

ICAIにおける対象世界モデルの再認識機構について

—高校化学の問題演習型 ICAI を題材として—

山本 公洋† 斎藤 謙一† 小西 達裕† 伊東 幸宏‡ 小原 啓義†

†早稲田大学 理工学部 ‡静岡大学 工学部

問題演習型 ICAI では、問題対象となる世界のモデルを内部に構築する能力を持つ必要がある。しかし、一般にそのモデル表現には、利用目的に応じて極めて大きな自由度が存在する。単にある一通りのモデル表現だけでは、十分な問題解決能力を得ることが困難である。この問題を克服するためには、世界のある一つの側面を表現したモデル表現から、別の側面を表現したモデル表現を引き出す「再認識」の機構が不可欠となる。

本稿では、現実世界に対するモデル表現の自由度と再認識のタイプについて検討すると共に、高校化学の問題演習型 ICAI を題材とし、世界モデルの表現法と、再認識を考慮した演習問題求解機構に対する一提案を行なう。

Re-interpretation mechanism of a target world model in ICAI

: within a domain of chemistry in high school

Kimihiko Yamamoto † Ken'ichi Saitou † Tatsuhiro Konishi † Yukihiro Itoh ‡ Hiroyoshi Ohara †

†School of Science and Engineering, Waseda University

‡Faculty of Engineering, Shizuoka University

In ICAI systems to educate students with exercises, a capability to construct a world model for a target problem is required. In general, representation of the model depends on a purpose of a system; however, a problem tends to be described in many viewpoints which require more than one representation. To integrate a number of representations, we must consider a mechanism of re-interpretation that allows one representation to refer other representations with different viewpoints and extract information from them.

In this paper, we classify different viewpoints of a target world and types of re-interpretation mechanism, and propose a method to utilize the mechanism in ICAI systems within a domain of chemistry in high school.

1 はじめに

一般に、ICA I が問題演習を行う場合、演習問題に関する問題解決能力を持つ必要がある。しかも、その問題解決は人間の知識・思考とかけ離れたものであってはならない。

この意味でICA I は、演習問題を解く際に対象世界における基本的な概念と概念間の関係を反映させた人間の認識に相当するモデル（対象世界モデル）を再現する能力を持つ必要がある^{〔1〕}。しかし一般に、そのモデル表現は、対象世界のある一側面を記述したものであり、状況・目的に応じて極めて大きな自由度が存在する。例えば水素と酸素の混合気体に対して、気体と見なしボイル・シャルルの法則を適用する場合もあれば、その燃焼を粒子の化学反応として捉える場合もある。

単にある一通りの表現を用いたモデル化だけでは、対象世界の有様を十分に把握したとは言えず、問題解決の達成が困難になる。この問題を解消するためには、ある対象世界の一つの側面を表現したモデル表現から、別の側面を表現したモデル表現を引き出す「再認識」の機構が必要と考えられる。このような機構をICA I が持つことは、演習問題を解く上で必要なだけでなく、学生に知識や解法の説明を行う上でも重要である。

本稿では、対象世界モデルにおける再認識の重要性を示し、そのモデル表現の自由度と再認識のタイプについて検討するとともに、高校化学の問題演習型ICA I を題材として、対象世界モデルの具体的な表現法と、再認識を考慮した演習問題求解機構を提案する。

2 基礎的考察

ICA I に演習問題の求解能力を持たせるためには、ICA I が対象世界のモデルを内部に構築する能力を持つことが不可欠である^{〔1〕}。また、世界の推移等を対象世界モデル上で再現する能力を実現する必要がある。

しかし、一般に、対象世界がある状態にあるとき、それをどういう状態であると認識するかには極めて大きな自由度が存在する。例えば、物体Aが物体Bに向かって移動しているとき、これを「物体Aと物体Bとの距離が減少している」と捉えることもできる。また、「 n 個の H^+ イオンと n 個の OH^- イオンが存在する」と「 H^+ イオンと OH^- イオンの対が n 組存在する」という2つの命題も同一の現象を表現している。

