

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

Use of Ontologies and Knowledge Modeling for Organizational Knowledge Transfer

岡部雅夫^{†‡} 小林圭堂[‡] 石川達也[‡] 山口高平[‡]
 Masao Okabe^{†‡} Keido Kobayashi[‡] Tatuya Ishikawa[‡] Takahira Yamaguchi[‡]

[†] 東京電力株式会社 システム企画部

[‡] 慶應義塾大学 理工学部

[†] Corporate Systems Department, Tokyo Electric Power Company.

[‡] Faculty of Science and Technology, Keio University

要旨

最近の高度に自動化・統合化されている製造現場においては、様々な状況に応じて知識を適切に論理的に組み合わせる能力が求められる「知的熟練」の重要性が高まっているが、その次世代への継承が大きな問題となっている。本稿においては、「知的熟練」の特質を踏まえ、オントロジーを活用した「知的熟練」の継承を提案する。初心者には熟練者が自らの知的熟練を表出化したルールオントロジーとドメインオントロジーをルールベースシステムを活用しつつ内在化する。東京電力における試行に対する評価により、その有効性が確認されたが、一方で、業務プロセスに関する情報の必要性も明らかになった。それを踏まえ、より統合的な知識モデリングへの拡張を検討する。

1. はじめに

組織の合理化に伴いOJTによる技術・技能の継承が困難になりつつある中、ベテラン技術者の大量退職期を迎え、組織に代々蓄積されてきた技術・技能の継承が大きな問題となっている。その中で、最近の高度に自動化・統合化された製造現場においては、高度な金型の作成技能等の所謂「匠的熟練」に代わり、「知的熟練」と呼ばれる技術・技能の重要性が指摘されている [1]。「知的熟練」の本質は、「匠的熟練」とは異なり、膨大な知識の中から、様々な状況に応じて必要な知識を適切に論理的に組み合わせることにあり、従って、その継承には知識を体系化するオントロジーが有効である。本論文においては、オントロジーとルールベースシステムによる「知的熟練」の組織的継承の支援を提案するとともに、その中間評価を踏まえた拡張の方向性について述べる。

2. 知的熟練の組織的継承支援の枠組み

2.1. ルールオントロジーとドメインオントロジー

オントロジーは“概念化の仕様” [2]として定義され、より一般的には、語彙とその語彙の示す概念を規定する意味的関連からなるものとして捉えられるが、本稿においては人間の理解の支援という観点から、MIT プロセスハンドブック [3]のように、語彙ではなく自然言語による記述とその間の意味的関連からなるものも含め幅広くオントロジーとして捉える。その上で、図1に示すように、ドメインオントロジー、ルールオントロジーを総合的に用い、さらに、ルールベースシステムも組み合わせ、熟練者による知的熟練の表出化、および、初心者によるその内在化支援することを提案する。ここで、ドメインオントロジーは、対象業務ドメインを構成する概念の体系化およびそれに対する語彙の標準化からなり、これは知的熟練の表出化において、その記述の標準化をはかり、属人性を排除するためのものである。また、筆者らは、熟練者の知的熟練を表出化し、整理することにより、多くの場合、自然言語で記述で

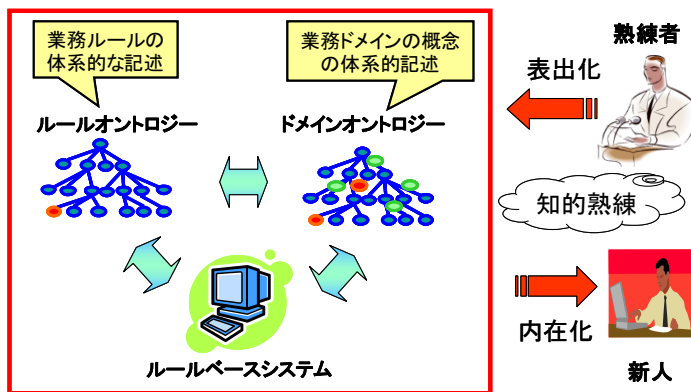


図1 提案の全体像

きる比較的小さな粒度の単純な業務ルールに分割されると考えている。それらの業務ルール間に意味的関連を導入し、連結化したものが、ルールオントロジーであり、表出化された知的熟練全体の理解のために有効であると考えている。ルールオントロジーの意味的関連において、特に重要なのは、正当性関係である。ここで、正当性関係とはあるルールとそのルールにより正当性が説明されるルールとの関係で、相対的に、説明するルールを深いルール、説明されるルールを浅いルールと呼ぶことにする。正当性関係は階層化し、最も深いルールは業務の目標、基礎的かつ客観的な事実等になる。この関係をたどることにより、状況の変化により業務の目標に変化が生じた場合でも、それに応じて、変更すべきルールを理解し、また、把握することが容易になる。また、初心者がこれらのオントロジーを内在化することを支援するために、ルールオントロジーの最も浅いルールを実行可能形式に変換したルールベースシステムを導入する。これは、また、熟練者が自らはOJTにより獲得した知的熟練を適切に表出化することの支援にも利用される。

