実践的なオントロジー開発に向けたオントロジー構築・利用環境「法造」の拡張 実践編

An Extension of the Environment for Building/Using Ontologies "Hozo" toward Practical Ontology Engineering - Focused on Practical Issues

太田 衛
Mamoru Ohta

大阪大学 産業科学研究所, 株式会社 エネゲート
The Institute of Scientific and Industrial Research (ISIR), Osaka University. / Enegate Co., Ltd.
ohta@ei.sanken.osaka-u.ac.jp / ohta.mamoru@enegate.co.jp

古崎 晃司
Kouji Kozaki

大阪大学 産業科学研究所
The Institute of Scientific and Industrial Research (ISIR), Osaka University.
kozaki@ei.sanken.osaka-u.ac.jp, <http://www.ei.sanken.osaka-u.ac.jp/~kozaki/>

溝口 理一郎
Riichiro Mizoguchi

(同上)
miz@ei.sanken.osaka-u.ac.jp, <http://www.ei.sanken.osaka-u.ac.jp/~miz/>

keywords: ontology, ontology engineering tool, practical ontology engineering

Summary

Through the spread of ontological engineering, many technologies and software tools for ontology construction have been developed. By using them, many ontologies have been constructed in various domains. On these backgrounds, we have been developing an ontology engineering environment "Hozo" and using the tool to construct a lot of ontologies in various domains such as medical science, bioinformatics, nano-technology, education, environmental engineering and so on. Through these practical experiences, we have noticed many issues concerning ontology construction and have solved them by enhancing the ontological theories and technical functions of Hozo. The number of items of improvements amounts to 72 in both theoretical and practical issues. This paper focuses on the practical issues and presents the improved functions of Hozo. They are grouped into three kinds: 1) issues in the ontology design/construction phase, 2) ones in the ontology utilization phase, and 3) ones in the ontology refinement phase. We discuss requirements to solve the practical issues in each phase and demonstrate improved functions of Hozo. Then, we consider how those functions have been useful for ontology construction through actual uses in six ontology development projects and evaluation experiment of usability of Hozo. Through these extensions, usability and reliability of Hozo has been improved.

1. はじめに

オントロジーの普及に伴い、医療、バイオ、ナノテク、教育、環境工学など様々な専門領域のオントロジーが構築されている。それに伴い、それらのオントロジーの構築や応用システムの開発に利用される計算機環境（オントロジー構築・利用環境）について、実問題を適切に概念化して扱うためのオントロジーの理論的な側面と、実用的な構築・利用のための技術的側面の双方からいくつかの問題点が顕在化してきている。これらの実践的な利用経験を通して顕在化した現場からの問題を解決していくことは、オントロジーの理論や関連技術を発展させ、オントロジーをより実用的な技術へと発展させることに繋がる。また、それらの理論や関連技術を支える構築・利用環境の進化もまたオントロジーの利用促進に繋がり、その発展に貢献する。

このような研究背景のもと、筆者らの研究グループにおいてもロール概念を明示的に扱える独自のオントロジー基礎理論と構築方法論に基づいたオントロジー構築・利用環境「法造」の開発 [古崎 02, 砂川 05, Mizoguchi 07] と、研究室内外の様々なプロジェクトでの法造を用いたオントロジー構築・利用の実践に取り組んできた [Mizoguchi 09, Masuya 09, Kozaki 07a, 林 09, Kumazawa 09]。このような、筆者らの法造を使用したオントロジー構築の実践経験のなかでも、オントロジーの理論的な側面、および実用的な技術的側面の双方からの問題点が顕在化してきている。

理論的な側面では、従来の理論的枠組みでは十分に対応できない問題がいくつかあげられる。その中でも「多重継承表現」と「インスタンス」の実践上の扱いは、特に大きな2つの問題にあたる。「多重継承表現」の問題に関しては、観点の違いなどから一つの概念が複数の意味

で捉えられる場合に、従来のオントロジー構築では使用を禁止していた多重継承を利用したいという要望があげられた。この問題に対しては、弱い意味での is-a 関係を表す「IS-A」関係を用いてオントロジーの理論的な整合性を保持したまま多重継承表現を許容する枠組みを導入し、その理論的な正当性の検討を行った。また「インスタンス」の問題に関しては、概念（クラス）定義の際にインスタンスを参照したいという要望に対して、「種概念（#）オペレータ」と「簡易インスタンス編集」という2種類のインスタンス定義/利用法を導入することで対応した [太田 11]。

一方、技術的な側面では、概念と既存語彙との対応付け、複数の構築者間での共同構築作業、オントロジーを利用したシステム開発基盤の充実、オントロジーの大規模化に伴う構築作業の弊害など、様々な観点での課題が挙げられた。具体的には、概念に対する複数名称への対応、複数ユーザでオントロジーを共同構築するための支援機能、オントロジー利用 API や推論機構の開発、大規模化するオントロジーを画面の小さい PC でも有効に構築するためのナビゲーション機能などの充実、数千個オーダーの概念の整合性を保ちながら編集するための検証支援機能などの実現が必要とされた。これらの強化すべき機能はそれぞれ別々のものであるが、すべて実践の現場から出た問題に対応したものであり、いずれもオントロジー構築・利用の実用的な面で有効に機能するものばかりである。これらの技術的課題に対する支援機能を充実させることは、快適で実践的なオントロジー構築・利用環境の実現に貢献する。

以上のようなオントロジー構築の実践経験を通して見出された解決すべき問題に対して、法造に施した機能拡張は全 72 項目にわたる。これらのオントロジー構築・利用を実践する上での理論的および技術的な問題を解決し、機能拡張としてツールに反映させることで、「法造」の有用性の向上とオントロジー研究の理論的・技術的發展へと繋げてきたと言える。

本論文では、これらの機能拡張がオントロジー構築・利用の実践の現場において、理論的・技術的な側面でどのように有効活用されたかについて報告する。以下、2 章ではオントロジーの構築現場からの要求に応じて拡張した法造の枠組みのうち実践的側面での拡張機能について述べる。3 章では理論的側面での拡張機能も含め、本論文で導入した枠組みを実際のオントロジー構築に適用した実績と評価のまとめと、ユーザビリティに関する機能拡張部分に関する評価実験について述べる。4 章では関連研究との比較を述べ、続く 5 章では本研究の成果をまとめると共に、今後の検討課題を述べて総括する。

2. オントロジー構築・利用環境の機能拡張とその適用

オントロジー構築のライフサイクルは、大きく構築、利用、洗練の 3 つのフェーズに分かれる。法造では、その各フェーズを通してオントロジー構築者を支援する計算機環境を提供している。しかし実際のオントロジー構築の実践の場面ではしばしば困難な問題が発生する。その中には従来の理論やツールの枠組みの中で扱いきれないような問題があり、その問題を解決するには理論的な側面で正しく扱えるよう理論に拡張を加え、それに伴い技術的な側面でツールも進化させる必要があった。法造において実践で得られた知見をもとに理論とツールを改良した項目は表 1 の通りである。改良項目はライフサイクルの各フェーズごとに 5 つのカテゴリーに分類でき、全 72 項目にわたる。

本章では、別論文で議論している理論的な拡張 [太田 11] を除く、実際のオントロジーの構築現場からの要求に応じて拡張した法造の枠組みについて、オントロジー構築のライフサイクル（構築、利用、洗練）の各フェーズに沿って議論する。

2.1 オントロジー構築のための機能拡張

本節では、オントロジー構築時における現場からの要求に対して技術面で機能拡張した、法造における別名を扱うための枠組みとその支援機能、複数ユーザでオントロジーを共同構築するための支援機能および個別の作業空間における構築作業支援について述べる。

§1 別名管理の導入

オントロジー構築の概念定義の際には、概念に名前を付与する。オントロジーではその名前自体に深い意味はないが、その名前にはオントロジー内で概念を識別する為の識別子（ID）としての意味と、人間が概念として認識する為の概念名としての意味との 2 つを含んでいる。一方、実際のドメインの対象世界では、同じ概念に対して複数の名前が存在する場合がある。例えば、医療分野において「1 型糖尿病」といった概念名を表す代表的な名前とは別に、医学用語としての正式名称の「インスリン依存型糖尿病」や計算機が病気を識別するために付与される病名分類コード「E10」といった名前が存在する。また、これらの名称は医師や患者といった利用者や、システム解析といった利用シーンによって使い分けられる。このようにオントロジー構築の概念定義の際には、様々な利用者や利用シーンを考慮して概念名以外にも、別の名称も適切に管理していく必要がある。

(1) 概念名の定義

法造では概念の名前（クラス名）に対し、主に計算機がオントロジー内で概念を識別する為の識別子としての意味と人間が概念として識別する為の名称としての意味が存在し、それぞれを区別して前者を

表 1 法造の実用化に向けた機能拡張 (全 72 項目)

カテゴリ (項目数)	改良項目
オントロジー構築のための理論拡張 (4)	多重継承編集, 種概念編集, 簡易インスタンス編集, ロールホルダーの選択支援
オントロジー構築のための機能拡張 (35)	別名編集表示, 別名管理, 部分概念構造編集・検索・管理, プロジェクト管理, インポート機能, 変更管理, オントロジーの共有, アクセス管理, バージョン管理, 差分表示機能, 概念マップ表示, コピー&ペースト対応, Undo/Redo 機能, クラス制約のジャンプ機能, ショートカットキーの追加, 印刷機能強化, ハイライト表示の強化, 関連概念へのジャンプ機能, ブックマーク機能, 別ウインドウ表示 他
オントロジー利用のための機能拡張 (17)	データエクスポート・インポート機能, 法造コア・推論機構の開発, API の利用, API によるアプリ構築 他
オントロジー評価・洗練のための機能拡張 (11)	編集時のエラーチェック, クラス制約の編集支援の強化, スロット特殊化の編集支援, ラベル変更時の追従変更支援, ロール名によるスロット継承チェック, オントロジー整合性検証, オントロジー修正支援 他
その他の拡張機能 (5)	インスタンスエディタの改良, インスタンスの編集支援, ロール階層ツリー表示 他

「概念 ID」, 後者を「概念名」と定義する.

