

# オントロジーに基づく知識継承支援システムの再利用可能性

## Reusability of knowledge transfer support system with ontology

松井信也\*<sup>1</sup> 石川達也\*<sup>1</sup> 岡部雅夫\*<sup>2</sup> 山口高平\*<sup>1</sup>  
 Shinya Matsui Tatsuya Ishikawa Masao Okabe Takahira Yamaguchi

\*<sup>1</sup> 慶應義塾大学 Keio University \*<sup>2</sup> 東京電力 Tokyo Electric Power Company

This paper discusses the reusability of domain ontologies and rule ontologies that support novice users in acquiring expertise, taking operation scheduling in the field of two different hydroelectric power plant's control facilities. The case studies shows us that operation instances have higher reusability than facility instances and then that rule instance's reusability changes, depending on rule types.

### 1. はじめに

本稿では、オントロジーとルールベースシステムを用いた知識継承支援システムの再利用可能性について述べる。このシステムの構築目的は「知識の継承」である。それを他のタスクドメインへ再利用することで、オントロジーに基づく知識継承支援という手法の汎用性と有用性を検証した。

2節ではシステムの概要を述べる。3節ではモデルケースについて説明する。4節ではシステムの再利用可能性の仮説と検証方法について述べる。5節では再利用可能性の検証結果を述べる。6節では考察、7節では結論と今後の課題を述べる。

### 2. システムの概要

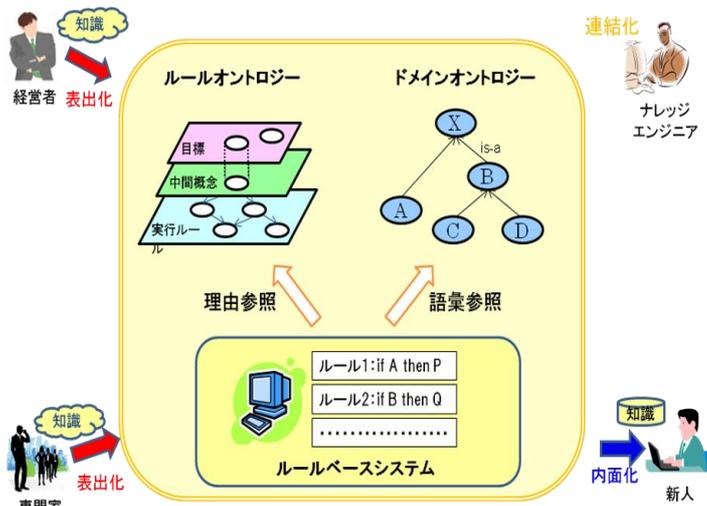


図1 知識継承支援システム概念図

#### 2.1 ルールオントロジー

ルールオントロジーは、専門家の持つ暗黙的な知識を外在化し、それをルールで表現し、体系化したものである。ルールとルールの間にある意味的関係の理解がなければ専門家の知識は新人へと継承されない。そこでルールをプリミティブとみなし、オントロジーモデルに適用した。ルール間には正当性関係を規定する justify, 特殊化関係を規定する specialize が定義されて

いる。

#### 2.2 ドメインオントロジー

ドメインオントロジーはルールオントロジーに登場する専門用語の意味を定義、提供するものであり、システムには対象となる設備オントロジーと作業オントロジーが存在する。

#### 2.3 ルールベースシステム

ルールベースシステムは、業務に直接用いられるルールを基に、半自動的に業務を実行するものである。

このシステムの構築目的は三つ挙げられる。一つ目はアウトプットを参照し、専門家から外在化されたルールを洗練することである。二つ目は新人の知識内在化を支援することである。外在化されたルールを新人が内在化するためには、そのルールを用いて実際に業務を行うことが必要である。ルールベースシステムはルールの優先度、知的熟練者の標準的な業務プロセスを模擬している。アウトプットと新人自身が作成したものを比較することで、「知的熟練」の達成のために必要な知識の統合化能力を獲得できると考えられる。三つ目は専門家の知識外在化支援である。日本語ルールを機械語である prolog ルールへと自動変換し、結果に反映させることが可能である。