3. モデルケース

3.1. モデルケースの概要

本提案の有効性を確認するため、東京電力の水力発電所の運転・保守を掌るある事業所において、知的熟練を要する典型的な業務である「停止調整業」に本提案を試験適用し評価をした。停止調整業務とは当該事業所が管理する水力発電所の停止を要する点検・修理の主として年間スケジュール（以下、停止スケジュール）を、発電に供されずに放流される水量が最小になるよう作成する業務である。ただし、そこには様々な制約条件があり、かつ、それらの制約条件は必ずしも絶対的なものではなく状況に応じて緩和する必要があり、そのため高度な知的熟練が求められる。本研究プロジェクトのために開発したオントロジー・リポジトリ GEN[4]に停止調整業務のルールオントロジー、ドメインオントロジーを登録し、ルールベースシステムとして GEN 上にスケジュールリング・サブシステムを構築した。

3.2. ルールオントロジー

筆者らが熟練者からヒアリングした内容を整理した結果、その内容は134個の単独で意味をなし得るレベルの単純な業務ルールに分解された。その内、90個が停止作業のスケジュールリングに直接使われる「最も浅いルール」であった。残りの44個は「最も浅いルール」の正当性を説明する「深いルール」であるが、その中で、「最も深いルール」は18個あり、その内、12個は当該事業所の業務目標と直接対応するのルールであり、残り6個は自然科学的事実を表すルールであった。

3.3. ドメインオントロジー

次に、業務ルールを構成する専門用語を基にドメインオントロジーを構築した。水力発電設備の停止作業のスケジュール作成という対象業務の性格から、ドメインオントロジーの主たるものは、停止作業に関するものと、設備に関するものとなった。以下、それぞれを、作業オントロジーと設備オントロジーと呼ぶことにする。

作業オントロジーに関しては、本来は作業を実施するうえで必要な具体的実施事項・手順等の情報も保持すべきものであるが、そこまでオントロジー化することは本試行の範囲を大きく超えることとなるため、本試行においては、各作業とその作業に適用される業務ルール間の関係を保持するに留め、設備オントロジーと同様に、ルールオントロジーとの間に、作業と作業のスケジュール化に適用される業務ルールとの関係を導入した。

また、設備オントロジーに関しては、東京電力が従前から保有していた設備分類の体系を活かしつつ、停止作業のスケジュールを作成する上で必要となる情報を体系化した。作業オントロジーと同様に、ルールオントロジーとの間に、設備とその設備の停止作業のスケジュール化に適用される業務ルールとの関係を導入した。

3.4. スケジューリング・サブシステム

スケジューリング・サブシステムは、ルールオントロジーの134個の業務ルールの中の「最も浅いルール」90個をGEN上の推論器で実行可能な形式に変換した。この際、オブジェクト指向の特徴を活かし、業務ルール間の意味的關係「特殊化」「詳細化」をそのまま解釈し実行できるようにした。これにより、人間にとって理解および管理しやすい業務ルールの体系を、そのままルールベースに持ち込むことが可能になった。

また、ルールの制約緩和に関しては、様々な状況で必要となった。それぞれの状況に対して緩和ルールを決定することは組み合わせの数が膨大になり現実的ではないため、各ルールに優先順位番号を与え、解が存在しない場合は、優先順位番号の低いものから緩和することとした。熟練者が、様々なケースに対し、熟練者が適切と考える解が得られるよう、各ルールの優先順位番号を試行錯誤により与えた結果、ほとんどの場合に熟練者が適切と考える解が得られる優先順位番号を与えることができた。

4. 評価実験

4.1. 評価実験の方法

評価実験は、オントロジーやスケジューリング・サブシステムが初心者の業務知識の内在化にどの程度寄与するかという観点で行った。実験の被験者は4人で、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は初心者として知識のない状態でGENを使い、初心者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。実験の実施期間は2ヶ月で、次のステップで行なった。

- (1) 被験者DがGENを用いて約1カ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、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GENのスケジューリング・サブシステムを用いずに解いた。被験者AとDはGENのオントロジーを用いて解答し、被験者BとCはGENを用いずに解答した。

4.2. 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。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。

