建築 CAD 図面データからのプロダクトモデル生成とその活用

非会員 伊藤 剛 (九州工業大学)
正員 廣田 豊彦 (九州産業大学)
非会員 橋本 正明 (九州工業大学)

Generation of Architectural Product Models from CAD Drawings and its Application

Takeshi Ito, Non-member (Kyushu Institute of Technology)
Toyohiko Hirota, Member (Kyushu Sangyo University)
Masaaki Hashimoto, Non-member (Kyushu Institute of Technology)

Object-oriented CAD tools which adopt an architectural object model have been provided in the field of architecture. By using such CAD tools, designers can easily design a building because they can use architectural objects as basic elements. However, at present, buildings are commonly designed using conventional drawing tools which exchange information only in a form of geometric data such as lines and arcs. We have developed a system which supports model conversion between these kinds of data. We propose a framework of knowledge description for generation of product models from architectural CAD drawings. We also experimented with application of the generated object model in a system for designing fire alarm system, which is a kind of object-oriented CAD.

キーワード: CAD 図面、オブジェクト指向 CAD、プロダクトモデル、ドメイン分析・モデリング、モデル変換

Keywords: CAD drawings, object-oriented CAD, product model, domain analysis and modeling, model conversion

1. はじめに

近年、さまざまな分野でコンピュータが利用され、さまざまな文書が電子化されるようになった。さらに、ネットワークの発達により、情報のやりとりの密度が濃くなっており、どの企業も顧客のニーズにすばやく対応できるように情報の流れをシームレスにすることを最大の課題としている。しかし、情報を単に電子化するだけでは、人とコンピュータとの間に大量のインタラクションを要するため、情報の構造化、分野ごとの標準化が不可欠となってくる。

建築業界では、柱、壁といった建築物の構成要素である部材をオブジェクトとして取り扱い、それらを用いて建築物を設計できるオブジェクト指向 CAD の開発や、建築 CALS(Commerce At Light Speed)の浸透に伴うデータ共有定義 IFC(Industry Foundation Classes)の規格化などで前述の問題に対応しようと努力が続けられている⁽¹⁾。

一方、現状の建築物設計は、従来型のドラフティング CAD で行い、その図面ファイルを介して業種間で情報交換するこ

とが一般的である。しかし、図面ファイルは基本的に図形データの集合にすぎず、建築物の情報を得るためには、人間の目に頼らざるをえない。したがって、建築物データの交換に多大なコストを要する。

本研究では、図面を単に電子化しただけの建築 CAD 図面データとオブジェクト指向 CAD の間を介するための支援環境の構築を目指している。一般にオブジェクト指向 CAD は内部モデルとしてオブジェクトモデルを持つが、それぞれ得意範囲や守備範囲が異なるので、その構造や意味も異なる。さまざまなオブジェクト指向 CAD への適用を可能にするために、建築 CAD 図面データからいったん、部材の属性や部材間の接続関係から構成される汎用の建築プロダクトモデルを生成し、それを適用するオブジェクト指向 CAD へモデル変換する。

図面から、部品を抽出する研究として図面認識、図面理解の分野でさまざまな報告があり⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾⁽⁵⁾、建築プロダクトモデル生成もその一種と位置づけられる。部品を抽出するためには、部品の大きさに関する知識、部品間の空間位相に関する知識、部品が線分などの図形でどのように描かれているか

に関する知識が必要である。しかし、これまでの研究では、それらを個別に記述できる枠組みがなかったため、記述者の頭の中ですべて図形に関する制約知識に変換され、しかも、抽出する手順を考えなくて記述しなくてはならなかった。したがって、対象そのものの知識を直接的、かつ、簡潔に記述できていなかった。これに対し、我々は、対象そのものに関する知識と描画図形の知識を分離した宣言的な知識記述の枠組と生成処理方式を提案する。

2章で建築 CAD ドメインの分析について述べる。3章で建築プロダクトモデルの生成のための知識記述の枠組、生成処理方式を述べる。4章でオブジェクト指向 CAD への適用実験により、プロダクトモデルの有用性、実用性を実証する。5章で本研究の考察を行う。

