

データ中心アプローチによる住宅CADシステムのためのプロダクト・モデリング

篠田 博水
備ソフト・エクセル CGシステム部

CADシステムにおけるジオメトリック・モデリングは、コンピュータ性能の大幅な向上、そしてコンピュータ・グラフィックスと図形処理技術の発展により、ワイヤーフレーム・モデルからプレーン・モデルへ、そしてソリッド・モデルへと進展し、今や完成の域にある。現在は、データの一元化とシステムの統合化によるより完成されたCADシステムをめざし、プロダクト・モデリングの研究が進められている。本稿では、我々が住宅CADシステムにおいて試行し実用化にいたった、データ中心のアプローチによるプロダクト・モデルを紹介する。このモデルは、設計から施工に至るまでの住宅がもつさまざまな情報を包含しており、これにより住宅設計一貫システムが実現できた。

A product modeling for housing CAD system by data dependent approach

Hiromi SHINODA
CG system department, Soft Excel inc.

The geometric modeling of CAD system has developed from wire-frame model to plane model and solid model by the improvement of computer power, computer graphics technology and geometric technology.

Now, the study of product modeling is making toward a total CAD system by data base.

This paper introduce a product model by data dependent approach that we tried in the Housing CAD system and succeeded. This model has satisfactory informations of housing from design to drafting, estimation, development of housing parts, and ordering.

we have realized the total Housing CAD system by this model.

1. はじめに

昭和40年代の後半から始ったCADシステムも、コンピュータ性能の飛躍的な向上と、コンピュータ・グラフィックス技術、図形処理技術の発展により、ようやく実用化の段階に入ったといえる。特にジオメトリック・モデルについては、曲線、曲面の図形処理技術の発展により、あらゆるモデルを数式化し、設計から加工まで一貫してコンピュータで処理できるようになり、そのモデリング技法も、ワイヤフレーム・モデルからプレーン・モデルへ、そしてソリッド・モデルへと進歩してきた。それにともなう、CADシステムの出力も従来の図面からコンピュータ内につくられるモデルへと発展し、後工程のCAMシステムとのデータの一元化と統合化がはかれるようになってきた。

一方、住宅CADシステムは、機械系や電気系CADシステムと比べ歴史も浅く、住宅メーカーと顧客との情報伝達、あるいは設計と後工程の情報伝達は、今も昔も図面によってなされていることから、製図作業の省力化を目的とした自動製図システムであった。住宅用の図面としては、平面図、立面図、そして申請用の伏図が必要であり、簡単な間取のラフスケッチを入力として、これらの図面を出力するために、専用のCADシステムを構築してきた。汎用のCADシステムが曲線、曲面やソリッドなどの高度な図形処理に重点をおいているのに対して、住宅CADシステムでは高度な図形処理は必要とされず、製図作業の省力化のためにだれにでも簡単に短時間で入力ができ、目的とする図面が得られることに重点がおかれた。そのためにデータの抽象化も、図形中心の抽象化ではなくて住宅設計で扱う「もの」を中心に抽象化を行ってきた。しかしながら、せっかくの「もの」を中心とした抽象化も、住宅CADシステムそのものが図面出力だけを目的とした製図システムであったために、抽象化のレベルが貧困であり、後工程のシステムに対して十分な情報を伝達することができなかった。つまり、製図システムの後で開発された見積書や仕様書を出力する積算システムに対して、せっかく入力された情報や処理された情報を伝達することができず、人手により図面から数量を拾い、それを入力することによって業務を行ってきた。

このような背景の中で、我々は昭和56年より大手住宅メーカーと、設計から製図、積算、そして部材の展開を行ない工場や部材メーカーへの発注までを行なう住宅設計一貫システムをめざし、一棟の住宅がもつ情報を「もの」と、「もの」と「もの」との関係を中心に、プロダクト・モデルとしての「3次元家モデル」を試行し、昭和58年に実用、その後、改良と機能追加を重ね今日に至っている。

本稿では、システムの概要を紹介し、本システムの核となっている「3次元家モデル」について述べる。

2. システムの概要

本システムは、住宅の設計から製図、積算、部材展開、そして発注までを行なう住宅設計一貫システムである。そのために、「営業->設計->製図->見積->発注」の業務において住宅がもつ情報を忠実に表現したプロダクト・モデル（「3次元

