

協調リフレクション支援システムの開発

代表研究者 瀬田和久 大阪府立大学総合科学部講師

共同研究者 池田満 北陸先端科学技術大学院大学知識科学研究科教授

1 研究調査の目的

IT 分野では、技術革新が日々なされている。このような領域では、問題解決を実施する過程で必要な知識を習得する問題解決指向型学習を効果的に実施することが重要である。本研究では、問題解決指向型学習において効果的なリフレクション（内省）活動を促すための原理的知識を明らかにし、協調学習場としてのリフレクション環境を開発することを目的として研究課題を遂行した。より、具体的には、

1. 学習者による自発的なリフレクション活動を促すために、領域知識の理解状況などを実施者自身に効果的に視覚化して見せるインタフェース（Open Learner Modeling 環境）を実現する。
2. 1.で作成した環境に、実施者が行うべきリフレクション活動を適切な場面で適切に示唆するナビゲーション機能を設計・実装する。加えて、
3. 協調学習場としてのリフレクション環境を構築し、他者との相互作用を通じたメタ認知スキルの獲得を支援する

ことを目的として、研究を実施した。

2 研究調査の方法

リフレクションは自分が行った認知活動を振り返る認知活動（メタ認知活動）である。知的な初心者と呼ばれる人は一般に、メタ認知活動を効果的に行っていることが分かっていることから、効果的な問題解決や学習活動を行う上でメタ認知を効果的に実施することは特に重要であると考えられている。

一方で、メタ認知能力の熟達の初期段階では、メタ認知の実施により認知的負荷が増大し、学習活動そのものに配分可能な注意容量が減少することで、行き詰まりを生じる可能性がある。この点を踏まえ、本研究では下記のようなシステム設計指針を設定した。

- A) 問題解決指向型学習の特性を捉えた認知的負荷を軽減する学習場の提供：**メタ認知に対する「意識付け」を促すための外化（視覚化）環境を提供する。外化環境を提供することで問題解決や学習プランの記憶にかかる負荷を軽減し、メタ認知活動に配分可能な注意容量の増大を図る。外化環境において、本来は頭の中にある情報を目に見える形で視覚化することは、メタ認知にかかる負荷を軽減する効果がある。
- B) 注意の焦点化と集中化を支援する学習場の提供：**メタ認知活動の実施において注目すべき情報を視覚的にハイライトすることで注意の焦点化を支援するとともに、注意の集中化を支援するためのメタ認知ナビゲーション機能を実現する。
- C) 構成主義的学習場の提供：**メタ認知に必要な知識（メタ認知知識）は、領域独立の一般性の高い知識であるが、これを一般的な文脈で教示することは必ずしも有効ではない。学習者が取り組む問題解決の文脈の中で対応づけて教示することが有効である。本研究では、これを直接教示するのではなく、(a)(b)を実現する学習場で問題解決に持続的に取り組む中で学習者自らの経験を通じてメタ認知能力（メタ認知知識の構成とその運用力）の熟達が促される場を提供する。

この指針に従って、本年度は(1)問題解決指向型学習の特性分析、(2) Open Learner Modeling 環境の実装、および(3)リフレクション活動を効果的に支援するための原理的知識の体系化に取り組んだ。

3 問題解決指向型学習の特性分析と Open Learner Modeling 環境の実装

領域の初心者に対して問題が与えられ、問題解決活動と並行して、その実施に必要な知識の習得を行う学習形

態を、本研究では問題解決指向型学習と呼んでいる。新しい規格や技術動向を調査し、これに準拠するソフトウェアの開発を迫られるような場合に典型的に見受けられる学習形態である。問題解決指向型学習の特徴として以下のようなことが挙げられる。