2. 建築 CAD ドメインの分析

2.1 建築物の構造設計の知識

我々は以前より、建築専門家自身による設計知識の記述による建築 CAD システムの自動生成について研究を行っており、建築構造設計に特化した部材中心の概念モデルをもつ仕様記述言語 BDL(Building Design Language)⁽⁶⁾を規定している。

建築物の設計者は、階ごとに、X、Y、それぞれの方向の基準線上に部材を配置し、そしてすでに配置されている部材に対して相対的に他の部材を配置しながら設計をすすめる。つまり、建築物は部材の組み合わせで構成され、部材間には接続関係が存在する。図 1 に東西大梁の BDL による記述例を示す。

BDL では、部材間の接続関係を PLUG-SOCKET 関係を用いて記述する。建築構造において、例えば、梁が存在するためには、それを支える柱が必要である。構造設計の専門家は、この部材間の存在従属性を意識する。その存在従属性を表す関係を、ある部材が存在するために必要な部材を指すものを PLUG、PLUG と対で依存される部材を指すものを SOCKET として記述する。また、後述する、属性従属性を表すときに他の部材の属性を参照するためにも用いられる。

部材の属性には、設計の際に変更する固有属性と、従属性がある。従属性は固有属性やすでに値が決まっている従属性から値が導き出される属性である。図 2 のように、基準線 X2 の位置属性を変更すると主柱 C2 や梁 G1 の位置属性も再計算されなければならない。部材の属性間に、このような接続関係に伴う属性従属性が存在する場合、これを計算式を用いて定義する。

また、BDL では、その部材がディスプレイ上でどのように描画されるかを、描画関数の引数に属性を代入して記述する。

このように、BDL は ER(Entity-Relationship)モデル⁽⁷⁾をベースに、Entity を部材、Relationship を方向性を持たせた PLUG-SOCKET 関係に特化し、さらに属性間の従属

```

PART 東西大梁
PLUG
  東側柱 into 主柱::西側梁;
  .....
END
SOCKET
  .... take .....
END
ATTRIBUTE
  幅 := default(300);
  東端X := 東側柱->西端X;
  西端X := ...;
  高さ := default(600);
  北端Y := (東側柱->北端Y
            + 東側柱->南端Y) / 2 + 幅 / 2;
  南端Y := ...;
  .....
END
DISPLAY
  polygon([ {西端X, 北端Y}, {東端X, 北端Y},
            {東端X, 南端Y}, {西端X, 南端Y}]);
END
ENDPART
  
```

図 1 BDL の記述例

Fig. 1. Example of BDL description.

図 2 属性従属性の例

Fig. 2. Example of attribute dependency.

性を記述できる言語となっている。BDL による部材の記述と、部材の生成、削除などを行う操作記述言語⁽⁸⁾から専門家の要求に添ったオブジェクト指向 CAD が自動生成される。

2.2 建築物と平面図の関係

前節で説明した BDL による記述を参考にして、図 3 のような格子状の典型的な建築 CAD 平面図の表す建築物そのものについてオブジェクト指向分析を行った。クラスとしては、「X 基準線」、「Y 基準線」、「主柱」、「東西壁」、「南北壁」、「東西ドア」、「南北ドア」、「東西窓」、「南北窓」が挙げられる。図 4 にクラス図を示す。

部材間の関係としては、例えば図 5 の立体図のように、主柱と東西壁の間には接続関係があり、東西壁と東西窓、東西ドアの間には包含関係がある。また、それらの関係に伴って、主柱の東側と東西壁の西側の面の位置が一致する、主柱

図 3 分析対象 CAD 図面

Fig. 3. Sample CAD drawing for analysis.

図 4 分析した部材のクラス図

Fig. 4. Class diagram of parts.

図 5 立体図

Fig. 5. Sample solid drawing.

の幅は東西壁の幅よりも大きい、東西壁の幅と東西窓、東西ドアの幅が一致するというような属性間の制約があることがわかる。

ドラフティング CAD による建築平面図作成の際、設計者は、柱や壁を表す四角などの図形や、窓やドアの種類を区別

図 6 図 5 の図面上での表記

Fig. 6. Drawing of Fig. 5.

図 7 壁の分割

Fig 7. Division of walls.