家モデル」と呼ぶ)をもち、この「3次元家モデル」を核として、各業務を援助するサブシステムが構成されている。図2.1 システムの構成を参照。

設計サブシステムは、設計担当者と顧客との折衝の結果描かれた間取のラフスケッチをもとに、あらかじめ住宅を構成する部材約3万点を抽象化し分類したデータ・ファイルの「家構成データ」からメニューにより該当する部材を選び、その部材に形状あるいは位置と必要であれば属性を与えて「3次元家モデル」をつくる。住宅の設計は、外形、屋根、テラス、ポーチなどの外観や、部屋の間取のように形状を設計する造形の部分と、建具、備品、設備、畳や床の間などの造作のようにあらかじめ形状の決っているものをアSEMBルする部分に分れる。前者に対しては形状の座標値を、後者に対しては配置する位置の座標値を与え、その部材の属性とともに「3次元家モデル」に入力する。

図2.2 家構成データの入力例 参照。

製図サブシステムは、「3次元家モデル」より部材ごとの形状と配置されている位置を得て、製図処理を行ない、平面図、立面図、各種伏図、外観透視図、そして内観透視図を出力する。図2.3 図面の出力例 参照。

積算サブシステムは、「3次元家モデル」より部材ごとの数量(個数、長さ、面積)と単価を得て、積算処理を行ない、見積書、仕様書、仕上表を出力する。また、顧客との契約が成立した場合は、部材メーカーへの発注書を出力する。

部材展開サブシステムは、顧客との契約が成立後、「3次元家モデル」より部材ごとの属性、形状、配置されている位置、そして他の部材との関係を得て、それに環境条件を与え、工場出荷材を自動的に決定し、出荷材の伏図と部材リストを出力する。図2.4 部材リストと伏図の出力例 参照。

また、部材リストはディスク経由で工場のオーダーエントリー・システムに送られる。

このように、住宅のもつ情報を「もの」の属性と、「もの」と「もの」との関係を中心に、実体に忠実にモデル化することによって、データの一元化とシステムの統合化が可能となる。

3. 3次元家モデル

「3次元家モデル」は、一棟の住宅がもつ情報を、「もの」の属性と「もの」と「もの」との関係を中心に、出来る限り実体に忠実にモデル化したものである。

「3次元家モデル」の記述のなかで用いられている記号の意味は以下の通り。

{ }	: 非末端データ型
·	: および (and)
	: または (or)
=	: 左辺は末端データ型、右辺は属性
[]	: 省略を許される属性

< >	: コメント
XXX*or{XXX}+	: 1 回以上の繰返し
XXX*or{XXX}-	: 0 回以上の繰返し
XXX^nor{XXX}^n	: n 回の繰返し
XXX^n1 n2or{XXX}^n1 n2	: n1 回以上、n2 回以下の繰返し
型	: 家構成データ

プロダクト・モデルとしての「3次元家モデル」は、次の手順でモデル化された。

(1) 抽象化

一棟の住宅を構成する数百点種類の「もの」に対して、属性を抽象化し、同じ性格をもつものをまとめる。(表3.1 家構成データの分類 参照)
 例えば、厨房に配置される「流し台」や浴室に配置される「浴槽」は「もの」としてみればまったく異なったものであるが、システムからみると、屋内に配置するもので、部材メーカーに発注するあらかじめ仕様と形状の決った「もの」という点では同じであるため、「備品」としてまとめられる。逆に「外部建具」は、屋外と屋内の空間を仕切る壁に取り付き、屋外と屋内をつなげる「もの」であるが、「玄関ドア」や「勝手口ドア」が単独で存在するのに対して、「窓」は「雨戸」や「面格子」などの付帯が取り付くために、同じ外部建具であっても区分される。

(2) 階層化

抽象化され分類された「家構成データ」は、入力された座標値により形状が決る「部位」(「部位」は属性に材料、仕上下地、色をもつ)、あらかじめ形状と仕様が決っている「配置」、そして物理的あるいは論理的な「部位」と「配置」の集合である「本体」に分類される。また、住宅は構造的にも空間的にも基礎、外形、屋根、屋内、軀体、そして屋外に分れ、そして各階で区分される。この考えに基づいて、「家構成データ」を階層化したのが、図3.1 3次元家モデルの基本概念である。