- ・問題解決の解が満たすべき要件は、問題として明確に与えられる。
- ・問題解決プロセス（解作成に関わる活動の流れ）が学習者にとって明確でない。
- ・問題が与えられた際に、学習者は問題解決プロセスの構成、実施に必要な十分な知識を有しておらず、問題解決に必要な知識の範囲、詳細度が学習者にとって明確でない。
- ・何をどの程度、どのように学ばよいかということに関するアイデア/プランがない状況から開始する。
- ・問題解決/学習プランの立案/実施といった行為を部分的に繰り返しながら、対象領域に関する理解を次第に深化させ、何をどの程度、どのように学ばよいか、そしてどのように問題解決すればよいかということを見定めていく。
- ・進行中の学習プロセス、問題解決プロセスが、好ましい方向に向いているか否かを、その過程で判断するための明確なルールが存在しない。
- ・問題解決/学習を部分的に行い、その結果を観察/内省することにより、好ましい方向に向かっているかどうかを判断する。
- ・問題解決/学習活動プランの作成・実施（認知）とそれらの観察・統制（メタ認知）を繰り返しながら行う。
- ・問題解決終了時には、問題解決に必要な知識が習得されている。

これまでの教育/学習支援システムは、学習すべき内容とそれを習得するプロセスが比較的整備された well-defined な領域を対象としてきたといえる。本研究では、上述したような特徴をもつ、ill-defined な領域を対象として、学習者の思考過程を支えるツールの開発を目的としている。

このような学習形態においては、領域知識に関する自己の理解状態を適切に把握し、知識間の関係理解に基づいて問題解決に必要な知識の範囲を見極め、自分自身を効果的に教育する学習プランを、適応的に構成するといったメタ認知活動の実施が、問題解決と学習の双方を合理的に進めるために重要となる。

また、既有知識や知識リソースから十分な情報を得にくいような状況下で、様々な仮定に基づいた複数の選択肢を視野に入れ、問題解決プランや学習プランを仮説的に設計、実施するといった意志決定機会も少なくない。こうした場合にも、仮説とそれを導く前提や仮定の間の論理的依存関係を把握し随時検証していく必要がある。その結果、仮説設定の誤りを認識した場合には、これに基づいて設計された活動プランについても影響を把握し、再構成するといったメタ認知活動の実施が必要となる。このことから、メタ認知活動を適切に実施することの重要性を示唆しているといえる。

一方で、学習者が行う思考プロセス、とりわけメタ認知プロセスは潜在性が高く、その実施の拠り所とするメタ認知知識の効果的な教授を難しくする。認知活動やその実施に伴う理解状態の変化の過程をシンボライズし可視化することは、学習者にメタ認知的気づきを促す作用があるとともに、システムあるいは教師がメタ認知的気づきのある教授を実現することに貢献すると考えられている。

本研究で開発を進めている Kassist においても、問題解決や学習プラン、自己の知識状態などを GUI 上で図的に記述できるオープンラーナ環境を採用することで、メタ認知的気づきを促す環境を学習者に提供している。ここでは、問題解決領域に関する理解状況に加えて、問題解決/学習プロセスとの関係を効果的に視覚化する場を学習者に提供し「理解している/していない」、「仮説的である」といった自己の知識に関する信念状態も表すことができるようになっている。さらに、各知識項目と学習プロセス、問題解決プロセスの間の関係、例えば、「この学習プロセスは、この知識を詳細化することを目的としている」、「この問題解決プロセスは、この知識を前提として設定している」、といったプロセス設定の前提、目的などについても、マウス操作により容易に表現できるようになっている。

図 1 に開発したプロトタイプの動作画面を示している。この環境上で学習者が記述したこうした関係に基づいて、例えば、ある仮説が成立しないことを認識した場合には、その前提知識や、それに基づいて構成された問題解決プロセスなどがハイライト表示され、再構成すべき（領域）知識が示唆され注意の焦点化が促される。

この Kassist の特長としては、下記 4 点が挙げられる。

1. 領域知識の理解状況に関するメタ認知の促進：対象領域に関する理解状況を図的に記述できる（図 1 (b)）ため、領域知識の理解状況を自分自身で的確に把握することができる（領域知識の理解状況に関するメタ

