

建築 CAD 図面データからのプロダクトモデル生成

伊藤 剛, 廣田 豊彦, 橋本 正明
(九州工業大学)

我々は、図形データの集合である建築 CAD 図面データと柱や壁といった建築物の構成要素である部材を扱うオブジェクト指向 CAD の間を介する支援環境の構築を目指している。CAD 図面データからオブジェクトモデルを構築するための知識記述の枠組をドメイン分析・モデリングによって構築した。また、生成されたオブジェクトモデルのオブジェクト指向 CAD への適用実験を行った。

Generation of Architectural Product Model from CAD Drawings

Takeshi Ito, Toyohiko Hirota and Masaaki Hashimoto
(Kyusyu Institute of Technology)

We have developed the system which supports model conversion between architectural CAD drawings and object-oriented CAD. We constructed the frame of knowledge description for generation of object model from architectural CAD drawings by domain analysis and modeling. We also experimented to apply the generated object model to an object-oriented CAD.

1. はじめに

ソフトウェアを開発する際には、開発対象領域の専門家の要求を確実に反映することが重要である。我々は、対象領域のドメイン分析・モデリング[1]を行うことで、専門家にとって有用なソフトウェアの開発を目指している。

近年、建築業界では、柱、壁といった建築物の構成要素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 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、オブジェクト指向技術による CAD、データ共有に関する開発が盛んである[2]。

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コストを要する。

本研究では、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。オブジェクト指向 CAD はさまざまなモデルをもつため、建築 CAD 図面データからいったん、汎用のオブジェ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 へモデル変換する必要がある。

その汎用のオブジェクトモデルを本研究では、建築プロダクトモデルと呼び、それを生成するための知識記述の枠組である建築プロダクトメタモデルをドメイン分析・モデリングにより構築した。本論文では、そのメタモデルを中心に述べる。

2. 建築 CAD データ活用支援環境

図 1 に本研究で構築を目指す活用支援環境の概要を示す。各モジュールの構成および機能を次に示す。

(1) DXF ファイルからの図形データ抽出

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

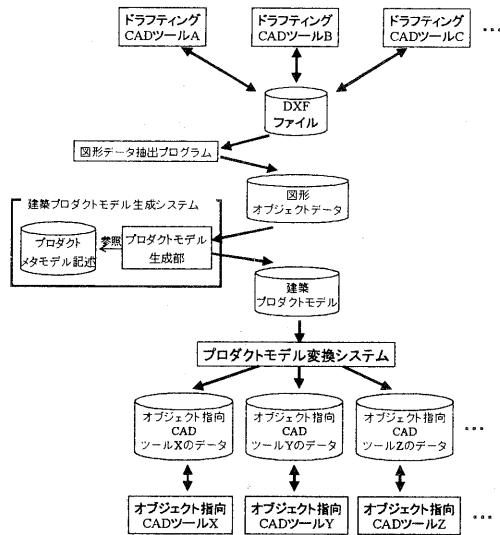


図 1 建築 CAD 図面データ活用支援環境

CAD ツールでもサポートされており、紙の図面のかわりに DXF ファイルを交換することが一般化している。

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。

(2) 建築プロダクトモデルの生成

建築プロダクトモデルを生成するための知識記述の枠組である建築プロダクトメタモデルにしたがった記述を参照して、プロダクトモデルが生成される。

(3) プロダクトモデル変換

我々は、建築 CALS のデータモデル変換に関する実装実験に参加して、汎用的な建築物の共有モデルである IFC を後述する BDL へモデル変換するシステムを試作した[3]。しかし、さまざまなモデル変換を行うための方法論は確立されていない。現在、CAD システム統合のための多視点モデル[4]やモデル変換言語に関する研究に取り組んでおり、その成果の本研究への適用は今後の課題である。

3. BDL

本研究室では、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いる[5]。BDL(Building Design Language)は、建築構造設計に特化した概念モデルをもつ仕様記述言語である。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から専門家の要求に添った CAD が自動生成される。

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支援するシステム IBDS(Integrated Building Design Systems)の開発を行っている。BDL から生成される構造設計 CAD の機能は、IBDS のサブセットである。BDL は構造設計に特化した仕様記述言語ではあるが、ベースとなっているモデルが ER モデルであるため、BDL を実験的に用いて、意匠設計 CAD や自動火災報知器設備設計 CAD の機能を作成した。