{大分類}は、住宅を構成する「もの」を{基礎}、{外形}、{屋根}、{屋内}、{軀体}、{屋外}に分類した各集合である。{各部}は、{大分類}のなかの階単位の集合である。{部位}は入力された座標値により形状がつくられるものであり、{配置}はあらかじめ仕様と形状が決っているもので、{部位}と{配置}を物理的な位置関係あるいは論理的な関係でまとめたものが{本体}である。{構成}は{本体}のなかの{部位}に対して、{種類}は{本体}のなかの{配置}に対して、性質の同じものの集合である。すなわち、「家構成データ」における分類が、{構成}と{種類}である。この「3次元家モデルの基本概念」に対して、表3.1の「家構成データ」を実際にあてはめたものが図3.2 家モデルのデータ型である。

(3) 網構造化

階層構造では下位の階層がいつも一意に決るが、実世界のデータ間には上位の階層が複数存在し、また同位の階層間にも関係が存在することもある。これを網構造で表現したものが図3.3 3次元家モデルのデータ構造である。

{家} から始り {部位} あるいは {配置} にいたる関係は、「家モデルの基本概念」に基づいた階層関係を表す。付帯（本体，本体）あるいは付帯（配置，配置）は同一データ型間における親子関係を、従属（本体，本体）あるいは従属（配置，配置）は異なるデータ型間における親子関係を表し、ともに第1項が削除されたときはいっしょに削除され、変更されたときはいっしょに変更される関係を表す。「付帯」の代表的なものは付帯（押入，天袋）や付帯（便器，紙巻器）であり、「従属」の代表的なものは従属（部屋，収納）や従属（窓，雨戸）である。

領域（種類，配置）は、上位の {本体} に対して論理的には属さないが、{本体} の領域内にあり物理的に属する関係を表す。例えば、屋外に置く風呂釜は論理的には浴室に属するが、位置的には浴室には存在せず屋外にある。これを領域（屋外部屋，風呂釜）で表現する。

接着（部位，配置）は、{部位} に対して {配置} が接着の状態に配置されており、{部位} が削除されると {配置} もいっしょに削除され、移動されるといっしょに移動される関係を表す。接着（壁，コンセント）などが代表例である。

穴（部位，部位）あるいは穴（部位，配置）は、{部位} または {配置} が入力されたことにより元の {部位} に形状変更が生じる場合、それを穴として表現しておき、後から入力された {部位} または {配置} が削除されたとき元の形状に効率よく戻すためのものである。

位置（配置， X_i ， Y_i ， Z_i ， i ）あるいは形状（部位， X_i ， Y_i ， Z_i ， i ）は、{配置} の位置と {部位} の形状の座標値を {配置} と {部位} の属性から独立させ、住宅の設計変更にとまなう形状変更を簡単なデータ操作で効率よく行なうために用意された関係である。また、座標値は各階ごとに設定される複数の基準値からの相対値で表現されている。これを表している関係が、計算（基準値，式，座標値）あるいは計算（座標値，式，座標値）である。これは壁の移動や高さの変更にとまなない、関連するすべての {部位} と {配置} の座標値をこの「計算」の関係によって再計算するためのものである。

数百点種類におよぶ住宅を構成する「もの」も、データモデルとして抽象化整理し構造化すると図3.3 3次元家モデルのデータ構造に示すように単純なモデルとして表現される。また「3次元家モデル」は、「もの」の属性と「もの」と「もの」との関係を出来る限り実体に忠実に表現しただけではなく、各種の形状変更や全体的なあるいは部分的な仕様変更にも効率よく対処できる構造ももっている。

図3.4 に部屋のデータ構造例を、図3.5 に「接着」関係の例を、図3.6 に「穴」関係の例を示す。

次に、この「3次元家モデル」をコンピュータ内にデータベースとして構築するためのデータモデリング手法について述べる。

データモデリング手法の代表的なものに、ASP^[1]、CODASYL^[2]の階層・網構造モデル、E.F.Coddの関係モデル^[2]がある。

階層・網構造モデルは、「もの」の属性と「もの」と「もの」との関係を明確

に区別して考えるが、関係モデルでは「もの」の属性もその関係も同じ「表」であらわす。

ASP モデルでは「もの」の属性は element、「関係」は associator であらわし、2項述語の m:n の関係が表現できるのに対して、CODASYL モデルでは属性は record、関係は record と set の型であらわし、2項述語の 1:n の関係においては associator が廃止され、単純なモデルとして表現できが、m:n の関係を表現するためには論理的に意味のない record が必要となり、その record と set を用いて関係を表現することになる。