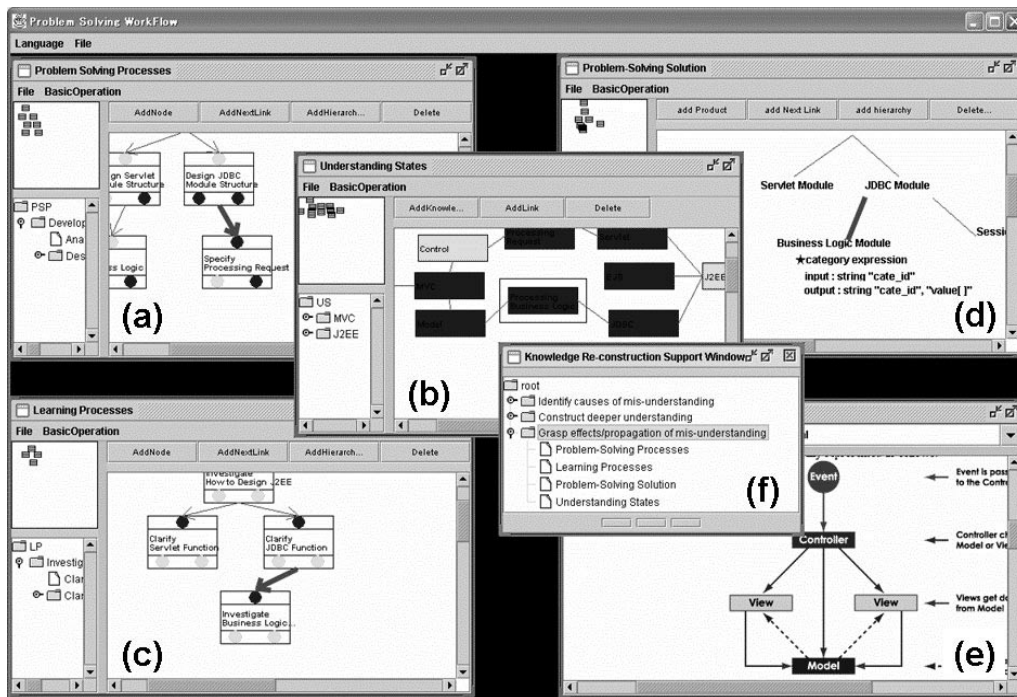


図 1：作成した Open Learner Modeling 環境（Kassist）の動作画面

認知)。

2. 問題解決における状況認知の促進：問題解決プロセス（図 1(a)）と学習プロセス（図 1(c)）を図 1(b)のウィンドウの領域知識の体系と対応づけて記述できるようになっているため、領域知識をピボットとして学習プロセスの行き詰まりが問題解決に与える影響や、問題解決のボトルネックとなっているプロセスを実施するために必要な学習プロセスなどを迅速に把握（メタ認知）することができる。
3. 知識再構成における状況認知の促進：対象領域に関して理解した内容についての誤りや不整合に気づいた際に、学習者がその内容を入力することで、その誤りの波及範囲がシステムから示唆（図 1(f)）され、学習者は再構成が必要な知識の範囲および内容を把握した上で、知識の再構成プランを作成することができる。
4. ナレッジリソース管理機能の提供：Web リソースや電子教材などのナレッジリソース(e)を問題解決プロセス、学習プロセス、領域知識とリンクすることができるようになっており、必要なときに必要な情報を迅速に検索・参照することができるようになっている。

4 リフレクションタスクオントロジーの構築

本研究では、学習者の誤りを貴重な学習資源ととらえ、誤りの原因と対処策に関して振り返り（リフレクション）そこから学ぶことが重要であると捉えている。このための原理的知識をリフレクションタスクオントロジーとして構築した。

このリフレクションタスクオントロジーの構築にあたっては、認知心理学の分野でこれまで得られたリフレクションに関する知見を精査した。そして、Hollnagel らが提案した CREAM メソッド（Cognitive Reliability and Error Analysis Method：認知的信頼性と誤り分析の方法論）を参照モデルとして、認知活動に関する因果関係モデルを体系化し、47の誤り認知活動（erroneous cognitive activity）概念と45のリフレクション活動概念を抽出し体系化した。

