

## 建築施工のプロダクト中心のプロセスモデリング

三浦 友徳<sup>†</sup> 橋本 正明<sup>‡</sup> 手越 義昭<sup>††</sup> 廣田 豊彦<sup>‡</sup> 片峯 恵一<sup>‡</sup>  
<sup>†</sup>九州工業大学大学院 情報工学研究科 <sup>‡</sup>九州工業大学 情報工学部  
〒 820-8502 福岡県飯塚市川津 680-4  
email: <sup>†</sup>miura@minnie.ai.kyutech.ac.jp  
<sup>†††</sup> 広島工業大学 環境学部

あらまし： ソフトウェアの生産性や信頼性、要求の獲得、業務の改革の観点から、ドメインの分析・モデリング、知識の体系的な整理のための言語の開発が望まれている。我々は、建築施工の分析とプロダクト中心のプロセスモデリングを行ない、建築物の構造とリソースの利用可能性から、部材の生成手順などのプリミティブなプロセス群とそれらの順序関係を導出することが可能な、建築施工に特化されたモデルを得た。このモデルに基づき、ドメイン知識を記述するための言語と建築施工のシミュレーションを行なうことでスケジュールを半自動生成するスケジューリング支援システムを開発中である。

キーワード： 概念モデル、仕様記述、プロダクト中心のプロセスモデリング、CASE、建築施工

### A Product-Centric Process Modeling of Building Construction

Tomonori MIURA<sup>†</sup> Masaaki HASHIMOTO<sup>‡</sup> Yoshiaki TEGOSHI<sup>††</sup>  
Toyohiko HIROTA<sup>‡</sup> Keiichi KATAMINE<sup>‡</sup>

<sup>††</sup>Faculty of Computer Science and Systems Engineering, Kyushu Institute of Technology  
680-4 Kawazu, Iizuka 820-8502, Fukuoka, Japan  
email: <sup>†</sup>miura@minnie.ai.kyutech.ac.jp

<sup>†††</sup>Faculty of Environmental Studies, Hiroshima Institute of Technology

Abstract: Domain analysis and modeling and language for domain knowledge organization are needed in terms of productivity and reliability in software development process, requirement capture and BPR(Business Process Reengineering). Therefore we have analyzed building construction domain and developed a product-centric process model of building construction. The model is useful to find good plan that shows order of all primitive processes that generate all parts of building from information about structure of the building and availability of resources. Now we are developing such a language based on the model and computer assisted scheduling system that can semi-automatically generate some alternatives of schedule by repetition of construction simulation.

Key words *Conceptual Model, Specification Description, Product-Centric Process Modeling, CASE, Building Construction*

# 1 はじめに

ソフトウェアが、現実の複雑な問題を扱い、ユーザの知的な支援を行なうためには、そのソフトウェアが、業務ドメインに固有の知識を保持し、ドメインに特化したファンクションを持ち、そのファンクションが業務概念を適切に操作できるように、業務の概念がよく整理されている必要がある。ソフトウェアが業務の概念モデルを持たない汎用のものであれば、小回りが利くという意味での使い勝手はよいが、ソフトウェアとユーザの間に大量のインタラクションを必要とするため、業務を大幅に効率化することができない。また、業務に特有のファンクションをユーザ自身が汎用のオペレーションへと翻訳せねばならず、そこに思考のよどみが発生してしまう。一方、業務に特化したオペレーションをもつソフトウェアであっても、適切なモデルを持たない場合には、ユーザの望むファンクションを実現できず、そのソフトウェアは役に立たない、ということになってしまう。

また、ソフトウェアへの要求を確実に獲得し、要求の変化に迅速に対応するというソフトウェアの生産性と信頼性の観点から、業務の専門家が直接要求仕様を記述できるような、ドメインに特化した知識記述言語を規定し、ソフトウェアを、知識ベース主導で開発することが有効である(図1)。そのことで、ドメインの専門家らが持つ暗黙知のいくらかを形式知に変換し、業務知識の整理や流通、業務の改善による企業競争力の強化のために活用することもできるようになる。