「3次元家モデル」では、「もの」の数が多く、2項述語以外に5項述語の関係が存在し、しかもその関係は m:n である。これを ASP モデルや CODASYL モデルのようなポインタ方式で表現することはとうてい不可能である。(複雑になりすぎて実現性に乏しく、また効率面で実用的でない。)

関係モデルでは、「もの」の属性のうち必要な属性が関係をつけるたびに表にあらわれる。これは、その属性がたびたび変更される属性であるならば、変更のたびごとにその属性があらわれる複数の表を更新しなければならないことを意味し、データ操作を複雑にし効率を下げる。これを避けるためには、属性のなかで比較的不変で一意的な属性、つまり key で関係表をつくらなければならない。また住宅の世界では、住宅を構成する「もの」の種類は数百点にも及び、これらを表であらわすとすると「もの」の種類分だけの表が必要になる。表を少なくするためにある共通の性格でまとめると、属性の過不足により空値の成分をたくさん含む表となる。

関係モデルは「もの」の属性も「関係」もすべて関係表という一つ概念でとらえ、そのデータ操作を関係代数を用いて表現することにより、論理的明確さと美しさをもっている。しかし、住宅CADのように多くの種類の「もの」とその「関係」を対象とし、「もの」そのもの、「もの」の属性、そしてその「関係」が頻繁に変更される世界においてはその有効性は疑問である。^[3]

以上の理由により、「3次元家モデル」では階層・網構造モデルと関係モデルの折衷案として「もの」と「関係」を区別し、「もの」はその属性の集合である record であらわし、「関係」は関係表を用いてあらわした。そして、日本ユニシス㈱のCAD用 dbms である LMS (Logical Structure Manipulation)^[3] を参考にして、簡易型の専用 dbms RDM (Relational Data Manipulator) を開発した。

4. 家構成データ

家構成データは、住宅を構成する数百種類におよぶ「もの」を抽象化し分類したものである。(表3.1 家構成データの分類 参照)

この家構成データより該当する「もの」を選び、位置あるいは形状を与えて入力することによって「3次元家モデル」が作られる。家構成データは、「もの」の属性の集合を record、分類された「もの」の集合を file として構成され、file 番号と record 番号によって1つの「もの」が参照される。

属性は共通属性と独自属性に分れ、共通属性には以下のものがあり、

- (1) 名称・メーカー名・型番・色
- (2) 入力情報（位置、形状の座標値の入力方法）
- (3) 形状情報（例：高さ、長さ、幅、間口、奥行）
- (4) 見積情報（例：単価、数量単位、丸め）
- (5) 部材情報（部材を自動展開するための情報）
- (6) 基礎創成情報（基礎を自動創成するための情報）
- (7) 付帯情報（子供とする別の家構成データの情報、例：便器は紙巻器、タオル掛け、給水栓、汚水排水を子供にもつ）

すべての record と file について共通である。独自属性は file ごとに異なり、file に分類された「もの」の性格をあらわす属性から成る。例えば、「3次元家モデル」で{本体}となる「外形」、「屋根」、「部屋」、「収納」、「屋外造作」は、下位の{部位}を創成するために「部位の創成情報」（部位の高さ、仕上下地）をもち、{配置}となる「外部建具」などは、配置場所や取り付け方を決める「配置情報」や、他の家構成データとの関連をあらわす「関連情報」（例：部位との接着関係）、そして「図形情報」をもつ。

家構成データのうち、「配置」に分類された「もの」は「3次元家モデル」の{配置}に、「部位」に分類された「もの」は{部位}に対応するが、「本体」に分類された「もの」は、入力の簡単にするために{本体}、{構成}、そして{部位}を「部位の創成情報」により自動創成する。また「基礎」も、入力された「もの」の属性である「基礎創成情報」により自動創成される。

