AI フロンティア論文

AI Frontier Paper

理論の組織化とその利用への内容指向アプローチ

－オントロジー工学による学習・教授理論の組織化と Theory-aware オーサリングシステムの実現－

Content-oriented Approach to Organization of Theories and Its Utilization

- Organizing Learning/Instructional Theories and Building a Theory-aware Authoring System Based on Ontological Engineering -

林 雄介
Yusuke Hayashi
大阪大学 産業科学研究所
The Institute of Scientific and Industrial Research (I.S.I.R), Osaka University
hayashi@ei.sanken.osaka-u.ac.jp, http://www.ei.sanken.osaka-u.ac.jp/~hayashi/

Jacqueline Bourdeau
LICEF research center, Télé-Université (TÉLUQ), Université du Québec á Montréal (UQAM)
jacqueline.bourdeau@licef.ca

溝口 理一郎
Riichiro Mizoguch
大阪大学 産業科学研究所
The Institute of Scientific and Industrial Research (I.S.I.R), Osaka University
miz@ei.sanken.osaka-u.ac.jp, http://www.ei.sanken.osaka-u.ac.jp/~miz/

keywords: knowledge organization, ontology, instructional design, standard technology, authoring system

Summary

In spite of the fact that the relation between theory and practice is a foundation of scientific and technological development, the trend of increasing the gap between theory and practice accelerates in these years. The gap embraces a risk of distrust of science and technology. Ontological engineering as the content-oriented research is expected to contribute to the resolution of the gap. This paper presents the feasibility of organization of theoretical knowledge on ontological engineering and new-generation intelligent systems based on it through an application of ontological engineering in the area of learning/instruction support. This area also has the problem of the gap between theory and practice, and its resolution is strongly required. So far we proposed OMNIBUS ontology, which is a comprehensive ontology that covers different learning/instructional theories and paradigms, and SMARTIES, which is a theory-aware and standard-compliant authoring system for making learning/instructional scenarios based on OMNIBUS ontology. We believe the theory-awareness and standard-compliance bridge the gap between theory and practice because it links theories to practical use of standard technologies and enables practitioners to easily enjoy theoretical support while using standard technologies in practice. The following goals are set in order to achieve it; computers (1) understand a variety of learning/instructional theories based on the organization of them, (2) utilize the understanding for helping authors' learning/instructional scenario making and (3) make such theoretically sound scenarios interoperable within the framework of standard technologies. This paper suggests an ontological engineering solution to the achievement of these three goals. Although the evaluation is far from complete in terms of practical use, we believe that the results of this study address high-level technical challenges from the viewpoint of the current state of the art in the research area of artificial intelligence not only in education but also in general, and therefore we hope that constitute a substantial contribution for organization of theoretical knowledge in many other areas.

1. は じ め に

1·1 背 景 と 目 的

近年，知の組織化が注目されている [山之内 07]．学問の細分化がとどまるところを知らない現在において,「知」を総合的に捉える試みは大変意義深い．知の組織化は IT で支援・促進することができればその価値は倍増する．特に，オントロジー工学は知識ベースの基底構造としての概念を体系化し，その上にコンピュータが「理解」できる知識の集積を可能にする．筆者等は，このコンピュータによる知識の構造化を目的として，長年オントロジー工学を実践して来た [溝口 05].

科学は理論を作り，工学はそれを技術に変え，実社会はそれを応用して実問題を解く．このサイクルは科学技術の基盤構造であるが，近年，理論と実社会の距離は広がる傾向が加速している．この理論と実社会の乖離が引き起こす影響は科学の暴走，科学不信等にもつながる可能性があり，学問の細分化と並んで学界が解決に取り組

まなければならない課題と思われる．知識の組織化，特に問題指向の組織化*1 は，科学が獲得した知見としての理論的知識を実社会に存在する問題の解決の視点から再構成するものであり，理論と実社会の乖離問題の解決に貢献する．その意味で，内容指向研究 [溝口 96] の基盤を提供するオントロジー工学は知識の組織化を通して学問の細分化問題と理論と実社会の乖離問題の両方の解決に貢献する可能性を秘めている．

本稿ではこのような，知識の組織化と，理論と実社会の乖離の問題について学習・教授支援の分野を対象として考察を行う．しかし，筆者らの目的は，学習・教授支援の分野だけではなく知識の組織化のための一般的な方法論の確立にある．具体的には，本稿の目的は学習・教授理論を一例とした筆者らの具体的な研究成果を通して，オントロジー工学による理論的知識の組織化とそれに基づく新しい知的システムの実現可能性を提示することにある．以下では，以上のような観点から，学習・教授支援を対象としながら，知識の組織化の課題とオントロジー工学的アプローチについて詳述する．

近年，IT 技術を活用した学習・教授支援は Technology-Enhanced Learning (TEL) と呼ばれ，標準化技術の発達がめざましい．特に，Learning Object(LO)（大は完結したコースウェアから小は写真やビデオクリップまでの任意の大きさの教材単位）と Learning Object Metadata(LOM)（LO のメタデータ）[IEEE LTSC]，そして IMS Learning Design(LD)（学習・教授行為イベント系列記述言語）[IMS 03] はその中核をなし，現在盛んに TEL の技術者に使用されている．そこでは，標準化技術に則った教材としての LO の流通と，再利用した LO の組み合わせによる学習コンテンツの作成が課題となっている [IEEE LTSC].

一方，標準化という現実世界の技術とは遠い世界に，学習・教授理論がある．学習理論は「学習」の仕組みや働きを，予測したり説明する原理や法則に関する知見である．教授理論は，何らかの学習理論や仮説に基づいて，期待する学習プロセスを実現するための条件と手段（教授行為や学習教材）と結果の関係を整理したものである．ある条件である手段を実行した結果をまとめた記述的 (descriptive) な理論や，ある条件である結果を得るための手段を提案する処方的 (prescriptive) な理論などがある．教育の分野では，これらの知見が学習をどう捉え，目標に対して妥当な教授プロセスを設計・実施・分析するためのガイドラインの役割を果たしている．

しかし，これら二つの世界の相互交流は極めて乏しいのが現状である．具体的には，LO の「再利用」において学習・教授理論が参照されることはまれであり，学習・教授理論的裏付けのない LO の組み合わせが行われ，低品質の学習コンテンツを生み出してしまうという大きな問題を抱えている．

*1 ある型の問題の解決において知識の見通しが良くなり，知識利用が促進されるような組織化

そのような問題の典型的な例として，アメリカのライス大学で公開されている Connexions というサービスがある*2．これは利用者が自由に LO やコースを作成し，それを公開することを支援するウェブベースのシステムである．現在では，コースが 506 個，LO が 10787 個登録され（Connexions 内ではそれぞれ collection, module と呼ばれる），増え続けている*3．しかし，コースの構成（LO の組み合わせ）に関しては何の教育学的なガイド（制約）もなく，まったく自由に組み合わせることが許されており，作成されるコースの教育的妥当性は保証されない．また，IMS LD 規格は教授理論から独立であることを特徴であるとしているが，独立であるためにどんなに妥当ではない学習シナリオでも書けてしまう．

この問題は学習理論・教授理論と標準化技術との乖離ということができる．その解決には標準化技術の利用者が容易に学習・教授理論にアクセスでき，それを反映した学習コンテンツ，教授シナリオ作成などを支援するオーサリングシステムの開発が望まれる．一方，学習・教授理論は各研究者が独自の見解を展開していて百花繚乱の様相を呈しており，知識が組織化，体系化されているとは言えない状況にある．

そこで，上述のようなシステムを実現するためには，

(1) 学習・教授理論という多様な理論群を組織化し，コンピュータが「理解」して，
(2) 技術者が行う学習シナリオやコンテンツ作成の支援に「活用」し，
(3) 標準化技術に基づいたフォーマットで作成した学習・教授シナリオやコンテンツを「共有」可能にする

という大きな問題を解決しなければならない．これらの問題に対して筆者等は，オントロジー工学的手法を用いて研究を行ってきた．

一つめの課題である多様な理論群の「理解」と組織化に関しては，種々の理論の相違点と共通点を明らかにすることが不可欠となる．これらを浮き彫りにできる基盤概念を抽出し組織化することができれば，同じ基盤のもとで多様な理論群を体系化し，比較することができる．本研究では，このような基盤概念を学習支援関連理論オントロジー：OMNIBUS（以下，OMNIBUS オントロジー）として組織化し，それに基づいて理論群の宣言的定義による組織化を試みて来た [Mizoguchi 00, Mizoguchi 07].

二つ目の課題である理論の「活用」に関しては，理論の手続き的な解釈が重要となる．理論群を宣言的に定義することで理論の相違点と共通点は明確になるが，それを「活用」するには何らかの手続き的な解釈が必要となる．TEL 分野における現状のオーサリングシステムは，最上のものでも一つの学習・教授理論を手続き的に組み込んだものであり，その背景知識となる理論との関係は暗黙的になっている．つまり，手続き的な解釈はシステム開発者

*2 http://cnx.org/
*3 2009 年 5 月 24 日現在

によって行われ，その頭の中に留まっているといえる．そのために理論の追加や変化への追従が難しく，知識の積み上げが困難になる．この問題は従来のエキスパートシステムから残されている大きな問題であり，オントロジー工学によって解決すべき課題として位置づけられている．本研究では，一つ目の課題で構築したオントロジーに基づいて知識組織化のための基盤モデルを構築することで，理論の宣言的な定義と手続き的な解釈を一貫性をもって行える仕組みを提案している [Hayashi 06a, Hayashi 06b]．この仕組みによって，複数の学習・教授理論をコンピュータが「理解」した上で支援に「活用」する Theory-aware なオーサリングシステム [Mizoguchi 00] を構築する．本研究では，この具体化として SMARTIES というオーサリングシステムを開発している [Hayashi 06a, Mizoguchi 07]．

最後の課題である「共有」については，構築したオントロジーと基盤モデルを理論と標準化技術の間に位置づけ，オーサリングシステムにおいて theory-awareness と standard-compliance を両立させることによって,「学習・教授理論と標準化技術の融合」を確立させる．前述したように，標準化技術の利点でもあり欠点でもあるのは理論に中立ということである．これは標準化技術の仕様としては正しい選択ではあるが，教育実践で利用するためには，それに基づいて記述されたものの妥当性を保証するものとして，理論やその他教育的知識に基づくガイドラインも加えて必要となる．本研究では，提案する基盤モデルと IMS LD 規格を対応づけ，学習・教授シナリオモデルから IMS LD 記述への変換を実現することで，設計意図と理論的根拠を明示化した IMS LD 記述を生成する [Hayashi 07]．このときにオントロジーが果たす役割は標準化の形式で記述する「内容」についての語彙と規約を与えることである．もちろん，これは学習・教授理論自体を標準化しようとするものではなく，標準化技術としての IMS LD を利用する局面において，理論を容易に使いこなせる環境を技術者に提供することによって，質の高い学習コンテンツの開発を支援するものである．

本論文は，以上の考え方に基づいて，文献 [Mizoguchi 00] の発表以来，学習・教授理論の組織化を対象として７年間行ってきたオントロジー構築の実践研究を集大成して，その成果を世に問うものである．ここで扱われるのは学習・教授理論という理論の一例であるが，これをモデルケースとして，他の類似の試みが喚起されることを期待している．

1·2 本論文の構成

詳細は７章で詳しく述べるが，本研究の成果は教育支援システム研究だけではなく，以下に挙げる４つの一般的性の高い研究課題においてマイルストーン的な成果となっていると考えられる．

(a) オントロジー工学による理論の組織化
(b) Theory-aware なオーサリングシステムの実現
(c) Heavy-weight オントロジーの応用研究としての次世代知識処理システム
(d) 標準化技術への内容指向アプローチ

以下，本論文ではこれらの成果に対する本研究のアプローチを述べる（図 1 参照）．2 章, 3 章では「(a) オントロジー工学による理論の組織化」についての考察を示す．ここでの目標は理論的知識の宣言的定義と手続き的利用を両立させることであり，これをどのようにオントロジー工学的アプローチで解決したかを示す．対象として挙げる具体例は学習・教授理論であるが，2 章で述べるように，これは理論の多様性が高く，組織化することが特に難しい分野である．この対象である程度の成功を収めることで，本研究のアプローチの他分野への波及効果が期待できると考えている．以上のような考えに基づいて，2 章では，学習・教授理論の組織化における問題点を整理した上で，本研究で構築している OMNIBUS オントロジーの全体像を示す．OMNIBUS オントロジーは学習支援・e-Learning 研究における世界で最初の本格的 Heavy-weight オントロジーとなっている．3 章では OMNIBUS オントロジーで規定する基盤モデルに焦点を絞り，詳細を述べる．

4 章は,「(d) 標準化技術への内容指向アプローチ」に対応する．現状では標準化技術において形式のみが注目されることが多い．これは相互運用性を確立するために重要なことではあるが，今後は共有・再利用するデータが標準化準拠の様々なシステムで動作するだけではなく，その枠組みの上で妥当な内容を流通させるための仕組みが求められる．その意味で，オントロジー工学による「内容」指向の研究が果たす役割は大きいと考えられる．具体例として，IMS LD 規格と OMNIBUS オントロジーの対応を述べることで，規格の範囲とオントロジー工学によって提供できる内容を比較して説明する．

5 章は,「(b) Theory-aware なオーサリングシステムの実現」に対応し，2 章〜4 章で述べてきたことに基づくオーサリングシステム SMARTIES の構成と機能について論じる．SMARTIES は一種の知的システムであるが，経験則をルールベース化したエキスパートシステムではない．SMARTIES は理論的知識とその基盤となる概念体系をオントロジーとして宣言的に表現したものだけに依存して稼働するシステムである．その意味で，Heavy-weight オントロジーに基づく新しいタイプの知的システムとして構築されている．

6 章では,「(a) オントロジー工学による理論の組織化」と「(b) Theory-aware なオーサリングシステムの実現」に関して,「作業仮説の確認」「OMNIBUS オントロジーの記述能力」「オーサリングシステムとしての機能性」の 3 つの観点から考察する．

