

# オントロジーとルールベースシステム構築に基づく知識継承支援 Organizational knowledge transfer with ontologies and a rule-based system

小林 圭堂\*<sup>1</sup>  
Keido Kobayashi

竹田 百合恵\*<sup>1</sup>  
Yurie Takeda

吉岡 亜紀子\*<sup>1</sup>  
Akiko Yoshioka

岡部 雅夫\*<sup>1\*2</sup>  
Masao Okabe

柳澤 雅彦\*<sup>2</sup>  
Masahiko Yanagisawa

山崎 浩志\*<sup>2</sup>  
Hiroshi Yamazaki

山口 高平\*<sup>1</sup>  
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 how multi ontologies and a rule-based scheduling system support the knowledge transfer from human experts to novices. The multi ontologies include domain ontologies for scheduling processes and facilitates, and a rule ontology for several relationships among many rules. The case studie in TEPCO show us how good our methodology for knowledge transfer work.

## 1. はじめに

多くの企業で行われている OJT は、コストや時間をかけるのに見合った効果が上がっていない。企業内の知識共有によって生産性の向上を図ることを目的としたナレッジマネジメントが注目されている。しかし、現在のナレッジマネジメントは社内の文書管理や情報共有に留まっており、OJT の目的である知識や技術を伝達するプロセスそのものを支援する機能が実現していない。

本稿では、OJT において指導する人手により行われている、知識継承における知識の共有および新人への教育の部分を実験機で支援することを提案する。

## 2. システム設計

提案するシステムの全体図を以下の図 1 に示す。

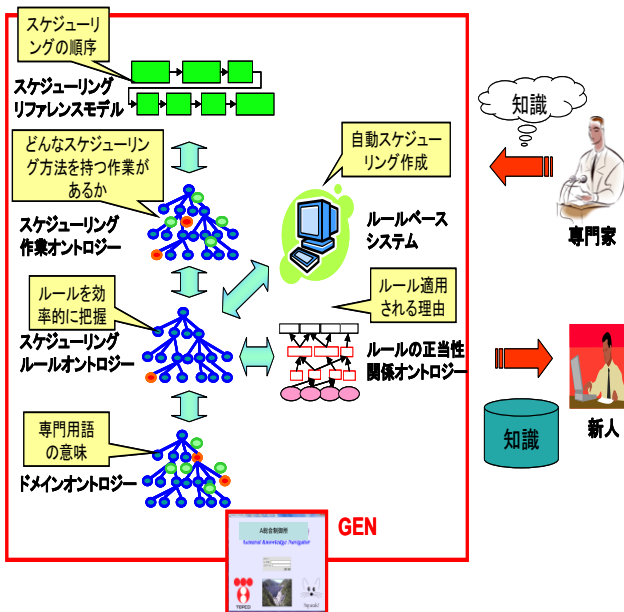


図1 システム設計

業務ルールに含まれる専門用語の意味を提供するドメインオントロジー、業務実行ルールを If 文で分類したスケジュールリングルールオントロジー、ルールが適用される理由を示したルールの正当性関係オントロジー、適用するルールの then 文の違いで作業を分類したスケジュールリング作業オントロジー、業務プロセスを示したスケジュールングリファレンスモデル、業務を自動実行するルールベースシステムの連携による効率的な知識継承支援を目指す。

## 3. モデルケースの概要

具体的には、A 電力会社・B 制御所での停止調整業務を1つのモデルケースとして、知識継承の問題に取り組んでいる。

B 制御所は 10 発電所の運転、各発電所内の送電線とつながる開閉器を制御しており、それらの発電所、送電線における各設備の点検のスケジュールを調整し、作成するのが停止調整業務である。そのスケジュールは様々なビジネスルールに従って作られている。今回はその中で、発電所ごとの各発電機の点検を年度レベルの粗い停止計画から、日にちレベルの詳細なスケジュールを作成する業務を対象とした。

### 3.1 研究の流れ

以下に、本研究プロジェクトの流れを示す。

- (1) 知識獲得・日本語で業務ルール記述
- (2) スケジュールリングに直接使用されるルールを日本語ルールベース (if-then 文形式) で作成
- (3) オントロジーとルールベースシステム構築
- (4) GEN の評価実験 (知識獲得・解答方法が違う4人が同じスケジュールリング作成問題を解いた)
- (5) 評価をもとにオントロジーの再構築、モデルを新構築

## 4. ルールベースシステム

スケジュールリングルールをもとに、それを Prolog へ変換して、自動的に停止スケジュール案を作成する。それによって、業務遂行者に対しての業務支援、ルールの検証による専門家の知識の外在化支援が可能である。また、新人にとっては、テストケースに対して、自分で作成した結果と比較することによるルール