するためのシンボルを線分や円弧で描く。図 6 に、図 5 の CAD 図面上での表記を示す。建築平面図では、床より 1m ほど上部の水平面上に投影した部材の断面を描くきまりがあるため、主柱と壁の接続部分のように、図形の干渉部分に包絡線処理と呼ばれる処理が施され、図面ファイルには、分断された状態で線分が保存される。例えば、図 6 の主柱（太線部分）は、5 本の線分で表現されている。通常、CAD 図面は実際の寸法で描かれるため、例えば主柱の X 幅は、一番下の線分の長さと同じになる。さらに、前述の部材の接続に伴う属性間の制約は線分などの座標値間の制約になる。また基準線は、図 3 の図面の左方と下方に円とその中に文字が書かれている記号で表現されている。

3. 建築プロダクトモデルの生成

3.1 建築プロダクトモデル生成のための知識

2 章の分析より、プロダクトモデルにおける部材の属性は、生成の情報源が図形データであるため、座標値を表すものでなければならない。そして、プロダクトモデルを生成するための知識は次の 3 つに分類されることがわかった。

(1) 部材知識

個々の部材の大きさに関する知識。部材の属性の制約で表される。

(2) 部材間接続知識

部材同士の接続に伴う属性間の制約を表す知識。

(3) 描画図形知識

個々の部材が CAD 図面上でどのように描かれているかを表す知識。

図 8 プロダクトモデル生成のための部材のクラス図

Fig. 8. Modified class diagram to generate product model.

壁に関して、図 5 の立体図のように、ドアや窓との間に包含関係があり、それが平面上に写像されることによって複雑に描かれる。したがって、図 7 のように「東西壁部品」、「南北壁部品」という部品に分解することで、部材間の関係をすべて接続関係で表すことができる。最終的には、図 8 のようなクラス図となった。

3.2 知識記述例

東西壁部品に関する部材知識、主柱の東側と東西壁部品の西側の部材間接続知識、東西壁部品の描画図形知識の記述例について説明する。

(1) 東西壁部品に関する部材知識

部材知識では、部材の属性を参照し、後述する描画図形知識を起動し、属性間の制約や属性の取りうる値の範囲を記述する。図 9 は東西壁部品に関する部材知識であり、述語 `ref_attValue` は属性の参照をあらわす。属性の制約に関して、この例では、西端 X よりも東端 X の方が大きいこと、東西壁部品の壁厚が 200mm~600mm の値を取ることを示している。

(2) 主柱の東側と東西壁部材の部材間接続知識

部材間接続知識では、部材間の接続関係に伴う属性間の制約を記述する。図 10 は主柱の東側と東西壁部品の西側の接続条件を UML⁽⁹⁾の記法で表している。また、その Prolog による記述を示す。

(3) 東西壁部品の描画図形知識

東西壁部品は、図面上で図 11 のような 4 つの図形で描かれている。述語 `ew_parallel` は、図 11 の左上の描画図形の知識記述例である。図 9 のように、この描画図形知識に部材の属性を代入する形で用いられる。

```
part('東西壁部品', PartOfEWWall) :-
  ref_attValue(PartOfEWWall, '東側X', EastX),
  ref_attValue(PartOfEWWall, '西側X', WestX),
  ref_attValue(PartOfEWWall, '北側Y', NorthY),
  ref_attValue(PartOfEWWall, '南側Y', SouthY),
  ew_parallel(EastX, WestX, NorthY, SouthY),
  WestX < EastX,
  YDiam is NorthY - SouthY,
  200 <= YDiam,
  YDiam <= 600.
```

属性
描画図形知識
属性の制約

図 9 部材知識の記述例

Fig 9. Example of knowledge description regarding a part.

```
connection('主柱', Column, '西側', '東西壁部品', PartOfEWWall, '東側') :-
  ref_attValue(Column, '東側X', ColumnEastX),
  ref_attValue(Column, '北側Y', ColumnNorthY),
  ref_attValue(Column, '南側Y', ColumnSouthY),
  ref_attValue(PartOfEWWall, '西側X', PartOfEWWallWestX),
  ref_attValue(PartOfEWWall, '北側Y', PartOfEWWallNorthY),
  ref_attValue(PartOfEWWall, '南側Y', PartOfEWWallSouthY),
  ColumnEastX = EWWallWestX,
  EWWallNorthY <= ColumnNorthY,
  ColumnSouthY <= EWWallSouthY.
```