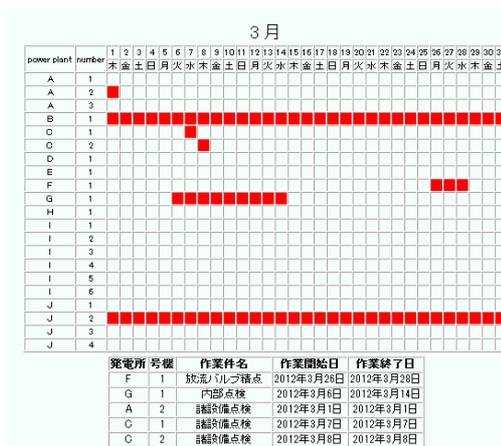


図2 ルールベースシステムによる出力例

### 3. モデルケースの概要

東京電力・T 総合制御所における停止調整業務をシステム再利用の対象とした。システム構築時のタスクドメインは、東京電力・A 総合制御所における停止調整業務であった。A 総合制御所と T 総合制御所はそれぞれ同水系の上流と下流に位置し、

連絡先: 松井信也, 山口高平, 慶應義塾大学理工学部  
 〒223-8522 神奈川県横浜市港北区日吉 3-14-1  
 {s\_matsui,yamaguti}@ae.keio.ac.jp

さらにタスクが同じであるため、類似性は非常に高い。従ってシステムの大部分が再利用可能であると期待できる。

#### 4. 再利用可能性に関する仮説と検証方法

##### 4.1 再利用可能性について

タスクドメインに依らず抽象物(クラス)は再利用可能という仮説の下、システムの構成要素単位(ドメインオントロジー、ルールオントロジー、ルールベースシステム)で再利用性を検証した。

##### 4.2 ドメインオントロジーの再利用可能性

###### (1) 仮説

設備オントロジーのインスタンスには発電機や水車など人工物が相当する。

作業オントロジーのインスタンスには内部点検や精密点検など設備の情報が入らないものが相当する。設備の情報がインスタンスに定義されていないのは、マニュアルから抽出されたものだからである。マニュアルでは各作業は、場所に依らず同一であると規定されている。

従って作業オントロジーのインスタンスの抽象度は高く、再利用性があると考えられる。設備オントロジーのインスタンスは場所の情報が付与されるため、タスクドメインが異なれば再利用性はない。クラスについてはどちらのオントロジーについても再利用性があるとする。

###### (2) 検証方法

設備オントロジーのインスタンスは再利用不可能として考慮しない。クラスについては、T総合制御所の設備インスタンスが既存のクラスへマッピング可能であれば再利用性を認める。

作業オントロジーのインスタンスは再利用可能性がある。既存のインスタンスとのアライメントをとり、同義であれば再利用性を認める。クラスについては設備オントロジーと同じ。

プロパティについてはどちらのオントロジーもリソース間に張ることができた時点で再利用可能と判断する。

再利用性の尺度として、定量的に再利用率で表す。既存のリソース集合のうち、新たなタスクドメインで再利用できたものの数を割合で算出する。

##### 4.3 ルールオントロジーの再利用可能性

###### (1) 仮説

ルールオントロジーのインスタンスにはタスクドメイン固有性のあるものがないものがある。それらを分類するためにルールインスタンスを表現形式により類型化した。簡略化のためにルールを if-then 形式で表現する。ここで条件部は設備と作業の二つの要素だけで表現できるものとする。また類型化の基準として、オントロジーのクラス、インスタンスを採用した。

X : 設備オントロジーのクラス

x : 設備オントロジーのインスタンス

Y : 作業オントロジーのクラス

y : 作業オントロジーのインスタンス

とすると、ルールは以下の五つのパターンに類型化できる。

###### 【ルール表現】

1: if(x,y) then (A)

2: if(x,Y) then (A)

3: if(X,y) then (A)

4: if(X,Y) then (A)

5: if(.,.) then (A) (経営目標)

類型化に際し、全117個のルールインスタンスを対象とした。その中には表現上に設備や作業が明記されていないルールも存在する。明記されていないものについては、その要素はクラス扱いとして類型化を行った。

再利用性は1<2<3<4<5という順序で高いと仮説を立てた。ルール表現2, 3の順序は前項の仮説に基づく。

クラスについては、ドメインオントロジーと同様再利用性があるものとする。

プロパティについてはドメインオントロジーと同様に扱う。

再利用性の尺度として定量的な再利用率を算出する。ルールオントロジーの再利用性は、ルールインスタンスの表現ごとどのように異なるかをみることで検証する。そのため5節ではルールインスタンスの再利用率のみ結果として載せる。

###### (2) 検証方法

T総合制御所の専門家へのインタビューを通して判定する。全117個のルールインスタンスについて整合をとり、再利用できたインスタンスが属するクラスの再利用性も認める。