この様に、同一の現象であっても、それを対象世界モデル上で表現する方法が多様であ

るため、単にある一通りの表現で対象世界をモデル化しただけでは、世界の有様を十分に把握したとは言えない。

また、単にある一通りの表現で対象世界をモデル化しただけでは、認識が表現する対象世界の側面と知識表現が表現する対象世界の側面が一致するとは限らず、認識と知識の照合の許容範囲が極めて狭くなる。このため、対象世界の推移を知識を用いて再現（シミュレート）することも困難となり、演習問題の求解能力を達成できなくなってしまう。

この問題を解決するためには、ある対象世界の側面を表現したモデル表現から、同一の対象世界の別の側面を表現したモデル表現を引き出すことができればよい。対象世界モデルが、現実世界にある立場から認識した結果の表現で構成されると考えると、それは、対象世界の「再認識」ということができる。

実際、各種の演習問題の求解に際して、その様な対象世界の再認識が要所要所で行われている。例えば、図1の斜線部分の面積を求める場合、図の線分CDを「正方形の一辺」や「扇形の半径」として再認識する必要がある。

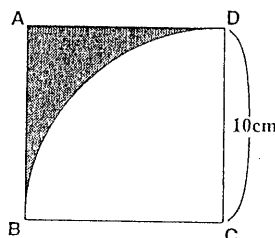


図1：空間パタンに関する認識

また、電気回路の演習問題でコンデンサーを「容器」に例えたり、光に関する演習問題では、光を「波」として考えられていたものを、「粒子」として再認識することがある。

さらには、水素と酸素の混合気体を、温度変化に関する問題では「気体」として、燃焼反応に関する問題では「水素と酸素の粒子」として認識しなければならない。

このような対象世界の再認識は、元の認識表現から再認識表現が導き出される過程から、概ね、次の3つのタイプに大別できるように思われる。

- ①元の認識表現で表される実体（もしくは現象）の空間的パタンから再認識表現が導き出されるタイプ。例えば、先の斜線の部分の面積を求める演習問題において、図1の線分CDを、空間に対する定義に基づき、「正方形の一辺」や「扇形の半径」として再

認識する過程がこのタイプに属する。

- ②元の認識表現で表される実体（もしくは現象）の特定の特徴のみに着目してその実体（もしくは現象）を表わす認識表現が導き出されるタイプ。例えば、食塩を、電離するという特徴に着目して、「電解質」と再認識する過程や、コンデンサーを、ものを蓄える性質があるということに着目して「容器」にたとえる（比喩）過程がこのタイプに属する。食塩の例からもわかるように、概念階層に従って上位概念を用いて抽象的に捉え直す様な場合も、このタイプの再認識と考える。

- ③元の認識表現で表されている実体（もしくは現象）を捉える粒度を変化させて再認識表現が導き出されるタイプ。例えば、ばねに吊下げられたおもりが上昇と下降を繰り返す運動を見て、「おもりが振動する」と再認識する過程等がこのタイプに属する。

このうち、高校化学の問題集によく見られる問題を検討した結果、①のタイプの再認識が必要とされることは極めて希であることがわかった。

②のタイプは、アナロジーの問題を含み、非常に興味深い問題である。特に、教育という面では、アナロジーを利用した説明が効果的であることを考えると、CAIシステムにとって特に重要な問題でもある。しかしながら、現状で直ちに解決することは不可能であると思われる。そこで今回は、このタイプに関しては、概念の上位下位関係についてのみ取り扱うものとする。

③のタイプは高校化学の問題解決で非常に頻繁に現れる。これは、物質が持つ特徴・性質は、その物質を構成する粒子（原子や分子）の種類、その構造関係によって決定され、その粒子の変化がどのような状況で生じるのか、また、粒子の変化により物質の特徴・性質がどのように変化するのかを学習するのが高校化学の目的であることに起因するものであろう。

その高校化学における③のタイプの再認識機構には、以下のような4つが考えられる。

- ③-(a)ある認識表現で表される実体概念が、他の複数種の実体概念とその構造関係より構成されるとき、それら実体概念間の関係を「実体概念間の全体部分関係」と呼ぶことにする（例：ボルタ電池とその構成要素）。この関係に基づき粒度を変化させる再認識機構。