我々はこのような仕様記述言語を開発するために、いくつかの業務ドメインの分析とモデリングを行なっており、本研究では、建築施工ドメインを事例にとり、上記の内容を目標として分析・モデリングを行なっている。建築施工は、施工企業の顧客である施主の要求に基づき、建物の仕様を記述した、設計図書をもとに、具体的な建築物を構築する過程である。鉄筋コンクリートや鉄骨造のビルでは、施工に1年以上の期間を要することもあり、その施工計画や管理の良否が重要な問題となる。

良い施工計画とは、工期が短く、コストが安く、安全に配慮し、雨や資材遅れなどの不確定要素に対して変動が少ない計画である。従来、施工計画の立案や施工管理では、ネットワーク工程表にPERT, CPMなどの手法を組み合わせ、工期

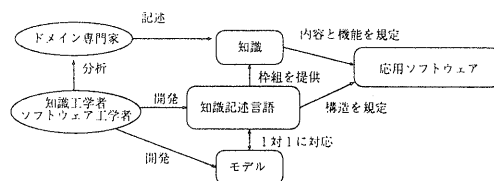


図1: 知識ベースソフトウェアの概念図

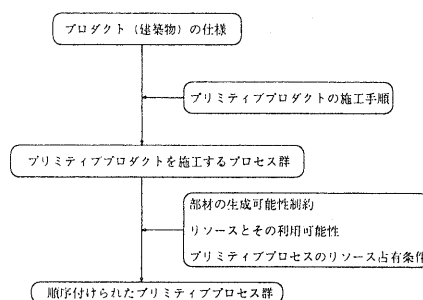


図2: プロダクト中心のモデル

やコストの最適化を図ってきた。しかしこれらの手法はプロジェクト管理一般に適用可能な、汎用の手法であり、建築物の仕様にまでさかのぼって最適解を探るには、人手で試行錯誤するしかなかった。そこで、プロダクトに関する知識からプロセスとそれらの間の制約を導出する、プロダクト中心のモデルを作成し、このモデル上で知識を記述することで、施工計画の立案の支援や、施工管理を行なう情報システムを開発するための研究を行なっている。

我々はこのような観点から、建築施工を事例にとり、建築施工に関する文献、施工日誌、施工の専門家へのインタビューなどを分析し、建築施工に特化したモデルを作成している。

本稿では、建築施工に関する文献や施工の専門会社へのインタビュー、施工日誌の分析を元に作成した概念モデルを示す。また、そのモデルを元に業務知識を記述するための枠組みとなるドメイン仕様記述言語の作成と、了解性の高い対話的仕様記述環境の開発を行なっているところであり、その概要を報告する。

## 2 建築施工プロセスの概念モデル

建築施工では、様々な要因を考慮したスケジュールが作られている。施工計画の立案には長年の経験が必要で、また、施工経験の積み重ねから得られた知見を元に、建物種別による計画のパターンが定着している。鉄筋コンクリート造建築物の、1階分の工程をパターン化したものを図3に示す。これらのパターンは、少ない労力で良い計画を立案するために抽象化されたガイドラインに過ぎず、それぞれの順序関係の根拠となる因果関係を知らなければ、鉄筋コンクリート造の建造物のさまざまなバリエーションに応用しながら良い施工計画を立案することはできない。図3であれば、柱や壁、床の鉄筋組みの後に設備配管が行なわれているが、これらの設備は部屋の用途によっても異なってくるので、これをパターンレベルでの工程管理で済ませてしまうと、設備の少ない階で作業をしない無駄な時間が発生することになる。

概念モデルは、これらの制約条件を、本質的な因果関係に分解し、整理して表現するものである。

分析の結果、建築施工においては、プロダクト、プロセス、リソースの3つの概念が重要であることが判った。プロダクトは、柱や壁のような部材、およびそれらを集約したものである。プロセスは、部材を生成するための鉄筋配筋やコンクリート打設といった個々の手順、およびそれらを集約したものであり、リソース割り付けの単位である。リソースは、プロセスの実行の際に占有される資源である。これらは相互に密接な関連を持っているが、特にプロセスの前後関係に着目して整理したところ、これらの順序は主に、次の4つの要因が複合したものであることが明らかとなった。