最後に 7 章では，本論文全体を本節冒頭で挙げた本研究の成果と対応づけてまとめる．

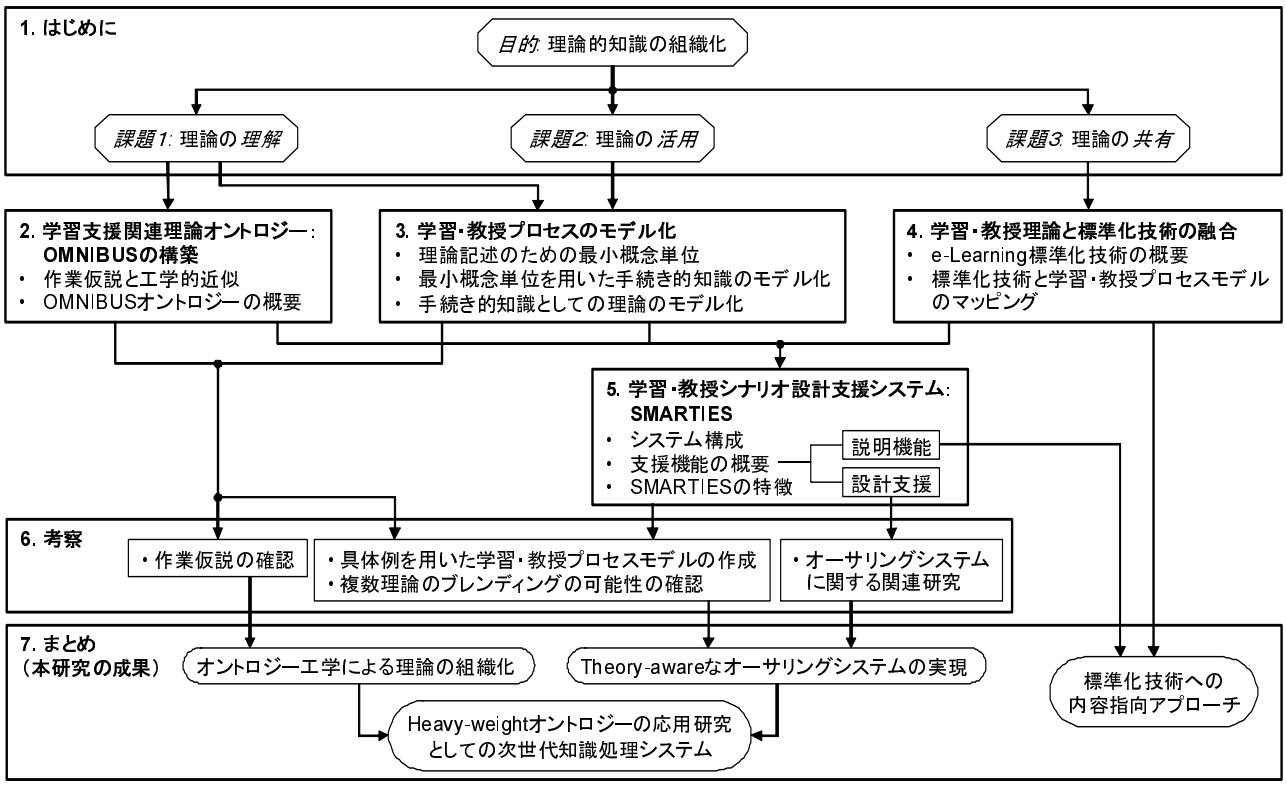

図 1 本論文の構成

2. 学習支援関連理論オントロジー：OMNIBUS の構築

知識の体系化，組織化を阻む要因には，

(1) 共通の語彙，

(2) 記述の一貫性*4，

(3) 記述の一般性／共通性*5

の欠如がある．学習・教授理論の組織化においてはこれら３つの要因があることはもちろん，その困難さを更に助長する要因として,「パラダイム」の問題が横たわっている．即ち，学習を外部からの刺激に対する人間の観察可能な行動の変容と捉える「行動主義」，内的な情報処理過程に注目し学習を認知構造の変化として捉える「認知主義」，学習者の主体的な知識獲得過程として学習を捉える「構成主義」，そして主体的な知識獲得過程における他者や環境との相互作用に注目した「社会的構成主義」といったパラダイムの違いである．これら４つのパラダイムは相互に反発し合い，深いところで異なった用語，概念，モデルを導入して，理論を構成している．ここでは,（全ての）理論を説明する共通基盤概念の抽出とその組織化について議論する．

2·1 作 業 仮 説

前述したように，学習・教育理論を組織化するための概念基盤を構築する上で一番大きな問題は，そもそもそれぞれのパラダイムが「学習」に関する独自の定義を持ち，理論を構成しているために共通の基盤を見いだすことはとても難しいことである．しかし，Ertmer [Ertmer 93] や Reigeluth [Reigeluth 83] らのように，なんらかの共通項を見いだすことも可能ではないかと提案している研究者もいる．彼らの考察からは，各パラダイムではそれぞれ異なる発達メカニズム・プロセスを想定はしているが，その中で想定されている各状態には何らかの共通項が見いだせる可能性があると考えられる．このような考えに基づいて，本研究では『学習者の状態変化という観点から,「学習」に関する共有可能な何らかの「工学的近似」を見いだせるのではないか』という作業仮説を立て，パラダイムの相違点と共通点を浮き彫りにする基盤概念を抽出し，学習支援関連理論オントロジー：OMNIBUS として組織化を行っている．

OMNIBUS オントロジーで中心をなすのは学習者の理解状態と学習ゴールの概念である．それらは 3 章で述べる学習・教授ゴール達成方式を構成する際の基本構成要素となる．即ち，すべての学習・教授行為はそれによって変化する学習者の状態に依存して規定することが可能であるというのが OMNIBUS オントロジー構築の基本理念である．例えば，認知主義では学習者内部の認知処理に，社会的構成主義では他者や環境とのインタラクションに注目している．これらはそれぞれ認知プロセスにおける学習者の内部状態の変化やインタラクションによる外部状態の変化として，一見違う種類の状態の変化を扱っているように見える．しかし，本プロジェクトにおいて仮

*4 一貫した方針，視点に基づいた記述

*5 特定のタスクや視点の特殊性を反映した記述ではなく，一般的で多くの人が共有できるような共通性のある記述

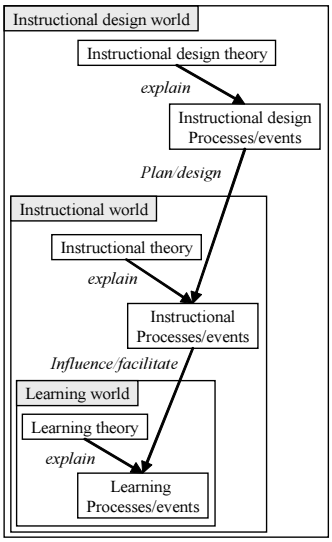

図 2 学習・教授・インストラクショナルデザインの関係 [Bourdeau 02]

定しているのは，パラダイム独立な学習者状態，例えば学習プロセスの成果として得られる認知構造の変化の状態など，を設定するによって各パラダイムで注目している様々な種類の学習者の内部・外部状態を関連づけることができるのではないかということである．もちろん大きな課題は，果たしてパラダイム独立な学習者状態を設定し得るかどうかである．言うまでもなく，詳細なレベルにおいては，状態は各学習理論に固有のものが多く存在することは明らかである．しかし,「工学的な近似」という重要な指導原理に従えば，いくつかのパラダイムに共通な状態，すべてのパラダイムに共通な状態，各理論に固有の状態などいくつかの状態に分類しつつ，ある程度の概念体系が構築可能であると考えている．

2·2 OMNIBUS オントロジーの概要

本節では，紙面の都合上，OMNIBUS オントロジーの概要のみを述べる．OMNIBUS オントロジーの詳細についてはドラフトとその解説をウェブページで公開している*6．OMNIBUS オントロジーは法造オントロジーエディタ*7 を用いて構築されており，現在，全体概念数 982 個，関係概念数 157 個，スロット数 3961 個を定義している．また，法造による OWL 簡易出力機能 [砂川 06] に基づいて OWL 形式でも公開している*8．

図 2 は本研究で考える学習と教授，インストラクショナルデザインの基本的な関係を示している．上記の作業仮説と図 2 で示す入れ子構造に基づいて学習と教授，インストラクショナルデザインとこれらに関する理論を捉え，OMNIBUS オントロジーを構築している．

基点となるのが学習で，学習プロセスは学習理論によって説明されている．既存の学習理論では，パラダイム毎に異なった知識の獲得・構成メカニズムを提案しており，それぞれで異なった学習プロセスの解釈が行われる．教授プロセスは学習プロセスに影響を与えるプロセスであり，教授理論で説明されている．個々の教授理論は学習理論をベースに，学習目標に対して効果的な教授プロセス（学習支援プロセス）を提案している．

これら学習・教授プロセスの二つは並行して現実世界で実際に実行されるプロセスであるが，インストラクショナルデザインプロセスはそれらの実行前のプランニングに当たる．つまり，学習・教授理論は設計結果となる学習・教授プロセスの構成のガイドラインとなる一方で，インストラクショナルデザイン理論は設計プロセスの原理を説明するものであり，学習プロセスの設計過程のガイドラインを提供している．

図 3 は OMNIBUS オントロジーの上位 *is-a* 階層を示している．詳細については [Mizoguchi 07] を参照していただきたい．大まかに述べると，このオントロジーは次の 6 つの基本的な概念で分類される．Common world, Learning world, Instructional world, World of cognition, Instructional Design/Instructional System Design(ID-ISD) world, Theory and Model の 6 つである．Common, Learning, Instructional, Cognition, ID-ISD の各 world の概念はそれぞれの世界における，ものとプロセスに関する基本概念を定義しており，Theory and Model では各 world でのものとプロセスの妥当な組み合わせを説明する理論やモデルが定義される．ここでは本稿で主題とする学習・教授理論に合わせて，基盤となる Common world と Learning world，Instructional world の概要を紹介する．

Common world では，Learning world, Instructional world の基礎として，一般的な認知もしくは物理プロセスやもの，イベントに関する概念を定義している．具体的には，行為 (Action) や状態 (State)，イベント (Event)，エージェント (Agent) といったものが具体物 (Concrete) の下位概念として定義されている．

状態 (State) は，大きく内部状態 (Internal state) と外部状態 (External state) に分類される．内部状態は人の内部の状態で，認知プロセスやメタ認知プロセス，態度，知識やスキルの発達段階に関する状態を定義している．一方，外部状態は，エージェント間のインタラクションに関連するもので，行為の能動的・受動的実行が既になされているか，未実行かなどを状態として定義している．

行為 (Action) については，コンテキストに依存しない一般的な意味を Common world で定義している．行為は基本的にいくつかのサブ行為に分解できるものとしている．しかし，現実問題としては，そのオントロジーを使って実現したい処理に合わせて，その分解をどこかで止める必要がある．OMNIBUS オントロジーでは，その境界線を状態ベースの行為 (Physical state action, Cognitive action) と動作ベースの行為 (Primitive action) の区別に対

*6 http://edont.qee.jp/omnibus/
*7 http://www.hozo.jp/
*8 完全版の OWL 記述 [Kozaki 06] については，今後法造に実装される予定である．

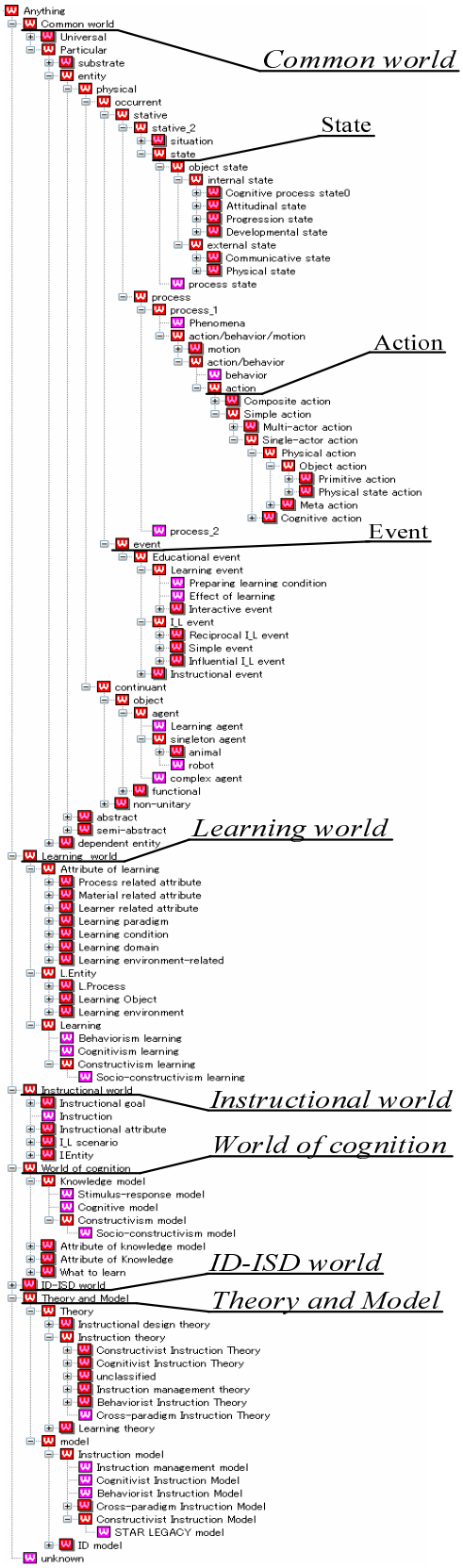

図 3 OMNIBUS オントロジーの上位 *is-a* 階層

応させて設定している．両方とも状態変化を引き起こすものとして定義しているが，前者は分解可能なもの，後者は分解不可能なものとして定義している．この分解可能性については一般的に一意に決められるものではなく，オントロジーの構築目的によって変化するものである．動作ベースの行為は OMNIBUS オントロジーでは学習・教授プロセスをモデル化する際に「図を見る」とか「説明文を読む」といった動作以上の分解（例えば,「対象を手に取る」とか「視線を対象に向ける」など）の必要性がないという判断の下で分解不可能としており，Primitive action とよんでいる．また，状態ベースの行為については，Physical state action が外部状態の変化を，Cognitive action が内部状態の変化をそれぞれ対象としている．これらの行為の定義が学習者教授のコンテキストでどのような意味を持つかは，次に述べる Educational event という概念の中で定義される．

Educational event は，次の二つを定義している：(1) 各 world でのイベント，(2) world 間でのイベントの関係．ここでの「イベント」という概念は，詳細な説明は割愛するが，行為やその主体，対象物を一つのコンテキストでまとめた概念として定義している．イベントの部分となる行為やその主体，対象物は各 world で定義している．Learning event と Instructional event は Learning world と Instructional world のそれぞれでのイベントを定義している概念である．Learning event の中心となるのは，学習者とその行為，状態変化である．これらの妥当な構成が学習理論で提案されている．一方，Instructional event は，主に教授者と学習者，教授者から学習者への行為で構成される．前述したように Instructional world は Learning world と独立して定義しているので，Instructional event では学習者の状態変化を部分として定義していない．これらの Learning event と Instructional event をつなげて教授と学習の関係を定義しているのが I_L event である．Learning event と Instructional event を独立して定義し，I_L event で様々な組み合わせを許容することによって，様々な理論で提案されている多様な学習・教授プロセスを記述できるのが，本研究で提案している OMNIBUS オントロジーの特徴の一つである．この I_L event については本研究の中心となる概念であるので，次章で詳しく説明する．

ここまで説明してきた Common world の概念定義は，基本的に [溝口 05, 溝口 06] で紹介されている上位レベルオントロジーに基づいて構築されている．一方，その他の各 world の概念は，それぞれの世界で固有の概念を定義している．

Learning world では，学習プロセスに関する概念を定義している．中心となるのは「学習 (Learning)」という概念で,「学習とは何か？」を各学習理論パラダイムで想定されている学習メカニズムの違いに基づいて分類している．合わせて，その概念で参照される属性 (Attribute of

learning) や学習プロセス (L.Process)，そこで使われるもの (Learning Object) なども定義している．ここで重要なことは，前述の作業仮説に従って，学習プロセスを学習者の状態変化として定義している点である．これは厳密な意味ではいくつかの問題点が残るかもしれないが，計算機が既存の理論を理解し，その適用を支援するというレベルでは妥当な工学的近似を導き出せると本研究では考えている．

Instructional world では，教授に関する属性 (Instructional attribute)，教授目標 (Instructional goal) といった概念を定義している．重要なことは，ここでは教授と学習が独立に定義されている点である．前述したように教授理論は学習理論を前提としている．しかし，ここではあえて学習と教授を独立に定義することによって，種々の理論で提案されている様々な教授プロセスと学習プロセスの組み合わせを許容できるようにしている．個々の理論で具体的に学習と教授がどのように組み合わされるかについては，前述した I_L event という概念で記述できるように定義している．従って，Instructional world で定義している概念は I_L event として学習と教授の関係を記述するためのプリミティブを提供している．

ここまで述べてきたことをまとめると，OMNIBUS オントロジーでは Common world で学習・教授の文脈とは独立に一般的に定義された状態や行為に対して，Learning world や Instructional world の概念で学習・教授的意味を与え，I_L event で組み合わせることで，(全ての) 理論を説明する共通基盤を提供すると共に，個々の理論の多様性を記述する記述する概念的枠組みを提供することを目指していると言える．

3. 学習・教授プロセスのモデル化

本章では，Educational event の下位概念である Learning event, Instructional event, I_L event を詳しく論述して，OMNIBUS オントロジーにおける学習・教授プロセスのモデル化の詳細を説明する．更に，そのモデルに基づいた各種の理論のオントロジー的モデル化について詳述する．

学習・教授をモデリングすることの困難さの原因の一つは，そのプロセスが学習行為と教授行為の二つの行為によって構成されることにある．教授者は，目標とする学習者の行為や変化を想定して教授行為を学習者に対して行う．その教授行為に関連して，学習者は何らかの学習行為（必ずしも教授行為で期待される学習行為と一致するわけではない）をして，その結果として学習者の状態が変化する．また，教授行為が無くても学習者が自発的に学習行為をして学習成果がある（学習者の状態が変化する）こともある．このように実際の測定は不可能に近く不確定性が高い学習という現象に対して，教授者が期待する学習プロセスを何らかの教授行為（学習者への働きかけ）によって実現する可能性を高めるためには，学習・教授プロセスの設計・実行・検証の基盤として学習・教授の関係を適切に記述できるモデル化の枠組みが必要となる*9．

