な箇所が一箇所見つかった時点で照合を打ち切る、という方法を用いてきた。しかしこの方法では、あまり精度のよい解釈は得られない。

3. ではこれらの問題点を考慮して行った意味解釈手法の整備拡張について報告する。

### 2.3.2 システム制御に関する課題

2.1 で述べたような対話を実現する上で、上述の基本システム制御手法そのものには特に問題となる点はない。しかし対話システムを実際に動作させるためには、具体的な対話戦略（目的手段型知識、計画修正知識）を設計する必要がある。これまでに問題演習のための簡単な戦略については設計例を示しているが、本稿では 4. において、2.1 の 1.~4. に対応する対話戦略の設計例を示す。

## 3 意味解釈手法の拡張

2.3.1 で述べた問題点について改善するために、我々は、照合条件の緩和処理に関する考察、省略表現の補完処理の整備、複文における離散的な照合結果の統合処理の導入、照合結果が複数生じた際の選択処理の整備を行い、基本意味解釈手法を拡張した。以下、問題点に対する考察の結果と、意味解釈手法の改善点について述べる。

### 3.1 照合処理の基本手順

まず、照合処理の基本手順について説明する。2.2.1 で述べたように意味解釈処理では、入力文と認識の照合を行い、照合結果から解釈ルールを起動して認識の書換えや生成を行う。このために、認識の場の中である種の意味上のまとまりを持つ領域をあらかじめ切り出しおき、この各領域に対して、その意味に応じた解釈ルールを付与しておく。この領域を、意味ブロックと呼んでいる。意味ブロックは、認識表現が自然言語表現に対応しているため、自然言語の構文木の部分木（単語、句、節、文）に対応する動詞・名詞フレームから構成される。現在のところ、認識の場にお

ける一つの主張単位毎に解釈ルールを与えているため、意味ブロックの最小単位は単文に相当するフレーム群である。また複文の解釈のために、複文に相当する意味ブロックも定義されている。意味ブロックの例は 5.3 において示す。

- 意味ブロック内での照合

まず入力文を構文解析し、2.2.1 で示した認識表現の記述法に変換して、認識と照合する。入力文が複文である場合、2.3.1 に述べた基本手法に従って複文に相当する意味ブロックとの照合を試みる。

- 複文処理における照合処理の拡張（統合処理）

2.3.1 に述べた複文処理における問題を解決するためには、複文を構成する各節が認識の場に離散的に照合された場合でも、認識の場における照合結果間の位置関係と、入力文における節間関係が無矛盾であれば照合成功とするような処理を行えばよい。この処理を統合処理と呼ぶ。この処理は、照合結果である意味ブロックの位置関係を条件とし、統合後の照合結果を決定する手続きを持つルールにより実現できる。このようなルールを統合ルールと呼ぶ。

問題演習における対話についての事例研究から、現在認識の場に置かれている認識について、この統合処理を用いての照合が必要となる認識上の関係を抽出した。この関係及び統合ルールの例を表 1 に示す。

### 3.2 学生の誤りによる照合の失敗と、照合条件の緩和

CAI システムにおける対話では、学生からの入力に誤りが含まれる事を無視できない。しかし、誤りを含む入力文をシステムの認識と単純に照合しても、ほとんどの場合照合は成功しない。また 2.3.1 で述べたような方法で、単純に照合条件を緩和してもあまり良い結果は得られない。そこで誤りを含む文の意味解釈について考察する。

#### 3.2.1 誤りを含む単文のタイプと、その意味解釈のための処理

まず、単文を対象に、誤りを含む文をその誤りの内容によって次のように分類する。

- (a) 主張内容に誤りのある文

誤った解答や数式、起こり得ない事象などを主張している文。

- (b) 語句など、表現上の誤りのある文

化学物質の名称の誤りなど、学生の意図した主張内容とは別に、表現上の不備がある文。

- (c) システムの想定する話題の範囲に含まれない文

これは厳密に言えば誤った文ではないが、認識に対して照合することは不可能である。

表 1: 学生の発話に対応する暗黙の関係とそれに対する統合ルール

関係のタイプ	その例	統合ルール
途中を省略した目的手段の関係	「A するために B する。B するために C する」に対して「A するために C する」という途中を省略した目的手段関係も暗黙に表現されている。	目的手段関係の途中にいくつかの目的手段関係を挟んだものについては統合する。
化学変化の因果関係	「ある状態 S が存在し、ある変化 C が起こる」「ある変化 C が起こるので、次の状態 S' が存在する」という関係による化学変化の因果関係の記述に対して、「ある状態 S の次に、別の状態 S' が生じる」という関係が、暗黙に表現されている。	化学変化の因果関係については、「S の次に S' が生じる」という関係については統合する。
....		