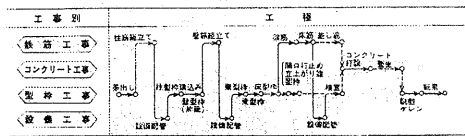


図3: 鉄筋コンクリート造1階分の工程パターン

部材単体の生成手順 例えば柱なら、鉄筋組立→

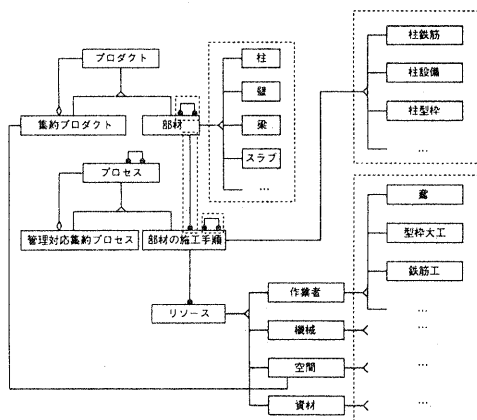


図4: 建築施工プロセスの概念モデル図

設備配管→型枠組立→コンクリート打設→…といった、工法によって決まる一定の施工順序がある。

**存在従属性に基づく順序** 部材は、他の部材と接続し、重量を伝えることで、自身の位置を維持している。この、部材間の重量支持に関する制約を、存在従属性と呼ぶ。この制約を満たすため、ある部材を生成する時点で、その部材を支持する部材が生成されており、十分な強度が確保されている必要がある。例えば、鉄筋コンクリート造の場合、2階のある柱を生成する際には、対応する1階の柱が生成されていなければならない。ただし、従属先の部材は、仕上げなどの工程まで終了している必要はなく、ある基準にしたがった強度が得られる時点で生成されたとみなす必要がある。

**リソース競合の解決** 例えば、一つの作業空間内には、一度に一つの作業グループしか入れないといった場合のように、同一のリソースを必要とする複数のプロセスが実行可能になった場合、プロセスに順序を設け、競合の解決を図らなければならない。

**外部イベント** 雨が降ったり、資材の到着が遅れたりした場合は、作業の延期や、計画の修正が必要になる。

これらの関係を OMT のオブジェクトモデル図として表したものが図4である。「部材」と「部材の施工手順」間のアソシエーションは、部材が複数の施工手順から生成されることを意味する。部材同士のアソシエーションは、部材の接続関係の意味する。部材の施工手順同士のア

ソシエーションは、施工手順の前後関係を意味する。部材の施工手順とリソースのアソシエーションは、施工手順が、リソースを占有することを意味する。この概念モデルは、計画立案後の工程表では、すべてのプロセスの間の順序としてだけ表現されている順序関係を、部材を生成するプロセスと、部材の存在従属性と、リソースの占有の間の関係として表現している。このモデル上で表現された制約知識に従えば、工法に変更があった場合、情報システムに建築物の構造を入力するだけで自動的に工程表を変更することができる。実際の施工計画は、これらの関係が組み合わされ、立案者の持つヒューリスティクスやプロジェクトの事情に応じて最適化され、複雑なものになっている。

### 3 ドメイン仕様記述と処理方式

ドメイン仕様である制約知識を表現する枠組みを整備すれば、知識の継承、流通が可能になるばかりでなく、その知識を組み込んだ情報システムにより、ユーザの知的な支援を行なうことができる。本研究では、前述の概念モデルに基づいて、制約知識の記述を可能にする言語を開発中である。また、情報分野の専門家でないユーザでも容易に制約知識が記述できるよう、GUIによる記述ツールを提供し、対象アプリケーションと動的に組み合わせて、アプリケーションの動作の記述と、記述結果に基づく機能をシームレスに接続することを検討している。具体的には、デザインパターンの1つである Type Object パターンを応用して、プロダクト、プロセス、リソースに特化したアソシエーションを持つ型システムと仕様エディタをコンポーネントとして整備し、建築施工ドメインのアプリケーションで利用できるようにする。

図4の概念モデルにおいて、点線で囲んだ部分は、建物の構造や施工業者のもつ技術、工法などによって、内容が変わってくる部分である。これらの要素の仕様を記述することによって、要求の変化に対応する。

本研究では、この概念モデルに基づく応用ソフトウェアの一例として、施工計画の立案を支援するスケジューリング支援ソフトウェアを開発中である。このソフトウェアは、仕様記述言語に基づく仕様を視覚的に記述することができる仕様エディタと、記述された仕様を処理するインタプリ