このような対象に対して，本研究では学習・教授プロセス記述のための基盤モデルを構築している．この基盤モデルは，人工物（装置）の機能構造を把握することで有効性が検証されている，デバイスオントロジーに基づく機能モデル枠組み [來村 02a] に基づいている．その特徴は，装置の機能を対象物の状態変化として概念化し，「何を」達成するか (what to achieve) と「どのように」達成するか (how to achieve) を区別していることにある．本研究では，学習・教授理論が対象としている世界について，機能を学習・教授行為に，機能の実施結果を学習者の理解状態の変化，そして，その変化を目指すことを学習・教授ゴールに対応させて学習・教授理論の工学的モデル化を行う*10．

3·1 I_L event

OMNIBUS オントロジーにおいて，学習・教授のモデル化の基本単位として新しく導入された概念が，前述した I_L event という概念である．これは人の学びを捉えた Learning event とそれを支援する教授を捉えた Instructional event によって構成されている．

学習については，認知心理学，そして現在ではより深く人の学びに注目した学習科学として研究分野が形成され，その成果として学習理論としてまとめられている [大島 04]．一方，教授については，インストラクショナルデザインや教授システムと称される分野において，学習課題や目標に応じた教授方略が教授理論としてまとめられている [鈴木 05a]．もちろん，教授は学習を支援するためのものであり，インストラクショナルデザイン研究は，認知心理学や学習科学の成果の上に構築されていると言える．しかし，[鈴木 05b] で述べられているように，学習科学とインストラクショナルデザインの分野は研究者の交流があまりなく，それぞれが独立して知見をまとめているというのが現状である．

しかしながら，図 2 に示したように，教授理論と学習理論には密接な関係が厳然として存在するわけであって，この相互依存関係を適切にモデル化するための概念基本単位が必要となる．このような状況に対して，本研究では学習と教授を密接につなぐ概念の基本単位を提案する．例えば，教授者が教えると，学習者は教えられる．教授

*9 「モデル化の枠組み」が可能性を高めるのに直接的に貢献するのではなく，学習・教授理論研究において学習の不確定性を前提とした上で学習プロセス（モデル）の実現可能性を議論するための工学的な枠組みを AI 研究の立場から提案するのが本研究の趣旨である

*10 人間を装置と対応させるからといって，このモデル化は決して非人間的に扱うことを意味しない．学習・教授世界に対して，デバイスオントロジーで洗練され，検証された概念モデルを有効利用することが主眼である．

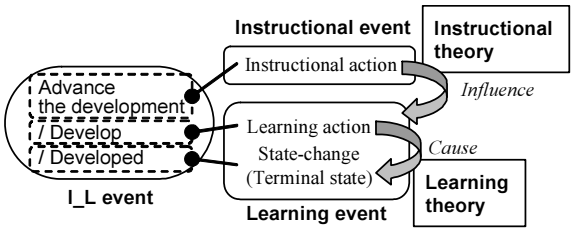

図 4 I_L event の構成

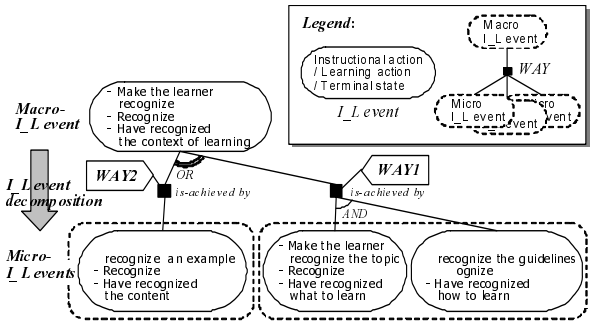

図 5 学習・教授ゴール達成方式の一例

者が学習者に話しかけると，学習者は教授者の話を聞く．このような表裏一体の関係の中での人の変容が学習と言える．このような関係を適切に記述し，学習も教授も一つの枠組みで捉えたいというのが OMNIBUS オントロジーの目標の一つである．これを通じて，人の学びのメカニズムを解明する学習科学の知見と，より効果的な教授が行える学習環境を提供するためのインストラクショナルデザイン研究の知見を結びつけ，適切に組織化し活用できるようになると考えられる．

このための概念が I_L event である．その構成を図 4 に示す．I_L というのは，教授 (Instruction) イベントと学習 (Learning) イベントの関係を表していることを意味している．本研究では，学習イベントの主構成要素を学習者の状態変化と学習行為の組みとして定義しており，その二つの間に学習行為によって学習者の状態変化が引き起こされるという関係を定義している．一方，教授イベントを教授行為で構成されるものと定義している．この教授行為が学習イベントに影響を与えるのであるが，この関係を教授イベントと学習イベント間の関係として定義している．この I_L event という概念によって，本研究で注目する教授行為と学習行為，学習者の状態変化という 3 つの概念の関係を一つにまとめて概念化をすることで，様々な学習・教授行為と状態変化の関係を記述することができる．図 4 では単純化して，教授行為，学習行為，学習者の状態変化が一つずつで構成され単純に教授行為が学習行為に影響を与え学習者の状態が変化するものを示しているが，他にもそれに加えて学習者の状態変化が他の I_L event の準備（必要条件を満たすもの）になっているものや他の状態変化のきっかけとなるものといったいくつかの種類の I_L event を定義している．この I_L event の種類については 3·4 節で具体例を示しながら説明する．

ここでもう一つ重要な点は，学習・教授理論がこのような関係の妥当性を説明しているということである．各理論は記述的 (descriptive) に，または手続き的 (procedural) に教授行為と学習行為，学習者の状態変化の関係を説明している．このような理論的知識を記述する枠組みにもなるというのが I_L event のもう一つの役割である．

3·2 学習・教授ゴール達成方式

本研究では，学習・教授プロセスを学習者の状態変化プロセスと，その達成方式の 2 つの観点から構造化する．各行為で想定されるステップ毎の状態変化は，前述した I_L event として記述される．ここでは，それをどのようにして状態変化プロセスとして構造化するかについて議論する．

提案するモデルでは，学習・教授プロセスを達成関係の観点から I_L event による階層的構造として記述する．この基本的構造は，來村らによる機能達成方式 [來村 02b] の枠組みに基づいている．前述したように同枠組みでは装置の機能を対象物の状態変化として捉えており，ある機能とそれを達成する部分機能（の系列）との間の達成関係を概念化したものを機能達成方式と定義している．この階層的構造化によって装置の機能がモデル化される．このモデル化の対象は人工物とその機能であり，本研究で対象としている人の学習・教授プロセスとは一見かけ離れているように思われるが，状態変化とそれ起こすために行われる振る舞いの関係として抽象化すると，同様に扱うことができると考えられる．機能達成方式の枠組みは人工物の機能に限らず一般性を持つと考えられ，本研究の事例はそれを証明する一つになると考えている．

図 5 は学習・教授ゴール達成方式の一例を示している．ここでは，上位イベント（学習者が学習文脈を認識する）を達成するために二つの方式があることを示している．一つめの WAY1 は教授者が最初に学習内容を伝え，次にどのように学んでいくかを伝えるという教授者主導のプロセスである．もう一つの WAY2 は教授者は学習者にデモンストレーションするのみで，特に内容や学び方を説明しないという学習者主導のプロセスである．これらの二つの方式は同じ目的（期待する学習者の状態変化）に対して，別のアプローチで達成しようとしているものと考えることができる．このように，ここでは（少なくとも）二つの方式が考えられることを「OR」関係で示している．このように「何を」達成するかということと，「どのように」達成するかということを区別することで，世の中に実在する多様な学習・教授プロセスをモデル化できる柔軟な枠組みを提供できると考えている．

この方式という考え方については二種類の解釈ができる．一つはボトムアップに，下位イベントの状態変化の系列によって，上位イベントの状態変化が達成されるという解釈である．これは状態変化の達成関係を descriptive に記述していると言える．もう一つは，トップダウンに上位イベントの行為は下位イベントの行為によって実現されるという解釈である．これはある状態変化を期待する学習・教授行為の詳細化による実現方法を prescriptive に記述していると言える．

前述したように，本研究では学習・教授シナリオは達成方式の観点から I_L event による階層的構造としてモデル化される[*11]．この例を図 6 に示している．本稿では，階層構造の部分を「シナリオモデル」と呼び，リーフだけを取り出したものを「シナリオ」とよぶ．シナリオは実行時に学習者や教授者によって実際に行われる具体的なイベントのみを表しており，シナリオモデルはその設計意図を表す抽象的な構造となっている．つまり，シナリオ全体としてどのような学習者の変化を目的として，それを実現するためにどのようにその状態変化が I_L event の系列による達成プロセスとして分解されていったかを表す．シナリオモデルは，シナリオ全体を表す粒度の大きな I_L event をより小さな粒度の I_L event へ段階的に分解することによって構成される．リーフの I_L event で記述される行為は，Action の下位概念である Primitive action で記述することとしている．但し，どの段階で Primitive event を使って分解を止めるかはこのモデル化の枠組みの範囲外であり，モデル作成者の恣意性に任せている．

3·3 理論のモデル化と手続き的な解釈

I_L event は通常の概念（全体概念）として定義している一方で，方式は I_L event 間の分解・達成と表す関係概念として定義している．この違いは，前述したように状態の達成に関する What と How を分離しているということである．それに加えて，方式を関係として概念化していることが理論をモデル化する際の鍵となる．

序論で述べたように，理論をモデル化する際に重要なことは，システムによる

(1) 理論の「理解」のための宣言的な定義
(2) 理論の「活用」のための手続き的な解釈

の二つを一貫性を持って両立させることである．

各理論では想定される状況と期待する学習効果に対して適切と考えられる学習・教授方法を整理している．これらの関係を学習・教授方略として整理していることが学習・教授理論の本質である．つまり，学習・教授理論は方略の集合ともいえる．この方略を関係としてそのまま宣言的に記述した上で，手続き的に処理できるようにすることが，理論の適切なモデル化であると考えられる．OMNIBUS オントロジーでは，方式という概念化によって学習・教授プロセスの達成関係として理論（に含まれる方略）を宣言的にモデル化する枠組みを提供し，その関係のトップダウンな解釈によって手続き的な解釈を可能にしている．

序論でも述べたように，従来の理論に基づくオーサリングシステムの多くは，手続き的に実装されているかエキスパートシステムの一種として構築されているかのいずれかである．つまり，理論の内容（例えば，難しい概念を教えるには，先に例を示してから定義を示すことが有効）をそのまま手続き的知識として抽出し，それを直接手続きで実装するか，良くてもプロダクションルールとして表現することで知識ベースに蓄積している．このような方法によって開発されたシステムの問題は，対象となった理論的知識の内容はシステムに残されず，システムに蓄積される知識モデルは手続きやルールとして解釈・表現された結果だけとなってしまうことである．これでは，本研究の一つの目的である,「宣言的な定義と手続き的な解釈との一貫性を保った両立」が保たれているとはいえない．しかしながら，プロダクションルールは手続き的知識を宣言的に表現したものであるため，一見理論をうまく表現しているように見える可能性もある．従って，ここでオントロジーに基づく宣言的知識の概念化の存在の重要性を，ルールベースの手法が持つ問題点から説き起こすことにする．

ルールベースのシステムには，

(1) ルールベースにタスク実行を制御するためのルールが混在する
(2) ルールは専門家の経験則をモデル化したものであるため，ルールの条件部に記述される状態は当該専門家が着目する状態のみを記述することに主眼を置いて構成されている

という性質がある．いま，(1) は黙認するとして，(2) のみに着目する．本論文で採用されている，オントロジーに基づく宣言的知識の概念化と手続き的解釈の両立という目標は，特定の専門家の経験則ではなく，学習・教授理論全体を対象にしている．そして，そこで考察されている世界全体を根源的に支えるための基盤概念をオントロジーとして宣言的に把握し，そのようにして得られた概念に依拠して手続き的知識の抽出とモデル化を行うことによって実現されている．このことによって，従来のエキスパートシステムにある ad hoc 性を排除して，客観性・一般性のある基盤概念空間の構築と，それに基づいて，その分野全体をカバーする手続き的知識の宣言的手法による構成が可能となった．これはまさしく，オントロジーに基づくシステム開発という新しい方法論を提供していると考えることができる．

この方法論の効果を具体的に説明すると以下のようになる．従来型のエキスパートシステムにおける知識ベースの保守・管理では，元となる理論的知識とその解釈であるルールの対応関係が明確ではないためにルールを変

*11 この階層は *is-a* 階層ではなく，達成関係に基づく全体・部分関係的な階層である．

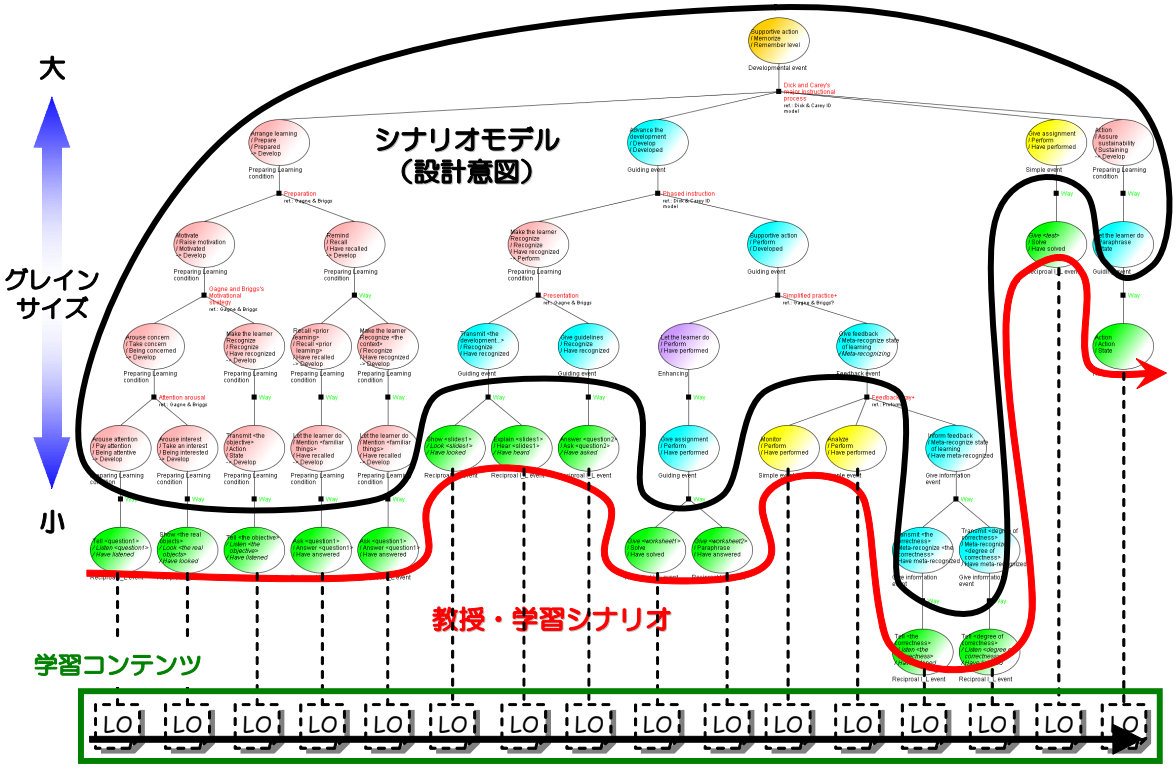

図 6　シナリオモデルの一例

更・追加することが難しいという問題が発生する．更に深刻な問題として，知識をモデル化し積み上げるためにはその前提となる仮定や視点，利用の目的に対する基本的合意が必須であるが，前提を明示化するための方法論がなかったということである．そのような背景の下で提唱されたのが本研究のベースとなっているオントロジー工学である [溝口 05]．本研究では，3·2 節で述べたように，2 章で述べた基盤概念を元にして，全ての理論の内容を学習者の状態変化の達成・分解関係として宣言的に定義している．これにより，ルールとして解釈・表現するというステップが存在しなくなり，蓄積される知識モデルと元となる理論的知識との関係性がより明確に残される．そして，同じく 3·2 節で述べたように，この関係概念をトップダウンに解釈することによって，つまり上位のイベントの行為が下位のイベントの行為によって達成されると解釈することによって，宣言的に定義した関係を手続き的に処理することができる．これが OMNIBUS オントロジーにおける理論的知識の宣言的定義と手続き的利用である．この仕組みは本研究で対象としている教育の分野にとどまらず，ベースとなっているデバイスオントロジーの研究で示されているように様々な技術知識を統合的に管理するプラットフォームの基盤となっている [高藤 08]．