BDL の記述は以下の4つの部分から構成される。また、東西大梁の BDL による記述例の一部を図 3 に示す。

(1) 部材名宣言部

建築物の構成要素である部材の名前を宣言する。

(2) 接続関係記述部

部材間の接続関係をプラグーソケット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プラグ、プラグと対で依存される部材を指すものをソケットとして記述する。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。

(3) 属性宣言部

部材のもつ属性を記述する。属性は、設計者が設計の際に変更する固有属性と、従属属性からなる。従属属性は固有属性やすでに値が決まっている従属属性によって、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、このように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。

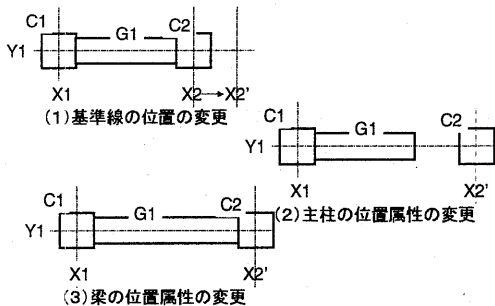


図 2 属性従属性

```

PART 東西大梁
PLUG
  東側依存部材 into 主柱::西側梁;
  .....
END
SOCKET
  .....
END
ATTRIBUTE
/*形状*/
  幅 int(mm) := default( 300);
  高さ int(mm) := default( 600);

/*座標*/
  北東端 x 座標 int(mm)
    := 東側依存部材->北西端 x 座標;
  北東端 y 座標 int(mm)
    := (東側依存部材->北西端 y 座標
        + 東側依存部材->南西端 y 座標)
        / 2 + 幅 / 2;
  .....

/*view*/
  自平面 view [f]
    := [polygon'({北西端 x 座標, 北西端 y 座標},
                {北東端 x 座標, 北東端 y 座標},
                {南東端 x 座標, 南東端 y 座標},
                {南西端 x 座標, 南西端 y 座標}), ...];
  .....
END
ENDPART
  
```

図 3 BDL の記述例

4. 建築プロダクトメタモデル

建築プロダクトモデルを生成するためには、建築物や建築 CAD 図面に関する知識が必要である。その知識記述の枠組である建築プロ

ダクトメタモデルをドメイン分析・モデリングにより構築した。専門家自身による生成のための知識記述を可能とするため、建築プロダクトメタモデルは、建築部材中心のモデルとなっており、オブジェクトモデルに属性の値の取りうる範囲、属性間の制約、描画図形との対応を加えたモデルとなっている。

4.1 生成対象部材

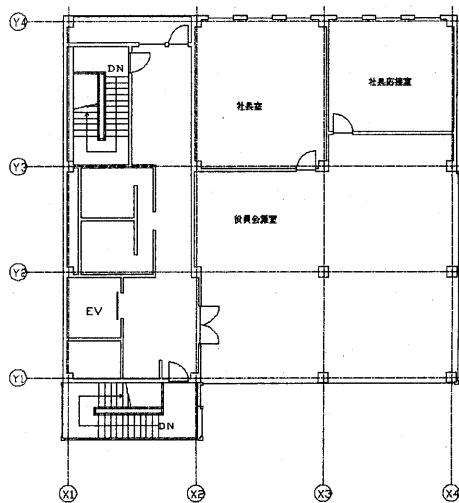


図 4 分析対象 CAD 図面

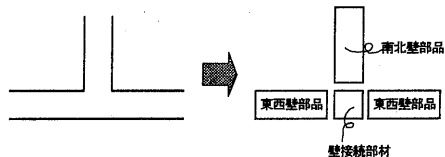


図 5 壁の分割

今回、図 4 のような格子状の典型的な建築 CAD 平面図における、「主柱」、「東西壁」、「南北壁」、「東西ドア」、「南北ドア」、「東西窓」、「南北窓」の建築部材を対象に分析、モデル化を行った。また、壁に関しては、どこからどこまでを壁とするか設計業務によって解釈が異なる場合があること、複雑に描かれている場合、線分との関係の知識記述が困難になることから、図 5 のように「東西壁部材」、「南北壁部材」、「壁接続部材」という新たな部材を導入した。