5. おわりに

コンピュータにデータベースとして「3次元家モデル」をもつことにより、設計から発注までの一貫した住宅CADシステムを実現することができた。このシステムの採用により、1回の入力（一棟分の入力時間は30～40分）で約2時間後には図面と見積書が入手でき、そのうえ部材の拾い作業や発注作業が大幅に省力化できるとともに、部材の拾いミスや発注ミスも防止でき、その効果は大きい。今後は、プレゼンテーション機能を追加し、顧客へのサービスと営業支援を強化していかなければならない。現在、グラフィック・ワークステーションの技術進歩は著しく、設計者一人に一台の時代を向えるにあたり、グラフィック・ワークステーションへの移植も考えられる。

今後のプロダクト・モデリングの技術的課題は、応用プログラムの手続からの「もの」の完全な独立である。本モデルにおける「もの」を抽象化し分類した「家構成データ」も、「もの」の性格を完全に属性で表現しているとはいえず、分類された「もの」の種類ごとに応用プログラムに手続が存在する。そのため、新しく追加された「もの」が従来の分類と少しでも違えば、新しい手続を追加しなければならず、仕様変更を難しくしている。次回のシステム開発では、この課題に取り組んでいきたい。

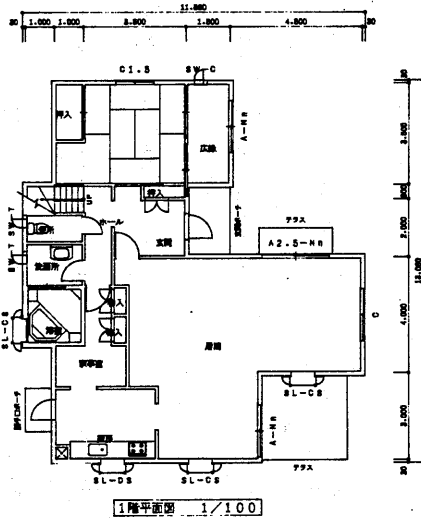
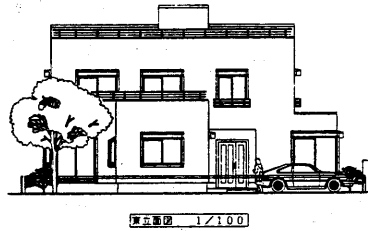
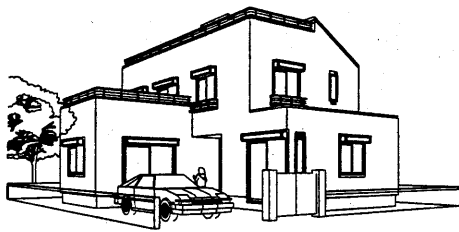


図2.3 図面の出力例

W787	AO4	[1]	(200L) 0.5NF2200ドアU1	F AO4
W395	AO4	[1]	(200L) 0.5NFG	F AO4
W302	AO4	[1]	(200L) 0.5NFGO.5	F AO4
W538	AO4	[2]	(200L) r 0.5NFGO.5	F AO4
W264	AO4	[1]	<4W> 1ND1	F AO4
W903	AO4	[2]	<4W> 2NE1	F AO4

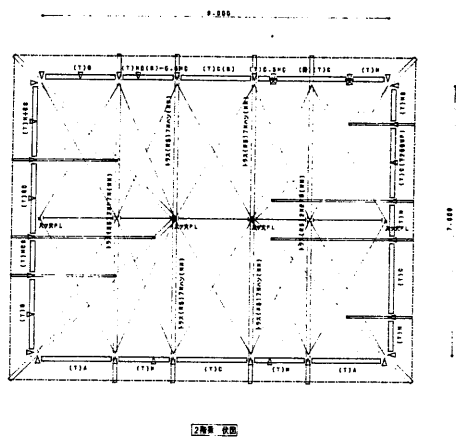
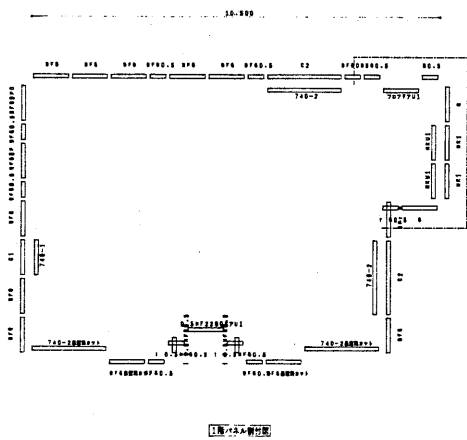