ただし、被験者Dの誤答には、利用したオントロジーに起因する特徴が見られた。制約を

完全に満たす解が存在しない場合、優先順位の低いルールを緩和して改めてスケジュールを作成することになるが、被験者Dは緩和すべきではないルールを緩和し、結果して作成されたスケジュールが誤っている部分があった。これは、手戻りが少なくなるようなスケジュール化の順番に関する情報がGENには与えられていなかったため、大きな手戻りが発生し、結果として、緩和すべきではないルールを緩和してしまったことによる。実際、被験者Dは、今回の実験に関し、作業のスケジュール順等の業務プロセスに関する知識が得られないため、スケジュール作成において困難があったという指摘をした。

表1 実験結果

被験者	A	B	C	D
知識獲得・内在化	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

4.3. 評価実験の結果への対処

評価実験から明らかになった問題点に対処するために、作業のスケジュール化の順番を示すスケジューリング・リファレンスモデルを構築した。4.1で述べたように、本業務は様々な制約のもとで発電に供さずに放流する水量が最小になるよう停止スケジュールを作成するものである。従って、発電に供さずに放流する水量に対して影響の大きい作業から優先的にスケジュール化をしていくことが基本となる。ただし、個別の事情によりスケジュールを決める必要がある一部の大規模作業や、また、他の作業のスケジュールに依存してスケジュールが決まる作業もある。それらを考慮し、各作業をスケジュール化の順番の観点から図2に示すような17種類の作業に分類し、それらの間に順序を定めた。

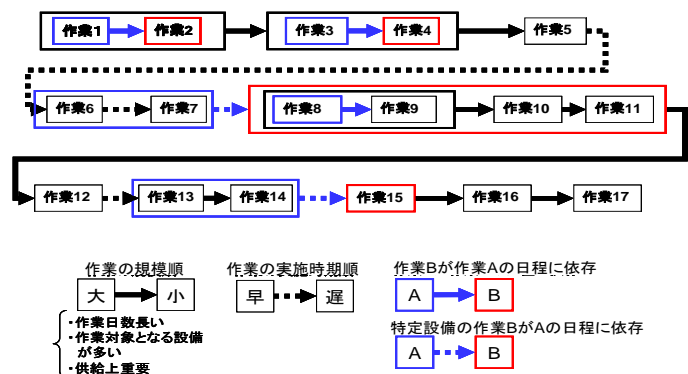


図2 スケジューリング・リファレンスモデル

5. 今後の課題

本提案においては、当初、業務プロセスは極力記述しない方針とした。業務プロセスは状況の変化に影響を受けやすく、状況の変化に追従して更新がなされないと、状況の変化への対応が困難となることを危惧したためである。しかし、評価実験の結果、初心者が誤りなく業務を遂行するためには、手順を示す業務プロセスの記述が必要であることが明らかとなり、そのため、スケジューリング・リファレンスモデルを改めて構築した。それにより初心者も誤りのない結果を得ることが期待されるが一方で、状況の変化に追従してこのリファレンスモデルがうまく更新されていくための手立ても必要となる。

スケジューリング・リファレンスモデルでの作業のスケジュール化の順番も広い意味では、業務ルールであり、ルールオントロジーの一部とも考えられる。スケジューリング・リファレンスモデルの順番に関するルールも、状況の変化に追従できるよう、深いルールによりその正当性を説明することが重要であると考えられる。また、その深いルールからさらに深いルールへ辿っていった場合、最終的には、ルールオントロジーでの洗い出された18個の最も深いルールに帰着することが想定される。今後は、スケジューリング・リファレンスモデルを初心者が利用しやすいいわゆる業務フロー図のような形式で見せるビューを提供する一方で、内容的にはルールオントロジーの一部として統合することを考えていきたい。実際に停止スケジュールを作成するに当たっては、スケジューリング・リファレンスモデルに従い、順番にスケジュール化対象作業を選択し、その作業に関して、必要に応じて対象設備の情報を設備オントロジーから得て、適用すべきルールオントロジー上のルールを決定し、スケジュール化をすることになる。このように複数のオントロジーが有機的に関連しつつ利用され、全体として必要な業務知識に関する知識モデリングを形成していくものと思われる。それらが、初心者には理解しやすく、かつ、熟練者には表出化しやすく、また、状況に変化に柔軟に追従できる構造を見極めていきたい。

参考文献

- [1] 中馬宏之: もの造り現場における問題発見・解決型熟練一極分化傾向の背景, 日本労働研究雑誌 特別号 No. 510, pp.4-14 (2002)
- [2] T. R. Gruber. A Translation Approach to Portable Ontology Specifications. Knowledge Acquisition, 1993. 5(2): p.199-220.
- [3] Malone, T. W., Crowston, K. and Herman, G. A.: Organizing Business Knowledge: The MIT Process Handbook, MIT press (2003)
- [4] 岩間貴史, 立花浩, 山崎浩志, 岡部雅夫, 黒川利明, 小林圭堂, 加藤美穂, 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.