- 概念 ID: 各概念に対して唯一存在する ID 名, 他の概念 ID と重複不可.
- 概念名 (概念の代表名): 言語体系毎に 1 つだけ指定可能な概念の呼び名.

一方で実際のドメインの対象世界では, 概念 ID や概念名以外にもその利用用途によって様々な名前が定義される場合がある. このように補助的に使用される名前を「別名」として定義する.

- 概念の別名: 各概念に任意の個数付与できる別名
- なお, 同じ概念を指す複数の呼び名のうち, いずれを概念名や別名とするかに関しては, 利用者や利用シーンに依存する為, その利用目的によって任意に決めることできる.

(2) 法造での概念名の扱い (別名管理の導入)

これまでの法造は, 概念名をツール上の代表名として使用していたので^{*1}, 概念 ID を導入すると共に, 上述の別名を管理する枠組みを新たに導入した (別名管理機能). また「用語種別」というラベル体系の種別を導入することによって別名を管理し, 利用者や利用シーンによって使い分けられるようにした. この枠組みの導入によって, 意味的な概念レベルの記述と表層的な語彙レベルのラベル記述を両立し適切に管理することができるようになる.

例えば, 臨床医学オントロジーにおける疾患概念「1 型糖尿病 (インスリン依存)」の法造上での概念定義に対して, 臨床現場で用いる際に重要な分類体系である国際疾病分類「ICD10」^{*2} とプライマリケア国際分類「ICPC-2」^{*3} に対する別名をそれぞれ「E10: インスリン依存性糖尿病」, 「T89: 糖尿病, インスリン依存型」と表示し, ツール上で編集も行うようにし, 管理している (図 1).

(3) 法造での部分概念構造の名称の扱い

図 1 別名管理の導入例

臨床医学オントロジーの開発においては, 言語表現とオントロジーの概念定義との対応関係をとるために, 概念名とは別に, 複数のスロットを組み合わせ, ある特定の部分的なスロット構造 (以降「部分概念構造」と呼ぶ) に対してラベルを付与することが必要とされた. そこで概念定義のうち, ある特徴や性質を指す部分概念構造に対して名称を付与するという機能 (部分概念構造編集機能) を導入した. 例えば, 図 1 の概念「1 型糖尿病 (インスリン依存)」に対して, 血液を異常対象とする属性スロットとその血糖値が高いことを示す一連のスロットに対して「高血糖性」といった名称を付与して, その定義内容をツール上で管理できるようになった.

§2 オントロジー共同構築支援

オントロジーの大規模化に伴い, 構築コストや作業負荷を軽減する為に, ドメインの専門家も含めた複数の構築者で協力して一つのオントロジーを開発し, 適時修正

*1 現在の法造では, 概念 ID は内部 id としてツールがオントロジー内の概念を管理するために使用している.

*2 <http://www.dis.h.u-tokyo.ac.jp/byomei/icd10/>

*3 <http://icpc-2.hp.infoseek.co.jp/>

しながら運用する流れが活発になりつつある．そのような場面では、オントロジー構築環境には、複数の構築者間で作業空間を共有することができ、かつ作業場所が地理的に離れている場合には、複数の場所からオントロジーにアクセスできる分散共同構築支援機能が必要となる．

そこで、筆者らは法造の共同構築支援機能として、上記の仕様を実現することにより複数の構築者間でオントロジーを共有し、その更新状況の把握や、編集に対する影響範囲の考慮をしながら構築作業を進めることができる分散開発支援環境の基本設計を提案し、そのプロトタイプを開発した [Kozaki 07b]．

同プロトタイプを実際のオントロジー構築に適用した際に、オントロジー共有と変更管理に関する問題が顕在化してきた．オントロジー共有に関して、外部機関との共同構築の際にインターネット環境でのオントロジー共有が必要となってきた．そこでネットワーク環境でのファイル共有を可能とする WebDAV フォルダを採用し、インターネットを介して外部機関とのオントロジー共有を可能とした．また変更管理する問題に関して、特に共同構築者が遠隔地にいて共同作業が難しい場合に、非同期で行ったオントロジーの変更を他の構築者へ伝達する際の支援機能が必要となった．そこでオントロジーの変更箇所をツール上で確認しやすくするような機能拡張を行なった．図 2 にオントロジー共同構築の際の整合性保持のための編集支援として実装した変更管理機能のスクリーンショットを示す．変更管理ペイン (Tracking Pane, 左ウインドウ) は編集中のオントロジー内の概念のうち変更された箇所とユーザが編集中のオントロジーでその変更が影響する範囲がツリー状に表示される．それらのノードをクリックすることで、詳細な定義や変更内容が描画ペイン (Browsing Pane, 右画面) に表示される．描画ペイン (Browsing Pane) では、変更管理ペイン (Tracking Pane) と同様に 3 種類のアイコン (削除, 修正, 追加) で示されており、さらに変更の種類が「修正」である箇所をマウスクリックすると、修正内容の詳細が表示される．これにより他の構築者が編集 (修正) した箇所を容易に確認することができるようになり、共同構築時のオントロジーの変更に対する構築者間の円滑なコミュニケーションに貢献している．

§3 オントロジー構築作業支援

オントロジーを構築する際には、構築者は単に概念定義を編集するだけではなく、オントロジー内で概念間を移動しながら概念間の関係を俯瞰したり、他の概念定義を比較・参照したりしながら構築作業を行う．特にオントロジーの規模が大きくなると、コンピュータ画面という限られた作業空間では、概念間の移動や表示の切り替えといった構築者のツール操作の作業負担が増し、発想や作業の妨げになりかねない．そこで構築者がオントロジーの構築作業を円滑に行えるよう、ツールとして更なる改良が必要となった (表 2)．

図 2 変更管理機能の画面例

表 2 オントロジー構築支援に関する改良項目 (全 18 項目)

カテゴリ (項目数)	改良項目
概念間の移動 (5)	クラス制約のジャンプ機能, 関連概念へのジャンプ機能, ブックマーク機能, 選択トラッキング機能 他
概念の表示 (5)	別ウインドウ表示, ハイライト表示の強化, 概念マップ表示 他
編集操作 (8)	コピー & ペースト対応, Undo/Redo 機能, ショートカットキーによる操作, 印刷機能 他

概念間の移動では、任意の概念について、その概念をクラス制約として参照しているスロット、上位概念、または下位概念へ移動するジャンプ機能や、ユーザがよく参照する概念やスロットを登録するブックマーク機能などを追加した．概念の表示では、離れた場所で定義された概念定義内容を参照するための別ウインドウ表示や、概念間の関係、例えば概念やスロットの上位下位関係を明示化するためのハイライト表示などの機能を追加した．編集操作では、コピー & ペースト機能や Undo/Redo 機能の他に、スロット間の継承関係付与、及び削除機能、ショートカットキーによる操作、印刷機能などの支援機能を追加した．個々の強化機能は小さいが、実際の作業では重宝するものばかりであり、表 2 に示した機能が揃っていることで、かゆいところに手が届く快適なオントロジー構築環境の実現に貢献している．

2.2 オントロジー利用のための機能拡張

オントロジーを利用したアプリケーションを開発する利用フェーズにおいては、オントロジーで表現されたものを解釈して計算機上で処理することが必要となる．このようなオントロジー利用のためのソフトウェア基盤は、既にセマンティック Web 技術の標準化の一環として整備されつつある．それらを利用することでオントロジーを利用したアプリケーション構築も容易になる．そのため、外部システムから法造の提供するオントロジー操作処理を利用可能にした「オントロジー利用 API: 法造コア」と「推論機構」を開発している．また、法造ではオントロジーの共有・再利用の為の機能として「データエクス

図3 オントロジー利用 API と推論機構

ポート・インポート機能」を実現している。本節では、上記の2つのソフトウェアモジュールについて述べる。

§1 データエクスポート・インポート機能

実際のオントロジー構築では、知識の共有・再利用の観点からオントロジーのもととなる既存のデータベースや分類体系のような既存の知識源からオントロジーのフォーマットに変換して取り込むといった要望があり、オントロジー構築の作業効率化を図る上でも重要な機能とされた。また、オントロジーの標準規格に対応することは、既存のオントロジーの相互運用性を高める上でも重要である。法造ではオントロジー標準規格 OWL に加え、RDF(S)、XML、CSV 形式、専用テキストフォーマット等の各種データフォーマットに対応している。それらの機能に加え、サブ言語情報や 2.1 §1 節で述べた「別名」といった概念定義の付加情報をエクスポート・インポートする機能にも対応している。

§2 オントロジー利用 API と推論機構

(1) オントロジー利用 API：法造コア

法造コア (HozoCore) は、法造で構築したオントロジーやインスタンスモデルをプログラム処理するための API であり、ソフトウェア開発者が開発中のアプリケーションに組み込んで法造で構築したオントロジーを処理する為のプログラムパッケージである。