今回、生成対象とした部材のオブジェクトモデルの一部を図 6 に示す。

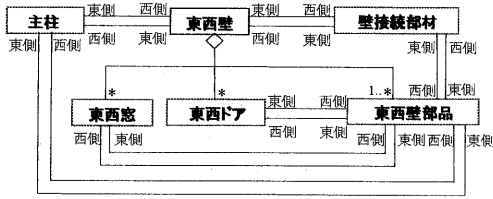


図 6 生成対象部材の UML クラス図

4.2 個別プロダクト知識

個別プロダクト知識は、各部材がどのような属性を持ち、どんな大きさで、CAD 図面上にどのように描かれているかを表す知識である。具体的な内容を東西壁部品の個別プロダクト知識の BDL 風の記述(図 7)で説明する。

PART 東西壁部品(東西壁)

ATTRIBUTE

東端 X := 東西壁->東端 X;

西端 X := 東西壁->西端 X;

北端 Y := 東西壁->北端 Y;

南端 Y := 東西壁->南端 Y;

END

CONSTRAINT

200 =< 北端 Y - 南端 Y =< 600;

西端 X < 東端 X;

END

FIGURE

parallel(東端 X, 西端 X, 北端 Y, 南端 Y);

END

ENDPART

図 7 東西壁部品の個別プロダクト知識

ATTRIBUTE 以下は、その部材の属性を表す。CONSTRAINT 以下は、属性間の制約や属性の取りうる値の範囲を表す。上記の例では、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。FIGURE 以下は、部材が描かれる描画図形との特徴点などと属性との対応を表す。上記の parallel は、図 8 のような描画図形の知識を表す。

4.3 プロダクト間関係知識

プロダクト間関係知識は、プロダクト間の接続知識と部分プロダクトと集約プロダクト間の関係知識の 2 つから成り、オブジェクトモデルにおける関連と集約に対応する。

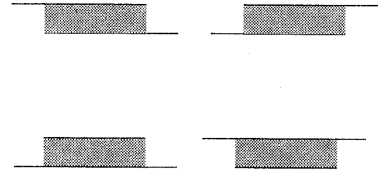


図 8 東西壁部品の描画図形

4.3.1 プロダクト間接続知識

BDL からわかるように部材間には接続関係があり、それに伴う属性間の制約がある。図 9 は主柱の東側と東西壁部品の西側の接続条件を UML 記法で表している。

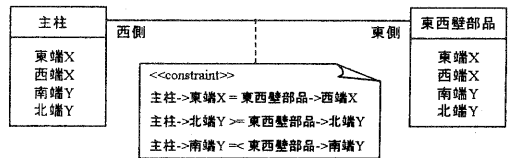


図 9 主柱と東西壁部品間のプロダクト間接続知識

4.3.2 部分-集約プロダクト間知識

東西壁は東西壁、東西窓、東西ドアの集約プロダクトであり、部分プロダクトの属性は集約プロダクトの属性に従属している。東西壁(図 10)、4.2 で説明した東西壁部品を例に説明する。

PART 東西壁

ELEMENT

東西壁部品;

東西ドア;

東西窓;

END

ATTRIBUTE

.....

END

CONSTRAINT

.....

END

ENDPART

図 10 東西壁の集約プロダクト記述

ELEMENT 以下が、自分を構成する部分プロダクトを表す。また、東西壁部品の属性は、集約プロダクトである東西壁の属性に依存していることを表す。

4.4 プロダクトモデルの生成機構

プロダクトモデルの生成機構は、図 11 のように、図形オブジェクトデータから集約プロダクト以外のプロダクトモデルの生成を行う個別プロダクト生成部と部分プロダクトを併合して集約プロダクトを生成する集約プロダクト生成部から構成され、2段階の推論を行う。