の確認、ルールの適用の仕方などといった知識の統合化の支援につながると考えられる。

#### 4.1 Prolog ルールベースへの変換

日本語ルールベースから、Prolog ルールベースへの変換を手作業で行った。自動推論を可能にする機械が読み取り可能なルールベースを構築するためには、人間にとっては「常識」とされるような知識(カレンダー制約、土日は休日等)を追加する必要があり、ルール数は 90 から 360 に増えた。

#### 4.2 ルール緩和

作成した Prolog ルールベースをもとに、停止スケジューリング案を作成した。ルールの矛盾やルールの制約がきついため、解が出ない問題があり、専門家へインタビューをして、ルールの優先順位を決めるなどのルール緩和を行った。

これを繰り返し、ルールの緩和・修正・追加等のルールベースシステムの改善を行うことで、スケジューリングに必要な知識が外在化され、結果、自動スケジューリングが可能になった。

#### 4.3 ルールベースシステムの実行過程

以下に、ルールベースシステムの入力と出力画面を示す。

作業名	作業日数	前回実施日
作業A	1	
作業B	1	
作業C	1	
作業D	1	19
作業E	1	2008/3
作業F	1	2007/11

図2 ルールベースシステムの入力画面

除外ルール	作業日程
R発	
R1G	
Y発	
Y1G	
K発	10
K1G	19
K2G	19
K3G	19

図3 ルールベースシステムの出力画面

まず、対象年度に行う点検作業と、その点検作業の前回点検日などといった必要なデータを入力する。次に、それを Prolog 処理系で実行して停止スケジュール案を作成する。最後に、結果を見やすくするために、実際の業務と同様な視覚化を行った。

### 5. オントロジー構築

#### 5.1 ドメインオントロジー構築

日本語で記述された業務ルール、日本語ルールベース(if-then 式)に含まれる概念を対象に、設備オントロジーと作業オントロジーを構築した。双方とも B 制御所で幅広く使われている一般知識として、現場において概念体系が確立されており、それを概念階層として取り入れた。

新人にとって、ドメインオントロジーは業務ルールに含まれる専門用語の意味の理解支援に役立つ。

#### 5.2 ルールオントロジー構築

ルールオントロジーは新人が異なる多くの種類の業務ルールを効率的に把握するために構築した。ルール正当性関係オントロジーでは、ルールがなぜ適用されるのかを示し、スケジューリングルールオントロジーでは、スケジューリングルール全体の中で各ルールがどこに位置づけられるかを提供する。

##### 5.2.1 ルールの正当性関係オントロジー

はじめの知識獲得時で得られたルールでは、停止調整の理由、スケジューリングに直接使えるルール(以降、スケジューリングルールと示す)の正当性を示すルールが含まれていた。そこで正当性ルールは省き、スケジューリングルールを選別した。

しかし、実際の業務を行っていく上で、スケジューリングルールだけでは、応用力がきかない。浅い知識だけでは、そのルールがその状況で使われる正当性が言及されていないので、状況が少し変わると異なった対処方法が想起できないからである。よってその正当性を言及する深い知識を用意することにより、浅い知識から深い知識をたどることで浅い知識の理解を深め、また逆向きに深い知識から浅い知識をたどることで、状況が少し変わったときでも浅い知識を想起でき、対処できるようになると考えた。

ルール間の正当性関係オントロジーの構築にあたり、まずスケジューリングルールに関して、正当性ルールの書き出しを行った。その結果、スケジューリングルール自身も正当性ルールになったり、違うルールでも同じ理由に起因するルールが存在したりした。ルール間の正当性関係を理解しやすくするために視覚化を行った。

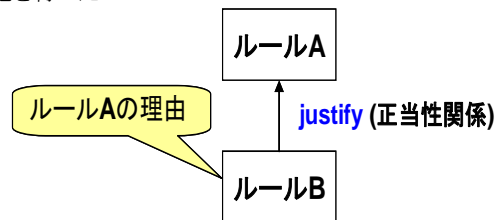


図4 ルール正当性関係の視覚化方法

図 4 はルール A の理由となるルール B (正当性ルール) が存在したとき、ルール A と B は正当性関係であると示している。総数 79 個のスケジューリングルールに関して、正当性ルールを結びつけルール間の正当性関係オントロジーを構築した。