(2) 法造オントロジーの推論機構

法造オントロジーの推論機構は、法造コアのデータモデルに従ってオントロジーを探索し、明示的に記述されていない概念の関連情報を抽出するためのソフトウェアで、オントロジーの整合性の検証や探索・検索処理といった問合せに応答することができる。推論機構の実現方法に関して、法造オントロジーでのロールの概念的性質を考慮した推論処理を実現するために、法造コア上のデータモデルに対する個別の手続き的な処理を実装することで対応している。

上記のオントロジー利用 API 及び推論機構を整備することによって、法造で構築したオントロジーを利用したアプリケーションを容易に開発することができる(図3)。

2.3 オントロジー洗練のための機能拡張

オントロジーの洗練作業に関して、構築者がオントロジーを規約通りに正しく記述する為の計算機支援には、編集時に事前にチェックしてエラーを提示する方法と、編集後に整合性を検証してエラーを修正する方法の2つのアプローチがある。法造ではこれら2つのアプローチを適宜使い分け、編集時には編集支援を重点に置き、編集後にオントロジー全体の整合性検証を行うようにしている。その理由は、編集時に厳密な整合性チェックを行うと、構築の途中段階でエラーが頻発し、ツールの操作性が下がりユーザの発想を阻害してしまう恐れがあると考えられるためである。

そこで法造では、まずオントロジーの規約に対して検証項目を数え上げた(付録:表 A、全 33 項目)。そのうち既に実装済みの編集支援機能は除き(付録:表 A の印)、新たに追加実装する検証項目(付録:表 A の印)として、オントロジー編集時に最低限守らないといけない項目(付録:表 A の[編集時]欄、25 項目)と、1つの編集操作ではエラー判断がしにくく、オントロジー全体の整合性をチェックしなければ判断できない項目(付録:表 A の[編集後]欄、27 項目)とを分けた。前者の項目に関しては編集時にエラーを提示する方法を採用し、後者の項目に関しては編集後に整合性を検証してエラーを修正する方法を採用した。

本節では、オントロジー洗練過程において、編集時に行うオントロジー編集作業支援と、編集後に行うオントロジー整合性検証の2つの拡張機能について述べる。

§1 オントロジー編集作業支援

オントロジー編集作業支援では、構築者が編集時に規約どおり正しく概念記述できるように各種の支援機能を提供している。例えばスロット編集時には、上位概念からスロットの定義内容を継承して定義内容を変更する操作(スロットの特殊化)やスロットのクラス制約や値を編集する際に、専用ダイアログでのガイダンス等を用いて概念間の整合性を保ちつつ正しく定義できるように設計している。例えばスロットの特殊化支援では、規約通りに正しく記述する為にスロット編集時に上位概念から継承可能なスロットの候補をリストで提示し、選択編集できるようにしている。その一方で未定義概念の参照などの特定の項目については正しい記述を強要するのではなく、表示色を変えて警告のみを提示するなど、利用者の発想を阻害しないよう配慮している。

また概念名の変更や継承関係の変更といった概念定義内容の修正時に、概念間の整合性が崩れるのを防ぐ支援機能も実装している。例えば概念名変更時の追従変更支援では、概念名を変更した際に、その概念をクラス制約として参照している全ての箇所においても参照概念名も同時に追従変更し、オントロジーとしての整合性が保たれるようにしている。

このように法造では新規の概念を記述する時だけでな

く、定義済みの概念やスロットを修正する際にも、オントロジーとしての矛盾がないよう整合性を保つための支援機能を用いて、その品質を保証するようにしている。

§2 オントロジー整合性検証

上述の編集支援により、ある程度のエラーを避けることができるが、1つの概念を編集している際には整合性が判断できず避けることが出来ないエラーもある。更に概念定義の変更や削除を繰り返すうちに、その概念間の関係性が変更され、オントロジー全体の整合性が損なわれる場合がある。また編集時に警告のみで許容したエラーの修正漏れが残っている場合もある。これらを解消する為には編集後にオントロジー全体の一貫性を保証する仕組みが必要となる。そこで、付録表 A に示した編集時の作業支援でカバーしきれない検証項目に対してオントロジーの編集後に全体の整合性を検証し、その結果を提示するオントロジー整合性検証機能を実装した。それに加えて、検証結果として提示したされたエラーを取り除くための修正操作を専用ウィザードによる支援機能を開発した。

なお、これらの整合性検証機能は、法造独自の理論的な枠組みを計算機処理するために開発したソフトウェアモジュールである。2.2 §2 節で述べた「オントロジー利用 API と推論機構」を利用して実現している。法造オントロジーの推論機構における整合性検証処理は、付録 A で示した 27 の検証項目に対して個別に整合性チェックする手続き的な推論処理で実現されている。また、推論機構によって実現された整合性検証項目のうち、上位クラスからの属性継承に伴う継承スロットの定義内容（カーディナリティやクラス制約）に矛盾がないかどうかの一貫性チェック等の検証項目が新たに実現された（22 項目）。

3. 評価と考察

本章では、2 章で紹介した法造の拡張項目に関して、実際のオントロジー構築現場での使用状況を取り上げ、ユーザの実務上の観点に立った評価を挙げる。また、ツールの機能拡張部分のユーザビリティに関して、オントロジー構築経験の無いユーザによる評価実験を行い、提案した法造の拡張した枠組みの有用性の検証を行う。

3.1 実践でのオントロジーの構築・利用の概要

オントロジー構築・利用環境「法造」は、教育、医療、ナノテクなど各ドメインの専門分野のオントロジー構築・利用に関するプロジェクトで実践的に使用されている。本論文で紹介している法造の拡張項目に関しても各プロジェクトで使用されており、良好な評価を得ている。2 章で紹介している法造の拡張項目と各プロジェクトでの使用状況に関しては、表 3 にまとめている。以下、各プロジェクトにおける法造を利用したオントロジー構築・利用の概要について紹介する。特にオントロジーの特徴（開

表 3 法造の各プロジェクトでの使用状況

オントロジー名（※）	構築（理論）		構築（ツール）			利用				洗練		
	多重継承表現	種概念	簡易インスタンス	別名管理	共同構築環境	構築作業支援	法造コア	法造の推論機構	データエクスポート	データインポート	編集作業支援	整合性検証
A	○		○	◎	○	◎	◎	◎	○	◎	◎	◎
B	◎		◎		○	◎			◎	◎	◎	○
C			◎			○	◎	◎			○	○
D		○	○		◎	○	◎	○	◎		○	○
E				○		○	◎			◎	○	
F	○	◎	◎		◎	○			◎	○	○	○

凡例) ◎: 積極的に使用している ○: 使用している
(空欄): ほとんど使用していない

() オントロジー名

- A: 臨床医学オントロジー [Mizoguchi 09]
- B: サステナビリティ・オントロジー [Kumazawa 09]
- C: 実験プロトコルオントロジー [PREIMS]
- D: 学習支援関連理論オントロジー: OMNIBUS[林 09]
- E: ナノテクオントロジー [NEDO 02]
- F: 遺伝子学オントロジー [Masuya 09]

発規模など)に加え、その実際のオントロジー構築現場で起こった問題を中心に拡張機能の利用状況を述べる。

§1 臨床医学オントロジー

厚生労働省の「医療情報システムのための医療知識基盤データベース研究開発事業」*4 では、臨床医学の複数領域にわたる電子データの統合管理や高度な情報解析を行う情報基盤技術としてのオントロジーが不可欠であるとして、東京大学医学部付属病院・大江教授らの研究グループと大阪大学・溝口研究室との共同で、国内初の本格的な臨床医学オントロジーの構築が進められている [Mizoguchi 09]。

臨床医学オントロジーの構築では、初期フェーズとして臨床医学の専門家と共同作業で臨床医学に必要なとされる主要な概念が記述できるかどうかの検討を行い、具体的には疾患および疾患に関連する症状・所見、および人体構造知識を中心として、その基底となる上位概念構造の基礎的な考察を行っている [国府 08]。また中期フェーズとして、これら共通の上位概念構造をもとに、疾患および人体構造に関するオントロジーを専門家が構築している。

臨床医学オントロジーにおける人体構造の概念定義は、構造物としての共通性を「汎用構造物」として記述し、それぞれの各器官や部位（コンテキスト）での組織や細胞レベルでの違いを特殊化するという形で人体構造の概念記述を行っている [Mizoguchi 09]。これにより人体の構

*4 <http://www.m.u-tokyo.ac.jp/medinfo/medont2009proj/>

図4 臨床医学オントロジーにおける人体構造の記述例

造的な共通性により起こりうる不具合などを推論することができるようになっている。また、人体構造の接続関係に関しては、「ポート」という共通の上位概念構造を導入し、血管や神経といった流体や信号を通すような機能的な接続、骨と関節の接続といった力学的な接続、それ以外の位置関係を表すような空間的な接続^{*5}など、様々な接続関係を同型のフレームで扱えるように工夫されている。図4に人体構造を表す「人体構造物」と「ポート」の概念定義を示す。これらの上位概念の定義により血管系や神経系といった機能的な接続関係の繋がりがや骨どうしの繋がりを計算機で推論することが可能になっている。現状の実装では人体構造の接続関係について、心臓から器官までの血液の流れを対象とした循環器系統（動脈系、静脈系）、全身の主要な神経系統、骨格筋の接続関係のオントロジーが構築されている。各接続関係のオントロジーで定義されている概念数は、動脈系、静脈系を合わせた循環器系統で約 11,000、神経系統で約 7,500、またそれらの間の接続関係の数は、それぞれ約 8,600、約 3,200 となっている。