図2.4 部材リストと伏図の出力例

表3.1 家構成データの分類

分類	家構成データ	分類	家構成データ	分類	家構成データ
外形	外形 外壁 袖壁 出窓 アルコーブ 外部建具(ドア) 外部建具付帯(雨戸) 外部建具付帯(面格子) 外部建具付帯(窓手摺) 外部建具付帯(内障子) 外部建具付帯(その他)	基礎	基礎 外周基礎 間仕切基礎 土間コンクリート基礎 基礎付帯	屋内	床ゾーン 床下補強 ボールド天井 天井補強 造作 たのしみ 階段 備品 電気設備 給排水設備 ガス設備 家具
	躯体		断熱組 軸小屋組 梁柱組		材料
	屋内	部間仕切 間仕切床 天井上り壁 腰垂れ壁 目隠し壁 壁ふかし 壁補強 上り床・下り床	屋根		屋根 軒裏 軒先カット 葺き降し 寄棟納り 屋根建具 屋根付帯
屋外	屋外造作 屋外付帯				

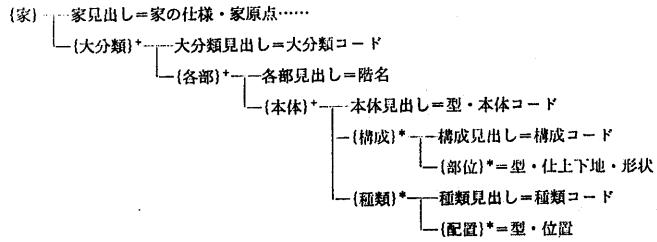


図3.1 3次元家モデルの基本概念

{家} 家見出し=家の仕様・家原点・家最小点・家最上点・四面情報……

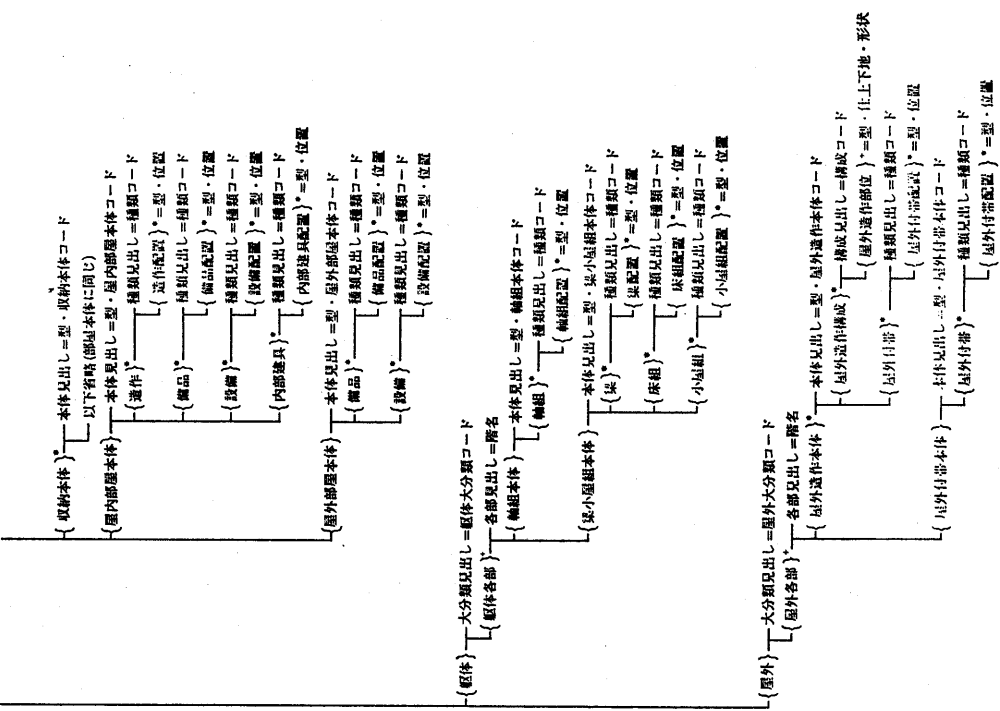
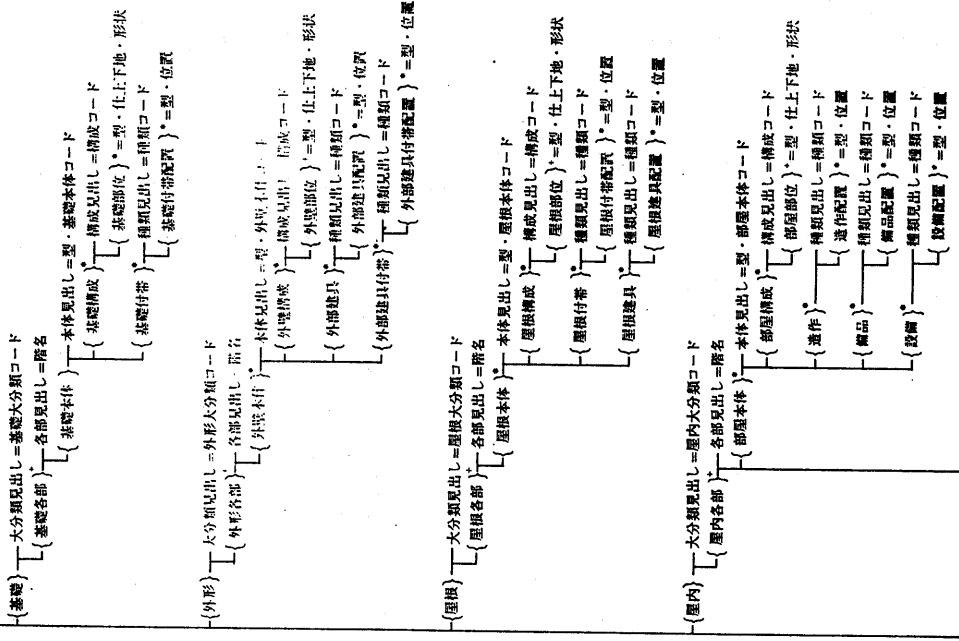