図 10 部材間接続知識の記述例

Fig. 10. Example of knowledge description regarding connection between parts.

```
ew_parallel(EastX, WestX, NorthY, SouthY) :-
  object('東西線分', NorthEWLine),
  object('東西線分', SouthEWLine),
  ref_attValue(NorthEWLine, 'Y', NorthY),
  ref_attValue(NorthEWLine, '東側X', EastX),
  ref_attValue(NorthEWLine, '西側X', NorthLineWestX),
  ref_attValue(SouthEWLine, 'Y', SouthY),
  ref_attValue(SouthEWLine, '西側X', WestX),
  SouthY < NorthY,
  NorthLineWestX <= West.
```

図 11 描画図形知識の記述例

Fig. 11. Example of knowledge description regarding drawn figure.

図 12 プロダクトモデルの生成の流れ
Fig 12. Flow of product model generation.

3.3 プロダクトモデルの生成の流れ

プロダクトモデル生成部は、図形オブジェクトデータから前節の知識記述を参照しながら、その知識に対応したプロダクトモデル生成する。図 12 にその概要を示す。

3.3.1 DXF ファイルからの図形データの抽出

DXF(Drawing eXchange Format)は、Autodesk 社が規定している CAD 図面のフォーマットである。現在、DXF は他社の CAD ツールでもサポートされており、業種間の建築物データ交換の媒体として主要な位置を占めている。

DXF は、線分や円弧などの基本図形の座標値などのデータを表すベクター型の図形フォーマットである。本研究では、DXF ファイルから線分などの図形の座標値を取り出し、図形オブジェクトデータとして保存し、それをもとに建築プロダクトモデルの生成を行っている。

3.3.2 建築プロダクトモデルの生成

推論を行う際、どの部材オブジェクトの生成から行うのが重要である。3.2 で述べたような性質より、基準線の交点上に存在する主柱から推論をはじめると図面全体を網羅できる。以下に、プロダクトモデル生成の手順を示す。

1. すべての基準線の交点に関して主柱の部材知識、描画図形知識の条件を満たすオブジェクトを生成し、これを初期プロダクトモデルとする。さらに部材オブジェクトを集合 N に入れる。
2. 集合 N から最初に一つの部材オブジェクトを取り出し、それを P とする。
3. P が属するクラス C_p の部材間接続知識を参照し、P と接続可能なプロダクトのクラス C_1 、 C_2 、...、 C_n を選出する。
4. クラス C_i と同じ役割を持つリンクがすでに P に対して生成されているときは、そのクラスを処理対象からはずす。
5. クラス C_i に対するリンクが生成されていない場合、 C_p と C_i の部材間接続知識に記載されている属性の制約を満たす部材オブジェクトを図形オブジェクトデータとそれまでに生成されているプロダクトモデルに関して探索する。

図 13 部材間接続知識の起動
Fig. 13. Calling connection knowledge.

図 14 生成部の出力結果
Fig. 14. Result of product model generation.

```
%部材オブジェクト
object(1, '壁接続部材', [27660.0, 27540.0, 29160.0, 29040.0, ...]);
object(2, '東西壁部品', [29325.0, 27660.0, 29160.0, 29040.0, ...]);
object(3, '主柱', [29475.0, 29325.0, 29175.0, 29025.0, ...]);
object(4, '東西壁部品', [29525.0, 29475.0, 29160.0, 29040.0, ...]);
object(5, '南北壁部品', [29460.0, 29340.0, 29025.0, 26775.0, ...]);
:

%部材間リンク
object_link(1, '壁接続部材', '西側', 2, '東西壁部品', '東側');
object_link(2, '東西壁部品', '西側', 3, '主柱', '東側');
object_link(3, '主柱', '西側', 4, '東西壁部品', '東側');
object_link(3, '主柱', '南側', 5, '南北壁部品', '北側');
:
```

図 15 プロダクトモデルの例
Fig. 15. Example of product model.