- ③-(b)ある認識表現で表される実体概念が、他の、均一で多数の実体概念より構成され

るとき、それら実体概念間の関係を「実体概念間の集積関係」と呼ぶことにする（例：気体と気体分子）。この関係に基づき粒度を変化させる再認識機構。

- ③-(c)ある認識表現で表される現象概念が、他の複数種の現象の一連の流れより構成されるとき、それら現象概念間の関係を「現象概念間の全体部分関係」と呼ぶことにする（例：中和反応とそれを構成する各種現象）。この関係に基づき粒度を変化させる再認識機構。

- ③-(d)ある認識表現で表される現象概念が、他の、均一で多数の現象概念のくり返して構成されるとき、それら現象概念間の関係を「現象概念間の集積関係」と呼ぶことにする（例：「電流が流れる」と「電子が移動する」）。この関係に基づき粒度を変化させる再認識機構。

少なくとも、②の一部及び③の再認識機構を実現しておかなければ、システムに、高校化学に関する十分な問題解決能力を持たせることができない。そこで以降は、高校化学の問題演習型ICA Iを題材として、具体的な対象世界モデルの表現法と、このタイプの再認識機構を利用した問題解決機構について検討する。

3 処理方法

3. 1 対象世界のモデル表現法

高校化学において、計算問題タイプの演習問題を取り扱う上で必要な対象世界の表現法について考える。対象世界モデルが満たすべき条件としては、以下のものが考えられる。

I 高校化学の範囲で必要と考えられる、多様な認識表現を再現できる能力

II 人間の持つ思考に近い形で、対象世界の推移を再現できる能力

III そこから数量間関係式を抽出できる能力

このうち、II～IIIの条件を満たすものとして、数量概念を属性として持つ事物概念（状態、変化、作用）と、その関係を図2の依存関係に沿った形で整理した対象世界モデルがすでに提案されている^[1]。この対象世界モデルの考え方をを用いるものとする。

このモデルは、対象世界を、図2に示した高々数個の事物概念とその関係として表現したものである。このモデルでは、2.で示した③-(b)や③-(d)における均一で多数の要素より構成される対象を、要素を一つ一つ列挙するような形式で記述することは不可能

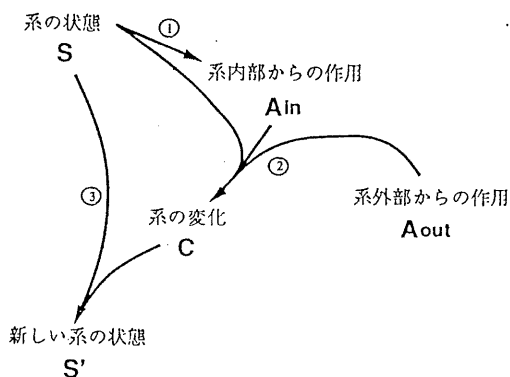


図2：事物概念間の依存関係

である。また人間もその様な認識は持たないと考えられる。

ここで、2. で示した③-(b)や③-(d)のタイプの再認識における粒度の大きい概念を“集積概念”，均一多数の要素を代表する一つの粒度の小さい概念を“代表元”と呼ぶことにする。上述のような対象は、この集積概念と代表元の関係して記述することにする。

高校化学で頻出する集積概念と代表元は、概ね、次の様な組み合わせになると思われる。(i) 原子・分子・イオン等の粒子が集積して物質を構成していると捉える際、物質を表す概念が集積概念となり、原子・分子・イオン等の粒子が代表元となる。

(ii) 無数に存在する均一な実体がかかわる微小時間内に生起する現象（例えば、原子・分子・イオンの結合や分離）が、一定時間内に幾つも重なりあいながら連なって生起している様を統括して一つの現象（例えば、水溶液の中和等）として捉える場合、総括して得られる現象概念が集積概念、個々の微小時間内する現象が代表元となる。