臨床医学オントロジーにおける疾患概念はその疾患を発症した患者には共通して見られる状態変化（連鎖）と定義される。また、疾患を構成する「異常状態」は患者に起こりうる状態として一般化されたものであり、「原因」と「結果」の二つの異常状態を属性として持つ概念として定義される。図5に異常状態の概念定義と状態変化の記述例を示す。これら「原因」「結果」の属性を辿ることによって、その状態変化を得ることができる。このように疾患で定義された異常状態およびその状態変化を汎用化して集めることによって、臨床医が想定している、患者に起こりうるすべての異常状態を得ることが出来る。現状の実装では、疾患概念について 12 診療科の疾患が定義されており、その総数は合計約 6,000 となっている。またその他の概念も含め、疾患オントロジーで定義された概念の総数は約 15,000 となっている。

(1) 疾患名に対する別名の扱い

^{*5} 位置関係や空間的に近接しているといった本来は接続とは言えない概念も、共通して枠組みで捉えるためにポートを用いた同形の概念構造で捉えている。

図5 臨床医学オントロジーにおける疾患概念の記述例

2.1 §1 節の事例でも取り上げたように疾患定義の際に、標準的な疾患名に以外に国際疾病分類「ICD10」とプライマリケア国際分類「ICPC-2」といった別名が存在し、アプリケーション構築の際にも概念との照合の為の情報であり重要なことから、概念と関連付けて別名を管理する必要が必要とされた。2.1 §1 節「別名管理の導入」で述べた別名管理機能を用いて、適切に対処できた。

(2) 上位概念構造の変更に伴う洗練作業

人体構造や疾患の上位概念構造の検討の際に、記述可能性を検証する為に、一定数の実際の人体構造や疾患の概念定義を行った。しかし、上位概念構造の検討の際に、上位概念を変更する場面が発生した。その上位概念構造の変更の際に、変更に対して発生する不具合（矛盾）の発見や編集支援が必要とされた。その際には、2.3 §2 節「オントロジー整合性検証」を用いて、オントロジー上の不具合を発見して修正作業を行い、修正作業を効率的に実施することができた。

(3) データ処理のための機能拡張

上位概念構造に基づいたオントロジー構築の際には、記述テンプレートを用いた専用プログラムや Excel シートを使った臨床医による疾患記述支援を行い、法造形式に自動変換する際にインポート処理や変換プログラムを作成する為の法造専用の API が必要とされた。その際には、2.2 §2 節「オントロジー利用 API と推論機構」で述べた専用 API を用いて、データ処理を行った。人体構造の接続関係のオントロジー構築では、循環器系統の流れを「動脈系」「静脈系」といったコンテキスト概念に表現しており、一つ概念に対して 46,000 スロットも持つ概念をデータ変換により作成した。

また、法造利用 API は臨床医学オントロジーの応用アプリケーションの基盤技術である医療知識ナビゲータ [国府 09] や説明文生成モジュール [周 09] のプロトタイプの開発にも用いられている。

(4) 諸々の拡張機能

個々の概念定義、及び編集において、2.1 §3 節で

述べたきめ細かな拡張機能は重宝された。オントロジーの構築者からは欲しい機能は揃っており、これらの支援機能がないとこれほど複雑で大規模なオントロジーの構築は難しいと思われるという感想を得た。

(5) 多重継承表現の活用

臨床医学オントロジーでは、病因 / 発症部位 / 症状といった観点や、診療科の違い、医師 / 看護師 / 患者などの立場の違いなど、非常に多くの観点から疾患が議論されるため、1 つの観点到に基づく is-a 階層だけでは扱うことが難しいとされている。この問題をオントロジーの理論的な整合性を保ったまま解決する手法として、他の観点到に基づく is-a 階層は着目した視点に応じて動的に is-a 階層を生成する枠組みが提案している [Kozaki 09, 日原 10]。この枠組みでは、元の is-a 階層と別観点到で動的に生成される is-a 階層との間で多重継承表現が用いられ、Ad hoc classification による IS-A 関係 [太田 11] による多重継承表現が用いられている。

§2 サステナビリティ・オントロジー

サステナビリティ学の知の構造化プロジェクトでは、「エネルギー」や「生態系」、「経済制度」といった複数の領域からなる分野の知識を統合して、領域間の知識の関係性や、異領域の知識の理解を促進する目的で、大阪大学サステナビリティ研究機構 (RISS) *6 とサステナビリティ学におけるオントロジー構築を目指している [Kumazawa 09]。また筆者等は、環境省「Hc-082 アジア太平洋地域を中心とする持続可能な発展のためのバイオ燃料利用戦略に関する研究」という別プロジェクトにおいてバイオ燃料分野に関連する概念を中心に既存のサステナビリティ学オントロジーを拡充するという作業を行っている。

サステナビリティ学にかかわる知識は、関係する個別の学術領域において体系化されている。このような他と分離された知識構造は、地球温暖化などの複数の専門領域を横断するような問題の理解、解決には効果的に機能しない。このことから、サステナビリティ学に関するオントロジー構築では、関係する多様な領域の知識を領域に依存しない形式で構造化することを目指した。サステナビリティ・オントロジーは「ゴール」「問題」「対策」「評価」の問題解決の基本的な流れを上位概念構造として規定し、サステナビリティ学に関わる概念を領域に依存しない形で組織化した。また、例えば「水」「人間」「活動」といったサステナビリティに直接関連しない概念も含めて、「共通世界」という概念を最上位に置いた上で、各概念を組織化した。専門家を集めたワークショップを 3 年に渡り実施し、2010 年 3 月現在、4500 余りの概念、13 階層をもつオントロジーを構築した [熊澤 10]。

(1) 多重継承表現の活用

サステナビリティ・オントロジーの構築では、そ

の対象が複数分野からなる学際的な学問領域であるため、複数の観点から概念を捉える必要が生じた。例えば、植物が本質として考えられる「トウモロコシ」に対して、農作物としてのトウモロコシや食糧としてのトウモロコシ、またはバイオエタノールの原料としてのトウモロコシを、一つの概念として同時に捉えて表現することが求められた。この問題に対して多重継承表現「IS-A」を活用することで、従来までのオントロジーでの多重継承による弊害を回避し、トウモロコシのような複数の観点をもつ概念を、その本質を捉えつつ複数の観点を近似的に扱うことで概念化して表現するようにした。上述の例では、トウモロコシに対して成立する is-a 関係は「トウモロコシ is-a 植物」のみで、それ以外の農作物、食糧、バイオエタノールの原料に対する is-a 関係は多重継承表現「IS-A」を活用して表現できる。これらの is-a 関係を IS-A 関係を用いて近似することで、オントロジー構築の実践の場における概念化の負荷を軽減できた。

実際に理論的な拡張 [太田 11] によって導入された多重継承表現「IS-A」関係の利用数は、概念数 651 に対して、IS-A 関係の利用が 55 件あった*7。その IS-A 関係の利用法として、例えば、Ad hoc classification による利用では、「温室効果ガス」「大気汚染物質」といった、サステナビリティ学に特徴的な性質を捉えたものが概念化され、それらの概念に対して IS-A 関係に利用された (14 件)。また R-P 縮退による利用では、上記の「農作物」以外にも「畜産物」といった概念に利用された (13 件)。一方 Playability-oriented classification の利用では、「食糧」や「バイオエタノールの原料」の事例以外にも、「燃料」「資源」といった、ある性質を捉えた概念に対して、この IS-A 関係が利用された (28 件)。このように多重継承表現: IS-A 関係の各利用法が、満遍なく利用されることがわかる。

(2) サステナビリティ学に関する概念の組織化に対する編集支援

サステナビリティ学に関わる上位概念に関して、専門家ワークショップでの検討作業を行った。その構築プロセスの中でオントロジーの上位概念構造の定義内容に何度か修正が加わり、その都度、下位の概念構造の定義内容や概念体系も変更する必要があった。その際には 2.1 §3 節「オントロジー構築作業支援」や 2.3 §1 節「オントロジー編集作業支援」によって上位概念の変更やそれに伴うスロットの継承関係の変更などの作業支援が有効であった。

*6 <http://www.riss.osaka-u.ac.jp/>

*7 Context-dependent inheritance の IS-A 関係の利用法は、ロールホルダーとプレイヤー間の IS-A 関係を意味し、法造において通常のロールホルダー編集において内部的に自動生成されている為、利用数としてはカウントしていない。

(3) サステナビリティ学に関する概念の抽出

サステナビリティ学に関わる概念の抽出作業では、既存のオントロジーや文献を参考にすることがあり、また海外の英語の文献も知識リソースとされ、その概念定義内容も英語化する必要もあった。この英語化の際にはサブ言語に英語での定義内容を記述する際に、2.2 §1 節「データエクスポート・インポート機能」を利用してサブ言語の一括入力を行い、作業効率化を図った。

§3 実験プロトコル・オントロジー

文科省のターゲット・タンパク研究プログラム^{*8}の実験情報マネジメント・システム (PREIMS) では、学術研究や産業応用に重要なタンパク質をターゲットに取り入れて構造・機能相関の解析を進める目的で、研究プロジェクトで開発された実験プロトコル情報をオントロジーで整備し、それに基づいたデータベースを構築することで、新しいデータ記述と検索法の開発を進めている [PREIMS]。