6. 部材オブジェクトの生成に成功した場合、そのオブジェクトをプロダクトモデルに追加するとともに、集合 N に入れる。さらに P との間のリンクを生成し、これもプロダクトモデルに追加する。すでに、プロダクトモデル内に存在してい

る場合は、P との間にリンクのみを生成する。失敗した場合は 3. に戻り、 C_i+1 について 4. 以下の処理を行う。

7. 3 で選び出したクラス $C_1, C_2, \dots, C_n$ の処理がすべて終わるまで 4~6 を反復する。

8. 集合 N から部材オブジェクトを一つ取り出して P とし、2 へ戻る。集合 N が空であれば処理を終了する。

上記の 5, 6 のプロセスを図 13 に示す。主柱の部材オブジェクトを集合 N から取り出した後、その主柱の東側の東西壁部品を探索し、部材オブジェクトとリンクを生成している例である。

図 14 に生成された部材オブジェクトを表示した結果を、図 15 にプロダクトモデルを Prolog ファクト形式で出力した結果を示す。

4. プロダクトモデル変換実験

4.1 実験対象のオブジェクト指向 CAD

建築設計は、意匠設計、構造設計、設備設計、積算の 4 つの業務に大別される。我々はこれらの業務を統合して管理、支援するシステム IBDS(Integrated Building Design Systems)の開発を行っており、3 章で説明した BDL から生成される構造設計 CAD は IBDS のサブセットである。現在、IBDS は、意匠設計の中の部屋配置設計に特化した仕様記述言語 SADL(Space Arrangement Design Language)⁽¹⁰⁾ で記述された意匠設計 CAD や BDL の制約を緩めた言語で記述された防災設備設計 CAD の機能を有している。本稿では、適用するオブジェクト指向 CAD として、その防災設備設計 CAD を選択した。防災設備設計 CAD は、ユーザが壁オブジェクトを配置し部屋を構成すると、その部屋に火災報知器が適切な位置に自動配置され、さらに火災報知器間の自動配線が行われるシステムである。

防災設備設計 CAD では、図 17 の右側のように壁オブジェクトによって閉回路を構成することにより、システムが部屋を認識し、前述の自動設計が可能となる。したがって、壁の端点が一致していなければならない。以下、防災設備設計 CAD 上での壁オブジェクトを防災東西壁、防災南北壁として説明をすすめる。

4.2 モデル変換の流れ

我々は、1 章で述べた建築物のデータ共有定義 IFC を BDL にモデル変換するシステムを試作している⁽¹¹⁾。本稿のモデル変換では、その方式を参考にした。モデル変換では、リンク先のオブジェクトの属性の参照や属性計算、オブジェクトの生成を行うために、両者のモデルを同じスキーマ記述言語で表現しなければならない。今回の実験では BDL でプロダクトモデルのクラス定義を行い、操作記述言語で変換規則を記述した。また、図 15 に示したプロダクトモデルを IBDS 入出力ファイルの形式に変換するプログラムを作成

図 16 モデル変換の流れ

Fig. 16. Flow of model conversion.

図 17 壁の伸長

Fig. 17. Extension of walls.

図 18 自動設計の結果

Fig. 18. Result of model conversion and automatic design.

した。つまり、モデル変換の機能をもった IBDS を生成し、IBDS 内部で防災東西壁、防災南北壁を生成するという仕組みを採用した。図 16 にモデル変換の概要を示す。

具体的な変換は、以下の二段階になっている。

(1) 東西壁、南北壁の生成

東西、南北の壁、窓、ドアの間には東側—西側、北側—南側リンクが生成されているので、それらを辿ることにより容易に生成できる。

(2) 防災東西壁、防災南北壁の生成

防災東西壁の生成について説明する(図 17)。防災南北壁の生成も同様である。

1. 東西壁をひとつ選択する。
2. 東西壁の東側、西側の接続先、それぞれについて、
 - a) 壁接続部材の場合は、その中心座標を防災東西壁の端点とする。
 - b) 主柱の場合は、その北側か南側に南北壁があれば、防災東西壁の端点の X 座標を南北壁の中心線の X 座標とし、Y 座標を防災東西壁の中心線の Y 座標とする。

図 18 に適用実験の結果を示す。本研究のプロダクトモデルの壁オブジェクトが自火報システムに取りこまれ、自動設計できることを確認した。部屋中央部の円は火災報知器を表しており、右上の受信機と火災報知器間の配線処理が施されている。