それぞれの誤りについて、どのような意味解釈処理が行われるべきかを考える。

(a) については、認識の場にある正しい主張と比較し、どのように誤っているかを評価して、必要なら学生モデルを書き換える必要がある。従って、この種の誤り文の意味解釈のためには、まず正しい主張に対応する意味ブロックに、学生の誤りの評価と学生モデルの修正を司る解釈ルールを付与しておく必要がある。さらに、この種の文が、この解釈ルールを付与した意味ブロックに照合成功しなければならない。

(b) については、それが単なるミスによるものか、あるいは本質的な誤りであるのかを判定するため、再入力促すとともに、正しい表現に修正して解釈しなおすことが望ましい。従ってこの種の誤り文の照合のためには、通常の機構に加えて、表現上の誤りを検出して修正する機構が必要になる。また表現上の誤りに対し特にコメントしたい場合などには、各意味ブロックにそのための解釈ルールを付与しておく必要がある。但しこの種の誤りについては、表現上の誤りを重視して一旦解釈不能とし、再入力促すような立場もありうる。

(c) については本稿では検討の対象外とする。システム設計時に、なるべくこの種の入力文が生じないように、十分なバリエーションをもった認識を設定すべきである。

### 3.2.2 単文の照合における条件の緩和

3.2.1 で述べたことから、誤りを含む単文の照合のためには、次のような照合条件の緩和が行われる必要がある。

#### • (a) の誤り文のための緩和

誤り文に対応する主張内容を持つ意味ブロックへの照合を成功させるための条件緩和が必要である。このような条件緩和を実現するために、本研究では以下の方法を用いる。

- 各意味ブロック毎に、その意味ブロックに含まれる語句（フレーム）のうちで、内容が変化しても同一の事柄についての主張となるものに、あらかじめ「緩和可能」のマークを付けておく。例えば、解法モデル中にある「ある物質の、ある属性値は、ある値である」という意味ブロックにおいて、「ある値」の部分が変わっても、主張対象は同一であると考えられる。

表 2: 緩和条件の例

主張内容の誤り	表現上の誤り
<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 解法過程の数量概念の値についての認識では、数量概念の値は緩和を用いた照合をしても良い。</li> <li>・ 解法過程に現れるある数量概念の値を求めるための式では、式の形については緩和を用いた照合をしても良い。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 化学物質の名称の誤りについては、良く間違われるものについてグループ化を行ない、グループの中の語については緩和した照合を用いた照合をしても良い。</li> <li>・ 分子式の添字の間違いが良く見られるので、添字については緩和を用いた照合をしても良い。</li> </ul>

- 照合処理時に、「緩和可能」のマークの付いたフレームについては、入力文と一致しなくとも照合成功とする。

本研究ではこの種の緩和を、意味ブロックの性質に基づく緩和と呼ぶことにする。

#### • (b) の誤り文のための緩和

誤った表現を修正しつつ認識への照合を行う必要がある。学習者が犯す表現上の誤りを修正する一般的な方法は考えにくいので、本研究では学習者の犯す典型的な誤りの傾向を一種のバグ知識として用意する。この種の知識を用いた照合条件の緩和を、バグに基づく緩和と呼ぶことにする。具体的な処理方法は次のようになる。

- 照合の際、入力文側の語句（フレーム）が、認識側のフレームに対して、バグ知識の示す典型的誤りパターンを示している場合、照合成功とする。例えば、バグ知識に、「分子式の原子数を示す添字の欠落」がある場合、入力文中の「HO」は認識中の「H<sub>2</sub>O」と照合成功する。この際、どのバグ知識を用いて照合条件を緩和したかを、以降の処理に送る必要がある。

なお、意味ブロックの構造に基づく緩和と、バグに基づく緩和がおなじ語について行われるようなケースもありうる。この場合、後述する選択処理の中でヒューリスティックスによりいずれかが選択される。現在我々は、意味ブロックの構造に基づく緩和を優先している。