実験プロトコル・オントロジーは、実験プロトコルと実験結果を記述した「実験プロトコル情報」と、物質や実験器具・方法といった実験プロトコルを記述する為の概念要素「辞書」に分かれる。実験プロトコル情報は、その構成要素として「サブ実験プロトコル」を持つことができる。「サブ実験プロトコル」はライブラリ化されており、実験プロトコル情報を記述する際に再利用できるように設計されている。また、このプロジェクトでは、これらの実験プロトコルをデータベース化し、PREIMS (PROtein Experimental Information Management System) と呼ばれる、実験プロトコル・オントロジーによって記述されたデータを登録、閲覧するシステムを開発している。2010年2月現在、実験プロトコル・オントロジー全体の概念数は約1,400、スロット数は約19,600となっており、そのうち実験プロトコルデータの登録数（概念数）は、ライブラリ化されているサブプロトコルの数も含めると約700となっている。

(1) オントロジーデータ処理の為の API 利用

実験プロトコル・オントロジーの構築作業では、システムを構築する際に、登録ツールやデータ管理にオントロジーデータを処理する必要があり、専用のAPIを同システムに組み込んで開発されている。同システムではクライアント側で専用編集ツールを用いて実験プロトコル情報を作成し、サーバ側のデータベースに登録するという形式を採用している。同システムでは専用編集ツールでの入力データを法造形式の実験プロトコルデータ（オントロジー）に変換する処理や、サーバ側のデータベースへ登録する際の登録データの整合性検証を2.2 §2 節「オントロジー利用 API と推論機構」を利用して実装している。

(2) 簡易インスタンス編集機能の活用

サブ実験プロトコルのライブラリ化に伴い、サブプロトコルの組織化を行い、各実験要素が記述されたサブプロトコルデータはインスタンスとして記述された。このサブプロトコルの記述には簡易インスタンス編集機能が活用され、オントロジー上でデータ管理できるようになった。これにより実験プロトコルデータの入力の際に、組織化されたサブプロトコルデータをその構成要素として指定できるようになっている。

§4 学習支援関連理論オントロジー：OMNIBUS

OMNIBUS プロジェクトでは、教育分野において利用されている多様な教育理論群を体系化し、その基盤概念を学習支援関連理論オントロジー：OMNIBUS として組織化した^{*9}。これにより教材作成における学習シナリオやコンテンツ作成の際に、コンピュータが教育理論を理解して設計支援できるオーサリングシステム：SMARTIESを開発している [林 09]。

OMNIBUS オントロジーは、Common world, Learning world, Instructional world, World of cognition, Instructional Design/Instructional System Design (ID-ISD) world, Theory and Model の6つの基本的な概念で構成されている。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。2009年6月現在、OMNIBUS オントロジーには全体概念1,189個、関係概念244個、スロット3,955個が定義されている。

(1) 海外の研究機関との共同構築作業

OMNIBUS プロジェクトにおいては、カナダ・ケベック大学モントリオール校に在籍していた研究者と共同でオントロジー構築作業を行う必要があった。そこで、2.1 §2 節「オントロジー共同構築支援」機能を利用して学習支援関連オントロジー (OMNIBUS) を共有し、それぞれの構築者の変更状況を確認しながらオントロジーの共同構築を行っている。

(2) オントロジーアウェアなアプリケーション構築

OMNIBUS オントロジーのプロジェクトで開発した SMARTIES は、OMNIBUS オントロジーに基づくオントロジーアウェアなアプリケーションである。OMNIBUS が持っている学習・教授理論の知識を駆使して、理論に則った学習・教授シナリオが、簡単に作れるようになっている。一種のエキスパートシステムのようにも見えるが、その構成は従来のエキスパートシステムとは全く違っていて、オーサリングの専門家の経験則は一切使われておらず、いわゆる知識ベースも持っていない。OMNIBUS オントロジーにある概念を、法造利用 API を用いて読み書き

^{*8} <http://www.tanpaku.org/>

^{*9} <http://edont.gee.jp/omnibus/> : OMNIBUS オントロジーの詳細についてはドラフトと解説がウェブページで公開されている。

するだけの操作に基づいた機能群で構成されたオントロジーウェアなシステムである。筆者等が開発したオントロジー応用システムのなかでは、Heavy-weight オントロジーとその概念定義に基づいて構成されたデータのみを利用して基本的な機能を実現しているという点で最も洗練された高度なものであり、法造利用 API の有用性が確かめられたと言える。

(3) OWL 形式へのエクスポート

法造で記述された OMNIBUS オントロジーは、他システムでの利用も考慮して OWL 形式のオントロジーデータでも一般公開している。この OWL 形式のデータ作成の際には OWL エクスポート機能が活用された。

§5 ナノテクオントロジー

新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) による「材料技術の知識の構造化」プロジェクトでは、ナノテクノロジーに関する多彩な研究領域にまたがる知識をオントロジー工学に基づいて構造化し計算機に格納することで、複数領域間での研究成果や知識の交流を実現し、新規分野開拓の促進を目指している [NEDO 02]。同プロジェクトでは、増大するコンテンツの効率的な管理と有効利用を促進するため、ナノテクノロジーに関するコンテンツを統合的に管理するシステムの開発が行われている。ここでは、インデックスオントロジーと呼ばれるインデックスとしての利用に特化した軽量オントロジーを用いたコンテンツ管理システムを開発している [Kozaki 07a]

インデックスオントロジーは、知識の構造化プロジェクトにおいて、文献などから抽出したキーワード群や材料に関するシソーラスを元に開発された Nanotech Index Ontology (NIO) を用いている。NIO は、プロセス、構造、機能、材料、応用に関する総概念数約 2,300 の概念階層からなっている。

(1) 既存の知識源の活用によるオントロジー構築

これらのインデックスオントロジーを構築する際に、文献などから抽出したキーワード群やシソーラスを元に、ドメインの専門家に概念およびその is-a 階層を MS Excel を使用して編集してもらい、その CSV 形式の編集データを 2.2 §1 節「データインポート機能」を利用してインポートしてオントロジーを構築した。これによりオントロジー構築の初期段階における概念と is-a 階層の編集作業の負荷を大幅に軽減できた。

(2) 法造利用 API によるシステム開発

コンテンツ管理システムを構築する際に、インデックスオントロジーを用いたコンテンツ管理インターフェースの開発に法造利用 API が活用された。

§6 遺伝子学オントロジー

理化学研究所 バイオリソースセンター^{*10} のプロジェクトでは、バイオテクノロジー分野で幅広い応用が期待されている実験動物であるマウスの研究成果情報を利用・共有するための情報基盤として、オントロジーを利用することで、多面的な観察、解析結果を記録した複合データである表現型情報のより高度な情報整備を行ってデータベース化することを目指している。この取り組みの中でヒト疾患とマウス表現型の関連情報に基づく新しい検索システムの開発も行っている [Masuya 09]。

ヨーロッパでは、定性的な性質記述のための概念をまとめたオントロジー、Phenotypic Quality (PATO) が開発されているが [Gkoutos 05]、値記述の汎用性及び相互運用性においていくつか問題がある。そこで、溝口が開発している上位オントロジーである Yet Another More Advanced Top-level Ontology (YAMATO) [YAMATO] に基づいて、BFO [BFO] に準拠する PATO の概念を拡張し、上述の問題点を解決することを目指して PATO2YAMATO を開発している^{*11}。なお、PATO2YAMATO は理化学研究所がマウス情報資源の維持と連携を推進する国際コンソーシアムと連携して行っているマウス表現型の標準化のための包括的なデータ形式の基盤として採用されている。また、同プロジェクトでは Genetics Ontology (GXO)^{*12} と呼ばれる遺伝子学の実験モデルの表現するためのオントロジーを YAMATO に準拠することで開発している。

(1) 外部研究機関との共同構築作業

同プロジェクトでは理化学研究所と大阪大学との間でオントロジーを共有して共同構築している。そこで 2.1 §2 節「オントロジー共同構築支援」機能を利用して開発中のオントロジーを共有し、その上位概念構造とその下位に拡張した概念との変更状況を管理しながらオントロジーの共同構築を行っている。殆どの共同研究作業がメールを介した議論で遂行されてきたが、法造のオントロジー共有環境、そして変更管理機能無しには実行は不可能であったと思われる。

(2) 簡易インスタンス編集機能の利用

属性記述において種々の記述形式の有効性を確かめるために、簡易インスタンス編集機能が有効に使われた。

(3) 種概念 (#) オペレータ表現の利用

属性記述のなかで値に関する記述においては、その値がどの属性の値であるかを明示する必要が頻繁に現れる。その際、参照される属性は属性名のみであり、その値は不要である。このことは、Lisp 言語の変数名の解釈に、変数が持つ値を指すのか、その変数自身を指すのかの二通りの解釈があることと相

*10 <http://www.brc.riken.go.jp/lab/jmc/>

*11 <http://www.brc.riken.go.jp/lab/bpmp/>: マウス表現型知識化研究開発ユニットホームページにて公開されている

*12 http://www.brc.riken.go.jp/lab/bpmp/ontology/ontology_gxo.html

似である。変数名のみを参照する際に、種概念を示すために用意された#オペレータが有効に利用された。

(4) OWL 出力機能の利用

構築されたオントロジーの相互運用性はこのような国際協力では不可欠であり、本機能が有効に利用されている。

(5) 多重継承表現の活用

遺伝子学オントロジーに関しては、上位オントロジーとしてYAMATOを採用しており、YAMATOと統合することによって上位オントロジーの観点に基づいて概念が整理され、その際にIS-A関係が使用された。特に、PATO2YAMATOはPATOと呼ばれる既存のオントロジーをYAMATOに対応するために構築されたオントロジーであった為、互いのオントロジーで定義された概念の共通性をAd hoc classificationによるIS-A関係を用いて捉えられた。