タを備える。建築物の設計データから部材を生成するプロセス群を導出し、施工プロセスの仕様に基づいた様々な条件でのシミュレーションを行なうものである。

仕様エディタ上では、次の要素の仕様記述を行なう。

- 部材の施工手順
- 各施工手順で必要となるリソース
- 部材の接続構造と存在従属性制約
- 外部イベントと状態遷移規則

また、施工条件として、建築物の設計データ、歩掛り、作業グループと機械の利用可能性表を入力する。歩掛りとは、あるプロセスを実施するときの作業員の人数や部材の規模とそれにかかる時間との関係である。作業グループは、他の現場との兼ね合いもあるし、休日も考慮しなければならない。また、大型機械がいつ使えるか、どのように使うかも重要な検討事項である。外部のイベントは、所定の確率でランダムに発生させる。また、歩掛りは、確率分布により幅をもたせる。これらの条件にしたがって、シミュレーションを繰り返し、人手で調整することを前提としたスケジューリングを立案する。

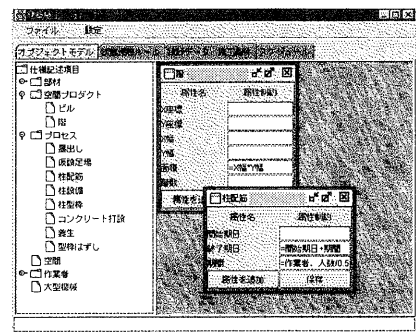


図5: 知識記述エディタの動作例

## 4 考察

### 4.1 業務分析の方法論

既存業務が、分析に基づいたものでない場合や、情報システムの導入が行なわれていない場合には、はじめは現状の業務を、より本質的と思わ

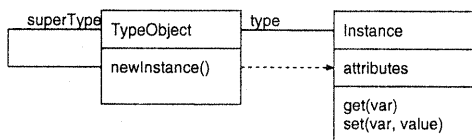


図 6: Type Object パターン

れる部分を中心に分析し、正確な見取り図を作成することが重要である。ただし、施工計画の立案のように、ほとんど人手で行われ、知識の処理に人間が大幅にかかわっているような業務では、人間の記憶力や繰り返し処理などの情報処理能力の限界のために、少ない労力で妥当な解を得るための施工のパターンのようなヒューリスティクスが使われている。情報システムを導入しての業務の改革を実現するためには、ヒューリスティクスを業務の本質的なルールの適用に近づけるための、業務の解体と再構築を行なう必要がある。また、現状分析モデルと提案モデルを区別することが重要である。業務の解体のためには、業務の概念間の制約を分類し抽象化する必要がある。

## 4.2 ドメイン特化 CASE の方法論

業務知識を記述する言語が規定されれば、その言語上で記述した仕様をソフトウェアに自動的に変換することで、ソフトウェアの生産性や信頼性を向上できる。仕様記述をソフトウェアに変換する方法として、対象実装言語のソースコードを生成し、コンパイルして実行する方法が一般的であるが、言語そのものをもつ構造を生かして GUI 上で仕様を記述し、その結果を直接解釈する方がユーザにとって記述しやすくと考え、仕様記述を直接解釈するための手法を検討している。

ドメインの概念が汎化階層を持つ場合、オブジェクト指向の考え方により、ソフトウェアを 2 つの部分に分けることができる。

- 抽象概念に対する操作を記述し、ソフトウェアのオペレーションを実現する部分
- 具体概念を定義したり、業務概念間のデータフローや状態遷移を規定する部分

後者は、Type Object パターンを用いてソフトウェアの実行時に動的に定義することができるから、この部分を実行時に記述し、ソフトウェアの動作に反映させる方法が考えられる。現在開発中

のスケジューリング支援システムは、この手法にもとづいた実装を試みている。

## 4.3 今後の課題

### 4.3.1 施工管理のためのプロセス集約

実際の施工計画では、スペース間の移動や準備のロスをなるべく少なくし、現場にきた作業員に一日の適正量を働いてもらうために、同種の作業を適切な範囲でひとまとめにし、連続して行なうように計画しなければならない。また、施工管理者が部材一つに対する個々の手順のレベルのプロセスをいちいち管理することは困難であり、これらの作業は半日または一日単位に集約し管理されているのが普通である。一方で情報システムの導入により、従来よりもきめ細かなプロセス管理ができる可能性があり、どのようなプロセス集約の方法が管理に適切であるかを検討し、その表現方法を検討しなければならない。