現在システムに与えている緩和条件の例を表 2 に示す。

### 3.2.3 誤りを含む複文の取扱い

誤りを含む複文には、各節が誤りを含むものと、節間関係が誤っているものがある。前者については個々に単文と同様の取扱いをすればよいと考えられる。ここでは後者について述べる。

複文と認識の照合においても、単文の場合と同様に照合条件を緩和することにより誤り文の解釈が可能になる。節間関係の誤りでは、3.1で述べた統合処理を利用することにより照合条件の緩和を行うことができる。

- 典型的な節間関係の誤りについて、上述の統合ルールの枠組みを用いて、適当な意味ブロックに照合されるようにルールを記述しておく。またここで照合先となっている意味ブロックに、このタイプの誤り文についての解釈ルールを付与しておく。
- 誤り文は認識に対して、節毎に離散的に照合されるが、その後の統合処理において、上で用意した統合ルールの働きにより、想定した意味ブロックに照合成功する。そして解釈ルールが起動される。

以上の処理では、典型的な節間関係の誤りに対して、統合ルールの形でバグ知識を定義したものと考えられる。よってこの種の解釈処理を、バグに基づく統合と呼ぶ事にする。

このような解釈を行うべき例としては、ある条件帰結関係について逆が成り立たないにもかかわらず、学習者が逆を主張している場合などを想定している。具体的には「加えた酸が塩酸であるならば、亜鉛は溶解する」という認識があるとき、「亜鉛が溶解するならば、加えた酸は塩酸である」との入力に対して、「亜鉛が溶解しても、必ずしも加えた酸が塩酸であるとは限りません」との指摘を行うような場合である。

### 3.3 複数の照合結果からの選択処理

ここまで述べた方法で入力文を認識に照合した場合、複数の認識に対して照合成功となる場合がある。この時、複数の照合結果が出た原因のタイプ毎に、この競合を解消するためのヒューリスティックスを定義することができる。

以下にこの原因のタイプを整理する。

#### 1. バグに基づく緩和を原因とする競合

バグに基づく緩和では、バグ知識による語句の変形の度合いにもよるが、一般に複数の照合候補が得られる。例えば上述の「分子式の原子数を示す添字の欠落」というバグ知識を用いると、入力文中の「HO」は認識中の「H<sub>2</sub>O」だけでなく、「H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>」にも照合が成功する。この場合には、誤りの起こり易さ、変形の大きさなどを参照するヒューリスティックスを設定することが考えられる。

#### 2. 省略のある入力文に対する補完を原因とする競合

対話文では文の一部が省略されることは珍しくないが、省略のある文はそのままでは解釈できないので、以下の方法で省略部を補完している。

- 省略を含む文と認識を照合する。文がある意味ブロック内に完全に含まれている場合、不足部は省略されたとみなして補完し、その意味ブロックに対して照合が成功したものとす。

ところがこのような処理を行うと、多くの場合複数の意味ブロックに対して照合が成功する。

このタイプの競合では、人間は直前に話題となった事柄について省略する機会が多いことを利用したヒューリスティックスを用いる。例えば「水素のモル数はいくつですか」というシステムの質問に対して、「0.2molです」と学習者が答えたような場合である。

### 3. 認識の場の複数箇所に同じ認識があることを原因とする競合

一般に、認識の場に複数のまったく同じ認識が記述されている場合、照合結果の競合が生じうる。

一例としては、ある種の推論過程を表す認識があり（例えば、演習問題の解法モデルなど）、その推論過程である認識が参照されているような場合（例えば、求解過程である化学変化を前提として式を立てた場合）、参照された認識をコピーして推論過程の一部としてしまうと、このコピーが原因で同じ内容の認識が複数生じてしまう。この種の競合については、どちらがコピーであるかを記憶しておき、それを利用したヒューリスティックスを用いている。

現在のところ、(3)に該当する他の事例は現れていない。

以上の各タイプの原因毎に、定めているヒューリスティックスを表3に示す。ヒューリスティックスには優先度を定めており、複数の原因で競合が生じている場合には、この優先度に基づいて適用すべきヒューリスティックスを選択する。