3.2 ユーザビリティの評価

実践的なオントロジー構築において、オントロジー構築環境のユーザビリティは重要な要素である。構築作業を支援することでのユーザの作業効率化が図られ、適切に編集をガイドすることによる精度向上も期待できる。そこで法造の拡張機能のうち、ユーザビリティ向上に関連する以下の2つの改良項目

- 「オントロジー構築作業支援」(2.1 §2 節)
- 「オントロジー編集作業支援」(2.3 §1 節)

に対して、オントロジー構築経験の無いユーザを対象としたユーザビリティの評価実験を行った。本節では、提案した法造の実用化に関する取り組みのうち、ユーザビリティの向上に関する評価実験とその結果の考察を行う。

§1 評価方法

ユーザビリティ向上に対する評価実験として、ツール改良前後でオントロジー構築作業の効率化や精度向上が図れたかどうかを比較検証した。対象者はオントロジーの前提知識を持たない大学院生を対象とした。2年度に渡って実験を行い、初年度が改良前、次年度が改良後の実験となり、被験者は完全に異なっている。実験手順として、まず最初にオントロジーについての説明及び法造の使い方に関する講習を事前に行った。次に、ある一つのテーマ(「乗り物オントロジー」)に対して、知識の個人的なバラツキがないように3名を1グループとしてツールを使ってオントロジー構築をさせた。ユーザビリティの向上を検証するためにツールの改良前後でそれぞれ同じ内容で評価実験を行った。実験結果として構築されたオントロジーの基本概念数、スロット数、関係リンク数、エラーの数を集計した。また、エラーの数に関して前述のオントロジー整合性検証機能を使用した。

§2 評価結果

実験結果は表4のとおりである。実験者数とオントロジーの構築規模が異なる為、実験結果の値は最大と最小

のグループを除く全グループの値を合計して算出している。また、エラー率はオントロジーの構築規模(各要素の生成数の合計)に対するエラー数の割合を平均して算出している。

表4の実験結果からは、構築されたオントロジーは改良前に比べて、改良後の基本概念、関係リンクの生成数の増加は僅かであるが、スロットの生成数、スロットの特殊化数の増加には有意差が見られることが判る。これは複雑な操作が必要であったスロットの特殊化操作を容易に行えるように改善した結果であると考えられる。また、改良後の実験での被験者の様子からは、コピー&ペーストやクラス制約の選択編集操作など、その他のユーザビリティに関する拡張機能も有効的に使っている場面が多くみられた。

また、オントロジーの整合性のエラー率に関しては、機能改良前後で変化が見られなかった。エラーの詳細を分析すると、改良前に発生していたエラーに関しては減少傾向にある一方で、改良前には殆ど見られなかった上位スロットからの継承情報に対するカーディナリティやクラス制約の定義違反が発生していることが判った。これらは「スロットの特殊化」が前提となって発生するエラーであるため、上述の操作改良による「スロットの特殊化」の増加に伴ってエラー数も増加したものと考えられる。

なお、法造でのオントロジー構築経験のあるユーザに関しても「以前よりも使いやすくなった」と操作性の向上に関して肯定的な意見を得ている。

4. 関 連 研 究

本章では、オントロジー構築のライフサイクルを支援する計算機環境という観点で、関連研究と本研究が提供する枠組みとの違いを明らかにする。

オントロジー構築のライフサイクルを支援するツールということでは、Stanford大学の医療情報学の研究グループによって開発されたProtégé^{*13}がその代表として挙げられる。Protégéはバイオロジー分野を中心に様々なオントロジー構築プロジェクトで使用されている。実践的なオントロジー構築に関する取り組みとしては、W3Cのワーキンググループ^{*14}において、オントロジー構築の経験をフィードバックして、最新版の標準規格(OWL2.0^{*15}等)に反映しており、それをオントロジー構築ツールがその技術仕様に追従する形をとっている。法造でも、独自のオントロジー構築・利用環境の開発と並行して、医療分野、ナノテク分野、教育分野、環境工学分野など様々な専門分野でのオントロジー構築を実践しており、そこで得られた知見をもとに理論とツールに改良を加えている点で同様の取り組みといえる。

*13 <http://protege.stanford.edu/>

*14 <http://www.w3.org/2001/sw/BestPractices/>

*15 <http://www.w3.org/TR/owl2-profiles/>

表 4 ユーザビリティの評価

対象	基本概念の生成数 (グループ平均)	スロットの生成数 (グループ平均)	スロットの特殊化 数(グループ平均)	関係リンクの生成 数(グループ平均)	エラー率 (全エラーの数)
改良前 (*1)	300 (27.27)	232 (21.09)	108 (9.82)	9 (0.82)	4.42% (19)
改良後 (*2)	447 (34.38)	384 (29.54)	228 (17.54)	16 (1.23)	4.94% (40)
増減 (%)	26.08%	40.05%	78.63%	50.43%	11.73%

*1: 機能改良前の評価実験 (13 グループ: 39 名)

*2: 機能改良後の評価実験 (15 グループ: 45 名)

本論文で紹介したオントロジー構築における別名の扱いについて、標準規格である OWL の枠組みとの違いについて述べる。別名の扱いに関して、OWL 表現でもベースとなる RDF スキーマ定義の `rdf:ID` と `rdfs:label` によって概念 ID と概念名を区別している。一方 BioPortal^{*16} での取り組みでは、別名に相当するシソーラスや用語集と対応付ける為にマッピングデータを作成し、サーバのレポジトリ内に格納し共有することで対応している [Noy 08a]。シソーラスや用語集の表現方法に関して、W3C で SKOS^{*17} といった枠組みが提案されており、既存の OWL と関連付ける方法が検討されている [Jupp 08]。法造ではオントロジー記述の枠組みの中に別名を適切に扱うための枠組みを取り込むことによりオントロジーによる別名管理を行うことが可能になっている。

オントロジーの共同構築支援の研究は、近年注目されており、オントロジーの協調知識構築ツールに関する最新技術の評価とフィードバックを目的としたワークショップも開催されている [Noy 08b]。Protégé では Collaborative Protégé という共同構築支援の枠組みを提供しており、変更管理とバージョンングを重点項目として挙げ、具体的には変更内容をアノテーションに付与して共有することで変更管理を行っている [Tudorache 08]。また実践的な試みとしては、バイオロジー分野において Web サイト上でのオントロジーの共同構築を目指した BioPortal といった取り組みもある。その取り組みの中では、コミュニティ内でのオントロジー統合や Web サービスでのオントロジー提供を主眼においており、オントロジーの評価といった作業支援を行い大規模オントロジーの共同構築支援を行っている。

オントロジー構築作業支援に関して、Protégé では基本的なクラス概念階層表示やリスト表示のみであるが、OWLviz^{*18} といったプラグインを導入することでオントロジーの可視化を行っている。SWOOP^{*18} では、Web ブラウザのようなナビゲーションインタフェースを採用しており、リンクによる参照や履歴を辿って定義内容を切り替えるといった操作を行うことができる。法造では、概念定義と概念間の関係を直感的に理解するためのグラフィック表示を標準で採用しており、本論文で紹介したジャン

プやブックマーク等の拡張機能によりオントロジー内のナビゲーションも容易に行えるようにしている。

オントロジーのデータ交換に関する取り組みとしては、ライフサイエンスのオントロジーモデリングに使われている OBO (Open Biomedical Ontology) とオントロジー標準規格である OWL とのマッピングをとって変換する試みがなされている。その中では OBO の言語フォーマットで書かれたオントロジーを OWL にデータ変換して、OWL の推論機構が利用可能かどうかを検証している [Golbreich 07]。法造では、2.2 §1 節で述べたデータエクスポート・インポート機能を利用して、テキスト (CSV) 形式や OWL 形式といった標準的なデータフォーマットの入出力に対応している。また、標準フォーマット以外、例えば MS Excel で整理されたデータ等に関しても、3.1 §1 (3) で述べたようにオントロジー利用 API を利用したデータ交換プログラムを開発することで個別に対応できる。

オントロジー利用 API に関して、OWL 対応の API として Hewlett-Packard 社の Jena^{*19}、Manchester 大学の OWLAPI^{*20} が広く知られている。両ソフトウェアともオープンソースとして一般公開している為、オントロジー処理モジュールとして広く利用されている。推論機構に関しても上述のとおり OWL のベースとなる記述論理 (Description Logic: DL) に基づく推論機構 (モジュール) として FaCT++^{*21}、RacerPro^{*22}、Pellet^{*23} などが提供されており、オントロジー構築環境に取り込んで使用できるようになっている [上田 06]。法造では、そのオントロジーの特徴である基本概念、ロール概念、ロールホルダーの 3 つの概念の関係性を理論どおり扱うためのモデルを完備する必要がある。記述論理 (DL) に基づいた言語でも、法造でのロールの扱いを簡易的に表現することができる。しかし、ロールに関する概念的な相違によって、ロール概念のコンテキスト依存性、ロール概念間の is-a 関係といった、ロール概念の特徴を正しく扱うことができず、法造のオントロジーモデルを忠実に表現することはできない [Kozaki 07c]。そこで、法造専用の利用 API (法造コア) では別途データモデルを設計しプ