代表元は、実体概念であれば、多数存在する実体概念の中の一つ、また現象概念であれば、何度も繰り返される現象の中の一つを表している。従って、集積概念と比べ、空間軸上・時間軸上で特定の位置を持たない。しかし、代表元としての性質を持つ概念間にも、位置関係・時間順序関係は存在する。よって、集積概念と代表元は、別々の空間軸・時間軸を設けて記述する必要がある。

また、一般に、高校化学の範囲においては、集積概念として捉えられうる物質や現象の性質や特徴を考える場合には代表元として捉えられうるものの属性（粒子の大きさや微小時間内に生起する現象の経過時間等）が無視できるほどに粒度の差が大きい。従って、それ

らを全て単一の対象世界モデル内に表現するのは、やや無理があると思われる。

そこで、実体概念の大きさと、現象概念の経過時間幅を基準として、世界を4つに分割することにする（図3参照）。また、各階層世界において、代表元としての性質を持つ概念と、そうでない概念を区別するために、フラグを設ける。このフラグを“代表元フラグ”と呼ぶことにする。また、一つの階層世界においても、代表元としての性質を持つ概念と、そうでない概念は、別々の時間軸を設けて記述することにする。尚、高校化学の範囲では、連続的な空間の構造がほとんど問題にならないため、特に空間軸は設けていない。

事例研究の結果、図3に示した4つの世界のうち、粒子-通常時間世界に該当する認識表現は少なく、実用上必要ないと考えられる。従って、対象世界に関する認識表現を、残りの3つの世界に分けて記述することにする。

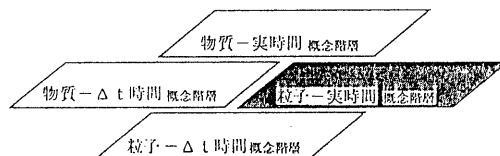


図3：モデルの階層世界

対象世界モデルは、I～IIIの能力を実現するものとして、上述の事柄を踏まえた上で、以下のような形式で実現する。

まず、各世界上では、対象世界の推移を現象概念フレームを単位として記述する。現象概念フレームは、初期状態(S)・変化(C)・最終状態(S')の3つの要素より構成されており、図2に示される対象世界の推移を表す一つの単位となっている（図4参照）。

初期状態(S)および最終状態(S')は、状態フレームを設けて記述する。系の状態は、基本的に、その世界を構成する実体概念とその構造関係によって記述される。よって状態フレームに同階層構造記述部を設け、そこに系を構成する実体概念とその構造関係を記述するものとする。

実体概念は、物質概念フレームを設けて記述する（図5参照）。

また、構造関係は、一階述語の形式で記述する。

物質概念間には、2. で示した③-(a)の全体部分関係が存在する。そこで、状態フレームと同様に、ある物質概念の集合を包括する物質概念が存在する時、要素間の構造関係は、

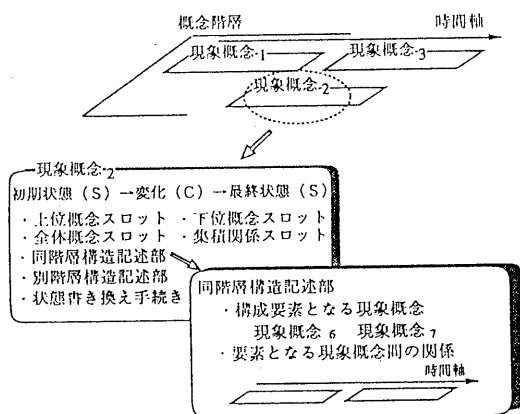


図4：現象概念フレーム

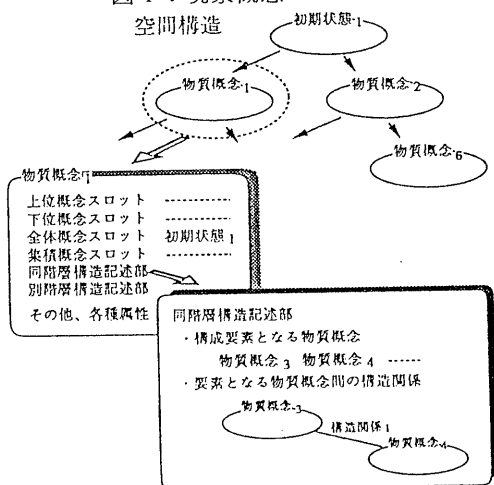


図5：物質概念フレーム

それらを含む側の物質概念フレームに同階層構造記述部を設けて、記述する。

従って、系の状態の空間構造は、その系の状態を示す状態フレームをルートとし、物質概念フレームをノード、全体部分関係をアークとしたtree構造のデータで表現される(図5参照)。