##### 4.4 ルールベースシステムの再利用可能性

ルールベースシステムは図3のように三つの情報を外部読み込みで取得している。

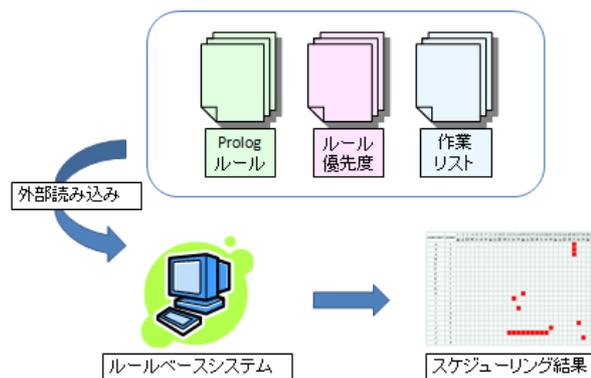


図3 ルールベースシステム概要

従って Prolog ルール、ルール優先度、作業リストにタスクドメインに応じた修正を加えるだけで、専門家のスケジュール結果に近い出力が得られるものとする。Prolog ルールはルールオントロジーの再利用性に関係する。業務に直接用いられるルールが多く再利用できたなら修正の負担は軽減する。ルール優先度は新しいタスクドメインでは異なる可能性もある。専門家へのインタビューを通して優先度の更新を行う。作業リストについては新たに作成するが、形式は変更しないものとする。

##### 4.5 再利用性への期待

「再利用性」というテーマを設定した理由は、オントロジー構築のコストが甚大であったからである。表1にオントロジー構築コストを示す。

表1 オントロジー構築コスト

対象	期間	オントロジー構築	インタビュー
A 総制	4 年間	2 7 4 時間	4 5 時間

再利用することで効率よく新たな知識体系の構築を行えることを期待した。これにはオントロジーの性質である高い合意性と再利用性が根底にある。

## 5. 再利用可能性検証結果

### 5.1 ドメインオントロジーの再利用可能性

#### (1) 設備オントロジー

A 総合制御所の設備オントロジーのクラス、インスタンス、プロパティ数、そして T 総合制御所で再利用できたクラス、インスタンス、プロパティ数を表2に示す。

表2 設備オントロジーの再利用性

設備オントロジー	クラス	インスタンス	プロパティ
A 総制	48個	236個	25個
再利用可能	41個	0個	25個
再利用率	85%	0%	100%

類似性の高いドメインなので、クラスの再利用率は高い値を示した。インスタンスは再利用できず再利用率0%となった。プロパティに関しては設備オントロジーの構造自体がほぼ変化することがなかったため全てが再利用できた。

#### (2) 作業オントロジー

設備オントロジーと同様に表3に作業オントロジーの再利用性を示す。

表3 作業オントロジーの再利用性

作業オントロジー	クラス	インスタンス	プロパティ
A 総制	7個	19個	7個
再利用可能	6個	11個	7個
再利用率	86%	58%	100%

設備オントロジーと同様、クラスは大部分が再利用できた。インスタンスは設備オントロジーと比較して高い再利用率を示した。作業オントロジーのインスタンスと設備オントロジーのインスタンスの抽象度に差があることが明らかになった。またプロパティは作業間の意味的關係が変化することはなく100%再利用可能であった。

### 5.2 ルールオントロジーの再利用可能性

既存の全117個のルールインスタンスを、4.3に示した5つの表現形式に分類し、再利用率を算出した。表4にそれを示す。

表4 ルールインスタンスの再利用性

ルール表現	1	2	3	4	5
既存ルール(個)	2 2	1 5	1 8	4 9	1 3
再利用可能(個)	0	0	1 3	4 2	1 3
再利用率(%)	0	0	7 2	8 6	1 0 0

設備オントロジーのインスタンスが含まれるルールは再利用できなかった。ルール表現2と3の再利用率の差は、作業オントロジーのインスタンスの抽象度が設備オントロジーのインスタンスよりも高いことを示している。また経営目標としてのルールは再利用率100%となっている。

### 5.3 ルールベースシステムの再利用可能性

修正を加えた個所は、外部読み込みで与えられる情報だけである。ルールベースシステムの再利用に関しては専門家の立てたスケジュールを模範解答とし、限りなく近づけることで、再利