これまで，本研究ではこの枠組みに基づいて Gagne の nine events of instruction[Gagne 74]，Dick and Carey の ID model[Dick 01]，Merrill の component display theory[Merrill 83]，Keller の ARCS model[Keller 87]，Collins の cognitive apprenticeship[Collins 89]，Jonassen の design of constructivist learning environments[Jonassen 99] など，11 の学習・教授理論に基づいて 100 個の方式知識を定義してきた．このような理論に基づく方式を「方式知識」とよんでいる．これらは現実の多くのシナリオモデルで見られるような ad-hoc に記述された方式とは異なり，元になる理論で想定されている条件に合えば，様々な状況で利用できる知識である．

方式の枠組みは 3·2 節で述べたようにトップダウンとボトムアップの 2 種類の解釈ができる．この内，トップダウンな解釈によって理論の「活用」を実現する．例えば，ある I_L event を分解したいときに，その I_L event と上位イベントが一致する方式知識があれば，その方式知識の下位イベントが分解の候補となる．つまり，方式知識の上位イベントと分解したい I_L event の単一化によって，方式知識の下位イベント列がその I_L event を実現するための部分 I_L event 列として導出される．このように方式の集合として理論をモデル化することによって，理論の宣言的な定義と手続き的な解釈を両立させることができる．

前述したように，理論は方略の集合と言え，方式知識はその一つ一つをモデル化したものである．従って，ある一つの理論はその理論に基づく方式知識を集積することで捉えられるとも言える．しかし，これでは理論に含まれる個々の方略について見えるが，理論全体としての性質は見えてこない．従って，個々の理論の全体像を捉えるために，関係概念として定義している方式知識とは

別に，個々の理論を全体概念として定義している．理論の概念定義では，想定する学習メカニズムや学習者，学習対象のプロパティを要素として，大きくはパラダイム毎に組織化されている．各方式知識からは元となる理論の全体概念定義を参照している．この関係によって，各理論が全体としてどのような性質を持っているかが組織化されると同時に，それぞれの要素となる学習・教授方略が方式知識として定義されている．

3·4 方式知識としての理論のモデル化

本研究では，前述したように 11 の理論に基づいて 100 個の方式を定義している．表 1 では，これまで定義してきた方式知識を理論，パラダイム，対象によって大まかに 4 つに分類し，理論毎に方式知識の数をまとめている．方式知識の分類は表 1 の列に示すように 4 つ設定している．Cross-paradigm theory/model，Cognitivist theory/model, Constructivist theory/model は「学習（メカニズム）」のパラダイムの違いによる分類である．Cognitivist theory/model は知識処理の側面から人間の学習を知識伝達として捉えるものであり，認知・思考プロセスに注目してきた．一方，Constructivist theory/model では，人間内部の認知プロセスより他者および環境とのインタラクションとメタ認知に注目して学習・教授を捉えている．他にも代表的なパラダイムとして Behaviorist theory/model というものがあるが，現在はまだ方式知識を定義していないために除外している．Cross-paradigm theory/model はそれらのパラダイムに関係なく一般的な学習・教授プロセスについて扱っている理論またはモデルである．一方，Instruction management theory/model だけは動機付けなど学習の条件を整えることを主眼とした理論で，ここでは他とは分類軸が異なっている（もちろん，他の 3 つの分類に含まれる理論でもこのような観点を含んでいるものもある）．これらの方式知識の定義内容についての考察は 6·1 節で述べることとし，本節では方式知識の具体例を示して，法造オントロジーエディタ上で方式知識がどのように宣言的に関係概念として定義されているかを説明する．

図 7 に Gagne の理論に基づく方式知識「Presentation」の定義内容を示す．これは図 5 で示した方式 (WAY)1 と同じものである．方式知識は関係概念として定義しており．構成要素 (participate-in: p/i) となる “macro”，“micro”，“Theory for reference” の 3 つの間の関係を定義している．“macro” は上位イベントであり方式知識に 1 つのみ，“micro” は下位イベントで複数個持ちうる．図 7 の例では，“micro” が二つ定義されており，上位イベントが 2 つの下位イベントに分解されている．

“macro” は Preparing learning condition という種類の I_L event で定義されている（図 7(A)）．これはこのイベントでの学習者の状態変化が他の I_L event の準備になっていることを表している．これは Learning effect と Learning action の間の Prepare-cond 関係で記述されている（図 7(B)）．ここでは学習効果（Learning effect）としての学習者が学習対象を認識した状態（Have recognized：図 7(C)）が，他のイベントでの学習行為（Organize：図 7(D)）の前提条件になっていることが定義されている．

一方，2 つの “micro” はどちらも Guiding event という種類の I_L event で定義されている（図 7(E)）．これは基本的な I_L event で，単純に教授行為が学習行為に影響を与えることを定義するものである．この関係が Instructional action と Learning action 間の Influence 関係（図 7(F),(G)）で定義されている．図 5 で示した What to learn と How to learn は，OMNIBUS オントロジーでそれぞれ Learning item と Guideline として定義されており，それらを伝えること (Inform) がそれらを認識することに貢献（影響）しているということを定義している．

最後に “Theory for reference” では，元になる理論もしくはモデルを参照している．ここでは OMNIBUS オントロジーでの Gagne の理論の全体概念定義 “Gagne’s I-Theory” を参照している（図 7(H)）．これは認知主義理論の一種であり，Cognitivist Instruction Theory の下位概念として定義されている．

図 8 にもう一つ方式知識の定義例を示す．これは Collins の理論である Cognitive apprenticeship に基づく方式知識「Modeling」であり，図 5 で示した方式 (WAY)2 と同じものである．

“macro” は図 7 で示した Presentation 方式と同じく Preparing learning condition という種類の I_L event で定義されている（図 8(A)）．この方式知識は 3·2 節で述べたように Presentation の代替案として利用可能なもので，macro の定義内容が同じである．

一方，“micro” は Presentation 方式と異なり，Enhancing という種類の I_L event 一つのみで定義されている（図 8(B)）．従って，イベントの分解というよりも具体化がなされていると言える．この Enhancing という種類の I_L event は 2 段階の学習者の状態変化を持つ．教授イベントは一つ目の状態変化に影響を与え，一つ目の状態変化が学習者によって二つめの状態変化が自発的に引き起こされるときのきっかけとなることを定義している．この関係が Instructional action と Learning action 間の Influence 関係（図 8(C)）と，Instructional action と Learning effect 間の enhance 関係（図 8(D)）で定義されている．ここでは，例を認識するイベント（図 8(E)）が学習対象を学習者が自分で認識する（図 8(F)）ためのきっかけとなっていることを定義している．

最後に “Theory for reference” では，Cognitive apprenticeship の定義を参照している（図 8(G)）．これは構成主義理論の一種であり，Constructivist Instruction Theory の下位概念として定義されている．

以上のように方式知識を関係概念として定義することで，3·3 節で示したシステムの

表 1 方式知識の定義内容

理論・モデルのカテゴリ	Cross-paradigm theory/model	Cognitivist theory/model	Constructivist theory/model	Instruction management theory/model
理論の数	1	3	6	1
方式知識の数	2	30	52	16
理論毎の方式知識の数	Dick & Carey's I-model [Dick 01] 2	Component display theory [Merrill 83] 21 Gagne's I-Theory [Gagne 74] 8 Merrill and Tennyson's I-Theory [Merrill 77] 1	Jonassen's constructivist learning environment design [Jonassen 99] 22 STAR LEGACY model [Schwartz 99] 19 Scaffolding theories [Hogan 97, Hmelo 96] 3 Cognitive apprenticeship [Collins 89] 8	Keller's I-Theory [Keller 87] 16

(1) 理論の「理解」のための宣言的な定義
(2) 理論の「活用」のための手続き的な解釈

という理論のモデル化の条件を２つとも満たした方法で理論をモデル化した．

4. 学習・教授理論と標準化技術の融合

前節までの考察によって理論をモデル化出来たとはいえ，その成果を教育実践の現場で容易に利用できるようにするためには，まだ大きな隔たりがある．それを解消するには，シナリオモデルを教育実践現場で容易に利用できるようにすることが不可欠である．

本研究では，学習・教授シナリオ記述の標準化規格として TEL 技術者に盛んに利用されている IMS Learning Design (LD) 規格 [IMS 03] に注目し，シナリオモデルの内容を IMS LD フォーマットに変換することを提案している [Hayashi 06a]．この対応によって，シナリオモデルで保存される設計意図とその理論的根拠の IMS LD 規格の上での運用を可能にする．そして，実践現場では失われがちなシナリオの理論的根拠や正当性を明示化し．理論研究と実践研究との間の「知識共有」を促進し，理論と実践の間にあるギャップを埋める．

4·1 IMS Learning Design の概要

学習・教授シナリオに関しては，Educational Modeling Language(EML) としてこれまで様々な規格が提案されてきた．現在では，標準規格策定団体の一つである IMS によって，オランダの Open University (OUNL) による EML[Koper 01] がベースとして採用され，IMS Learning Design 規格として標準化策定作業が進められている．

IMS LD で中心となる学習・教授シナリオの構成要素は以下の３つである．

Role 参加者のロール．IMS LD では，ロール毎に実行してもらいたい行為を設定することで，シナリオをモデル化する．

Activity/Activity-structure 各ロールによって実行される行為とその構造記述．Activity-structure はある行為をサブ行為に分解するための１段分の階層構造である．それ以上分解しない行為については，学習者と学習支援者（教師やメンターなど）を区別し，それぞれ learning-activity と support-activity という要素が定義されている．

Environment アクティビティで使われる教材やサービス．これには学習・教授に使われるテキストや問題集，またはメールや BBS といったコミュニケーションツールも含まれる．

IMS LD では，これらの要素を使って学習・教授シナリオを演劇のメタファーで表現しており，学習・教授活動の参加者にそれぞれどのような Role を割り当て，それぞれの Role 毎にどのような Activity をどのような Environment を用いて実行するのかといったことを記述することが学習・教授シナリオを設計することと定義している．また，複数の参加者による学習・教授プロセスを記述することができ，個別学習から協調学習，講義のような集合学習など様々な学習・教授形態をサポートできるように定義されている．

4·2 IMS LD とシナリオモデルのマッピング

IMS LD とシナリオモデルの対応は，具体的には，シナリオモデルの木構造を学習者ロールと教授者ロールの activity-structure に対応するものと考え，シナリオモデルの一段分の分解を二つの activity-structure として分離して記述する [Hayashi 07]．図 9 にその一例を示す．右側がシナリオモデルの一部を示し，左側がこの分解木を IMS LD に変換した XML 記述となっている．Activity-structure の基本構造は（分解される）アクティビティとサブアクティビティの１段分の階層構造である．これは方式の構造と同じであり，シナリオモデルに含まれる各方式を

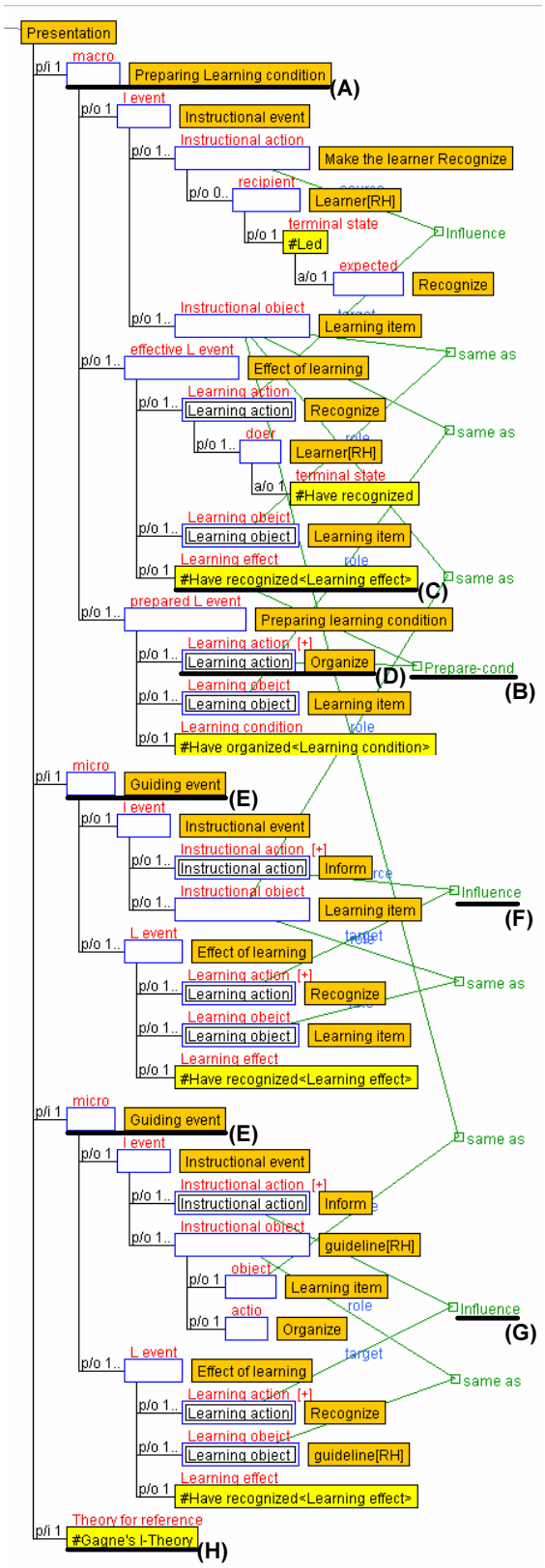

図 7　方式知識の定義例（1）：Presentation

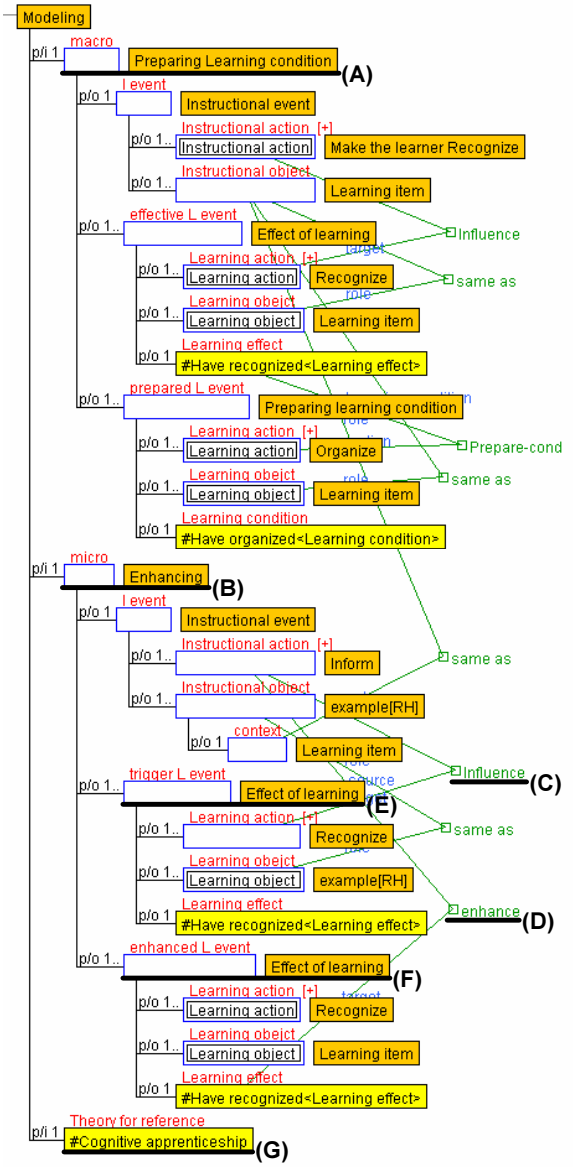

図 8　方式知識の定義例（2）：Modeling

activity-structure として記述し，シナリオに対応するリーフの I_L event だけは learning-activity か support-activity で記述する．