例えば、「水素と酸素の混合気体が存在する」という状態の空間構造は、以下の様に再現される。状態フレーム₁の同階層構造記述部・構成要素スロットに混合気体フレーム₁が記入される。混合気体フレーム₁の同階層構造記述部・構成要素スロットには水素フレーム₁と酸素フレーム₁が、同階層構造記述部・構造関係スロットには“混合(水素フレーム₁, 酸素フレーム₁)”という構造関係が記入される。

変化概念(C)は、その変化概念を表す一階述語と、初期状態を最終状態に書き換える手続きの組で記述する。例えば、「水素と酸素が燃焼する」という反応は“燃焼(H_2 , O_2)”という一階述語と、「 H_2 2個と O_2 1個が存在する」という状態から「 H_2 2個と O 1個が結合したものが2個できる」という状態を生成する手続きの組で表現される。

作用概念(A)も、一階述語の形式で、その作用が加えられるところの状態フレームに作用スロットを設けて記述する。

また、現象概念フレームには、同階層構造記述部に設け、その現象概念を構成する現象概念やその関係を記述する。例えば、中和反応に関する現象概念フレームには、「酸が電離する」や「アルカリが電離する」といった現象概念とその時間順序関係が記述される。

各世界には時間軸を設ける。粒子- Δt 階層(以後、A階層と呼ぶ)と物質- Δt 階層(以後、B階層と呼ぶ)は時間軸を共有する。物質-実時間階層(以後、C階層と呼ぶ)では、別に時間軸を設ける。

そして時間軸上の各時点と、現象概念フレームの開始時点の対応関係をとることで、時間軸上に現象概念フレームを配置し、対象世界を表現する。各時点は、各々の現象概念フレームが保持する初期状態・最終状態とは別に、状態フレームを保持する。この状態は、各時点に属する現象概念からその状態の空間構造を抜き出し、各時点から参照可能とした

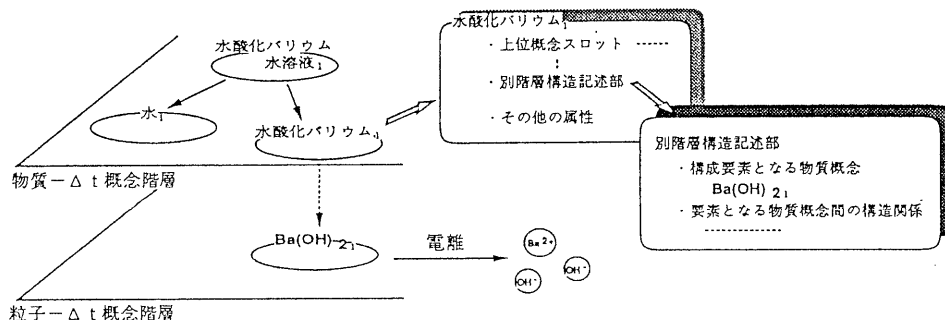


図6：概念階層間の関係の記述

ものである。時間軸上の時点を進めると共に、その時点に属する状態を書き換えることで、各世界において世界の振舞いが再現される。

実体概念・現象概念間に成立する集積関係は、代表元を表すフレームに集積概念スロットを、集積概念を表すフレームに別階層構造記述部を設けて記述する（図6参照）。例えば、水素フレーム $_1$ が H_2 フレーム $_1$ より構成されている場合、水素フレーム $_1$ の別階層構造記述部・構成要素スロットには H_2 フレーム $_1$ が、 H_2 フレーム $_1$ の集積概念スロットには水素フレーム $_1$ が記入される。