図3.2 家モデルのデータ型

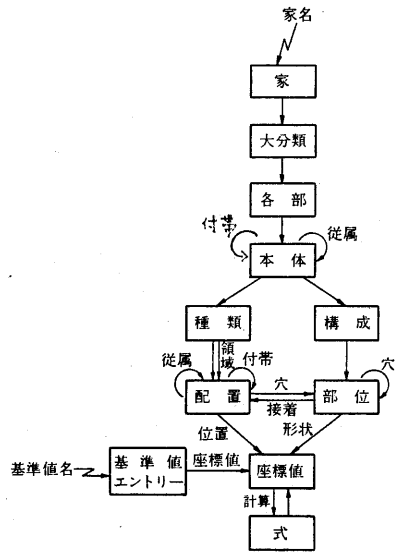


図3.3 3次元家モデルのデータ構造

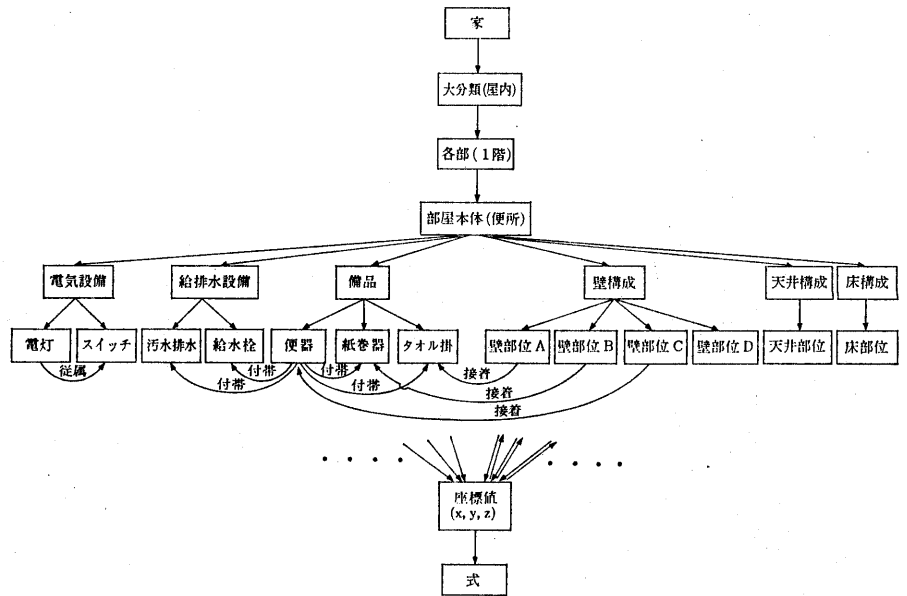
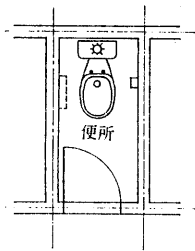
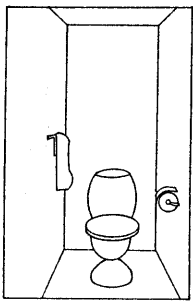