*16 <http://bioportal.bioontology.org/>*17 <http://www.w3.org/TR/2008/WD-skos-reference-20080125/>*18 <http://www.mindswap.org/2004/SWOOP/>*19 <http://jena.sourceforge.net/>*20 <http://owlapi.sourceforge.net/>*21 <http://owl.man.ac.uk/factplusplus/>*22 <http://www.racer-systems.com/>*23 <http://clarkparsia.com/pellet/>

リミティブな操作関数を API としてモジュール化して提供している。また推論機構に関しても、記述論理に基づいた推論を行う代わりに、法造独自のオントロジーモデルを実装した法造コアを利用し、高速性を重視した目的指向の手続き的な推論処理を実装している。法造の推論処理では、is-a 関係（包含関係）や概念定義における個数制約（Cardinality）、クラス制約、値に対する検証といった記述論理に基づいた推論機構と同様な推論処理に加え、ロール概念やロールホルダーの定義内容の整合性検証やロール概念間の関係性の探索といった、ロールの概念的性質を考慮した推論処理が可能となっている。その一方で、クラスやインスタンスの自動分類に関する推論処理については、概念・インスタンス定義時に構築者がそれらの関係性を明示的に記述するという思想をとっている為、対応していない。また、NeOn プロジェクト^{*24}では、オントロジー構築・利用のライフサイクルを考慮したオントロジーシステムのアーキテクチャを提案している [Tran 07]。法造の枠組みにおいても、同様に専用 API の提供や標準化対応のモジュールを一般公開しており、法造のオントロジーを利用したアプリケーションを開発できるようにしている。

洗練作業支援に関して、多くのオントロジー構築ツールでは、編集時に間違いを受け付けられないことで規約通りオントロジーを編集し、編集後に整合性検証を行っている。編集時には利用者が間違いのないよう厳密に記述しなければならない、その煩わしさが利用者の発想を阻害してしまう恐れがある。法造では、編集時には最小限の整合性検証を行い利用者の発想を阻害しないよう特定のエラーを許容して、オントロジーとしてある程度の品質を保ちながら、編集時にカバーできない検証項目に関して編集後にオントロジー全体の検証を行うようにしている。このように編集時と編集後に検証を切り分けることで、効果的にオントロジーの洗練を支援している。特にスロットの特殊化といった編集操作に関して、2.3 §1 節でも述べたとおり厳密なスロット（ロール）定義が必要となり編集作業支援が必要であった。OWL ではスロットはプロパティ（owl:Property）で宣言され、通常のクラス（owl:Class）と独立して定義される為、Protégé のような OWL 対応ツールではスロットの特殊化にあたるような厳密な編集操作はそもそも存在しない^{*25}。

オントロジーの整合性検証に関しては、上述の OWL ベースの推論機構をツールに取り込んで使用して推論処理しているケースが多く見られる。法造に関しては独自の概念表現を採用している為、本論文で紹介した独自の推論手法を提案し、推論機構をツール内に実装した。それ以外の方法として他のツールと同様に標準フォーマットである OWL に出力して推論する手法もある。しかし、

法造が提供するロール概念および全体概念・関係概念に関する基礎理論の考察に基づくオントロジー構築の枠組みと、OWL が提供するオントロジー記述の枠組みとの間には概念的なギャップが存在する為 [古崎 05, Kozaki 07c]、現時点では積極的な使用を推奨していない。

5. ま と め

本論文では、現場でのオントロジー構築の実践での経験を通して得られた知見をもとに機能拡張したオントロジー構築・利用環境「法造」について報告した。オントロジーの構築から利用までの一連のライフサイクルをサポートできる計算機環境の実現を目指して、ライフサイクルの各フェーズで発生した実践的な問題に対して、理論的な拡張とともに、オントロジー構築ツールの拡張機能として実装した。構築フェーズでは、ツール面では大規模オントロジー構築に向けた機能拡張として、別名を扱うための枠組みとその管理機能、オントロジー共同構築を支援するための機能と個別の作業空間でのオントロジー構築作業支援機能を実装した。利用フェーズでは、オントロジー標準規格の OWL を含む、様々なデータ様式のエクスポート・インポートを可能とし、法造のオントロジー利用 API を開発・提供することによって、法造で構築したオントロジーの利用アプリケーションの構築を容易にした。洗練フェーズでは、オントロジーの規約どおり編集できるように支援するとともに、オントロジーの一貫性を保証するための整合性検証の枠組みを提案し実装した。本研究で機能拡張した法造の評価に関しては、実際のオントロジー構築現場での利用状況を取り上げ、オントロジー構築者から実務上の観点での評価を挙げるとともに、ユーザビリティに関してはオントロジー構築経験の無いユーザによる評価実験を行った。このように様々な専門領域のオントロジー構築の実践で得られた知見をもとに、法造において理論とツール機能の両面で拡張を行うことで、実際の現場でのオントロジー構築に耐え得るツールであることが示された。

今後の課題としては、オントロジーに精通していないドメインの専門家でもオントロジーを正しく記述できるようなオントロジー構築支援があげられる。ドメインの専門家に対する構築支援を積極的に行うことで、オントロジーの専門家との共同構築作業が円滑になり、専門知識に関するオントロジーの深い考察が可能となると考える。また、ツール面では、本論文で紹介したオントロジー利用モジュールなどの開発を更に推し進め、オントロジー利用のためのインフラを整備し、オントロジーを利用したシステムの開発に貢献していきたいと考えている。

謝 辞

本研究の一部は、下記の事業の援助のもとでなされた。

- 厚生労働省 平成 18 年度科学技術振興調整費（重要

*24 <http://www.neon-project.org/web-content/>

*25 OWL 対応のツールでは、コンテキストとなるクラスとは別にプロパティ宣言してから、推論処理でクラス間の is-a 関係を導出できる仕様になっていることが多い。

政策課題への機動的対応の推進)「臨床医学データ解析のための医療知識基盤データベースの構築に関する研究」

- 厚生労働省 平成 19-21・22 年度医療情報システム開発普及等委託費「医療情報システムのための医療知識基盤データベース研究開発事業」
- 科学研究費補助金 若手研究 (A)20680009