この対象世界モデルの構造では、2. で列挙した③-(a)~(b)の再認識の関係は、表1に示すような形で記述される。

表1：モデルにおける再認識の関係の記述

再認識のタイプ	再認識前後の認識表現の関係が記述されるモデル上の位置
③-(a)の再認識	物質概念フレームの同階層構造記述部
③-(b)の再認識	物質概念フレームの別階層構造記述部
③-(c)の再認識	現象概念フレームの同階層構造記述部
③-(d)の再認識	現象概念フレームの別階層構造記述部

3. 2 シミュレーション機構と再認識

再認識機構を含む問題解決システムを実現するためには、いつ再認識機構を起動するか、その動機について検討する必要がある。

人間も問題解決に際して再認識に相当する行為を行っていると考えられるが、その動機・タイミングに一定のパターンは見受けられない。そこで我々は、基本的には、「問題解決において必要とされる範囲で対象世界の振舞いを再現できる」ように再認識が実行できれば十分であるという立場をとることにする。すると、再認識機構を起動する動機は、対象世界の振舞いを再現する機構に大きく依存すると考えられる。

その機構は、以下のような処理になる。

対象世界の振舞いに関する知識は、図2の状態(S)、変化(C)、作用(A)の依存関係の形で用意する。図2の矢印①~②の関係は、状態(S)が満たすべき条件（生起条件）と、それによって生起する現象概念を結んだIF-THEN形式の知識として用意する。これを因果律知識と呼ぶ。また、現象概念においては、その現象が生起する前後の状態(S)の変化を、状態を書き換える手続きの形で定義する。これを現象概念知識と呼ぶ。このとき、矢印③の関係は、この手続きを起動することにより再現できる。

これらの知識を用い、以下のステップを繰り返すことで対象世界の振舞いを再現する。

(1)初期設定：問題文より与えられた概念と概念間関係を整理したフレームをつくる（問題情報モデル）。その初期状態を含む時点に着目する時点とする。

(2)着目する時点に属する状態が、その生起条件を満たす因果律知識を検索する。

(3)検索した因果律知識によって、生起する現象を特定する。そして、特定した現象概念知識を用いて、現在着目している時点の状態を書き換える。さらに、作成された新しい状態の時点に着目点を移す。

(4)対象世界モデル上のシミュレート結果と問題情報モデルの照合をとる。その結果、問題情報モデル上のすべての認識表現を対象世界モデル上で再現できたらシミュレーションを終了する。さもなければ、(2)へ。

この対象世界を再現する機構において、再認識が必要となるのは、以下の(i)~(iii)の場合である。

(i)代表元の振舞いが再現された場合
(上述のステップ(3))

一般に、世界の振舞いの再現において、代表元の振舞いのみを再現したとしても、集積概念によって構成される系の変化を再現したとは言えない。演習問題を解く過程では、代表元の振舞いを集積概念の振舞いとして再認識する必要がある。例えば、電気分解の演習問題を解くためには図7に示すような対象世界の振舞いを把握する必要がある。この再認識機構は、代表元フラグの立てられた現象が再現されたことを動機として起動する。この場合、③-(b)及び③-(d)において代表元を集積概念に再認識する機構が必要である。

(ii)状態(S)と因果律知識の照合をとる場合
(上述のステップ(2))

変化が表現する世界の側面と、再現した認識が表現する世界の側面とが一致するとは限らない。例えば、水素と酸素の混合気体は、気体の温度変化に関する因果律知識では「気体」として記述され、混合気体の燃焼反応に関する因果律知識では「水素と酸素の粒子」として記述される（図8参照）。従って、対象世界の状態(S)と生起条件の照合を行う際に、再認識機構が必要である。この場合、(i)の動機による再認識が行われていることを考慮すると、2. で示した②のタイプや③-(a)のタイプ、また、③-(b)において集積概念を代表元に再認識する機構が(ii)の動機で起動されると考えられる。