これによって、リフレクション活動を行う学習者に対してより積極的な支援を行うことが可能になっている。すなわち、学習者が行うリフレクションの目的（例えば、問題解決は完了したが時間超過してしまったので、その原因を振り返って同定したい）に対して、そのために参照すべき情報がシステムから提示され、学習者に対して提示することができるようになっており、学習者とシステムとの対話的なやりとりを通じた協調リフレクシ

ンの枠組みが実現されている。

以下では、協調リフレクションフレームワークを実現する上で基盤となっている誤り認知活動オントロジーとリフレクション活動オントロジーの概要を報告する。

4.1 リフレクションタスクオントロジーの概要

学習者は常にあるいはランダムにリフレクションを実施するわけではなく、認知的葛藤（自己の認知プロセスの再構成の必要性を示唆する誤りに対する気づきなど）が起きた時に特にリフレクション活動が喚起されることが知られている。こうした学習者が行う自律的なリフレクション活動をシステムが効果的に支援することができれば、そのとき取り組んでいる問題解決に直結する知識のみでなく、リフレクションの実施に関する一般的知識の獲得が期待される。

問題解決指向型学習を実施する学習者は一般に、複数の認知プロセスを並列的に実施するので、現実世界やあるいは学習者の頭の中で多様な作用（イベント）が起こることになる。したがって、目的に対して合理的なリフレクション活動を実施するためには、そうした様々なイベント情報から、認知活動を想起させるための注目すべき適切な情報を取捨選択した上で、再構成を促す情報を提供する必要がある。

Kassist では、学習者が実施するリフレクションの目的に応じて、その目的を達成するために注目すべき情報を因果連鎖の流れを遡りながら提供することで、リフレクション活動をナビゲーションする機能を実現している。この機能を実現するための原理的知識がリフレクションタスクオントロジーである。

リフレクション活動は、自己の認知活動を観察し、振り返る活動であるが、特に誤りを認識したときには、誤り原因を同定したり、それに基づいて認知活動を再構成することを目的として実施される。誤りに適切に対処したり、誤りから学習するためには極めて重要な活動である。計算機システムがこの過程を適切に支援できるようにするためには、暗黙性、曖昧性が高い、（誤った）認知活動や、その連鎖のプロセス、さらには、それらが実世界や理解に対して与える作用などを明示化し計算機システムにも理解可能か形で体系化していくことが不可欠となる。リフレクションタスクオントロジーは、リフレクションタスクの構造と問題解決指向型学習における誤り連鎖の因果関係を規定している。

図2に本研究で構築したリフレクションタスクオントロジーの概要を示している。本研究では特に、認知的葛藤や誤りをきっかけとしたリフレクション活動に注目してリフレクションタスクオントロジーを構成しており、メタレベルにリフレクション活動オントロジー、オブジェクトレベルに認知活動誤りオントロジーを配置している。

リフレクション活動オントロジーは、学習者が実施するリフレクション活動の意味内容を体系化しており、認知活動誤りオントロジーは、学習者が実施する誤った（望ましくない）認知活動の意味内容を規定している。これに基づいてシステムは誤った認知活動を実施することによってモデル上でどういった変化が起こるかということを理解することができるようになるとともに、合理的なリフレクション活動を実施するために学習者が注目す