##### 5.2.2 スケジューリングルールオントロジー

ドメインオントロジー構築により、ルールに含まれる作業、設備名称の意味を提供することで、ルール 1 個 1 個の理解支援につながった。しかし、業務を行っていく上では、個々のルールを知ったとしても、それらをつなげて使わないことには意味をなさない。そこで、ルールの正当性関係オントロジーでは業務ルールをスケジューリングルールと正当性ルールに分け、結びつけることでスケジューリングルールが適用される理由を示し、業務理解をより深める支援とした。ここでは、総数 79 個のスケジューリングルールを体系化することで、業務を実行していく際の支援を行いたいと考える。

初期の段階では if-then 文形式で書かれたスケジューリングルールの if 文、条件式で分類することをあまり意識せず、スケジューリングルールの内容自体で大まかに分類している。その結果、業務を実行していく支援としては不十分な状態であった。

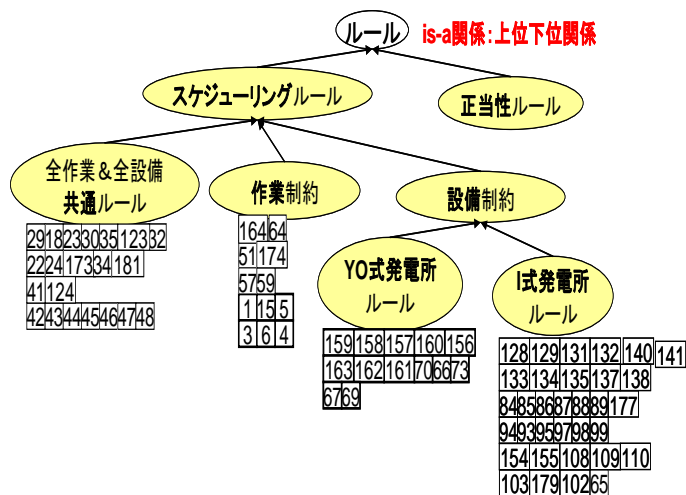


図5 初期のスケジューリングルールオントロジー

### 5.3 スケジューリング作業オントロジー構築

スケジューリング作業オントロジーは作業がどのようなルールを使って、スケジューリングされていくかを示すために構築した。作業オントロジーは作業自体の内容で概念定義をしたが、こちらは作業のスケジューリング方法に注目した分類となっている。

個々の作業をスケジューリングする際に使うルールの then 文の形式によって大きく実施時期指定、作業周期指定、他作業日程依存作業の 3 つに分類した。しかし、このオントロジーはスケジューリング作業として個別工程の作業しか考慮しておらず、作業日数 1+7n の作業、A 発電所の作業といった全行程に関する概念設定が抜けていた。

## 6. システム評価実験

これまでのルールベースシステム、ドメインオントロジー、ルールオントロジー、スケジューリング作業オントロジーを組み込んだ GEN[岩間 07]を用いてシステムの評価実験を行った。今回はこの中でオントロジーが新人の知識獲得にどのような効果があるのかの評価を主に行う。ここでのスケジューリングルールオントロジーとスケジューリング作業オントロジーはどちらも概念定義が不十分で、2つのオントロジー間の連携は欠けていた。

### 6.1 評価実験の方法

被験者は 4 人で行い、被験者 A と B は従来の OJT による知識獲得、被験者 C はある程度体系化された知識をもとに知識獲得が行われた。そして、被験者 D は新人として知識のない状態で GEN を使い、新人の立場からオントロジーがどのように知識獲得に寄与したか、また問題点・改善点の指摘を行った。

評価実験手順を述べる。

実施期間は 2008 年 10 月から 12 月にかけての約 2 ヶ月間

- (1) 被験者 D が GEN を用いて約 1 ヶ月間停止調整業務知識を独習した。
- (2) 被験者 D が GEN のオントロジーを用いながら、解答付のスケジューリング作成問題を解き、作成した自身のスケジューリングと解答を照らし合わせ、異なった部分について学習を深めた。
- (3) 4 人全員でスケジューリング作成評価問題(2 年分、計 130 問)をハンドシミュレーションにより解いた。このとき、被験者 A と D は GEN のオントロジーを用いて解答、被験者 B と C は GEN を用いずに解答した。
- (4) 結果を評価した。

## 6.2 評価実験の結果

評価実験の結果(総学習時間、問題解答時間、誤答数、正答率)を以下の表 1 に示す。

表 1 実験結果

被験者	A	B	C	D
知識獲得方法	OJT	OJT	体系化された知識	GEN
解答方法(GEN を)	用いる	用いない	用いない	用いる
総学習時間(h)	220	222	138	55
解答時間(M)	330	255	255	320
正答率(%)	90	92	96	88