◇ 参 考 文 献 ◇

- [BFO] <http://www.ifomis.org/bfo>
- [Gkoutos 05] Gkoutos, G., Green, E., Mallon, A.-M., Hancock, J., and Davidson, D.: Using ontologies to describe mouse phenotypes, *Genome Biol*, Vol. 6, p. R8 (2005)
- [Golbreich 07] Golbreich, C., Horridge, M., Horrocks, I., Motik, B., and Shearer, R.: OBO and OWL: Leveraging Semantic Web Technologies for the Life Sciences, in *Proc. of the 6th International Semantic Web Conference, ISWC/ASWC 2007*, pp. 169–182 (2007)
- [Jupp 08] Jupp, S., Bechhofer, S., and Stevens, R.: SKOS with OWL: Don't be Full-ish!, in *Proc. of the Fifth OWLED Workshop on OWL: Experiences and Directions, collocated with the 7th International Semantic Web Conference (ISWC-2008)*, pp. 26–27 (2008)
- [Kozaki 07a] Kozaki, K., Kitamura, Y., and Mizoguchi, R.: Development of Contents Management System Based on Light-Weight Ontology, in *Proc. of the 2007 IAENG International Conference on Internet Computing and Web Services*, pp. 987–992 (2007)
- [Kozaki 07b] Kozaki, K., Sunagawa, E., Kitamura, Y., and Mizoguchi, R.: Distributed and Collaborative Construction of Ontologies Using Hozo, in *Proc. of Workshop on Social and Collaborative Construction of Structured Knowledge* (2007)
- [Kozaki 07c] Kozaki, K. and al., et.: Role Representation Model Using OWL and SWRL, in *Proc. of 2nd Workshop on Roles and Relationships in Object Oriented Programming, Multiagent Systems, and Ontologies* (2007)
- [Kozaki 09] Kozaki, K., Hirota, T., Kou, H., Ohta, M., and Mizoguchi, R.: Viewpoint Management for Multi-Perspective Issues of Ontologies, in *Poster & Demo Notes of the 8th International Semantic Web Conference (ISWC 2009)* (2009)
- [Kumazawa 09] Kumazawa, T., Saito, O., Kozaki, K., Matsui, T., and Mizoguchi, R.: Toward knowledge structuring of sustainability science based on ontology engineering, *Sustainability Science*, Vol. 4, No. 1, pp. 99–116 (2009)
- [Masuya 09] Masuya, H. and Mizoguchi, R.: Toward Integration of Mouse Phenotype Information, in *Proc. of the Second Interdisciplinary Ontology Meeting*, pp. 35–44 (2009)
- [Mizoguchi 07] Mizoguchi, R., Sunagawa, E., Kozaki, K., and Kitamura, Y.: A Model of Roles within an Ontology Development Tool: Hozo, *J. of Applied Ontology*, Vol. 2, No. 2, pp. 159–179 (2007)
- [Mizoguchi 09] Mizoguchi, R., Kou, H., Zhou, J., Kozaki, K., Imai, K., and Ohe, K.: An Advanced Clinical Ontology, in *Proc. of International Conference on Biomedical Ontology (ICBO)*, pp. 119–122 (2009)
- [NEDO 02] NEDO 材料ナノテクノロジープログラム 材料技術の知識の構造化プロジェクト 報告書 (2002)
- [Noy 08a] Noy, N. F., Griffith, N., and Musen, M. A.: Collecting Community-Based Mappings in an Ontology Repository, in *Proc. of 7th International Semantic Web Conference, ISWC 2008*
- [Noy 08b] Noy, N. F., Chugh, A., and Alani, H.: The CKC Challenge: Exploring tools for collaborative knowledge construction, Vol. 23, No. 1, pp. 64–68 (2008)
- [PREIMS] <http://preims.tanpaku.org/preims/>
- [Tran 07] Tran, T., Haase, P., Lewen, H., Muñoz-García, O., Gómez-Pérez, A., and Studer, R.: Lifecycle-Support in Architectures for Ontology-Based Information Systems, in *Proc. of the 6th International Semantic Web Conference, ISWC/ASWC 2007*, pp. 508–522 (2007)
- [Tudorache 08] Tudorache, T., Noy, N. F., Tu, S., and Musen, M. A.: Supporting Collaborative Ontology Development in Protégé, in *Proc. of 7th International Semantic Web Conference, ISWC 2008*, pp. 17–32 (2008)
- [YAMATO] <http://www.ei.sanken.osaka-u.ac.jp/hozo/ontologyLibrary/upperOnto.htm>
- [熊澤 10] 熊澤 輝一, 古崎 晃司, 溝口 理一郎:「オントロジー工学に基づいたサステナビリティ・サイエンスの知識基盤構築」『文部科学省科学技術振興調整費(戦略的研究拠点育成)プロジェクト サステナビリティ学連携研究機構構想 大阪大学最終成果報告書』4.5 節 (2010)
- [古崎 02] 古崎 晃司, 来村 徳信, 池田 満, 溝口 理一郎:「ロール」および「関係」に関する基礎的考察に基づくオントロジー記述環境の開発, 人工知能学会誌, Vol. 17, No. 3, pp. 196–208 (2002)
- [古崎 05] 古崎 晃司, 太田 衛, 砂川 英一, 来村 徳信, 溝口 理一郎: Semantic Web アプリケーションの開発に向けたオントロジー構築・利用環境「法造」の拡張, 2005 年度人工知能学会全国大会 予稿集, 2G1-02 (2005)
- [国府 08] 国府 裕子, 周 俊, 太田 衛, 古崎 晃司, 今井 健, 大江 和彦, 溝口 理一郎: 臨床医療オントロジーの構築に関する基礎的な考察, 人工知能学会第 22 回全国大会 (JSAI2008) (2008)
- [国府 09] 国府 裕子, 周 俊, 太田 衛, 古崎 晃司, 今井 健, 大江 和彦, 溝口 理一郎: オントロジーに基づく医療知識ナビゲータ, 人工知能学会第 23 回全国大会 (JSAI2009) (2009)
- [砂川 05] 砂川 英一, 古崎 晃司, 来村 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, 人工知能学会誌, Vol. 20, No. 6, pp. 461–472 (2005)
- [周 09] 周 俊, 国府 裕子, 太田 衛, 古崎 晃司, 今井 健, 大江 和彦, 溝口 理一郎: 臨床医学オントロジーに基づく医学電子辞書の自動生成, 人工知能学会第 23 回全国大会 (JSAI2009) (2009)
- [上田 06] 上田 俊夫, 池田 満: オントロジーエディタ Protégé-OWL を使った OWL オントロジー構築, 人工知能学会誌, Vol. 21, No. 4, pp. 446–454 (2006)
- [太田 11] 太田 衛, 古崎 晃司, 溝口 理一郎: 実践的なオントロジー開発に向けたオントロジー構築・利用環境「法造」の拡張 理論編, 人工知能学会論文誌, Vol. 26, No. 2, pp. 387–402 (2011)
- [日原 10] 日原圭祐, 古崎 晃司, 溝口 理一郎: ユーザの視点に基づいた is-a 階層の動的生成に関する基礎的考察, 第 24 回人工知能学会全国大会, 2B1-4 (2010)
- [林 09] 林 雄介, Bourdeau, J., 溝口 理一郎: 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, 人工知能学会誌, Vol. 24, No. 5, pp. 351–375 (2009)

〔担当委員: 武田 英明〕

2010 年 6 月 7 日 受理

◇ 付 録 ◇

A. 法造におけるオントロジー整合性チェックの検証項目

著者紹介

太田 衛(学生会員)

1993 年京都工芸繊維大学電子情報工学科卒業。1995 年同大学院工学研究科博士前期課程修了。同年東光精機株式会社(現株式会社エネゲート)入社。教育訓練システムや業務支援システムの研究開発に従事。現在、大阪大学大学院工学研究科電器電子情報工学専攻後期課程に在学中。オントロジー構築・利用環境の設計・開発に関する研究に従事。

古崎 晃司(正会員)

1997 年大阪大学工学部電子工学科卒業。2002 年同大学院工学研究科博士後期課程修了。同年、化学工学会嘱託研究員、同年 12 月大阪大学産業科学研究所助手、2008 年同准教授、現在に至る。博士(工学)。オントロジー工学の基礎理論、オントロジー構築・利用環境の設計・開発、セマンティック Web、医療、環境分野などのオントロジー開発・応用に関する研究に従事。情報処理学会、電子情報通信学会、International Association for Ontology and its Applications、

各会員。

溝口 理一朗(正会員)

1977 年大阪大学大学院基礎工学研究科博士課程修了。大阪電気通信大学工学部講師、大阪大学産業科学研究所助手、助教授を経て 1990 年より教授。工学博士。知識処理全般、特に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 年本学会創立 10 周年記念論文賞、1999 年 ICCE99、2006 年 ICCE2006 Best Paper Award、2005 年大川出版賞、2006 年本学会論文賞受賞。本

学会理事、同編集委員会委員長、同会長などを歴任。現在 Semantic Web Science Assoc. Vice-President.

表 A.1 法造におけるオントロジー整合性チェックの検証項目 (全 33 項目)

分類	チェック項目	編集時	編集後
基本概念に関する制約 (5)	概念名を表すラベルは (オントロジー内で) 重複しない		
	ロールホルダーのラベルは, 基本概念のラベルを含むすべての概念ラベルと重複しない		
	概念間の一般 - 特殊 (is-a) 関係について, 1 つの概念が 2 つ以上の上位概念を持たない		
	下位概念として, 自身の上位概念を指定できない		
	本質的な継承関係 (is-a 関係) を伴わない, 弱い継承関係 (IS-A 関係) は存在しない		
スロット (ロール概念, ロールホルダー) に関する制約 (13)	同一コンテキスト内 (概念内) で, スロットのロール名が重複しない	-	
	概念間の is-a 関係が成立する場合に, その概念間のスロット同士でロール名が重複しない		-
	個数制約 (カーディナリティ) の表現のフォーマットエラー		
	スロットの特殊化を行っている場合の個数制約の数に矛盾がない	-	
	設定されている上位スロットがオントロジー内に存在しない		
	クラス制約からのスロット継承に対して, クラス制約のスロットでないものが設定されている		
	上位概念からのスロット継承に対して, 上位概念のスロットではないものが設定されている		
	上位スロットからの継承に対して, 上位スロットのスロットではないものが設定されている		
	上位スロットが上位概念からでもクラス制約からのものでもない		
	スロット種別が正しく設定されていない (フォーマットエラー)	-	
	上位スロットのスロット種別が異なる (継承されていない)	-	
	クラス制約として指定した概念がオントロジー内に存在しない	-	
	スロット継承関係に対して, クラス制約の継承関係が成立しない		
関係概念に関する制約 (3)	関係概念で定義された関係リンクの数に関して, 関係概念のスロットで指定された個数制約を満たすリンク数である		
	関係概念で定義された関係リンクのスロットに関して, 関係概念のスロットで指定されたクラス制約がリンク先のクラス制約として指定された概念と同じ概念あるいは上位概念である		
	関係リンク先のスロットが存在しない		
データタイプ, 基本関係概念に関する制約 (8)	クラス制約としてデータタイプを指定した場合, 制約値として指定された値がデータタイプとしての値の範囲内にある		
	クラス制約としてインスタンスを指定した場合, 制約値として指定された値がインスタンスとして定義されている	-	
	基本関係概念 (sameAs) の関係リンクに関して, 関係概念のスロットで指定されたクラス制約が, リンク先のクラス制約として指定された概念と同じ概念である		
	クラス制約がデータタイプである基本関係概念 (equal, not-equal) の関係リンクに関して, 制約値として指定された値の關係に矛盾がない		
	最上位である Any 概念が設定されていない		-
	最上位として Any 概念が設定されている場合, Any 概念を上位概念としない概念が存在する		
	スロットの制約値に概念ラベルが指定されている	-	
	スロットの制約値のインスタンスがクラス制約条件に合致しない	-	
個体 (インスタンス) に関する制約 (4)	定義元 (概念クラス) およびオントロジーが指定されている		-
	概念クラスの定義に対して, 個数制約の違反無くスロットが正しく実装されている		-
	個体内の各スロットに対して, クラス制約の個体が指定されている		-
	インスタンスモデル内で定義された関係リンクが定義元 (概念) の制約を満たしている (基本関係概念も含む)		-

凡例) : 新たに追加実装した項目 : 既に実装済み - : 編集時 (後) に対応の為実装せず