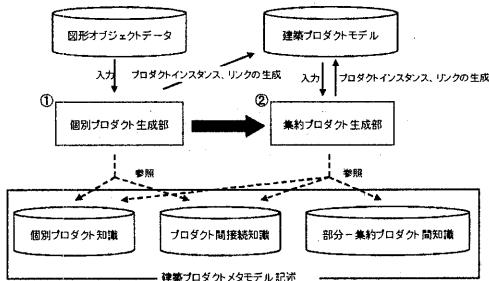


図 11 プロダクトモデルの生成

4.4.1 個別プロダクト生成部

推論を行う際、どのプロダクトインスタンスの生成から行うのが重要である。建築図面の場合、どの図面にも基準線が存在し、図 4 のように円とそこに文字がかかっている記号で表現されており、確実に得ることができる。また、支柱は X,Y 基準線上に配置される。したがって、基準線の交点上に存在する支柱から推論をはじめめる。以下に、個別プロダクト生成部の手順を示す。

1. 新規プロダクトの集合を N とする。すべての基準線の交点に関して支柱の個別プロダクト知識の条件を満たせば、そのプロダクトインスタンスを初期プロダクトモデルとし、さらに集合 N に入れる。
2. 集合 N から最初の一つのプロダクトインスタンスを取り出し、それを P とする。
3. P が属するクラスのプロダクト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 C1、C2、・・・、Cn を選び出す。
4. クラス Ci 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 Ci に対するリンクが生成されてい

ない場合、プロダクト間接続知識に記載されている属性の制約を満たすプロダクトインスタンス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。

6. プロダクトインスタンスの生成に成功した場合、そのインスタンス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、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。
7. 3 で選び出したクラス C1、C2、・・・、Cn の処理がすべて終わるまで 4~6 を反復する。
8. 集合 N からプロダクトインスタンスを一つ取り出して 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 12 に示す。支柱のプロダクトインスタンスを集合 N から取り出した後、その支柱の東側の東西壁部品を探索し、プロダクトインスタンスとリンクを生成している例である。全体としては、図 14 の吹き出し部分のような伝播的な生成を行う。

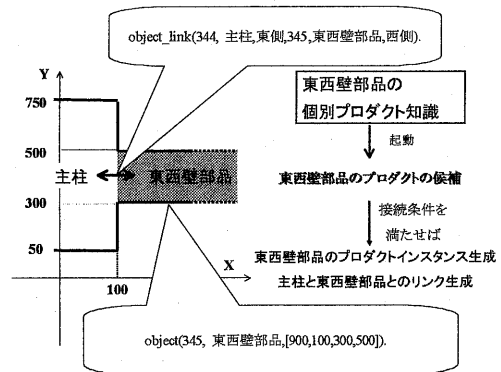


図 12 プロダクト間接続知識の起動

4.4.2 集約プロダクト生成部

集約プロダクト生成部では、個別プロダクト生成部によって、生成させたプロダクトインスタンスとリンクをもとに部分プロダクトの集約化を行う。以下、生成手順を説明する。

1. 集約プロダクトクラスAを一つ選び、以下2~8の処理を繰り返す。すべての集約プロダクトクラスの処理が終了すると、この手続きを終了する。
2. Aの東西（または南北）に接続するプロダクトクラスを東側（南側）、西側（北側）についてそれぞれ一つずつ選ぶ。それらをE、Wとする。可能なすべての組み合わせに対して以下3~7の処理を繰り返す。
3. Aの部分プロダクトクラスA1、A2、・・・、AnからE（またはW）と接続可能なクラスAkを取り出す。
4. プロダクトモデル中で、E（またはW）とAkの接続を示すリンク（インスタンス）を探し出す。見つかったすべてのリンクに対して、以下5~7の処理を繰り返す。
5. リンクの両端のプロダクトインスタンスをp0（クラスE）、sub-1（クラスAk）とする。
6. sub-1を他のインスタンスと接続するリンクを調べ、p0と逆方向に接続しているインスタンスsub-2を見つける。さらにsub-2のリンクを調べ、次のインスタンスsub-3を見つける。こうして次々とインスタンスをたどり、クラスW（またはE）のインスタンスp1を見つける。p1までたどりつかないときには、4に戻り、別のリンクを調べる。
7. sub-1、・・・、sub-iから集約プロダクトインスタンスaを生成し、属性従属性記述、属性の制約を満たすように属性を決定し、プロダクトモデルに追加する。さらにp0とa、aとp1のリンクを生成し、プロダクトモデルに追加する。