## 6.3 考察

### 6.3.1 オントロジーの評価

表 1 より GEN での学習者が OJT 組の約 4 分の 1 の学習時間で正答率 88%とある程度業務をこなせたことで、業務知識をオントロジーにより体系化したことは知識継承支援に有用であったと言える。

以下では、被験者 D によるオントロジーの評価について述べる。

- ドメインオントロジー
  - 設備オントロジーにより、スケジューリング作業に関係している設備と上下関係を体系的に学習することができ、スケジューリングの実行理解に役立った。
  - 作業オントロジーは、作業内容に関する体系化が詳細にされていなかったため、理解するには不十分であった。
- スケジューリング作業オントロジー
  - 作業の性質や特性を知ることができたため、作業の全体像を把握するには非常に有用であった。
- ルールオントロジー
  - スケジューリングルールオントロジーは、ルールにどんなsy 類があるのかを大まかに理解できたが、スケジューリングをしていく上では役に立たなかった。
  - ルールの正当性関係オントロジーは、ルールを適用した理由を知りたい場合に、スケジューリングルールから正当性ルールをたどっていくことで、ルールを体系的に理解できた。しかし、業務目標・制約が同じであるスケジューリングルールが理解できる見せ方も欲しかった。
- オントロジーでカバーできていない知識
  - 業務プロセスに関する知識が欠如しているため、理解不十分な部分があった。

### 6.3.2 スケジューリングリファレンスモデルの新構築

GEN にはどうルールを適用していくかのプロセスがなかった。評価実験において、被験者 D は問題で出された順に発電所ごとにスケジューリングを行っていたのに対し、GEN を用いずにスケジューリングを作成した被験者 B、C は、専門家からスケジューリングをする際は作業ごとに入れていき、その順番もある程度決まっていることを知識として得ていて、それを用いて作成を行っていた。

その知識をもとに、どのように作業をスケジューリングしていく順番が決められているのかを考えた。すると 3 つの視点が浮かび上がった。

- ① 作業の規模順
- ② 作業の実施時期順
- ③ 作業 B が作業 A の日程に依存

これら 3 つの視点を考慮し、スケジューリングリファレンスモデルを構築した。以下の図 5 に示す。

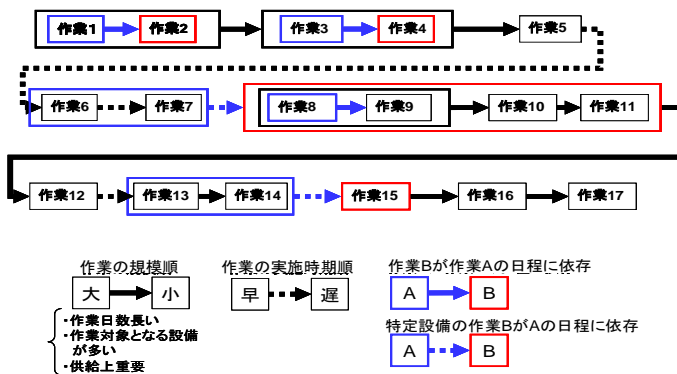


図6 スケジューリングリファレンスモデル

業務プロセスと同時にそのプロセスとなる理由も理解できる図となっている。今回は作業をこのような順番で並べたが、状況が変わったとしても 3 つの視点を考慮することで臨機応変に順番を組み直すことが可能である。

またこのスケジューリングリファレンスモデルにより、作業 1 の日程を決めるスケジューリングルールは作業 2 のルールより先に適用される、つまり優先度が高くなっているということができ、個別工程作業(作業 1~17)間のルールの優先順位がついたことになる。

### 6.3.3 スケジューリングルールオントロジーの再構築

初期のスケジューリングルールオントロジーはルールにどんな種類があるのかを大まかに理解できたが、スケジューリングをしていく上では役に立たなかった。業務実行支援に役立つようにするために、構築する際はスケジューリングルールの If 文(条件式)を細かく分類していくことを意識した。

まず、If 文に出てくる作業が、全工程作業か個別工程作業かで分類した。ここでいう個別工程作業は図 6 で示した作業 1~17 までの個々の作業、全工程作業は作業日数  $1+7n$  の作業、A 発電所の作業といった全工程で考慮される作業のことである。

If 文に出てくる設備が、全設備か個別設備かで分類することも可能であったが、スケジューリングしていく際は個別工程作業ごとに入れていくため、ルールを参照しやすいように、今回は作業で分類した。

次に If 全工程作業を次にくる条件式が、作業日数、発電所、日程の集合 L に関するもの、複数候補日程がある場合等のルールが適用される一番の条件を考慮して分類し、同様に次に大事な条件はと繰り返すことで、細かく全工程作業に関するルールの分類を行った。