このように IMS LD とシナリオモデルは基本的に同じ構造を持っていて，簡単に相互変換することができる．しかし，IMS LD の問題点の一つは，ルートかリーフの activity でしか学習目標を記述する要素が定義されていないということである．これでは，構造としてはシナリオモデルを activity-structure に写像することはできるが，その構造の中で学習目標（学習者の変化）を記述できるのは，ルート (シナリオ全体を表す行為) とリーフ (シナリオに対応する実際に実行されるもっとも具体化された行為) のみであり，その中間構造では記述できず，設計意図が保存されないこととなる．一方，シナリオモデルでは，各ノード（イベント）で学習者の状態変化が記述さ

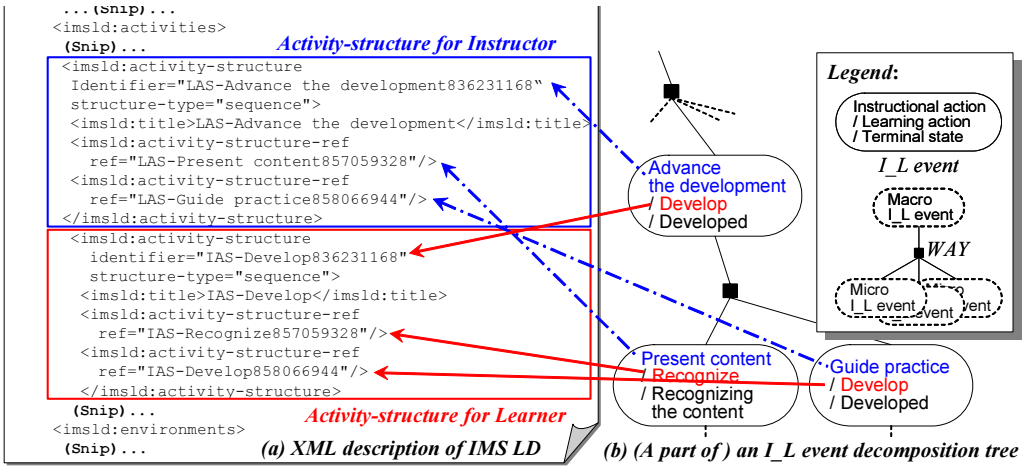

図 9 学習・教授プロセス分解木と IMS LD の対応

れるのと同時に，どの方式が適用されたか・されなかったのかという情報や，方式が適用されているとすれば，それはどの理論に基づくものなのかという情報を管理することができる．

従って，IMS LD とシナリオモデルを相補的に連携させることによって，相互運用性と内容の妥当性の保証を両立させ，理論研究と実践研究との間の「知識共有」を促進し，理論と実践の間にあるギャップを埋める仕組みを構築している．具体的には，5·2·2 節で述べる説明生成の仕組みによってシナリオモデルの記述内容をテキスト出力し，IMS LD 記述と関連づけることで，理論的情報を標準化規格の上で流通できるようにする．

5. 学習・教授シナリオ設計支援システム：SMARTIES

本研究では，これまで述べてきた OMNIBUS オントロジーに基づいて，システム自身が理論を理解し教師や学習コンテンツ設計者のシナリオ作成を理論に基づいて支援する Theory-awareness と，その成果物を IMS LD 形式で出力できる Standard-compliance を兼ね備えたオーサリングシステムのプロトタイプとして学習・教授シナリオ設計支援システム：SMARTIES を開発した．この特徴は手続き的に理論が組み込まれたシステムと異なり，OMNIBUS オントロジーで定義された宣言的知識に基づいた支援を提供することである．本節では，SMARTIES のシステム構成と支援機能について説明する．

5·1 システム構成

図 10 に SMARTIES のシステム構成を示す．本システムの対象は，インストラクショナルデザインの主要 5 段階：分析・設計・開発・実施・分析の中の設計フェーズ，特に抽象設計フェーズであり，今後は具体設計やその他のフェーズも対象として行く予定である．

SMARTIES で想定するユーザ（オーサ）は，シナリオオーサと方式知識オーサの 2 種類である．シナリオオーサは，例えばインストラクショナルデザイナや教師で，2 章，3 章で紹介した OMNIBUS オントロジーに基づいてシナリオモデルを設計する．これは，教師による授業計画の立案や学習教材のプロット作成に相当する．SMARTIES では，このようなシナリオ設計（オーサリング）をシナリオオーサが自分の考える学習・教授プロセスを外化しモデル化する作業として位置づけ，OMNIBUS オントロジーに基づいて知的に支援するモデリング環境を提供している．一方，方式知識オーサはオントロジーに基づいて理論を方式知識として記述する．一見，どちらのオーサが記述するものも I_L event や方式であり同じように見えるかもしれない．しかし，方式知識オーサが記述する方式知識は理論に基づく方式としてオントロジーに含まれるものである一方，シナリオオーサが記述するものは，ある特定のシナリオモデル固有のものである．つまり，理論に裏付けられた一般性のあるものと，あるシナリオモデル固有のものとして扱いが異なる．特に現状においては，多くの教育者は理論などを参照することよりは過去の経験に基づいて自分自身で教授法を決定することが多く [Nunes 07]，そのような要求に対応するために I_L event や方式を自由記述できるようになっている．しかし，自由記述した場合にはシステムの支援に制限がある．システムの支援範囲とその制限については 5·2·1 節でより詳しく述べる．また，方式知識は方式知識エディタか法造オントロジーエディタを通じてのみ記述することができ，システムのインタフェース上も記述の権限を区別している．

シナリオオーサはシナリオエディタを通じてシナリオモデルを作成する．シナリオオーサに提供される支援機能を以下に列挙する．

- モデリング環境の提供
  - オントロジーに基づく概念と語彙の提供
  - シナリオモデル構築のためのグラフィカルユーザインタフェース

- シナリオや理論の説明生成
- 複数の理論に基づくモデリングガイドラインの提供
  - 理論のシナリオへの適用
  - 他の理論に基づく代替案（方式）の提供
  - ユーザ定義方式に対する類似理論の提供
- 設計意図の保存
  - シナリオモデル構造の保持
  - 理論的正当性の記録
  - 設計過程の記録
- シナリオ検証機能
  - シナリオの一貫性チェック
- 学習オブジェクト (LO) 検索支援
- シナリオ出力
  - テキスト形式
  - IMS LD 形式

これらの機能が図 10 に示す SMARTIES のモジュールの連携によって提供される．核となるモジュールはモデルマネージャで，シナリオオーサの記述内容をシナリオモデルとして OMNIBUS オントロジーに基づいて管理する．シナリオ解釈器はシナリオモデルを解釈すると同時に，適用可能な方式知識を方式知識マネージャに問い合わせる．方式知識マネージャでは，シナリオモデルの各 I_L event について適用可能な方式知識を検索する．これらの解釈と検索の結果は説明生成器に送られ，説明文付きでオーサリングインタフェースを通じてオーサに提供される．シナリオオーサは，自分が作成しているシナリオに対するシステムの解釈を参照して，自分の意図が適切にシナリオモデルに反映されているかを確認したり，提案される方式知識がどのような内容で，どの理論に基づいているかを確認した上で適用することができる．

5·2 支援機能の概要

ここでは，前節で挙げたシナリオオーサ（以下，オーサ）への支援機能の内，

- モデリングインタフェースの提供
- シナリオや理論の説明生成
- シナリオ出力

の３つを中心として説明する．

現在，SMARTIES で作成できるシナリオは分岐のないシンプルなものである．この理由は，基本的に理論では学習・教授プロセスとその適用条件・効果の関係を抽象的なレベルで宣言的に記述しているので，実際の学習者の状態に合わせた細かなプロセスの違いについては範囲外としているためである．しかし，実行時に学習者に対して適応的に対応するためには，学習者の状態についての条件分岐を含むより詳細なシナリオモデルを記述する必要がある．また，学習者の状態を実際にどのように取得するかについても実施フェーズでの問題であり対象外となっている．

これについては今後の課題として取り組んでいく予定であり，現状の SMARTIES では抽象的なレベルで理論によって正当化された妥当な学習・教授プロセスを設計することのみを対象としている．

§1 モデリング環境の提供

図 11 に SMARTIES のユーザインタフェースを示す．シナリオエディタ（図 11(1)）が中心となるインタフェースであり，オーサはこれを通じてシナリオモデル（図 11(a)）をグラフィカルに作成する．基本的にシナリオオーサは自由に I_L event を記述し，分解していくことでシナリオモデルを作成する．I_L event 設定ウィンドウ（図 11(3)）や方式記述ウィンドウ（図 11(4)）は，個々のシナリオモデル固有の I_L event や方式を記述するためのもので，それぞれの概念で定義されているスロットに対応したフィールドを持っており，それらの内容をオーサが自分の言葉で記述したり，OMNIBUS オントロジーを参照して設定できる．オントロジーを参照する場合には，フィールドに対応するスロットのクラス制約から利用できる概念の *is-a* 階層が図 11(2) のように提示される．この例では教授行為を設定する場面で，行為の *is-a* 階層が表示されている．このように，OMNIBUS オントロジーの *is-a* 階層全体から必要な部分だけが抽出され，オーサに提示される．もちろん，オントロジーの中に適切な行為や状態が無ければ，オーサが自分の言葉で I_L event を記述することができる．しかし，その場合はシステムが理解できないために提供できる支援が限られることになる．オントロジーで定義された概念・語彙を用いることで SMARTIES はシナリオモデルの内容を理解し，説明生成や適用可能な方式知識の提供などより高度な支援を行うことができる．説明生成についてはそのメカニズムなどを後で詳しく述べることとし，ここでは適用可能な方式知識の提供について簡単に説明する．方式提案ウィンドウ（図 11(5)）では，シナリオエディタ上で選択されている I_L event に対して適用可能な方式知識を提示している（図 11(d)）．このリストでは，分解対象の I_L event と方式知識の上位イベントのマッチングが良い順に，3·3 節で述べたパラダイムや理論の *is-a* 階層に沿って表示されている．ここでは方式知識が選択されると，その適用後の構造（図 11(e)）とその説明（図 11(f)）が表示される．これらの内容はすべて OMNIBUS オントロジーに基づいて動的に生成されている．オーサは，これらの情報を参照しながら適していると思われる方式知識を選択することができる．つまり，提示される方式情報を参照選択することで，ある学習上のゴールを達成する学習教授プロセス列を理論に基づいて設計することができる．

基本的にはこの作業を繰り返すことによってシナリオモデルが作成される．シナリオモデルの階層構造はシナリオ（シナリオモデルのリーフの系列）の設計意図を表し，そこで利用された方式知識によって理論的正当性が保存される．また，シナリオモデルの中でグレーになっ

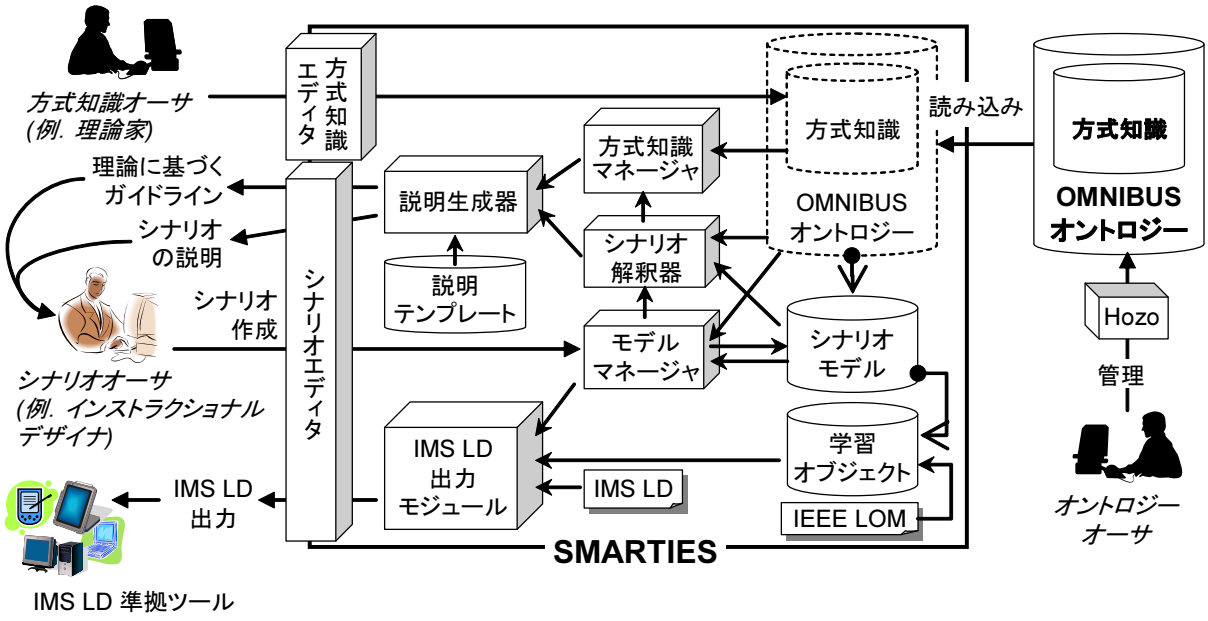

図 10 SMARTIES のシステム構成

ている部分（図 11(c)）は，過去に設定されたが他の方式に変更されたものである．このような表示に加えて，変更の理由もメモできるようになっており，設計の履歴と理由を保存できるようになっている．これは人工物の機能モデリングにおいても，設計物の理解を助けるものとして効果が認められており，本研究でも同様に効果があるものと考えられる．

最終的にシナリオモデルは LO と対応づけられ，具体化される．現在では LO ポータルやリポジトリが整備され，多くの LO に LOM データが付与されてきており [仲林 06]，既存の LO を検索して再利用するのが理想である．SMARTIES では，全世界的な LO ポータルである GLOBE*12を利用してオーサが LO を検索できるようにしている．そして，検索結果の LO の URL をシナリオエディタ上で登録することによって，図 11(6) で示すように学習・教授シナリオの各 I_L イベントに LO が対応づけられる．現状では，シナリオモデルを参照してオーサがキーワードを設定して検索しているが，このような LO ポータルやリポジトリを一層活用するためには，シナリオのプロパティを整理し，LOM との対応を考察することが有効であると考えられる．

ここまでは，主にオントロジーや方式知識を参照してシナリオモデルを作成する流れをユーザインタフェースと関連づけて述べた．しかし，前述したようにオントロジーの中に適切な行為や状態の定義が無ければ，オーサが自分の言葉で I_L event を記述することもできる．その場合はシステムが解釈できないために提供できる支援が限られることになるが，シナリオモデルで I_L event の階層構造が記述されることによって，少なくとも設計意図は保存される．また，方式についても同様で，シナリオオーサが自分で考える I_L event の分解を記述することもできる．この際には，I_L event の記述にオントロジーで定義された概念を利用していれば，さらに分解する際に適用可能な方式知識を提供することができる．

オーサがオーサリング時に記述したシナリオ固有の方式については，SMARTIES が持っている方式知識との類似度を測定することで，その妥当性を確認することもできる．このとき，類似度が高いということは，そのオーサ定義方式は SMARTIES が持っている方式知識の範囲では理論的正当性がある可能性が高いと考えられる．但し，逆に低ければ可能性が低いわけではなく SMARTIES では説明できないものと考える．類似度は完全に一致する場合は 1.0 で，類似度が低くなるにつれて数値が低くなるように定量化して算出している．類似度の算出は，対象とする方式とすべての方式知識の間でそれぞれに含まれる上位・下位イベントの内容を比較し，それぞれの類似度の和を正規化することで行う．現状では，各 I_L event について，それぞれで設定されている I_L event，教授行為，状態の種類について OMNIBUS オントロジーの *is-a* 階層に沿って概念間距離を測定することで比較している．ここでの概念間距離というのは，一方の概念から他方の概念までに辿った *is-a* 関係の数であり，類似度はその逆数となっている．この類似度の算出方法は，まだ改良する余地が多くあり，今後はより有効な算出方法に改善していく予定である．