## 4 対話戦略の設計

ここでは、2.1に示した1.~4.の問題点の解消のための、対話戦略の設計例を示す。

#### 1. 学習者がシステムの指示した行動しか許されないことを解消するための対話戦略

この問題点に対しては、種々の割り込み入力を想定し、それが行われた際に、必要であればシステムの行動計画を修正するための計画修正知識を設計すればよい。

ここでは、次のような割り込み入力を想定する。

- 教師が質問している事柄以外について、学習者が自らの理解状況を表明する

表 3: 選択のヒューリスティックス

バグに基づく緩和	<ul style="list-style-type: none"> <li>バグに基づく緩和を用いず照合している結果を優先する</li> <li>バグに基づく統合を用いていない照合結果を優先する</li> <li>システムが行った直前の質問の答えに相当する位置の照合結果を優先する</li> <li>.....</li> </ul>
省略に対する補完	<ul style="list-style-type: none"> <li>システムが行った直前の質問の答えに相当する位置の照合結果を優先する</li> <li>直前の発話と認識の場の中で近い位置に相当する照合結果を優先する</li> <li>補完されている語が、直前の発話に含まれている場合はその照合結果を優先する</li> <li>.....</li> </ul>
複数と同じ認識	<ul style="list-style-type: none"> <li>どのような事実が条件判断の根拠となっているかを尋ねた質問に対する答とみなせる時は、条件判断の根拠の照合結果を選択する</li> <li>上の場合以外の時は、複写元の認識を選択する</li> <li>.....</li> </ul>

- 教師に対して、学習者が疑問に思った事柄を質問する
- 教師の教法について学習者が要求を発する  
計画修正知識の設計のために、それぞれの割り込み入力に対して、次の事柄を整理する。
  - (1) システムがその入力に対して取るべき行動は何か。
  - (2) その入力の副作用により、行動計画の修正を要する状況はあるか。あるとすれば、どのような場合か。

(1) は各割り込み入力が行われたことを条件部に持つ計画修正知識の帰結部に、どのような行為を記述すべきかを示す。(2) は割り込み入力に対応する解釈ルールがどの認識を変化させ、またその変化を条件部に持つ計画修正知識の帰結部にどのような計画の修正内容を記述すべきかを示す。

例えば、上の「学習者が自らの理解状況を表明する」タイプの割り込みでは、(1) はその理解状況を評価する発話を行うことである。(2) については、この割り込みにより学生モデルの内容に変化があった時、教示すべき知識の追加や、現在行っている説明の中止などを要する可能性がある。これらのことから計画修正知識として、以下のものが必要となる。
- 学習者が演習問題の途中結果を入力したら、行動計画の次の行動の位置に、「その途中結果の評価を述べる」を追加する。
- 「学生がある知識を理解している」ことが現在の行動計画の前提として記録されており、かつ学生モデルに「学生はその知識を理解していない」旨が書き込まれた場合には、現在の行動計画の最初に、「その知識について教える」という目標を追加する。

- 「ある知識を説明する」ことが現在の行動計画中にあり、かつ学生モデルに「学生はその知識を理解している」旨が書き込まれた場合には、現在の行動計画からその知識の説明を削除する。  
無論、割り込み入力に対する教師の対応がどうあるべきかについては、上の例とは異なる考えかたも有り得る。しかしその場合でも、上と同様の考え方をを用いて、教師の対応を定義することができる。

2. 学習者の着目点と無関係に対話が進むことを解消するための対話戦略

この問題については、二つの方向からのアプローチが考えられる。ひとつは、教師が設定する話題の流れをなるべく学習者にとってわかりやすいものとし、学習者の着目点が教師の話題と一致するように仕向けることである。もう一つは、教師からは最低限の話題設定のみを行い、なるべく学習者自身に話題を選択させることである。本稿では後者の考え方に則った戦略の設計例を示す。

まず、どのような場合に教師が話題を設定し、どのような場合に学習者へ話題の提供を促すか、という方針を定めなければならない。ここでは以下の方針をとることにする。

- (1) 学習者がどこかでつまづいていることが明白な場合には、つまづき箇所を明確にするまで質問を繰り返すことを避けるために教師側から質問せず、どこまで理解しているかを入力するよう促す。
- (2) 学習者が一定時間以上入力しない場合、最低限の話題設定としてひとつ質問する。質問項目は、学習者が設定した話題に近いものを選択する。

方針(1)の対話戦略への反映について述べる。学習者のつまづきが明らかになるケースとしては、教師からの質問に対する応答の中で判明する場合と、割り込み入力の結果として判明する場合がある。割り込み入力から判明する場合を考慮し、この方針は、次のような計画修正知識として記述する。