If 個別工程作業ではまず作業 1~17 で個々に分類し、個々の作業の中でさらに発電所や時期によって細かくルールを分類した。

これによって、初期のオントロジーとは違い、If 文の条件式で分類しているため、個々のルールを適用する場面が明確になり、スケジューリング実行支援に役立つと思われる。

さらにこのオントロジーにより、ルールの優先度も明確になった。基本的に下位概念のルールは上位概念のルールの条件式に新たな条件文を加えたもののため、優先度が高い。また個別工程作業に関するルールのほうが全工程作業に関するルールよりも適用する場面がピンポイントになるため、優先度が高い。この 2 つの概念間の関係を <If 個別工程作業> override <If 全工程作業> と override で結んだ。以下に再構築したスケジューリングルールオントロジーの一部を示す。

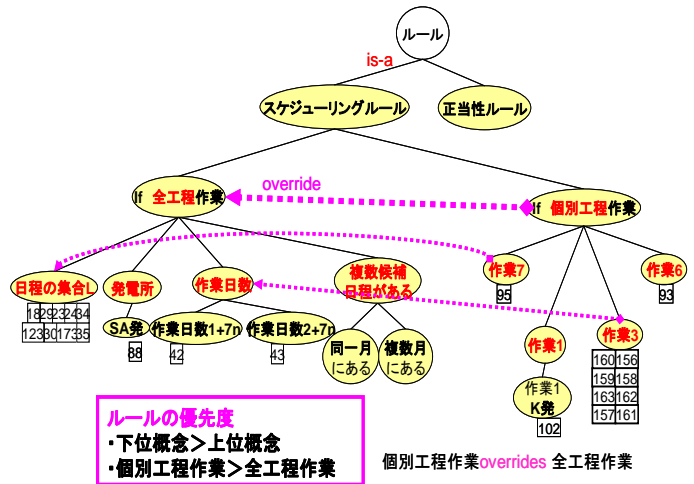


図7 スケジューリングルールオントロジー

実際にスケジューリングをする際に衝突してどちらかのルールを選ぶ必要がある状況になる概念同士を override で結ぶことで、全工程作業で一般的に適用されるルールではなく、個別工程作業の特別なルールを適用する場面を示し、業務実行支援に役立つと考える。

## 7. おわりに

本稿では、オントロジーとルールベースシステムの構築による知識継承支援を提案した。構築したオントロジーとルールベースシステムを組み込んだ GEN の評価実験から、GEN での学習者が OJT 組の約 4 分の 1 の学習時間である程度業務をこなせたことで、業務知識をオントロジーにより体系化したことは知識継承支援に有用であったと言える。さらに評価をもとに、オントロジーの改善を行い、よりよい知識継承支援の仕組みを構築することができた。また、オントロジーは知識継承支援だけでなく、ルールベースの継続的発展、現場と経営の橋渡しとして活用できるとも考えている。しかし、改善したシステムの評価はまだ行われておらず、もう一度評価実験を行う必要があると考えている。

また、本研究で構築したオントロジーとルールベースは全て手作業で作成した。どちらも作成するまでのドメイン知識の獲得に苦労した。費用対効果ということを考えると、いかに効率よく知識を獲得するかといった、知識獲得の方法論についても検討すべきであると言える。

## 参考文献

[吉岡 07] 吉岡亜紀子, 大平昌弘, 飯島正, 山口高平, 山崎浩志, 柳沢雅彦, 岡部雅夫: オントロジーによる知識継承とスケジューリングの支援, 第 21 回人工知能学会全国大会, 1B1-5.

[岩間 07] 岩間貴史, 立花浩, 山崎浩志, 岡部雅夫, 黒川利明, 小林圭堂, 加藤美徳, 吉岡亜紀子, 山口高平: 業務知識の組織的蓄積・活用を支援するオントロジーに対する一考察, 情報システム学会第3回研究発表大会, D1-1.

[小林 08] 小林圭堂, 加藤美徳, 吉岡亜紀子, 山口高平: 知識継承における外在化支援のための業務ルールとドメインオントロジーの構築, 第 22 回人工知能学会全国大会, 3D3-2.

[Okabe 08] Okabe, M., Yamazaki, H., Yanagisawa, M., Kobayashi, K., Yoshioka, A., Yamaguchi, T.: Organizational Knowledge Transfer of Intelligence Skill Using Ontologies and a Rule-Based System, The 7th Practical Aspects of Knowledge Management, Yokohama Japan