§2 シナリオや理論の説明

SMARTIES の特徴的機能の一つは，シナリオや理論の説明機能である．これは，SMARTIES がオントロジーや方式知識に基づいて，シナリオの解釈内容や理論の定義内容を提示する機能である．シナリオの解釈内容では，シナリオオーサが記述した各 I_L event や各方式がどのよ

*12 http://globe-info.net/

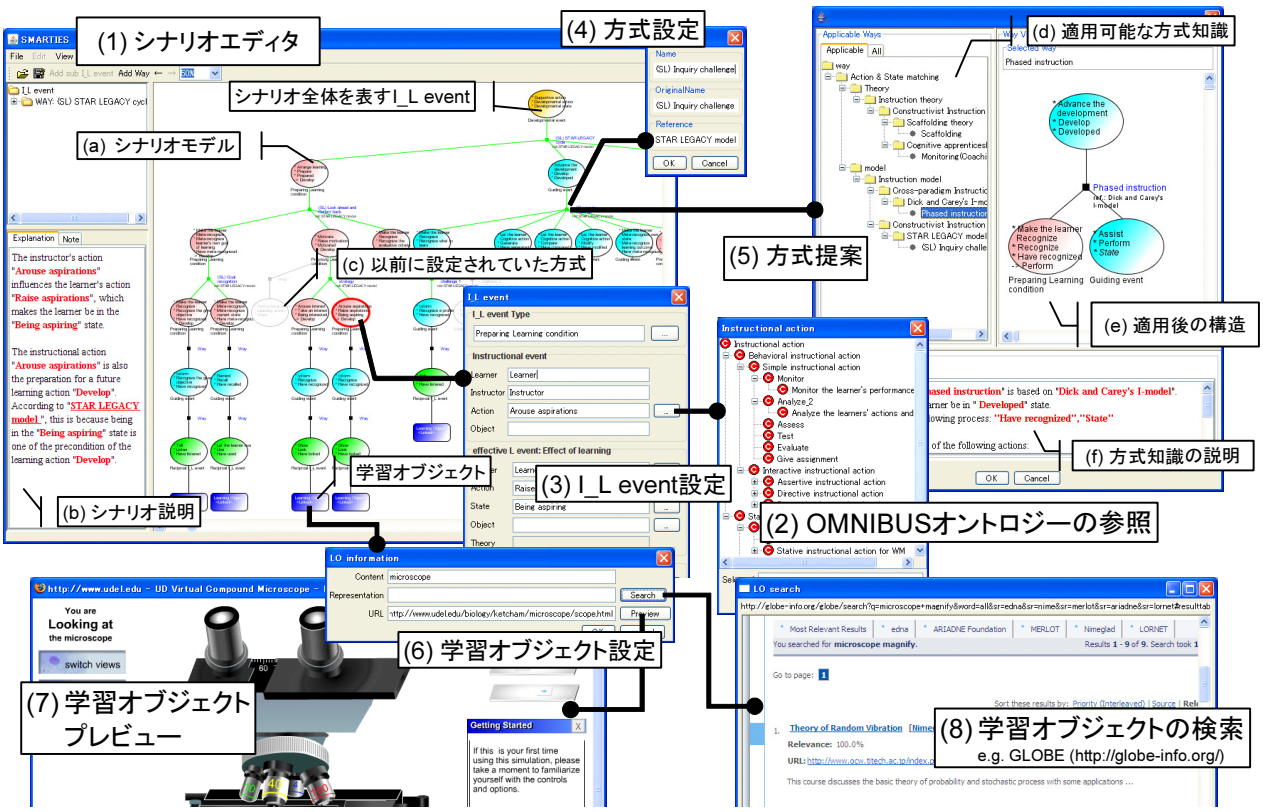

図 11 SMARTIES のユーザインタフェース

表 2 説明内容の種類 (一部)

種類	説明
シナリオ解釈	オーサが記述したシナリオモデルのシステムによる内容解釈．理論との対応付けはない
理論説明	理論に基づいて定義された各方式知識の内容を説明する
理論的正当性	オーサが記述したシナリオモデルを理論に基づいて説明する

うな内容であるか，もし方式知識を利用していたらどの理論に基づいているかといった内容を自然言語で提示する．また，理論の定義内容について解説を提示する．これらの種類を表 2 に列挙している．

説明文はテンプレートを用意し，それをオントロジーや方式知識，シナリオモデルに基づいて具体化して生成している．具体的には，個々の説明文に対して，モデルマネージャや方式知識マネージャから必要なデータを XML で出力し，XSLT を使って最終的には HTML ファイルに変換する．この HTML ファイルは SMARTIES 上での表示に使われたり，IMS LD に出力する際に補足情報として関連づけされる．

説明文の生成メカニズムを図 12 に示している．この例では，図 12(A) に示す I_L event の内容が説明表示ペイン (図 12(F)) に表示されている．この内容は，シナリオモデル (図 12(B)) と方式知識定義 (図 12(C))，説明テンプレート (図 12(D)) の 3 つから生成される．図 12(1), (2) に示しているように，テンプレートには変数部分があり（図 12(D) の<>部分），それぞれに具体化するときに参照する概念定義が設定されている．例えば，`<Instructional action>`は説明する I_L event の Instructional action スロットの値を参照するように設定されている．この参照定義に基づいて，説明テンプレートの中の各変数が具体化され，説明文 (図 12(E)) が生成される．具体的な処理としては，上述のように，シナリオモデル (図 12(B)) と方式知識定義 (図 12(C)) の内容を一時 XML ファイルとして出力し，それを内容生成と表示生成のテンプレートとなる 2 つの XSL によって変換することで説明文 (図 12(E)) の HTML ファイルが生成される．SMARTIES 上でオーサが I_L event や方式を選択すると，HTML ファイルとして生成された説明文が説明表示ペイン (図 12(F)) に表示される．

SMARTIES はその知的な行動の大部分は宣言的に記述された OMNIBUS オントロジーに基づいている．言い換えれば，手続き的に埋め込まれた ad-hoc な知識は持っていない．つまり，OMNIBUS オントロジーの内容を更新・修正しても SMARTIES を変更する必要がなく，例えば，その変更内容に対応した説明文をオーサに提供できる．このことが，上述のようなきめ細かい多様な説明を動的に生成することを可能にしている．更に，このようなテンプレートを OMNIBUS オントロジーの比較的上位の概念（例えば，I_L event や方式）に対応させて作成

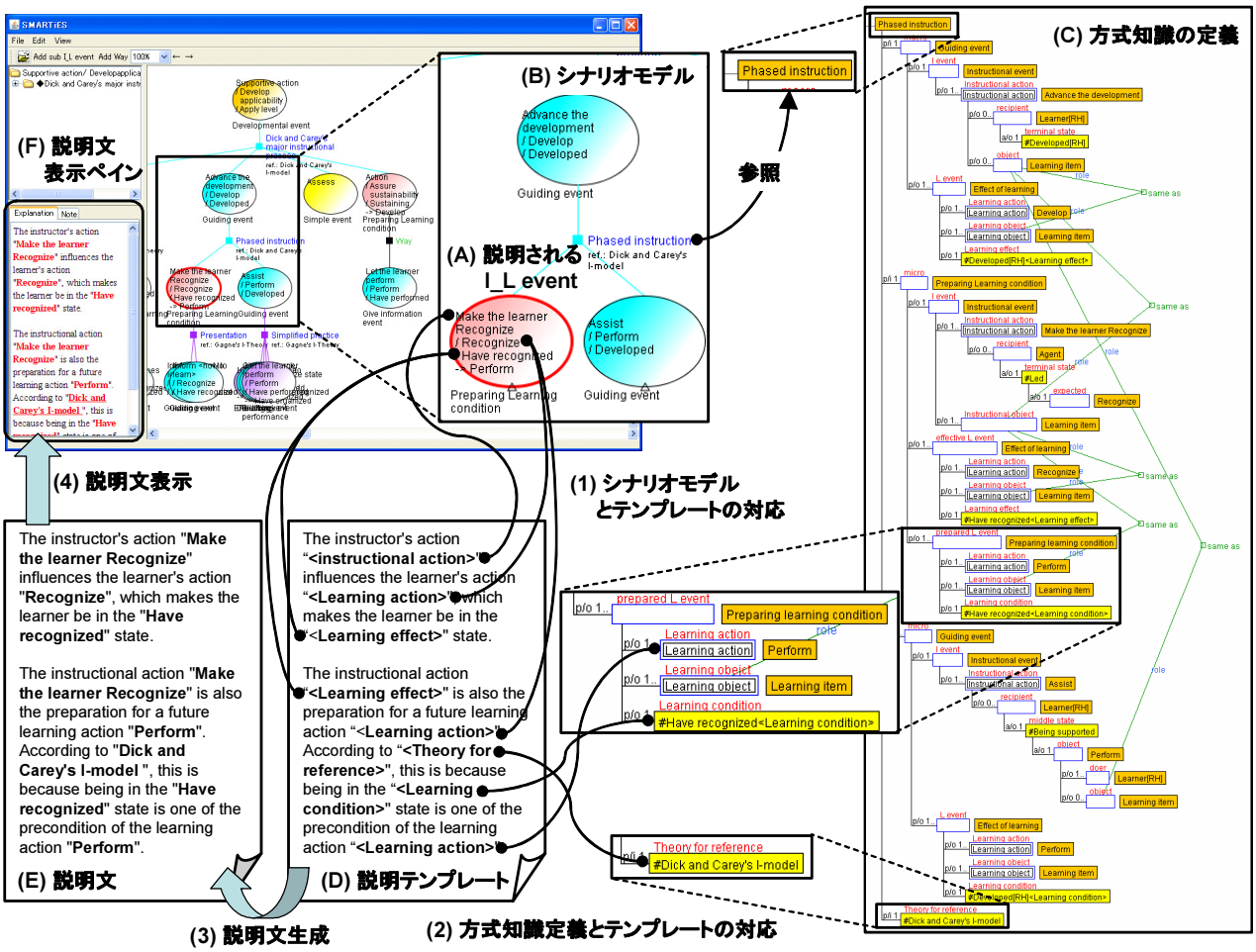

図 12　説明文生成メカニズム

している．上位概念において一般性を持ったテンプレートを作ることによって，様々なモデルに対応できる．同時に，より特殊化された概念について特殊なテンプレートが必要な場合も *is-a* 階層に沿って上位概念の基本的性質は継承されているので，最小限のテンプレートの拡張で対応することができるという利点がある．

§3　IMS LD 出力機能

4 章で述べた IMS LD 規格との対応に基づいて，SMARTIES で設計したシナリオモデルを IMS LD 形式で出力することができる．出力したものを Reload LD player*13で実行した画面を図 13 に示す．Reload LD player は Reload プロジェクトで開発された IMS LD の実行環境兼ビューアであり，IMS LD で記述されたシナリオモデルのアクティビティ構造や各アクティビティ要素の記述内容，関連ファイル（学習者に提示する学習オブジェクトや記述内容の補足情報）を表示する．シナリオの流れに沿って学習オブジェクトを表示することで実行環境として，記述内容を表示することで各アクティビティの設計情報を参照できるビューアとして利用できる．この IMS LD player に SMARTIES からの IMS LD 出力を読み込ませ，シナリオモデルの内容が正しく IMS LD 記述に出力されている．

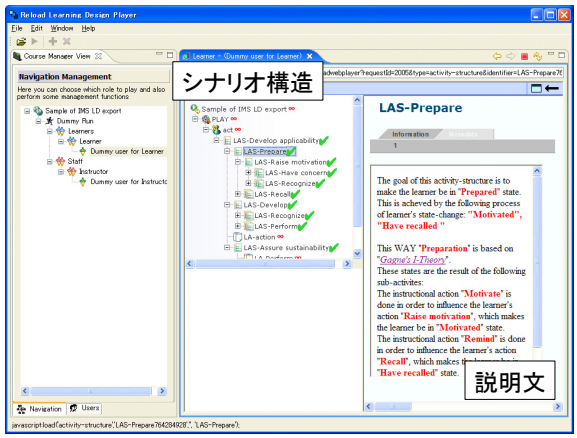

図 13　Reload LD player での実行

ることを確認している．SMARTIES で生成した説明文を IMS LD データと関連づけて出力することによって，ユーザは標準規格に準拠したシナリオ構造の設計意図として，オントロジーに基づいて生成された理論的根拠を参照することができる．また，説明文の中には理論が説明されているウェブページへのリンクも付与しており，より詳細な内容を参照することを可能にしている．

Reload LD player のように現場で実践的に利用されて

*13　http://www.reload.ac.uk/ldplayer.html/

いる標準化準拠ツール上で，SMARTIES で設計されたシナリオモデルの情報をすべて参照することができるようになっている．このような仕組みを通じて，理論研究と実践現場間の「知識共有」を促進し，理論と実践の間にあるギャップを埋めることに貢献する．

5·3 SMARTIES の特徴

専門的知識に基づくガイドラインの提供や説明生成など，ここまで述べてきた機能からは SMARTIES はエキスパートシステムのように見えるかもしれない．しかし，これらの多彩な機能を支えるのは，単純に以下の２つの基本機能のみであり，エキスパートシステムとは根本的に異なる．

オントロジーの参照　どのような概念が定義され，part や attribute としてどのような要素と制約を持っているか

I_L event のパターンマッチング　シナリオモデルで記述される各 I_L event の内容と方式知識で記述されている上位イベントのパターンマッチングを行い，マッチした方式知識がシナリオモデルに適用可能なものと判断できる．

この２つの基本機能だけで，上述の多彩な機能を実現できるのは，以下の２点を徹底しているためである．

- 概念の宣言的な定義
- オントロジーに基づくモデル化

行為や状態，イベントという全体概念だけではなく，方式も関係概念として宣言的に定義することで，理論やオーサが記述したシナリオモデルの内容について SMARTIES が説明を生成することができる．また，SMARTIES 上で方式知識の上位イベントとシナリオモデルの各 I_L event の単一化によって，I_L event の可能な分解構造が導出される．つまり理論の適用可能性と適用した場合の結果を示唆することができる[*14]．このように SMARTIES では，支援機能の手続き的な処理を経験則に基づくルールではなく，学習・教授理論の宣言的な概念定義に基づいて行っている．

しかし，理論的知識だけでは支援できないこともあり，経験的知識を利用することも考えている．例えば，SMARTIES では一つのシナリオ内で複数の理論を組み合わせて学習・教授プロセスを作成することが可能である．しかし，前述したようにパラダイム・理論の違いは学習・教授に関する（大なり小なりの）思想の違いでもあり，一つのシナリオ内であまりにも頻繁に多くの理論を代わる代わる使うことはシナリオの一貫性の欠如につながる恐れがある．但し，ある程度の一貫性を保つのは重要なことではあるが，その検証についてはその基準をサポートする理論はないためにオントロジーで宣言的に定義することは難しい．このような内容については，ある程度の経験則を利用することも必要で，オントロジーを参照して定義したルールをオントロジーとは分離してルールベースに蓄積し利用することで，合意形成の取れた汎用的な知識と ad-hoc な経験則的な知識を区別して管理することができる．表 3 にオントロジーとは独立にルールを定義する必要があると考えられる支援機能の一部を列挙している．これらの実装については今後の課題としている．

*14　この仕組みは，経験則的なルールによるものではない．つまり，方式知識によってワーキングメモリを更新して，対象世界の変化を捉えるものではない．オーサによる学習・教授プロセスのプランニングにおいて，方式知識とシナリオモデルとの単一化によって適用可能な方式知識を導出するだけである．

表 3　ルールが必要になる支援機能（一部）

機能の種類	説明
不足ゴールの検出	シナリオモデル内で必須な，もしくはあると効果的なサブイベントの不足を検出する
過剰ゴールの検出	シナリオモデル内で過剰な（上位イベントの達成に貢献しない）イベントを検出する
シナリオのバランスチェック	十分な動機付けがされているか，最後に学習の振り返りが含まれているかなど，シナリオのバランスをチェックする
シナリオの一貫性チェック	シナリオの一貫性の欠落（例：パラダイムが頻繁に変わる）などを検出する
イベントの持続性チェック	状態変化の持続の困難さ（例：思い出させたが，それを使うところまでかなり時間がかかる）