5. 考察

5.1 関連研究との比較

図形データの集合から、なんらかの情報を抽出する研究として、図面認識、図面理解と呼ばれる分野が挙げられる。それらの研究は、手書き図面の清書化⁽²⁾やドラフティング CAD⁽³⁾や地図データベース⁽⁴⁾⁽⁵⁾への取り込みを目的としたシンボルの抽出を行っているだけで、図形レベルの変換にすぎず、本研究のようにオブジェクトの属性やオブジェクト間の位置関係をロール名つきのリンクとして生成しているような、本来の意味での図面の「理解」はしていない。本研究のようなプロダクトモデルを生成することで適用実験で示したような図面データの高度な活用が期待できる。

建築図面を対象として認識を行っている論文^{(2),(3)}では、ドアや窓の認識知識について、壁との関係をいくつかのパターンで整理しているため、記述量が多くなっている。これに対し我々は、建築部材の接続関係に注目した対象の分析を行うことで、少なく、かつ、簡潔な知識記述ができた。

さまざまな図面に対応しうる図面理解システムとして、論文^{(4),(5)}があげられる。論文⁽⁴⁾では、ボトムアップルールと、トップダウンルールを状態遷移ルールとして Prolog 風に記述するが、それらのルールの使い分けや述語の書き方は、使う人のセンスに任せられており、記述者以外の者が簡単には理解できない。また、状態遷移モデルであるために、知識記述の際に手続き的な思考を要する。論文⁽⁵⁾では、部品オブジェクトで、部品の属性と属性を用いて確信度などを求めるためのメソッドを記述する。マッチングオブジェクトで、部品オブジェクトの空間位相関係をオブジェクトとして記述する。マッチング木で、前述の部品オブジェクトとマッチングオブジェクトをつなぐことによって、認識手順を記述する。したがって、論文⁽⁴⁾より知識記述後の見とおしはよくなっているものの、木を構成する際に手続き的な思考を要するため、本質的に前述の状態遷移モデルを用いた図面理解システムと同じである。どちらのシステムも知識記述と認識制御を分離しているため、対象にあわせて知識を変更すればよいとし

ているが、手続き的な思考を要する点に加えて、汎用的な知識記述の枠組みしかないために、記述の際に対象そのものの知識と描画図形の知識の分離ができず直観的でない。上記の点より、両者とも知識の記述に関して熟練を要する。

これに対し我々は、図面から脱却し、図面の表す対象そのものの分析を十分に行い、それがどのように図面上の線分などの図形で表現されているかに注目した。そうすることによって、対象そのものの性質と描画知識を分離した静的な知識記述の枠組みと生成処理方式を考案できた。図 9、10、11 で示したように、知識の記述は Prolog で記述されているが、前述の枠組があるために、記述者以外でも容易に理解できる。建築 CAD 図面は、基本的な表記法があるが、窓やドアを表すシンボル図形は設計事務所などにより微妙に異なることも多い。本研究では、前述の知識の分離ができているため、図面にあわせて描画図形知識を入れ換えるだけで他の建築 CAD 図面にも容易に対応可能である。

また、上記に述べたいずれの論文も抽出した結果を表示してみせるだけで、具体的にどのような情報をどのような形式で得ているのか定かでないものが多く、さらに、抽出結果を情報システムへ取りこんだ報告をしているものはほとんどない。これに対し我々は、抽出結果をオブジェクト指向 CAD へ適用する方式を提示し、実用の面での成果を実証した。

5.2 プロダクトモデル変換

プロダクトモデル変換では、以下の 2 つの変換が必要であることがわかった。

(1) 部材オブジェクトの集約変換

4.2 の(1)のように、壁部品などを集約して、新たなオブジェクトを生成するというような集約変換が必要である。

(2) 意味の変換

部材オブジェクトの属性は、生成の情報源が CAD 図面データであるために、座標値、半径など図形オブジェクトの属性を計算なしに得られるものでなければならない。一方、防災設計 CAD における壁オブジェクトの属性には幅が必要であった。また、4.2 の(2)のように、接続先の部材の属性を参照して、端点を伸ばさなければならない。このような属性変換が必要である。

上記の両方において、プロダクトモデルにおけるロール名つきリンクの役割が大きい。リンクがない場合、例えば、壁どうしの端点が、ある一定の距離以下の場合、それらを伸ばした交点に壁の端点を変更するという幾何的な計算が必要になり、直感的でない。ロール名つきリンクがあると、4.2 で説明したように、建物モデルにもとづいた直感的な変換規則を記述できる。