図3.4 部屋のデータ構造例

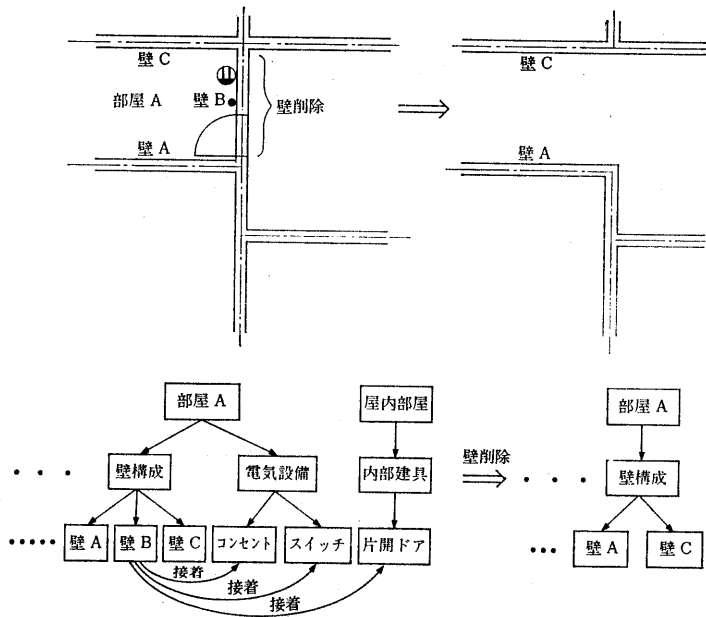


図3.5 「接着」関係の例

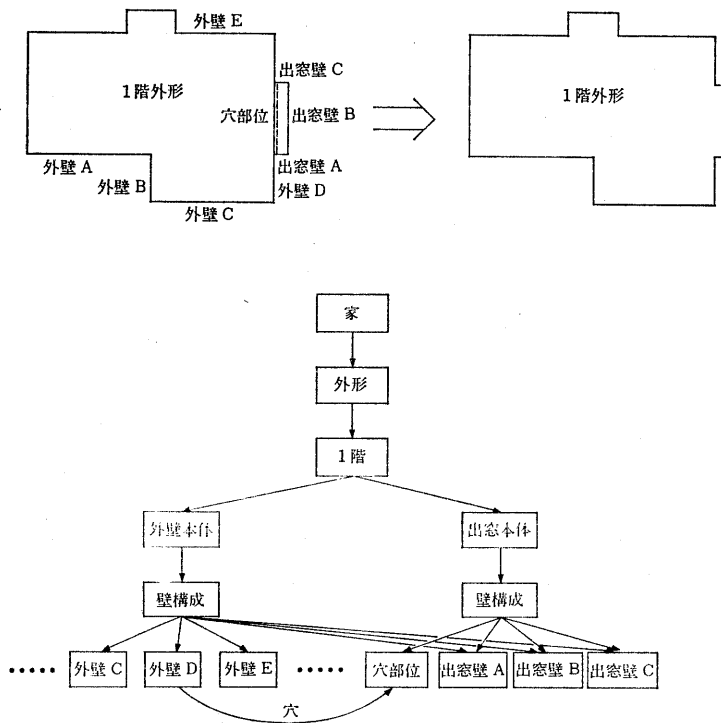


図3.6 「穴」関係の例