6. 考　　察

本節では，本研究の作業仮説に基づく学習・教授理論のモデル化の妥当性の考察と，他のオーサリングツールと SMARTIES の比較を行う．

6·1 作業仮説の確認

ここでは，2·1 節で述べた本研究の作業仮説：『学習者の状態変化という観点から,「学習」に関する共有可能な何らかの「工学的近似」を見いだせるのではないか』について考察する．この「工学的近似」には目的が二つある．一つは「(全ての）理論を説明する共通基盤の構築」，もう一つは「パラダイムの相違点と共通点を浮き彫りにする」である．この 2 つの目的の達成を確認するために，これまで定義してきた 100 の方式知識を理論，パラダイム，対象によって大まかに 4 つに分類し，それぞれの方式知識の各上位・下位イベントでの状態の利用状況について集計した．その結果を表 4 に示す．

方式知識の分類は表 1 と同様に Cross-paradigm theory/model, Cognitivist theory/model, Constructivist the-

ory/model, Instructional management theory/model の 4 つである．一方，状態については，大きく 5 つの分類で集計している．Learning stage は学習進行に関わる状態で “Preparation”, “Development”, “Assessment” といった状態を定義している．Cognitive process state は学習者の認知プロセスについての状態であり，Meta-cognitive process state はメタ認知プロセスに関する状態である．Attitudinal state は “Motivation” など，学習者の態度や関心に関する状態である．Developmental state は学習者の知識や技能の発達段階に関する状態で，Bloom の taxonomy に基づいて定義されている [Bloom 71]．最後に External state は学習者の他者や環境とのコミュニケーションに関する状態変化であり，“Informed” や “Asked” といった状態を定義している．

表 4 では，各状態分類において，一番多く使われている理論分類を太字で強調している．この結果を見ると，理論の方式知識化によって，各理論から学習・教授方略を特徴に合わせて取り出せていることが分かる．例えば，Cognitivist theory/model では知識処理プロセスに注目しているので Cognitive process state が多く用いられている一方で，Constructivist theory/model ではメタ認知プロセスに関係する Meta-cognitive process state が多く利用されている．また，Cross-paradigm theory/model では各パラダイムの違いが出ない一般的な学習・教授プロセスを対象としているために Learning stage が多く利用されている．External state については Constructivist theory/model が若干高いが，Cross-paradigm theory 以外はあまり変わらない．これはどの理論でもある程度具体的なプロセスを扱っている点ではあまり変わらないということを示唆していると考えられる．

このように，本研究で提案する状態概念定義と方式知識の枠組みによる理論のモデリングによって，各パラダイムや理論の違いが明確になると同時に，各理論の接点も明らかになる．表 4 に示されるように，各理論の分類では主要な状態分類以外の状態分類も利用されている．これは，理論分類間である程度の状態分類の利用の重なりがあることを表している．したがって，パラダイムや理論が違っていても，共通する状態概念が接点となり一つのシナリオの中での複数の理論のブレンディングも可能になると考えられる．理論のブレンディングをサポートする理論は現在のところ無いため，その妥当性は必ずしも保証されないが，本研究で提案している方式知識による仕組みによって可能性を提示することができ，インストラクショナルデザイナや教師にとって有益な情報を提供できると考えている．

上記の分析結果に加えて次節で述べる SMARTIES における理論のブレンディング提案機能の実現によって，作業仮説が正しいと主張するには弱いが，一つ目の目的である「（全ての）理論を説明する共通基盤の構築」については本論文での主張の範囲である程度の信頼度で実現できたと考えられる．

しかし，二つ目の目的である「パラダイムの相違点と共通点を浮き彫りにする」については，現時点で言える比較検討を示したという段階に過ぎない．前者の目的も含めてこれらの達成に関してはまだまだ検討の余地があり，作業仮説の正しさを主張するには，学習・教授理論の研究者と議論することなどで方式知識の枠組みが各パラダイムや理論の有効性を損なわない程度の近似となっていることを検証していく必要がある．

6·2 方式知識によるシナリオモデルの作成とブレンディング

SMARTIES の feasibility テストと方式知識による理論のブレンディングの可能性の提示機能の動作確認をするために，文献 [Reigeluth 87] から Gagne と Briggs の理論 [Gagne 74] に基づく一つのシナリオ例を SMARTIES 上でモデル化した．この文献では 8 つの理論を紹介すると同時に，同じ学習内容・目標（顕微鏡の原理の理解と操作の習得）に対して，それぞれの理論の専門家が各理論に基づいて設計した学習・教授シナリオを示して比較・検討している．本研究で例として取り上げたシナリオは，Gagne と Briggs の理論に基づき 11 ステップで構成されている．SMARTIES を用いて構築したシナリオモデルでは，リーフが 15 個となり，15 ステップのシナリオとして構成されている．これは，シナリオ例のいくつかのステップで教授者と学習者の複数のインタラクションが含まれているためである．シナリオモデルでは，一つのインタラクションを一つの I_L event として記述するため，シナリオ例の 1 ステップがその内容によっては複数のステップに分解されている．

シナリオモデルにおけるほとんどの方式は，Gagne と Briggs の理論に基づく方式知識で記述することができた．方式知識で記述できなかった部分はシナリオモデルの下層で，教授行為を学習者への伝達行為に分解する部分と，それをさらに具体行為（Tell や Listen などの Primitive action）に分解する部分のみであり，本研究で用意した方式知識はシナリオ例の全体的な流れを構成するには十分であった．

次に，このシナリオモデルへの他の理論の適用可能性を検証するために，シナリオモデル内のすべての方式に対して，代替案となる方式知識の有無を調べた．これは SMARTIES に実装された機能を利用している．その結果，シナリオモデルを構成する全 27 個の方式のうち 21 個の方式で，OMNIBUS オントロジーで定義した 100 個の方式知識の中から代替可能と判断できる複数の方式知識が検出された．これらの代替案は他のパラダイムや理論に基づく方式知識を含んでおり，Gagne と Briggs の理論に基づくシナリオに対して，他の理論やパラダイムの観点から再設計するための参照情報になると考えられる．もちろん，すべての代替案がこのシナリオモデルで利用

表 4 方式知識で使われている状態の分布

	Cross-paradigm Theory/model	Cognitivist Theory/model	Constructivist Theory/model	Instruction management theory/model
理論の数	1	3	6	1
方式知識の数	2	30	52	16
LL event の数	7	77	74	39
Learning stage の割合 (%)	**71.4**	4.8	6.5	0.0
Cognitive process state の割合 (%)	14.3	**61.9**	36.7	35.9
Meta-cognitive process state の割合 (%)	0.0	15.9	**41.4**	12.8
Attitudinal state の割合 (%)	0.0	9.5	4.7	**43.6**
Developmental state の割合 (%)	**14.3**	0.0	0.8	0.0
External state の割合 (%)	0.0	7.9	**10.2**	7.7

される際に教育学的に妥当である保証はないが，教師やインストラクショナルデザイナにとっては再設計の可能性を見いだすための十分な情報になると考えられる．このような観点から，本研究で提案する学習者の状態を中心としたモデル化と方式によるシナリオモデルの枠組みによって，パラダイムを越えて複数の理論に基づいて行う学習・教授シナリオ設計の可能性を提案できると考えている．

6·3 オーサリングシステムに関する関連研究

学習・教授支援システムの研究分野では，これまで多くのオーサリングシステムが提案されてきている [Murray 03]．この節では，学習・教授シナリオ設計支援機能の観点から SMARTIES と他の代表的なオーサリングシステムの研究をオントロジーベースシステムと理論ベースシステムの二つの観点から比較する．

オントロジーベースの代表的なオーサリングシステムとしては，EON [Murray 98] と iDesigner [林 03] が挙げられる．これらのシステムでは，学習・教授に関する行為や対象物に関する概念をタスクオントロジーやドメインオントロジーとして体系化し，それに基づいてオーサが想定する学習・教授シナリオを概念レベルで設計することを支援する．ここで，概念レベルというのは，学習実行時に学習者に提示される学習オブジェクトのフローや制御構造（ここでは実装レベルとよぶ）ではなく，その教育的意味の記述を表している．これらオーサリングツールの特徴は，オントロジーによって学習・教授シナリオを作成する上での基本的な概念を提供し，実装レベルに対する設計意図を表す概念レベルの構造を記述できるようにしている点である．iDesigner では，この設計意図の記述によって設計したプロセスの妥当性を検証する機能を提供している．これは概念レベルシミュレーションと呼ばれる機能で，想定する学習者のモデルに対して，プロセスを擬似的に実行することで学習・教授プロセスの妥当性を検証する．EON ではオーサが設計した複数のプロセスに対して，メタ戦略を設定することによって，オーサがそのプロセスの目標と適用条件を明確に記述することができる．メタ戦略は，オントロジーに基づく条件記述とパラメータ設定による戦略記述の組み合わせによって構成され，実行時には学習者に合わせてプロセスを動的に変化させるために利用される．このメタ戦略については，オントロジーベースではないが，REDEEM [Major 97] でも採用されている．こちらは EON のメタ戦略よりも単純なものであり，想定する学習者の特性毎に用意された定量的なパラメータの組み合わせを選択することでオーサが簡単にメタ戦略を設定できるようにしている．REDEEM で目指しているのはコンピュータに詳しくない一般の教師でも簡単に教材を作成できるようにすることであり，そのために簡単な設定内容とインタフェースとなっている．このようにオントロジーベースのシステムは学習・教授プロセスのより深い記述力がある一方で，記述する内容が複雑になるためにオーサへの負担も増えてしまうという面もある．

上記のツールは基本的にモデリングフレームワークを提供することが主要な支援で，妥当な学習・教授シナリオを設計するためには別途オーサが学習・教授理論などについて理解する必要がある．理論的知識を含んだオーサリングシステムとしては，CREAM tools [Nkambou 96] や CTAT (Cognitive Tutor Authoring Tools) [Koedinger 03] などが代表的なものとして挙げられる．これらは，それぞれ Gagne の理論 [Gagne 74] と Anderson の理論 [Anderson 93] に基づいている．理論に基づいて支援機能を設計することによって，これらのツールはよりきめ細かな支援をオーサに提供することができる．但し，単一の理論に基づいたものであり，その内容は支援機能の中に埋め込まれてしまっているために，オーサが他の理論に基づいて設計をしたい場合は他のオーサリングツールを利用しなければならないし，支援機能と理論との明確な対応についてはシステム開発者の頭の中に留まり，オーサがシステム利用時に明確に知ることはできない．従来のエキスパートシステム的にはどのようにシステムがその結論に達したのか，そしてなぜある処理を実行する必要があるのかについては，選択したルールの履歴や条件部を使って説明することができる．しかし，これは表層的に適用したルールの連鎖を追っているだけであり，その「正当性」を説明するものではない．正当性を説明す

るためには，対象の原理的な知識に基づいた解釈が必要となる．

本研究で開発している SMARTIES はこれらのオーサリングツールの長所を兼ね備え，欠点を補ったものと言える．OMNIBUS オントロジーで定義されたイベントや行為，状態の概念によって，図 11 に示したようにオーサが自分で考える学習・教授シナリオを概念レベルで記述する環境を提供している．また，方式知識として蓄積された理論によって，複数の理論に基づいた設計ガイドラインを提供することができる．もちろん，従来のように一つの理論に特化することで，システムの振る舞いからユーザインタフェースまで，理論の内容に合わせて整合性を持ったオーサリングシステムを実現できるという利点もある．しかし，問題は知識の積み上げであり，オーサリングツールを理論の変化などに対応して持続的に利用できるものにするためには，本研究のように理論を体系化する基盤にもとづく汎用的な枠組みが求められる．方式知識については拡張可能であり，方式知識エディタを利用して方式知識を増やしていくことによって，対象とする理論を増やしていくことができる．

オントロジーベースシステムの欠点として挙げたツール上での記述の複雑さとオーサへの負担の高さの問題についてはまだ解消されていないが，現時点での本研究の目標は複数の理論をベースにした学習・教授シナリオの設計支援に向けた基本的な機能の実装と検証であり，ユーザインタフェースの利便性や実践での有効性は今後の課題となっている．この点については，現在，SMARTIES を一般公開しており，教師や学習コンテンツ設計者，オーサリングツール研究者などから幅広くコメントを求めて検討していく予定である．

同じようなアプローチのシステムとしては CIAO[Psyché 04] がある．同じく OMNIBUS オントロジーに基づいてシナリオを解釈するシステムである．しかし，こちらはオーサリングシステムではなくシナリオ分析エージェントであり，IMS LD で記述されたシナリオを OMNIBUS オントロジーに基づきボトムアップで分析し，シナリオデータに理論的解釈を付与する．トップダウンでシナリオ設計を支援する SMARTIES とはシナリオモデルの扱いに関しては逆のアプローチといえ，お互いに相互補完的な役割を持っているといえる．

7. おわりに

本稿では，本研究でこれまで構築してきたオントロジーと基盤モデル，それらに基づく学習・教授シナリオ設計支援システム SMARTIES について議論した．SAMRTIES では，序論で挙げた Theory-aware かつ Standard-compliant なオーサリングシステムを構築するための 3 つの課題に対して，オントロジー工学的にアプローチすることによって一つの解を提示した．

本研究の成果は以下に挙げる様々な観点から評価できると考えられる．それぞれについてまだ多くの検証すべき点は残っている．しかしながら，これらの全ての成果は，これまでその実現は困難であると思われていた事柄ばかりであり，未完成であるにしても，それが実装され，所期の動作をすることが確認されただけで，それぞれの観点に関わる研究分野の発展に対する一定の貢献を示したものと考えられる．

本研究成果に関して，この分野では最も権威のある国際会議 AIED2007*15 において開催されたワークショップにおいて SMARTIES のデモを含めた 1 時間 15 分の討論会を行い，分野の専門家の評価を仰いだ．オントロジーの詳細や個々の方式知識の妥当性などの詳細は評価を得る時間はなかったが，オントロジーの設計思想，理論のモデル化，SMARTIES の機能に関して高い評価を得た．特に International AIED Soc. の会長*16 であり，同分野の世界的リーダーの Jim Greer から極めて高い評価を得た．

§1 オントロジー工学による理論の組織化

OMNIBUS オントロジーでは 2·1 節で述べた作業仮説に基づき，学習者の状態を基盤概念としたオントロジーを構築することによって，6 章で検討したように学習・教授理論の宣言的なモデル化と利用のための手続き的利用を両立できたと考えている．もちろん，定義内容については学習・教授理論の専門的な見地からさらに洗練する必要があると考えられるが，多種多様な学習・教授理論の組織化の実現可能性を示したということに意義があると考えている．

加えて，本研究の対象である学習・教授理論に限らず，対象分野の多種多様な理論を組織化し，その利用に関する知的支援を研究する例は見あたらない．2 章で述べたように学習・教授理論についてはパラダイムの問題があるために理論の多様性が高く，理論を組織化することが特に難しい分野である．このような難しい対象について組織化が行えたのは，本研究と並行して進められてきた，上位オントロジーの構築 [溝口 05] とデバイスオントロジー研究における機能モデリング [來村 02a] の知見を適用できたことが大きいと考えられる．上位オントロジーは対象独立，デバイスオントロジーは人工物対象と学習・教授理論とは離れているが，対象とする世界を支配する概念を明確化するための基盤として上手く働いたと考えている．本研究はこれらの上位オントロジーと機能モデリングの汎用性を示す一例にもなると考えられる．

§2 Theory-aware なオーサリングシステムの実現

序論で述べたように，学習コンテンツの妥当性を保証するものとして，学習・教授理論への期待は大きいが，その抽象性やパラダイムの問題によって，その理解と活用が難しい．Theory-aware なオーサリングシステムは，単なる理論のデータベースではなく，理論の内容を「説明」

*15 http://www.isi.edu/AIED2007/
*16 2007 年 7 月当時

し，オーサが学習・教授シナリオを設計する過程で理論を「適用」してみせることの両方の実現を目指して構築された．

このような「説明」と「適用」を実現できたことは，3·3節で述べたオントロジー工学的手法に基づく宣言的定義と手続き的な利用の両立が大きな鍵となっている．方式知識は元々宣言的に定義されており，それをそのまま宣言的に解釈することによってシナリオや理論の説明生成が実現される．その一方で，手続き的に解釈することもでき，その解釈によって各理論をシナリオモデルに適応できるかを具体的にチェックでき，複数の理論に基づくモデリングガイドラインを提供することができる．6·3節で考察したように，現状のオーサリングシステムは最上のものでも一つの学習・教授理論を手続き的に組み込んだものであり，SMARTIES のように複数の学習・教授理論が計算機処理可能な形で蓄積されたシステムは他に例を見ないといえる．