- 学習者モデル上に「学生が求解に失敗している」という記述がある場合には、どこまで解いているかを入力するよう促す。

(2) については、割り込み入力が行われない場合の教師の行動に相当するので、目的手段型知識の形で記述することができる。この戦略を簡略化して示すと、以下ようになる。

目的：ある問題について問題演習を行う

そのためには その問題を出题し、

(一定時間待ち

直前の話題の次のステップについて

質問する) ということ

学生が正解するまで繰り返す

### 3. 入力として許される表現の表現能力が十分でないことに関する対話戦略

この問題については、対話戦略と直接の関係はなく、意味解釈機構の整備によって解決されるべきものであると考えられる。

### 4. システムの指示の意図がわからないことを解消する対話戦略

システムの意図に関する質問に答えるためには、システムの行動計画中に、行動の意図が明示されている必要がある。これは計画作成に当たり、次の三点に配慮することで実現できる。

- 目的手段型知識により計画木を展開するとき、どのような目的の手段として計画を展開したのかが、計画木に正しく反映されていれば良い。たとえば、「学習者の水素のモル数の理解状態を知るために、水素のモル数について質問する」という関係等。
- 条件付き行為の条件判断を行ったときに、その条件に当てはまった事実との関係を保持しておく。例えば、「学習者の解答に誤りが含まれているときは、学習者に修整箇所はないか確認する」という条件付き行為に対して、その条件に当てはまる「学習者は水素のモル数を間違えている (ので)」という事実を計画に付記しておく。
- 抽象的行為を具体化した場合、具体化の根拠となった事実との関係を保持しておく。たとえば、「学習者がもっとも理解していない事柄を教える」という計画を「水素のモル数を教える」と具体化するとき、「学習者は水素のモル数をもっとも理解していないので、水素のモル数を教える」と計画に付記しておく。

なお、一般にはシステムの指示の意図を学生に伝えることが必ずしも教育的であるとは言えない。学習状況によっては、敢えてシステムの意図を伝えずに、学生自ら発見させることが重要な場合もありうる。どのような場合に学習者に対してシステムの意図を伝達すべきかについては今後の課題である。

以上をまとめた対話戦略の例を表4に示す。

表4: 対話戦略の例

- 学生からの質問に対しては、問題の直接の答を除き速やかに答える。
- 学生からの解答の表明は、システム主導の指導に優先して評価を行なう。
- 学生がある数量概念について発話してきた時は、その数量概念について学生が未理解の場合には、その数量概念に教示対象を移し、すでに理解している時は、その数量概念と関係付けて求めることのできる数量概念に教示対象を移す。
- システム主導の指導に対し、学生が解答不能の表明をした場合には、学生がわかっている途中結果について、自主的に入力をするよう促す。
- 教師の指導意図に対して問い合わせがされた場合については、教育計画に記されている情報から説明する。
- ある数量概念の値について教示する時は、その数量概念についての学生の理解状況を調べ、学生が理解するまで、(一定時間待ち、解法を進める上での順序性に沿って話を進めるため)
  - その数量概念を求めるのに用いる式について教示し、
  - その式に代入する値それぞれについて教示し、
  - その式に値を代入した結果について教示し、
  - 値を代入した式を計算した結果について教示し、
  - 数量概念の値について学生に質問する。ことを繰り返す。

## 5 対話システムの実現

### 5.1 システム構成

以上の検討により得られた知見に基づいて、システムを構築している。このシステムの全体構成は、図3のようになる。

問題解決部は、問題データベースの問題を化学の専門知識を用いて解き、問題で与えられている化学反応についてシミュレートを行い、答えとなる数量概念を求めるための数量概念間の関係を再現する。これについては、文献[4]に詳しい。シミュレート結果は、認識の場に化学の世界モデルとしておかれる。また、数量間の関係を元に、システムが模範解答の求解手順を作り、これを認識に教師の正解のモデル(解法過程モデル)として記述する。

同時に、この解法過程モデルを元に、学生モデルをオーバーレイモデルとして記述する。化学の専門知識もデータベースの内容が認識の場に表現される。学習者からの入力を自然言語インタフェースが受け取ると、入力文を構文解析し、認識と同じシンタックスの表現に変換する。また、対話制御部は割り込みを感知して入力文解析部に制御を移す。