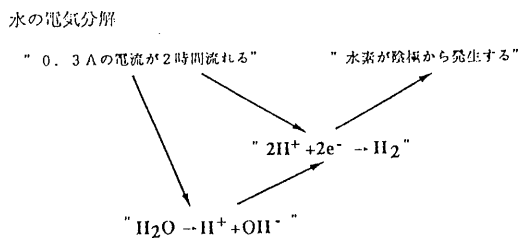


図7：対象世界のシミュレート

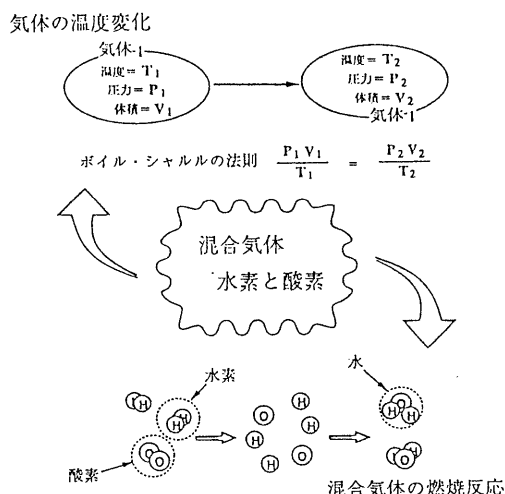


図8：変化（現象）の記述

(iii) 問題文の内容と照合をとる場合

(上述のステップ(4))

対象世界モデルと問題情報モデルの照合をとる際、問題文で言及されている認識が表現する世界の側面と、シミュレートに用いる知識が表現する世界の側面とが一致するとは限らない。従って、問題文の内容とシミュレート結果の照合をとる場合、再認識機構が必要である。この場合、(i)の動機による再認識が行われていることを考慮すると、2.で示した②のタイプや③-(a)のタイプ、③-(c)のタイプの再認識機構が(iii)の動機で起動されと考えられる。

高校化学の範囲で、再認識機構を用いながら計算問題タイプの演習問題を解くためには、上述のような3つの動機に基づき再認識機構を起動すれば十分であると考えられる。

次に、再認識機構の実現法について述べる。

3.1で示したように、物質概念同士、及び現象概念同士は同階層構造記述部スロットを介して結び付けられており、この全体部分関係を用いて物質概念知識間、及び現象概念知識間にネットワークが構成されている。ま

た、別階層構造記述部スロット及び上位・下位概念スロットを介して、物質概念知識間、現象概念知識間には集積関係及び上位下位関係のネットワークが構成されている。再認識にはこのネットワークが用いられる。

このネットワークを用いて、例えば、(i)の動機で起動される③-(b)のタイプの再認識は、物質概念知識間に構成された集積関係のネットワーク上を、代表元である物質概念を出発点として、目標とする世界上の物質概念が得られるまで集積概念スロットを検索する機構として実現する。

それら再認識の機構を、取り扱う概念と、検索するスロットの項目について、再認識のタイプ毎に整理すると表2のようになる。また、ネットワーク上の検索の出発点（元の認識表現）と検索する目標（再認識結果）の項目について、再認識の動機毎に整理すると表3のようになる。各再認識機構は、この表2～3に整理された形で実現する。

3.3 問題解決

システムは図9の様な過程で問題を解く。

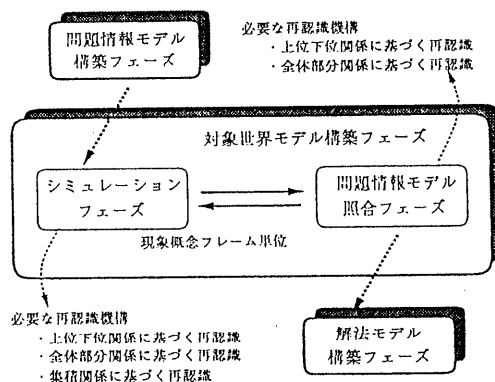


図9：演習問題求解過程

まず、問題文の内容を対象世界モデルと同様の形式に変換した問題情報モデルを構築する（問題情報モデル構築フェーズ）。システムはこの問題情報モデルの初期時点を構成する空間構造からシミュレーションを開始し、問題情報モデル上の概念がすべて対象世界モデル上で再現されるまでシミュレーションを行うことにより対象世界モデルを構築する。