§3 Heavy-weight オントロジーの応用研究としての次世代知識処理システム

近年，オントロジーはセマンティック Web の活動により注目を集めているが，多くのオントロジー研究は検索におけるインデックスとしての利用を目指した Light-weight オントロジーである．高度な知的システムの基盤としての利用を目指した Heavy-weight オントロジーに関する研究はいくつか存在しているが理論研究が主体であり [Guarino 98]，本研究のように応用にまでつなげてシステムを構築した研究は例が少ない．本研究で開発した SMARTIES は完全にオントロジーに基づく，いわゆる Ontology-aware なアプリケーションであり，その基本機能は単にオントロジーで定義された概念の参照と，シナリオモデルと方式知識のオントロジーに基づくマッチングであるという点である．このシステムはまだプロトタイプであり，6·3 節の最後で述べたように実運用まではまだまだ乗り越えなければいけない課題は多く残されているが，エキスパートシステムが進化した形態としての，オントロジーに基づく次世代の知識処理システムの雛形と位置づけることができる．

§4 標準化技術への内容指向アプローチ

現状では標準化技術において形式のみが注目されることが多い．これは相互運用性を確立するために重要なことではあるが，今後は共有・再利用するデータが標準化準拠の様々なシステムで動作するだけではなく，その枠組みの上で妥当な内容を流通させるための仕組みが求められると考えられる．その意味で，オントロジー工学による「内容」指向の研究が果たす役割は大きいと考えられる．本研究では，シナリオモデルから IMS LD への変換を実現することで，IMS LD でのシナリオ記述に OMNIBUS オントロジーで概念的に体系化された共通語彙と構成の理論的正当性を与えている．加えて，正当性に関する情報も出力され，IMS LD 準拠のツール上で参照できる．従って，SMARTIES を利用することで理論的に正当性を持ったシナリオの設計を支援できると同時に，IMS LD 記述の中に理論とのつながりを残すことができる．これは理論の活用を促進すると同時に理論の個別シナリオへの適用事例の共有・再利用を可能にし，理論世界と実践世界のギャップを埋めることに貢献すると考えている．本研究では今後，教育の分野を対象として理論だけではなくベストプラクティスなども含めて，コンテンツの形式と内容の両面で共有・再利用性を確立するための知識体系化の枠組みの構築を目指す．そして，この成功事例をモデルケースとして同種の研究活動の促進に貢献したいと考えている．

謝　辞

本論文をまとめるに当たって多くの有益なコメントを頂いた来村徳信准教授に感謝します．本研究の一部は，科学研究補助金基盤研究 A「学習理論・標準化技術 Compliant 知識サーバーの構築」（課題番号：19200012）の支援を受けたものである．ここに記して感謝します．

◇ 参　考　文　献 ◇

[Anderson 93] Anderson, J. R.: *Rules of the Mind*, Erlbaum, Hillsdale, NJ (1993)

[Bloom 71] Bloom, B. S., Hastings, J. T., and Maclaus, G. F.: *Hanbook on Formative and Summative Evaluation of Student Learning*, The McGraw-Hill Companies (1971), (邦訳：梶田叡一，藤田恵璽，渋谷憲一：教育評価ハンドブック，第一法規，(1973).)

[Bourdeau 02] Bourdeau, J. and Mizoguchi, R.: Collaborative Ontological Engineering of Instructional Design Knowledge for an ITS, in *Proc. of ITS2002*, pp. 399–409 (2002)

[Collins 89] Collins, A., Brown, J. S., and Newman, S. E.: Cognitive apprenticeship: Teaching the crafts of reading, writing and mathematics, in Resnick, L. B. E. ed., *Knowing, learning, and instruction: Essays in honor of Robert Glaser*, pp. 453–494, Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale, NJ (1989)

[Dick 01] Dick, W., Carey, L., and Carey, J. O.: *The systematic design of instruction*, Addison-Wesley Educational Publisher Inc., fifth edition (2001)

[Ertmer 93] Ertmer, P. A. and Newby, T. J.: Behaviorism, cognitivism, constructivism: Comparing critical features from an instructional design per-spective, *Performance Improvement Quarterly*, Vol. 6, No. 4, pp. 50–70 (1993)

[Gagne 74] Gagne, R. M. and Briggs, L. J.: *Principles of Instructional Design*, Holt, Rinehart and Winston (1974)

[Guarino 98] Guarino, N.: Some Ontological Principles for Designing Upper Level Lexical Resources, in *Proc. of the First International Conference on Lexical Resources and Evaluation*, pp. 527–534 (1998)

[林 03] 林 雄介, 山崎龍太郎, 池田 満, 溝口理一郎：オントロジーアウェアな学習コンテンツ設計環境, 情報処理学会論文誌, Vol. 44, No. 1, pp. 195–208 (2003)

[Hayashi 06a] Hayashi, Y., Bourdeau, J., and Mizoguchi, R.: Ontological Modeling Approach to Blending Theories for Instructional and Learning Design, in *Proc. of ICCE2006*, pp. 37–44 (2006)

[Hayashi 06b] Hayashi, Y., Bourdeau, J., and Mizoguchi, R.: Ontological Support for a Theory-Eclectic Approach to Instructional and Learning Design, in *Proc. of EC-TEL2006*, pp. 155–169 (2006)

[Hayashi 07] Hayashi, Y., Bourdeau, J., and Mizoguchi, R.: Theory-aware Explanation Support for Standard-compliant Scenario Building, in *Proc. of the workshop on Semantic Technology for Education (held in the 15th Int'l. Conf. Computers in Education (ICCE2007),*

http://www.ei.sanken.osaka-u.ac.jp/hayashi/ICCE2007WS-CR-hay-final.pdf), pp. 104–109 (2007)

[Hmelo 96] Hmelo, C. E. and Guzdial, M.: Of black and glass boxes: Scaffolding for doing and learning, in *Proc. of the Second International Conference on the Learning Sciences*, pp. 128–133 (1996)

[Hogan 97] Hogan, K. and Pressley, M.: *Scaffolding Student Learning: instructional approaches and issues*, Brookline Books, Cambridge (1997)

[IEEE LTSC] IEEE LTSC, : The Learning Object Metadata standard, http://ieeeltsc.org/wg12LOM/lomDescription

[IMS 03] IMS Learning Design, Version 1.0 Final Specification, http://www.imsglobal.org/learningdesign/ (2003), IMS Global Learning Consortium, Inc.

[Jonassen 99] Jonassen, D.: Designing constructivist learning environment, in Reigeluth, C. M. ed., *Instructional-design theories and models A new paradigm of instructional theory*, pp. 215–239, Lawrence Erlbaum Associates, Mahwah, New Jersey (1999)

[Keller 87] Keller, J. M. and Kopp, T. W.: An application of the ARCS model of motivational design, in Reigeluth, C. M. ed., *Instructional theories in action: Lessons illustrating selected theories and models,*, pp. 289–320, Lawrence Erlbaum Associates, Inc., Hillsdale, N.J. (1987)

[來村 02a] 來村 徳信, 溝口 理一郎：オントロジー工学に基づく機能的知識体系化の枠組み, 人工知能学会論文誌, Vol. 17, No. 1, pp. 61–72 (2002)

[來村 02b] 來村 徳信, 笠井 俊信, 吉川 真理子, 高橋 賢, 古崎 晃司, 溝口 理一郎：機能オントロジーに基づく機能的知識の体系的記述とその機能構造設計における利用, 人工知能学会論文誌, Vol. 17, No. 1, pp. 73–84 (2002)

[Koedinger 03] Koedinger, K. R., Aleven, V. A. W. M. M., and Heffernan, N. T.: Toward a Rapid Development Environment for Cognitive Tutors, in *Proc. of AIED 2003*, pp. 455–457 (2003)

[Koper 01] Koper, R.: Modeling Units of Study from a Pedagogical Perspective, http://hdl.handle.net/1820/36 (2001)

[Kozaki 06] Kozaki, K., Sunagawa, E., Kitamura, Y., and Mizoguchi, R.: Fundamental Consideration of Role Concepts for Ontology Evaluation, in *Proc. of EON2006* (2006)

[Major 97] Major, N., Ainsworth, S. E., and Wood, D. J.: REDEEM: Exploiting Symbiosis Between Psychology and Authoring Environments, *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, Vol. 8, No. 3 (1997)

[Merrill 77] Merrill, M. D. and Tennyson, R. D.: *Concept Teaching: An Instructional Design Guide*, Englewood Cliffs, NJ: Educational Technology (1977)

[Merrill 83] Merrill, D.: Component display theory, in Reigeluth, C. M. ed., *Instructional-design theories and models: An overview of their current status*, pp. 279–333, Lawrence Erlbaum Associates, Inc., Hillsdale, N.J. (1983)

[溝口 96] 溝口 理一郎：形式と内容ー内容指向人工知能研究の勧め, 人工知能学会誌, Vol. 11, No. 1, pp. 50–59 (1996)

[Mizoguchi 00] Mizoguchi, R. and Bourdeau, J.: Using Ontological Engineering to Overcome Common AI-ED Problems, *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, Vol. 11, No. 2 (2000)

[溝口 05] 溝口 理一郎：オントロジー工学, オーム社 (2005)

[溝口 06] 溝口 理一郎, 古崎 晃司, 笹島 宗彦, 來村 徳信：オントロジー構築入門, オーム社 (2006)

[Mizoguchi 07] Mizoguchi, R., Hayashi, Y., and Bourdeau, J.: Inside Theory-Aware and Standards-Compliant Au-thoring System, in *Proc. of SWEL'07*, pp. 1–18 (2007)

[Murray 98] Murray, T.: Authoring Knowledge-Based Tutors: Tools for Content, Instructional Strategy, Student Model, and Interface Design, *J. of the Learning Sciences*, Vol. 7, No. 1 (1998)

[Murray 03] Murray, T., Blessing, S., and Ainsworth, S.: *Authoring Tools for Advanced Technology Learning Environments: Toward Cost-Effective Adaptive, Interactive and Intelligent Educational Software*, Springer (2003)

[仲林 06] 仲林 清, 清水 康敬, 山田 恒夫：e-Learning 標準化技術の開発と実践の新しい展開ー SCORM と LOM を中心にー, 人工知能学会誌, Vol. 21, No. 1, pp. 92–98 (2006)

[Nkambou 96] Nkambou, R., Gauthier, G., and Frasson, C.: CREAM-Tools: An Authoring Environment for Curriculum and Course Building in an Intelligent Tutoring System, in *Proc. of CAL-ICSE'96*, pp. 186–194 (1996)

[Nunes 07] Nunes, M. B. and McPherson, M.: Why Designers cannot be Agnostic about Pedagogy: The Influence of Con-structivist Thinking in Design of e-Learning for HE, in Jain, L. C., Tedman, R. A., and Tedman, D. K. eds., *Evolution of Teaching and Learning Paradigms in Intel-ligent Environment*, pp. 7–30, Springer (2007)

[大島 04] 大島 純：最近の学習研究の方法論とその成果, 教育システム情報学会誌, Vol. 21, No. 3, pp. 157–167 (2004)

[Psyché 04] Psyché, V.: CIAO, an Interface Agent Prototype to facilitate the use of ontology in intelligent authoring system, in *Proc. of Annual Scientific Conference of the LORNET Research Network* (2004)

[Reigeluth 83] Reigeluth, C. M.: Instructional-design: What is it and why is it?, in Reigeluth, C. M. ed., *Instructional-design theories and models: An overview of their current status*, pp. 3–36, Lawrence Erlbaum Associates, Inc., Hillsdale, N.J. (1983)

[Reigeluth 87] Reigeluth, C. M. ed.: *Instructional theories in action: Lessons illustrating selected theories and models,*, Lawrence Erlbaum Associates, Inc., Hillsdale, N.J. (1987)

[Schwartz 99] Schwartz, D. L., Xiaodong, L., Brophy, S., and Bransford, J. D.: Toward the Development of Flexibly Adaptive Instructional Designs, in Reigeluth, C. M. ed., *Instructional-design theories and models A new paradigm of instructional theory*, pp. 183–213, Lawrence Erlbaum Associates, Mahwah, New Jersey (1999)

[砂川 06] 砂川英一, 古崎晃司, 來村徳信, 溝口理一郎：コンテキスト依存性に基づくロール概念組織化の枠組み, 人工知能学会論文誌, Vol. 20, No. 6, pp. 461–472 (2006)

[鈴木 05a] 鈴木克明：〔総説〕e-Learning 実践のためのインストラクショナル・デザイン, 日本教育工学会誌, Vol. 29, No. 3, pp. 197–205 (2005)

[鈴木 05b] 鈴木克明：教育・学習のモデルと ICT 利用の展望：教授設計理論の視座から, 教育システム情報学会誌, Vol. 22, No. 1, pp. 42–53 (2005)

[高藤 08] 高藤淳, 來村徳信, 溝口理一郎：オントロジー工学と XML 技術に基づく技術知識統合管理プラットフォームの構築 人工物の機能的知識の外化・共有・共創支援の実現, 人工知能学会論文誌, Vol. 23, No. 6, pp. 424–436 (2008)

[山之内 07] 山之内 徹, 片山 博：特集：情報の価値化・知識化技術の実現へ向けて, 情報処理, Vol. 48, No. 8, pp. 811–848 (2007)

〔担当委員：山口 高平〕

2007 年 10 月 3 日 受理

著 者 紹 介

林　　雄介（正会員）

1998 年大阪大学基礎工学部システム工学科卒業．2000 年同大学院基礎工学研究科システム人間系専攻博士前期課程修了．2003 年同博士後期課程修了．同年，北陸先端科学技術大学院大学知識科学研究科助手，2005 年大阪大学産業科学研究所特任助手 (常勤)(現在，特任助教 (常勤))，現在に至る．博士 (工学)．オントロジー工学による知識のモデリング・体系化，知的教育システムへの応用に興味を持つ．2005 年度人工知能学会全国大会優秀賞，2006 年 ICCE2006 Best Paper Award，2007 年度教育システム情報学会全国大会研究奨励賞，2008 年度人工知能学会研究会優秀賞受賞．情報処理学会，日本教育工学会，教育システム情報学会，Intl. AI in Education (IAIED) Soc., The Asia-Pacific Society for Computer in Education (APSCE) 各会員．

Jacqueline Bourdeau

1986 年モントリオール大学 PhD in Educational Technology，現在，ケベック大学モントリオール校教授．Member of the executive committee of Intl. AI in Education (IAIED) Soc. Member of editorial board of International Journal of Computer-Supported Collaborative Learning (ijCSCL)．知的教育システム，オントロジー工学，インストラクショナルデザイン，協調学習，遠隔コミュニケーション支援などに興味を持つ

溝口　理一郎（正会員）

1972 年大阪大学基礎工学部電気工学科卒業．1977 年同大学院基礎工学研究科博士課程修了．同年，大阪電気通信大学工学部講師，1978 年大阪大学産業科学研究所助手，1987 年同研究所助教授，1990 年同教授．現在に至る．工学博士．パターン認識関数の学習，クラスタ解析，音声の認識・理解，エキスパートシステム，知的学習支援システム，オントロジー工学の研究に従事．1985 年 Pattern Recognition Society 論文賞，1988 年電子情報通信学会論文賞，1996 年人工知能学会創立 10 周年記念論文賞，1999 年 ICCE99 Best paper Award，2005 年大川出版賞（オントロジー工学），2006 年人工知能学会論文賞，2006 年 ICCE2006 Best paper Award 受賞．人工知能学会理事，同編集委員長，同会長，教育システム情報学会理事，同編集委員長，Intl. AI in Education(IAIED) Soc. President, APC of AACE President を歴任．現在，Semantic Web Science Assoc. Vice-President，電子情報通信学会，情報処理学会，日本認知科学会，IEEE 各会員．