入力文解析部は、自然言語インタフェースの構文解析結果を認識と突き合わせる。照合処理が終わると、照合結果を元に学習者の入力を認識に反映させるための解釈処理を行う。これによって学生モデルの書き換えや学生からの要求に基づく計画の直接書き換えなどが行われる。解釈処理が終わると、対話制御部に制御を戻す。対話制御部の動作は、制御知識によっている。詳細は文献[5]に示しているが、基本的な制御のしくみは、

- 学習者の入力の解釈



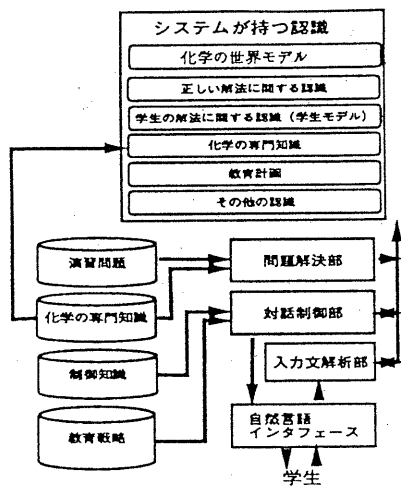


図 3: システム構成

学習者からの割りこみ入力があれば入力文解析部に制御を移し、入力文を解釈し認識を書き換える。

● システムの行為

変化した認識があれば、その認識が他に影響を与えないか調べ、必要であれば他の認識も修整する。

変化した認識がなければ計画を実行する。

直接実行可能な計画であればその計画を実行し、直接実行可能でなければ、実行可能な手段に計画を展開する。

を基本制御サイクルによって繰り返し、実行する必要がある行為が計画中になくなるまで処理を行なう。

現在、SUN ワークステーションで動作する、北大で開発された Common Lisp[HCL] 上にシステムを構築している。対話インタフェースと制御部がおよそ 140KB、演習問題解決部がおよそ 130KB、自然言語構文解析器がおよそ 120KB のソースコードとなっている。

### 5.2 照合処理の手順

ここでは、実際の照合処理の手順を示す。処理の流れとしては、

- 緩和を考慮した入力文と認識の対応付け
- 省略を補うために意味ブロックに対する補完
- 離散的な照合に対する統合
- 複数の照合結果が存在する場合の選択

の順序で行う。

ここでどのような緩和、補完、統合が行われたかを照合結果とともに次段の選択処理に送る。選択処理では、これによりヒューリスティクスを選択する。

### 5.3 照合後の手順

照合後に認識のどのような位置に、どのような条件で照合したかをみて、入力文の内容を認識へ反映するための処理を行なう。認識をどう変化させるかは、照合された認識とタイプと位置によって異なるので、認識の場の意味ブロックごとに解釈ルールを設定する。意味ブロックと解釈ルールの例を表 5 に示す。

## 6 処理例

T(1): [問題 3] 亜鉛 6.538g に十分な塩化水素を加えた時、発生する水素のモル数を求めなさい。

S(2): なぜ問題 3 を教えるのですか。

T(3): 金属と酸の反応を教えるためです。

T(4): 水素のモル数はいくつですか。

S(5): 分かりません。

T(6): あなたが分かることを答えてください。

S(7): 亜鉛のモル数は (0.1 mol) です。

T(8): 正しいです。

T(9): 水素のモル数を求める式は何ですか。

ただし、x:水素のモル数、y:亜鉛のモル数、である。

S(10): 亜鉛と塩酸は反応するのですか。

T(11): 正しいです。

S(12): 亜鉛が電子を出すので水素が発生するのですか。

T(13): 正しいです。

T(14): 水素のモル数を求める式は何ですか。

ただし、x:水素のモル数、y:亜鉛のモル数、である。

S(15):  $(x = y)$  です。

T(16): 正しいです。

T(17): 水素のモル数を求めるための式に値を代入した式は何ですか。

S(18): 水素のモル数は (0.1 mol) です。

T(19): 正しいです。

T(20): 正解を導くことができましたね。

T(21): 終了します。

この処理例ではまず、1 でシステムが問題を出題している。2 で学生が出題意図についての質問を行うと、システムは自らの行動計画を参照してこれに答えている。このようにこのシステムでは、システムの行動の意図に関する話題を、演習の任意の時点で扱う事ができる。5 で学生が求解につまづいていることがはっきりしたので、6 では学生に理解しているところまで自発的に答えさせることをねらいとした発話が行われている。9 では、7 で学生が設定した話題をもとに、それに関連する話題を選択して質問している。10 および 12 では学生が完全に対話の主導権を握り、この問題における化学現象に関する質問応答を行っている。以下、システムの誘導に従って求解が進むが、シス