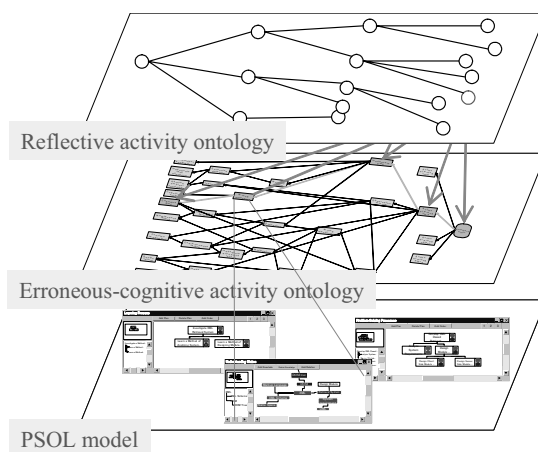


図2：リフレクションタスクオントロジーの構成

べき自己の認知活動誤りを示唆したり、これに関連する情報を提示することができるようになっている。

4.2 認知活動誤りオントロジーの概要

認知活動誤りオントロジー (erroneous-cognitive activity ontology) は問題解決指向型学習において学習者が実施する誤った (望ましくない) 認知活動の意味内容を定義している。人間信頼性分析の分野においてよく知られたエラー分析モデルに Hollnagel が提案した CREAM がある。CREAM は認知心理学の知見に基づいて人間の活動の信頼性を分析するためのモデルであり、人間が犯すエラーを一般的に分類し、それらの間の因果関係や、エラーが起こりうる状況を領域独立に様々な観点から体系化している点が特徴である。そこでは例えば、「誤ったタイミングでの活動」、「実施すべきでない活動の実施」、「誤った場所での活動」、「職場状況」、「暫定的実施者に関連した機能」、「装置の故障」などの概念が定義されている。

この CREAM モデルを本研究での理論的基盤として参照することで、汎用性のあるフレームワークの下で問題解決指向型学習に特化した認知活動誤りに関する知見を蓄積することが可能になる。

本研究で定義した認知活動誤りの定義は、大きく2つの定義部分から構成している。すなわち、ある誤った認知活動が実施される条件の定義および、それを実施することによる作用の定義である。図3に「同じ機能を実現する複数の方式の存在を知りながら、それぞれの特性を学習しない (Not learn characteristics of each methods, each of which performs same functions)」という認知活動誤りの定義を示している。この概念は、CREAM で定義されている、「省略 (omission)」概念の下位概念として定義している。

この定義では、条件部に「学習者は同じ機能を実現する複数の方式の存在を知っている」ことが定義され、この活動を実施することで、「学習者はそれぞれの方式の特性を適切に理解しない」ことが作用定義部に定義されている。もちろん、この活動そのものは学習者の明示的意図を伴って実施される性格の活動ではないので、学習者自身によってこの活動の実施プランがモデル上に明示的に記述されることはない。しかし、いわば無意識に実施した誤り認知活動の結果としての作用を把握し、認識することが、誤りから学ぶという意図でリフレクション活動を実施する場合に重要である。

Kassist における協調的リフレクション支援環境では、こうした誤った認知活動実施の可能性がリフレクションタスクオントロジーに基づいて学習者に対して示唆されるようになっている。

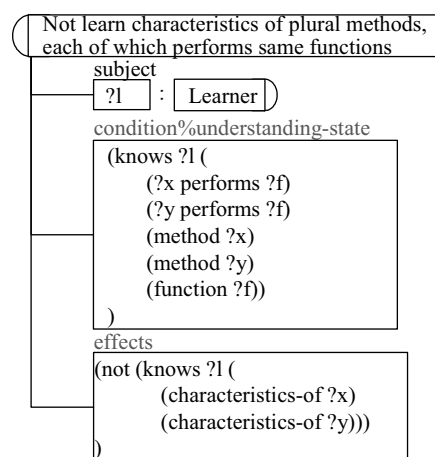


図3：誤り認知活動オントロジーの定義例

4.3 リフレクション活動オントロジー

リフレクション活動オントロジーは、ラスムッセンの認知プロセスモデルを参照モデルとして構成した。ラスムッセンのモデルでは、人間の認知プロセスが8つの認知活動 (activate, observe, identify, interpret, evaluate, define task, formulate procedure and execute) の連鎖として特徴づけられている。

図4に本研究で構築したリフレクション活動オントロジーの is-a 階層を示している。ラスムッセンの8つの活動概念は、図において最上位に配置されており、これらはさらに、リフレクションタスクの構造をドメイン独