対象世界モデル構築フェーズは、3.2で述べた処理を行う。

そして最後に、目標とする数量概念から、構築した対象世界モデルの事物概念間関係を

表2：再認識の機構(1)

再認識のタイプ	取り扱う概念	検索するスロットのタイプ(=ネットワークのタイプ)
②	物質概念, 現象概念	上位概念スロットと下位概念スロット
③-(a)	物質概念	全体概念スロットと同階層構造記述部スロット
③-(b)	物質概念	集積概念スロットと別階層構造記述部スロット
③-(c)	現象概念	全体概念スロットと同階層構造記述部スロット
③-(d)	現象概念	集積概念スロットと別階層構造記述部スロット

表3：再認識の機構(2)

再認識の動機	検索の出発点(元の認識表現)	検索する目標(再認識結果)
(i)	代表元概念	目標世界概念
(ii)	状態(S)を構成する概念	因果律知識の生起条件を構成する概念
(iii)	問題情報モデル上の概念	対象世界モデル上の概念

利用して数量間関係式を検索し、数量概念をノード、数量間関係式をアークとしたtree構造の解法モデルを構築する(解法モデル構築フェーズ)。解法モデルのleafに相当する数量概念は、問題文より与えられた初期値、もしくはシステムが既知とする数量概念より構成される。システムはこの解法モデルを用いて、目標とする数量概念を計算する。

4 具体例

「水に浸された2枚の電極に電池を接続して1mAの電流を3秒間流した。移動した電子の個数はいくつか?」という演習問題を解く過程を、3.2'で示した(1)~(4)のステップに沿って説明する。

(1) この装置は、水、電極、電池からなる。その構造が、C階層に記述される。

(2) 因果律知識「電池の内部に e^- が存在し、電池と陰極が接続されていれば、 e^- は陰極に移動する」の条件を調べるため、電池に対して③-(a)の再認識を行う。電子の構造中の「電子集合」が導かれ、さらに、これに対して③-(b)の再認識が行われる。その結果A階層に e^- が電子集合の代表元として記述される。

(3) 因果律知識の条件が満たされたため、「 e^- が移動する」ことがシミュレートされる。この現象が代表元フラグを持つため、③-(d)の再認識が行われ、「電子集団が移動する」ことがB階層に記述される。さらに、このことから、「電子集団が移動し続ける」ことが③-(d)の再認識によりC階層に記述される。

(4) 問題情報モデル上の「電流が流れる」と「電子集団が移動し続ける」の照合において、③-(c)の再認識が行われる。その結果、問題文と対象世界モデル上の認識が一致する。また、「移動した電子」も、B階層中の「電

子集団が移動する」と照合される。よって、問題情報モデルの中の全ての記述がモデル上に再現されたので、シミュレーションが終了する。

このとき、構築した世界モデル上では、「電子集団の移動」と「電流が流れること」が関係づけられている。この関係に基づいて、「電流の大きさ、電流を流した時間、電子集団の大きさ」についての数量間関係式を立て、計算問題が解かれる。

5 おわりに

本稿では、現実世界に対するモデル表現の自由度の存在と再認識機構の必要性を示すと共に、再認識機構のタイプについて検討した。また、高校化学の問題演習型ICA Iを題材として、具体的な世界モデルの表現法と、再認識機構を考慮した演習問題求解機構に対する一提案を行った。

今後は、今回の提案に基づき実際にシステムを作成し、能力を検証していく予定である。

謝辞 本研究の一部は、文部省科学研究費補助金(重点領域研究03245219)の援助を受けて行われた。

【参考文献】

- [1]小西,伊東,高木,小原:“ICA I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”.信学会,J 73-D-II,7, pp. 1007-1018(1990-07).
- [2]山本,小西,伊東,高木,小原:“化学を題材とした問題演習型知的CA Iにおける対象世界モデルを用いた問題解決過程”人工知能学会第4回全国大会論文集18-15(1989-07).