### 4.3.2 関係業務との協調とデータ交換

今回提案するシミュレーションによるスケジューリング支援システムは、自動的に建築物を施工するプロセス群を生成するために、建築物の設計データを電子的な形で入力する必要がある。我々の研究室では建築物の構造設計に特化した仕様記述言語 BDL(Building Description Language) が開発されたが、この言語上では、施工に必要な設備などのデータを十分に表現することはできない。BDL を拡張し、これらの情報を表現できるようにした上で、当研究室で開発中の IBDS(Integrated Building Design System, 建築物統合設計支援システム) に統合する可能性を探る。IBDS 上で、建築ドメイン内の他のサブドメインである、意匠設計や構造設計との情報の共有と業務の協調を実現することで、よりよい施工を実現することができる。

### 4.3.3 施工管理の情報システム

今回のモデルで取り上げなかった、施工プロセス間の情報の流れをモデルに取り込み、施工計画立案支援とは別の応用事例として、ワークフロー製品の開発に取り組みたい。

また、モデル上のデータを視覚化することにより、シミュレーション、あるいは施工の進捗管理などでの現場の把握を容易にすることができる。

さらに、施工計画の立案に際しては、さまざまな制約があるが、制約の種類によっては、施工の状況によって、必ずしも満たされている必要のないものもある。もちろん、制約である以上、施工期間が延びるとか、コストが高くなるとかいったペナルティがあるはずだが、計画のほかの部分との兼ね合いでどちらかを優先するといったことは起こりうる。このような制約の強弱を考慮し、現実的な計画を立案するためのヒューリスティクスが必要になるので、これを検討する。

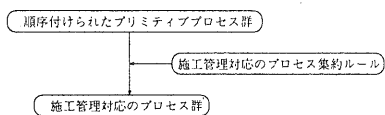


図 7: 施工管理対応の集約

さらに、施工のロボット化が試行されているが、建築施工のモデルを応用できる可能性があるので、これを検討したい。

## 5 まとめ

本稿では、建築施工のプロダクト中心のプロセスモデルを提案した。また、その概念モデルに基づいたドメイン仕様記述言語と、その仕様記述に基づくスケジューリング支援システムを開発しており、その概要を述べた。さらに、本研究での業務分析と CASE の経験から、それぞれの方法論を提案した。今後は、スケジューリング支援システムを実装する。また、施工管理のためのプロセス集約を検討し、集約のモデリングが出来たら、それを言語とスケジューリング支援システムに反映させたい。さらに、情報の流れをモデリングして、施工管理の情報システムを構築したい。

## 参 考 文 献

- 1) 廣田 豊彦, 橋本 正明, 長澤 勲: 応用ドメインに特化した概念モデル記述言語に関する一考察, 情報処理学会論文誌, Vol.36, No.5, pp.1151-1162(1995).
- 2) 加来田 裕和, 橋本 正明, 廣田 豊彦, 片峯 恵一, 手越 義昭. 建築施工プロセスを事例とした概念モデリング. 修士論文, 九州工業大学, 1995.
- 3) 新屋敷 泰史, 橋本 正明. 事例分析に基づく建築施工プロセスモデリングの研究. 修士論文, 九州工業大学, 1998.
- 4) 向 貴之, 橋本 正明. オブジェクト指向方法論による建築施工プロセスの事例分析. 卒業論文, 九州工業大学, 1998.
- 5) 工程計画研究会. 建築工程表の作成実務. 彰国社, 1998.
- 6) 建築施工実務研究会. イラストによる建築施工実務入門. 彰国社, 1993.
- 7) ジョン・ベネット著, 梅田 健次郎監訳, プロジェクト・マネジメント研究会訳. 建設プロジェクト組織. 鹿島出版会, 1994.
- 8) 戸田 保一, 飯島 淳一, 速水 治夫, 堀内 正博. ワークフロー - ビジネスプロセスの変革に向けて -. 日科技連出版社, 1998.
- 9) J. ランボー, M. プラハ, W. プレメラニ, F. エディ, W. ローレンセン. オブジェクト指向方法論 OMT. トップラン, 1992.
- 10) 戸松 豊和. 増補改訂 Java プログラムデザイン. ソフトバンク, 1998.