Reflective Activity	
+ Activate	+ Identify
+ concerned with error	+ identify erroneous-cognitive activities
+ concerned with action at wrong time	+ analyze error-mode
+ concerned with action of wrong type	+ identify cause of error
+ concerned with action at wrong object	+ Interpret
+ concerned with action in wrong place	+ interpret effects of erroneous-cognitive activities
+ concerned with gaps among expectation and effect	+ interpret by experience
+ concerned with gap of time	+ grasp of cognitive characteristics
+ concerned with gap in method	+ get lessons
+ concerned with gap in procedure	+ Evaluate
+ Observe	+ evaluate erroneous-cognitive activities
+ observe cognitive activities	+ Define task
+ observe active process	+ define task to reconstruct errors
+ observe learning activities	+ Formulate procedure
+ observe problem-solving activities	+ planning countermeasure
+ observe the situation	+ Execute
+ observe knowledge state	+ execute plan
+ observe environment state	
+ observe condition	+ represents “is-a” relation

図 4：リフレクション活動オントロジーの is-a 階層

立に捉える形で詳細化（e.g. 学習プロセスを観察する，問題解決プロセスを観察するなど）されている。

リフレクションタスクは大きく 2 つのタスクから構成されている。すなわち，誤りの原因を特定するという問題解決タスクと，その結果に基づく認知活動の再構成タスクである。直感的に，activation, remind, observe, identify の 4 つの活動が誤り原因特定タスクを構成し evaluate, define task, formulate procedure, execute の 4 つの活動が認知活動の再構成タスクを構成する。

図 5 に「誤り認知活動同定活動（identify erroneous cognitive activities）」の定義を示している。リフレクション活動は，オブジェクトレベルの活動（特に，誤った認知活動）を操作するメタレベル活動である。したがって，図の概念定義では「活動主体が学習者である」こと，「活動実施目標は，主体である学習者が誤りの原因を理解する」こと，「オブジェクトレベルの誤った認知活動を入力とする」こと，そして，「入力となった認知活動誤りに関するより深い誤り原因を出力する」ことを定義している。

このようなリフレクション活動オントロジーと誤り認知活動オントロジーの関係を明示化した形でリフレクションタスクオントロジーを構成することによって，システムは学習者が実施しているリフレクション活動の意味内容を理解することができるようになるとともに，その理解に基づいてそのとき学習者が注目すべき情報を，認知活動誤りオントロジーに基づいてモデルから取り出して提供できるようになっている。

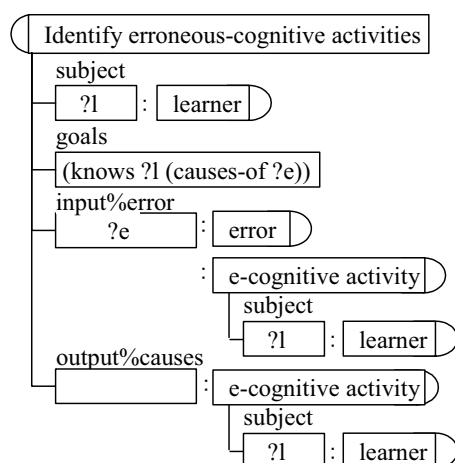


図 5：リフレクション活動オントロジーの定義例

4.4 リフレクションタスクオントロジーに基づく協調リフレクション支援機能

構築したリフレクションタスクオントロジーに基づいて、協調リフレクション支援機能のプロトタイプを開発した。このプロトタイプ上でどのようなリフレクション支援が実現されるかということについて具体例を挙げて説明する。

例として、「Java/XML プログラミングになじみのない学習者に対して、XML ベースのドキュメント検索システムを期日までに開発するという課題が与えられた」状況を考える。課題が与えられた当初、学習者はこのようなシステムの開発経験はなかったが、最終的にはこのシステムの開発に必要な知識は身につけたとしよう。そして、課題の達成状況として、「システム開発はできたが、期日に間に合わせることはできなかった。」とし、このときのリフレクションの目的を「期日に間に合わせることはできなかった原因を分析し、将来のシステム開発に生かすノウハウを獲得する」とする。