しかし、それらの変換規則は直観的でわかりやすいものの、制御文を用いて部材オブジェクトの探索を行う記述をしなければならなかった。モデル変換とは、オブジェクト群がリ

リンクによって関係づけられるときに、目的のオブジェクトを生成し、属性計算を行うということである。図 19、20 は、図 17 の左側のプロダクトモデルの下部の東西壁のモデル変換を示しているが、モデル変換は、このように OMT⁽¹²⁾ の動的モデル+機能モデルでモデル化できる。現在、我々は、動的モデルと機能モデルを同時に記述できるような非手続き型言語の開発に着手しており、モデル変換に適用できると考えられる。

本稿では、IBDS 生成系を利用して、モデル変換を行ったが、他のオブジェクト指向 CAD への適用を考えてみると、以下の 2 つの場合が考えられる。入出力ファイルのフォーマットが公開されている場合、そのオブジェクト指向 CAD の内部モデルのスキーマ記述を BDL で行い、変換規則を今回の実験と同様に操作記述言語で行い、入出力ファイルの形式に出力するプログラムを作成することになる。入出力ファイルの形式が公開されていない場合、適用先のオブジェクト指向 CAD の汎用言語によるカスタマイズ機能を利用することになる。C++ の API が備わったオブジェクト指向 CAD について考えてみると、まず、プロダクトモデルのスキーマ記述をクラス定義によって行う。プロダクトモデルのロール名つきリンクは、属性名をロール名とした双方向ポインタで表現することになる。次にプロダクトモデルの読み込みプログラムを用意し、変換規則を関数で記述する。

5.3 描画図形知識

今回、整理できたのは建築物そのものの知識と描画図形の知識の分離までである。図 11 のような描画図形の知識は、自分と接続している他の部材と線分を共有することから、他の部材との兼ね合いを意識しなければならず、困難である。これは、ドラフティング CAD において、部材の接続部分の線分を消去する包絡線処理のために、部材が CAD 図面上で複雑に描かれてしまうためである。このような問題を解決するためには、図形の干渉問題を分析しなければならない。「四角」などの記述から、部材知識、部材間接続知識を参照することにより、図 11 ような描画図形知識が生成できると考えられる。

6. まとめ

本稿では、建築 CAD 図面データの活用を支援する環境におけるプロダクトモデル生成を中心に述べた。建築 CAD 図面データから主柱、壁といった部材を抽出するだけでも、部材の数え上げができるため積算作業が軽減される。しかし、我々はプロダクトモデルを生成することによって、さらに高度な活用ができることを示した。

5.3 で述べたように描画図形知識の記述の問題はあるものの、ユーザは建築部材の属性定義、描画図形知識、部材間の接続条件を宣言的に記述することに専念すればよく、生成の手順については、一切、意識する必要はない。本稿では、格

図 19 モデル変換の動的モデルによるモデリング
Fig. 19. Modeling model conversion by OMT's dynamic model.

防災東西壁→東端X := (壁接続部材→東端X + 壁接続部材→西端X) / 2;
防災東西壁→西端X := (南北壁→東端X + 南北壁→西端X) / 2;
防災東西壁→幅 := 東西壁→北端Y - 東西壁→南端Y;

図 20 モデル変換の機能モデルによるモデリング
Fig. 20. Modeling model conversion by OMT's functional model.

子状の典型的な CAD 図面を用いたが、斜めの壁があるような CAD 図面でも対応できると思われる。これは、部材の接続関係に注目したモデリングを行ったためである。

今回の実験では、防災設備設計 CAD への適用実験を行ったが、今後、構造設計 CAD への適用を行い、プロダクトモデルのさらなる検証をすすめる。

情報の流れをシームレスにするために、今後、オブジェクト指向 CAD のような対象のモデルをもったアプリケーションがさまざまな分野で登場すると考えられる。しかし、これまでに蓄積された単に電子化された情報の量は膨大である。それらを有効活用するために、本稿で述べたような構造を抽出するような技術は必要とされるであろう。