表 5: 意味ブロックとそれに対する解釈ルールの例

認識のタイプ	意味ブロックの例	その意味ブロックに対する解釈ルールの例
解法過程モデル	数量概念を求めるための式の代入結果を表す 「水素のモル数を求めるための式に代入した式は $(n = 1 * 3 / 0.082 / 300)$ である」	平叙文に対しては、代入した式を評価し、学生モデルを書き換えるとともに正誤を告げる発話を次に行なう計画の位置に挿入する。
教育計画	数量概念について教える行為を表す。 「水素のモル数を教える」	「なぜ(～を教える)のですか」という理由を尋ねる疑問文に相当する句と統合された照合結果に対しては、計画の木の目的に当たる意味ブロックについて「～するためです」と答えて発話を次に行なう計画の位置に挿入する。
その他の認識	解答不能を表す発話がなされたことを表す。 「わかりません」	単独で照合した場合、理解しているところまでの発話を促すための計画を次に行なう計画の位置に挿入する。他の意味ブロックと「～がわかりません」が統合された結果に対しては、解法過程についてであれば、学生モデルを未理解に更新し、それについて教えるための計画を次に行なう計画の位置に挿入する。

テムが解を要求する前に 18 で学生が最終結果を述べ、それが正解であったために対話が終了している。

- 参考文献
- [1] 大槻, 山本: “知的 CAI のパラダイムと実現環境” 情報処理学会誌, Vol29, No11, p.p.1255(1988)
  - [2] 時森, 野村, 河野, 池田, 溝口: “ITS のための汎用フレームワーク FITS における対話管理メカニズム” 情報処理学会コンピュータと教育研究会, 19-4, 11, p.p.25-32(1991)
  - [3] 高木, 伊東: “自然言語の処理”: 丸善 (1987-07)
  - [4] 小西, 伊東, 高木, 小原: “ICAI における知識の成立原理の教示と対象世界のシミュレーション”, 電子情報通信学会論文誌, J3-D-II, 7, pp.1007-1018(1990-07).
  - [5] 小西, 伊東, 高木, 小原: “学習者に高い自由度を与える対話機構をもつ知的 CAI について”: 電子情報通信学会論文誌, Vol.J75-D-II, No.8, p.p.1397-1410(1992)
  - [6] 沼野井, 青島, 小西, 伊東, 高木, 小原: “問題演習型知的 CAI における入力文解釈と対話制御”, 人工知能学会第七回全国大会論文集, 27-4(平 04-07).

## 7 むすび

本稿では、これまで我々のシステムの意味解釈処理において問題となっていた、照合処理における誤りを含む文の照合、複数の照合結果の競合解消について詳細に検討し、意味解釈能力を改善するいくつかの処理手法について述べた。誤りを含む文の解釈については今後、単に意味を解釈するだけでなく、解釈結果からどのように学習者の誤り原因を判定し、教育行動に結び付けるかを考察しなければならない。一例として本稿では、バグに基づく緩和によって解釈された、表現上の誤りを含む文に対して再入力を促し、それが単なるミスによるものか、本質的な誤りであるのかを確認する、などの教師の対応を示した。

また、知的 CAI の対話インタフェースにおける 4 つの問題に着目し、これらを解決するための対話戦略を設計した。今回着目した問題の他にも、対話戦略により解決されるべき様々な問題点がある。一例として教師の意図を話題にされた場合、直ちにそれに答えてやるのが適切か否かなど、学習状況により対応を適切に選択する問題が挙げられる。このような戦略についても、本稿で述べた基本制御手法の枠組み内で取り扱えると考えている。これら対話戦略の有効性の評価のためには、評価実験の方法についての考察も今後不可欠であろう。

本稿では高校化学を対象としたが、学習者の自由度の高い対話に対する要求は、他の対象教科においても高いと思われる。また、CAI 以外の領域においてもユーザ主導の対話システムに対する要求はあり、これらの対象においても、本稿で述べた手法は応用可能であると考えられる。ただし、その際には、対象固有な認識についての整理と、緩和・補完・統合・選択の各条件の検討、その認識に照合した場合の解釈ルール、また対象の特性を生かした対話戦略の実現が必要である。