用できたこととする。それまでにかかった時間を算出し、再利用の有用性があるかを検証した。模範解答に近づけるまでの過程は図4のように行った。

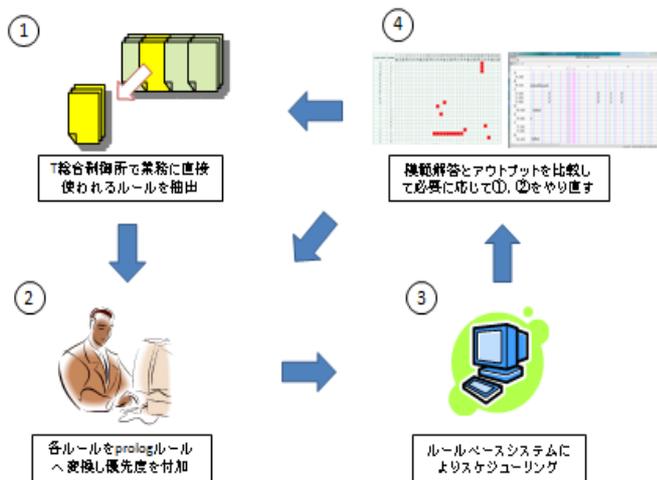


図4 ルールベースシステムの再利用

T総合制御所というタスクドメインでシステムが正常に動作し、専門家のスケジュール結果に限りなく近づくまでに要したオントロジー構築時間、インタビュー時間を、A総合制御所で要した時間とともに表5に示す。

表5 オントロジー構築コストの変化

	オントロジー構築時間	インタビュー時間
A 総制	274時間	45時間
T 総制	63時間	8時間

システムのための構築時間の記録はない。しかし、表5はシステムがそのタスクドメインで正常に動作するまでのコストを示している。オントロジー構築時間のみを見ても4分の1程のコストで構築できている。ルールベースシステムの構築時間の削減という観点で有用に再利用が行えたことが分かる。

## 6. 考察

### 6.1 設備オントロジーのクラスについて

クラスの再利用率が100%でなかった理由は、マニュアルの改訂があったことによる。A 総合制御所は改訂以前の分類体系を継続して利用しているのに対し、T 総合制御所はマニュアル改訂により分類体系を一新した。また T 総合制御所にはない設備に関するクラスもある。例えば揚水式発電所クラスは A 総合制御所固有のため再利用できなかった。この例では、T総合制御所の設備インスタンスの中に、揚水関連の設備がないことから推論して、再利用不可能と判断させることができる。しかし、これはリソースの意味がもれなく抽出されていることが前提で初めて成立する。

### 6.2 作業オントロジーのインスタンスについて

作業オントロジーのインスタンスはマニュアルにより規定されているものが多い。しかし再利用率は高くなかった。この背景にもマニュアル改訂を反映しているかどうかの差がある。またA総合制御所固有の作業インスタンスというものも存在する。タスクド

メインのマニュアルだけでなくその背景にあるものも考慮しなければならない。

### 6.3 再利用できなかつたルール

再利用可能性のある領域(ルール表現3, 4)に位置するが、再利用できなかつたルールについての考察を進める。

#### (1) ルール表現から再利用不可能と判断できるルール

例をあげると揚水式発電所に関するルールがある。6.1 でも示したが、揚水式発電所は A 総合制御所だけが対象としているクラスなので、T 総合制御所には必要のないルールである。これをシステムに自動分類させるためには総合制御所が管轄する設備に関する情報を与えてやる必要がある。T 総合制御所が対象とするのは一般発電所クラスのみであるという情報を与えることである。意味ネットワークの付与を行うことにより、システムがクラス-インスタンスでの判別に加えて、対象設備による判別も可能になり、再利用の効率が上昇することが期待できる。

#### (2) ルール表現から再利用不可能と判断できないルール

ここでは抽象的に表現されており、再利用可能か不可能か判断できないルールについて例を示しながら考察を進める。

##### ・「厳冬期は避ける」

これは、冬場は降雪量が多く地面も凍りやすいので、作業者の安全確保のために必要なルールである。このルールがT総合制御所で適用できなかつた理由は、T 総合制御所の位置する環境と経済的環境にある。A 総合制御所に比べて T 総合制御所は下流域に位置し、降雪量が少ない。従って冬場に作業を行うことが可能である。しかし山間部であるため冷え込みは厳しく、作業効率は下がる。それでも厳冬期に作業を避けられない理由がある。それは経済的に A 総合制御所より余裕がなく、さらに冬場には外部要因である送電線の停止が絡んでくる。電気が送れないので停止せざるを得ず、作業を行うしかない。このように環境が異なることで、様々な要因から再利用できないルールが存在する。