我々は、さまざまなドメインについて分析、モデリング(13)を行うことで、効率的なソフトウェア構築の方法論を模索している。本稿によって、対象について包括的な分析を行い、概念モデルを構築すれば、図面理解のような応用的な分野のソフトウェアも円滑に構築することができることを示した。

(平成 13 年 11 月 26 日受付)

文 献

- (1) 渡辺一正. 建築業界を大きく変えるオブジェクト指向の CAD. 日経コンピュータグラフィックス, pp.122-139, 1998 年 8 月.
- (2) 野村誠, 月尾嘉男. 知識を用いた建築図面の理解. 人工知能学会誌, Vol.3, No.4, pp.494-501, 1988.
- (3) 塩沼夫, 青木康浩. 手書き建築間取り図面理解システム: Sketch Plan. 電子情報通信学会論文誌, D-2, Vol.J82-D-2, No.3, pp.431-439, 1999.

- (4) 佐藤真一, 大沢裕, 坂内正夫. 対象の多様性に対応する図面理解システムの一提案. 情報処理学会論文誌, Vol.33, No.9, pp.1092-1102, 1992.
- (5) 呉煒, 佐藤真一, 坂内正夫. オブジェクト指向型モデル表現を用いた多目的図面理解システム. 情報処理学会論文誌, Vol.37, No.6, pp.1061-1071, 1996.
- (6) 佐藤俊孝, 奥園高基, 出口孝一, 廣田豊彦, 橋本正明, 片峯恵一. 建築物設計を事例としたドメイン特化概念モデルとその実装. 電子情報通信学会技術研究報告(知能ソフトウェア工学), Vol.95, No.25, pp.49-56, 1995.
- (7) Chen, P., The Entity-relationship Model-Toward a Unified View of Data, ACM Transactions on Database Systems, Vol. 1, No. 1, pp.9-36, 1976.
- (8) 橋本正明, 廣田豊彦, 片峯恵一, 長澤勲, 手越義明. 建築設計のためのオブジェクト指向モデルー設計操作モデルー, 電子情報通信学会技術報告(知能ソフトウェア工学), Vol. 95, No. 362, pp.47-54, 1995
- (9) オブジェクト指向研究会, オブジェクト指向モデリング表記法ガイド UML1.3, ピアソン, 2000.
- (10) 松岡健, 家成隆彦, 橋本正明, 五反地清光, 廣田豊彦, 片峯恵一, 建築意匠設計の部屋配置設計に関するドメイン特化仕様記述言語の作成とその実装, 電子情報通信学会技術報告(知能ソフトウェア工学), Vol. 100, No. 710, pp.33-36, 2001.
- (11) 伊藤剛, 中島健, 廣田豊彦, 橋本正明. 建築 CAD のデータモデル変換. 第 17 回設計シンポジウム論文集. pp.56-63, 1999.
- (12) Rumbaugh, J., Blaha, M., Premerlani, W., Eddy, F., Lorensen, W., Object-Oriented Modeling and Design, Prentice Hall, 1991. (邦訳 羽生田栄一監訳『オブジェクト指向方法論 OMT』, トッパン, 1992.
- (13) 廣田豊彦, 伊藤潔, 熊谷敏, 吉田裕之. 特集 ドメイン分析とドメインモデリング. 情報処理. Vol40, No.12, 通巻 418 号, 1999.

伊藤 剛

(非会員) 1974 年生まれ。1999 年九州工業大学情報工学部卒業。2001 年同大学大学院情報工学研究科博士前期課程終了。同年同大学大学院情報工学研究科博士後期課程入学、現在、在学中。人工知能学会学生会員。

廣田 豊彦

(正員) 1954 年生まれ。1976 年京都大学工学部電気工学第二学科卒業。工学博士。1981 年京都大学情報処理教育センター助手。その後、九州工業大学情報工学部助教授を経て、2002 年 4 月より九州産業大学情報科学部教授(現職)。プログラム開発環境、ドメイン分析・モデリングなどの教育・研究に従事。

橋本 正明

(非会員) 1946 年生まれ。1968 年九州大学工学部電子工学科卒業。1970 年同大学大学院修士課程修了。工学博士。同年日本電信電話公社電気通信研究所。1988 年 ATR 通信システム研究所。1993 年九州工業大学情報工学部教授。ソフトウェア工学の研究・教育に従事。