A=東西壁、E=主柱、W=壁接続部材、Ak=東西壁部品の場合の上記の5,6,7のプロセスを図13に示す。

図14が、生成されたプロダクトモデルの表示結果である。吹き出し部分が個別プロダクト生成部の出力結果で、数字は生成順序を表している。その下の図が集約プロダクト生成部の出力結果を示している。

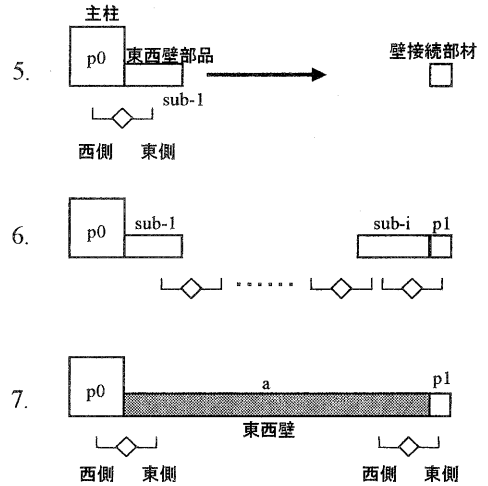


図13 東西壁の生成

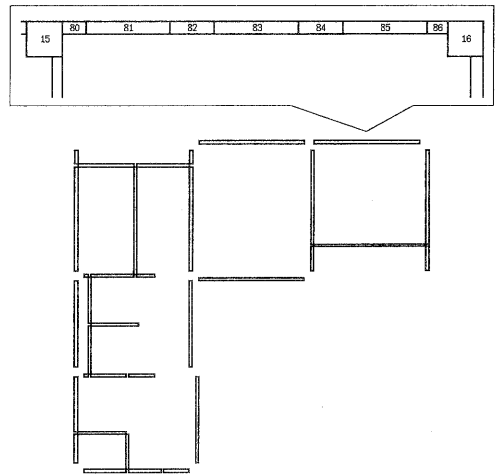


図14 生成部の出力結果

5. プロダクトモデル変換

今回、適用するオブジェクト指向CADとして、我々が開発した自動火災報知器設備設計システム（以下、自火報システムと呼ぶ）を選択した。

自火報システムは、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。

自火報システムでは、図15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。一方、本研究の製品モデルの壁オブジェクトは、図 15の左側のように切れている。そのため、壁を伸ばさなければならない。

BDL により、製品モデルのクラス定義を行い、製品モデルにおける壁オブジェクトからリンクを通して支柱や壁オブジェクトの属性を参照して壁オブジェクトを伸ばすモデル変換の知識を、操作記述言語より記述した。図 16は、モデル変換の流れである。これは、2・(3)で説明した、試作された IFC→BDL モデル変換システムの方式を参考にしている。このように、モデル変換の機能をもった IBDS を生成し、IBDS 内部で製品モデルにおける壁オブジェクトが自火報システムの壁オブジェクトへ変換される。

図 17に適用実験の結果を示す。本研究の製品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。

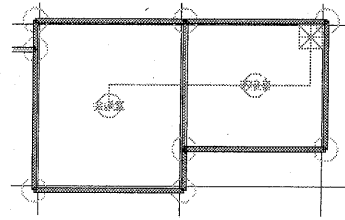


図 17 自動設計の結果

6. 考察

(1)従来手法との違い

建築図面、機械図面、地図などの図形データの集まりから、何らかの情報を抽出するには、対象そのものの形状や構造に関するマクロな知識を線分などの座標間のマイクロな知識に置き換えなければならない。状態遷移モデル[6]やオブジェクト指向モデル[7]を知識記述の枠組とした図面理解システムが考案されているが、汎用性を重視しているため、対象そのものの知識も線分同士の知識も同じ枠組の上に記述し、さらに、どんな図形からどういった手順で認識を行うかという知識も記述しなければならない。したがって、プログラミング言語レベルの記述を要するため、専門家自身が知識を記述することは困難である。

我々は、建築物そのものの知識と描画図形の知識を分離することによって、専門家でも容易に記述できるような、宣言的な知識記述の枠組を構築することを目指した。

(2)製品間接続関係

建築構造設計に特化した仕様記述言語 BDL を参考に、建築物の部材間には接続関係があり、さらに部材の属性間には、その接続関係に伴う制約があることに注目し、個別製品知識と製品間接続知識の記述枠組を構築した。