##### ・「調整池式発電所では土砂排除を行う」

調整池式発電所とは、一時的に水を池にためておき、一度に大量に放流することで発電量を増やすことのできる発電所のことである。A 総合制御所では調整池として、自流に自然に形成されたものを利用している。この調整池は土砂がたまるため、適度に土砂を排除しないと貯蓄できる水量が少なくなる。T 総合制御所にも調整池式発電所が存在するがこのルールは再利用できなかつた。その理由は、T 総合制御所の調整池は人工的に作られたものであり、土砂のたまりにくい構造をしていたためである。そのため土砂排除のために発電業務を停止するということはなかつた。

現在これらのルールは人手で再利用可能、不可能の判別を行っているが、これをシステムが行う、或いは支援することが最終的な目標である。ルール表現だけから判断できないものについて、システムが判断できるためには何が必要なのだろうか。

一つ目の例では、ドメインオントロジーにない用語に関しての認識に差があったことが問題である。これを解消するためにはルールから事実に関するコンテキストを排除することが考えられる。ルールインスタンスとしてはあくまで対象設備と対象作業のみが表現中に存在するものとして再定義する。そして他の様々なコンテキストをそのルールが適用されるための制約として位置づけする。例えば図5のように一つのルールからの正当性しか与えていなかったものを、山間部といったプレイスコテキストを付加し、全てにおいて正当化されればそのルールはそのタスクドメインで利用可能と判断させることができるのではないだろうか。

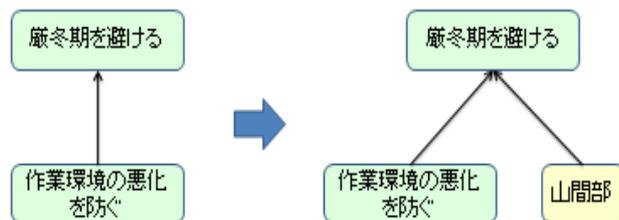


図5 事実要因などのコンテキストの追加

二つ目の例では、設備オントロジーで調整池式発電所の分類を細かく設定することで解消可能である。調整池式発電所のサブクラスとして「自然調整池式発電所」と「人口調整池式発電所」を定義し、A 総合制御所の「調整池式発電所は土砂排除を行う」というルールは「自然調整池式発電所は土砂排除を行う」となり、ルール表現で再利用可能、不可能の判断が可能となる。

しかし、これらの対応策を行うことは、タスクドメインの文化や習慣を壊す恐れがある。人間系に必要な情報とシステム系に必要な情報が異なるのである。例えば調整池が自然か人工かはその環境下の人間にとっては全く不必要な情報である。今後は人間系とシステム系の双方が有益となるためにどのように知識体系化を進めていくか慎重に考える必要がある。

## 7. 結論と今後の課題

本稿ではオントロジーに基づく知識継承支援システムの再利用可能性を検証した。その結果、類似性の高いタスクドメイン間では、システムの広い範囲で部分的に再利用可能であることが分かった。ドメインオントロジー、ルールオントロジーの構築時間はもとのタスクドメインでの構築時間に比べて飛躍的に減少した。オントロジーが元来もつ再利用性が有効に働いたと言える。

しかし、再利用できる部分とできない部分の線引きは未だ大部分を人手に頼らざるを得ない。それを今後の研究でどれだけシステム側が支援できるまで成長させられるかが課題である。また、今回は非常に類似性の高いドメインでの再利用可能性の検証であったが、次は全く異なるタスクドメインを対象とすることで、より強い意味でオントロジーを利用した知識の継承方法の汎用性と有用性を示せることだろう。

### 参考文献

[石川 10] 石川達也, 小林圭堂, 岡部雅夫, 山口高平: オントロジーとルールベースシステムを利用した知識変換支援, 第 24 回人工知能学会全国大会, 2B2-4(2010)

[岡部 09] 岡部雅夫, 小林圭堂, 石川達也, 山口高平: 業務知識の組織的継承へのオントロジーおよび知識モデリングの活用, 情報システム学会, 第 5 回全国大会・研究発表大会(2009)

[Ishikawa 10] Tatsuya ISHIKAWA, Keido KOBAYASHI, Masao OKABE, and Takahira YAMAGUCHI: Support for Externalization of Intelligence Skill Using Ontology and Rule-based System, International Joint Conference on Knowledge-Based Software Engineering 2010, Kaunas University of Technology, pp.145-159 (2010)