このような状況設定で、リフレクションタスクオントロジーに基づいてシステムと学習者の間で対話的なやりとりがなされ、時間超過の直接の要因として「同じ機能を実現する2つの方式の各特性を理解しないまま、方式選択し、その結果として、不適切な方式を選択してしまったために、手戻りが生じてしまった」ことを時間超過の原因として同定するとともに、加えて、「問題解決に注意が行き過ぎてしまっており、学習活動に注意を向けることができなかった」といった認知的要因に関する内省も促されるようになっている。そして、「同じ機能を実現する複数の方式があるときに、それぞれの特性をよく理解してから適切な方式を選択すべきである」といった教訓も得ることができるようになっている。

もちろん、この教訓（メタ認知知識）は、特別なものでなく言われれば、ごく自然に受け入れられる、あるいは学習者にとっても既存の知識であるかもしれない。しかし、こうした教訓を自分自身の経験（誤り）から構成、再認識することがメタ認知知識の適切な運用を促し、自分自身を効果的に教育する能力（メタ認知能力）を構成する上で特に重要であると考えられる。このことは、「一般的なメタ認知知識の習得には、特定の文脈の中で領域概念と結びつけて教示することが効果的である」とする近年の新統合理論の考えに沿うものとなっていると考えている。

5 まとめと今後の課題

本研究では、協調学習場としてのリフレクション環境を開発することを目的として、課題を実施した。まず、対象とする問題解決指向型学習のタスク特性を分析し、これに基づいて自発的なメタ認知を促すための Open Learner Modeling 環境を実現した。さらに、この環境において学習者が行うリフレクション活動を効果的に支援するための原理的知識としてリフレクションタスクオントロジーを構築し、これに基づくプロトタイプシステムを構築した。学習者とシステムの対話的なやりとりによる協調リフレクション環境を構築するという側面からは、概ね目標は達成できたと考えているが、複数の学習者間で行う協調リフレクションを効果的に支援するための仕組みについては、考察が十分でない。構築したリフレクションタスクオントロジーを基礎にしてこの枠組みについて検討したいと考えている。以下、本研究で得られた成果に関する課題について述べる。

5.1 メタ認知の実施により学習者にかかる認知的負荷の問題

メタ認知能力は後天的に熟達していくとされている一方で、その熟達を促すシステムの設計にあたっては以下の点について配慮する必要があると考えている。

- ・メタ認知能力を熟達させるためには、メタ認知を意識的に行わなければならないが、日頃意識していない熟達の初期段階の学習者がこれを意識することが困難である。
- ・メタ認知を意識的に行うことで、特に熟達の初期段階における学習者にとっての認知的負荷が増大する（注意資源の限界による注意の焦点化と集中化の困難性）

このことも踏まえ、2で述べたシステム設計指針を設定しシステム開発を行っているが、各種支援機能が実際に学習者の認知的負荷を軽減するとともに、メタ認知能力の熟達に寄与するかどうかということについて、システムの運用を通じた評価実験と認知心理学的知見に基づいた理論的分析によって明らかにしていく必要がある。

5.2 メタ認知タスクオントロジーの妥当性

これまで構築したメタ認知タスクオントロジーは、世界的にもこれまでに未だ開発が試みられていない新規性・独自性の高い成果であると考えているが、この妥当性に関しては、システムの実装を通じた機能面からの評価と、専門家による定性的側面からの評価を今後行っていく必要がある。

〈発 表 資 料〉

題 名	掲 載 誌 ・ 学 会 名 等	発 表 年 月
An Ontology-Based Planning Navigation in Problem-Solving Oriented Learning Processes	Proc. of the Intelligent Tutoring Systems (Lecture Notes in Computer Science (LNCS, No. 3220)	2004. 9
Multiple view open learner modeling environment for knowledge construction in problem-solving oriented learning	Proc. of the e-learn	2004.11
Task ontology based reflection support in problem solving oriented learning	Proc. of the International Conference on Computers in Education	2004.12
COCOM based learner modeling from cognitive system engineering perspectives	Proc. of the 3rd International Conference on Knowledge Society Challenges for E-Learning	2005. 5
誤りからの学習活動支援へ向けた基礎的考察	教育システム情報学会全国大会	2005. 8
Constructing cognitive models for facilitating learning from mistakes-Towards building computer supported collaborative reflection framework-	Proc. of the E-Learn	2005.10 (予定)