ユーザがそれらを記述する際、その部材の属性を定義し、その属性を用いて大きさ、幅などの制約を記述し、接続方向を記述することで接続関係を記述し、部材間の属性に伴う接続条件を記述する。そして、部材が CAD 図面上でそのような描画図形で描かれているかを記述する。これは、BDL による部材記述の際の思考と似ており、非常に直感的である。

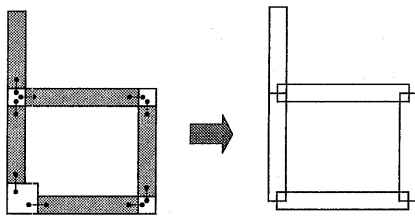


図 15 壁の伸長

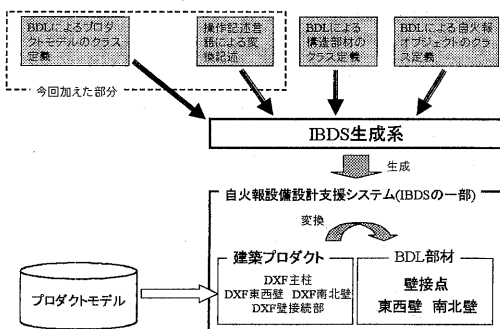


図 16 モデル変換の流れ

個別プロダクト生成部によって、プロダクトインスタンスが次々に生成できたのは、前述の部材間の接続に伴う属性同士の制約が CAD 図面上にきちんと反映されていたためである。また、壁を分解することにより、生成メカニズムが非常に単純になったことも、その理由に挙げられる。

(3)プロダクト間の依存関係

東西壁を例にあげると、東西壁は東西ドアと東西窓を内包している。つまり、東西壁部品、東西ドア、東西窓の物理的な形状は東西壁に依存している。そのため、東側-西側リンクをたどることにより生成できた。今回の枠組では、図 6のように、東西壁部品と主柱や壁接続部のプロダクト間接続知識や、東西壁部品と東西ドア、東西窓の間のプロダクト間接続知識を記述したが、これらの知識は冗長である。部材間の部分-集約関係と属性従属性の記述から、これらの知識は生成され、ユーザは記述する必要がなくなると考えられる。

(4)描画知識の問題

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 8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、専門家自身が記述するのは非常に困難である。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。このような問題は、部材の描画図形をパターン化し、専門家にはライブラリとして提供することで解決できるかもしれない。あるいは、描画図形を長方形や円と指定するだけで、図 8のような描画図形の知識を自動生成できるかもしれない。

6. おわりに

本論文では、建築 CAD 図面データの活用を支援する環境における、建築プロダクトモデル生成のための知識記述の枠組である建築プロダクトメタモデルを中心に述べた。

ユーザは、その知識記述の枠組に沿って、宣言的に建築部材と部材間の接続条件や属性従属性制約を記述するだけでよく、生成の手

順については、一切、意識する必要はない。

今回は、格子状の典型的な 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、上記を Prolog によって記述したが、専門家にわかりやすい知識記述言語を考察で説明したようなモデルの洗練を行いながら、構築する必要がある。

描画図形の知識は、整理不足であるが、いずれにせよ言語で記述するのは直感的でない。したがって、図的にその知識を記述できる GUI を構築する必要がある。

現在、さまざまなモデル間の変換方式について研究している。その成果の本支援環境のプロダクトモデル変換システムへの適用が期待される。

参考文献

- [1] 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, Vol.40, No.12, 通巻 418 号, 12 1999.
- [2] 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, 8 1998.
- [3] 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, 7 1999.
- [4] 阪中幹恵, 橋本正明, 廣田豊彦, 片峯恵一, Lukman Efendy. 多視点モデリングのための CAD システム生成方式への DB 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.100, No.441, pp.17-24, 11 2000.
- [5] 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, 3 1995.
- [6] 佐藤真一, 大沢裕, 坂内正夫. 対象の多様性に対応しう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, 9 1992.
- [7] 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, 1 1996.