九州大学学術情報リポジトリ
Kyushu University Institutional Repository

建築物の統合化設計支援システムの構築法に関する研究

手越，義昭

https://doi.org/10.11501/3056757

出版情報：九州大学，1991，工学博士，論文博士
バージョン：
権利関係：

建築物の統合化設計支援システムの構築法に関する研究

平成3年1月

平 越 義 昭

①

建築物の統合化設計支援システムの構築法に関する研究

平成３年１月

手越　義昭

目　次

第１章　序　論　－建築設計支援システムの現状と本研究の目的－　……2
１－１　研究目的　……2
１－１－１　現有の建築設計支援システムの持つ問題点　……2
１－１－２　本研究の目的　……4
１－１－３　本研究の概要　……6
１－２　既往の研究　（－設計支援システムの発展と歴史－）　……8
１－２－１　第一期　１９６０年代前期　……8
１－２－２　第二期　１９６０年代後期　……8
１－２－３　第二期　１９６０年代後期～１９７０年代初頭　……9
１－２－４　第三期　１９７０年代　……10
１－２－５　第四期　１９８０年代　……11
１－２－６　設計支援システムの基本概念　……11
１－３　論文の構成と研究概要　……14
参考文献　……16

第２章　建築設計支援システムの特性の分析　……23
２－１　はじめに　……23
２－２　建築設計の特徴　……25
２－２－１　建築設計の流れ　……25
２－２－２　建築設計の分業化　……26
２－２－３　知的設計業務と定型的設計業務　……26
２－２－４　まとめ　……27
２－３　建築設計と設計支援システム　……28
２－３－１　建築設計の流れと設計支援システム　……28
２－３－２　建築設計の分業化と設計支援システム　……29
２－３－３　建築実施設計でのモデル化と設計支援システム　……30
２－３－４　まとめ　……31

２－４　建築実施設計の設計過程の分析 ……33
２－４－１　建築設計のデータの流れと制御の流れ ……33
２－４－２　建築設計の定型業務に使われる設計知識 ……34
２－４－３　属性管理と製図支援 ……35
２－４－４　まとめ ……37
２－５　設計支援システムの設計 ……38
２－５－１　建築物モデル ……39
２－５－２　視点の統合と変換 ……39
２－５－３　建築物モデルの機能 ……40
２－５－４　システム構成と設計支援の範囲 ……41
２－６　むすび ……42
表・図 ……44
参考文献 ……54

第３章　ＩＢＤＳ：建築物の統合化設計支援システム ……61
３－１　はじめに ……61
３－２　設計方針 ……62
３－３　設計支援システムの概要 ……65
３－４　建築物モデル ……67
３－５　建築物の設計過程 ……68
３－５－１　設計作業の流れ ……68
３－５－２　意匠設計の支援 ……69
３－５－３　構造設計の自動化 ……70
３－５－４　積算の支援 ……70
３－６　システム構成と評価 ……71
３－６－１　システム構成 ……71
３－６－２　システムの評価 ……71
３－７　むすび ……73
表・図 ……75
参考文献 ……85

第４章　建築設計支援システムに適した
設計情報の一元管理と建築物モデル ……88
４－１　はじめに ……88
４－２　部材の表現のためのオブジェクト指向言語 ……90
４－２－１　建築物モデルを構成する部材の整理方法 ……90
４－２－２　建築物モデルの機能 ……93
４－２－３　建築物モデルの構成例 ……96
４－３　建築物モデルの情報を一元管理する方法 ……100
４－３－１　部材の「クラス」，「インスタンス」 ……100
４－３－２　建築物モデル管理機構とビュー ……100
４－４　建築物のモデル ……102
４－４－１　建築物モデルの管理 ……102
４－４－２　製図支援と属性管理 ……103
４－５　建築物モデルと各種設計作業の支援ツールとの関係 ……104
４－６　むすび ……106
表・図 ……108
参考文献 ……128

第５章　生成検証法による小規模な設計問題の解法 ……130
５－１　はじめに ……130
５－２　生成検証法の基本概念 ……132
５－２－１　生成検証 ……132
５－２－２　データフロー ……132
５－２－３　プログラムのモジュール化 ……133
５－２－４　再帰の利用 ……134
５－３　階段設計への適用例 ……136
５－３－１　踊り場を必要とする階段設計のデータフロー ……136
５－３－２　階段設計の計算例 ……137
５－３－３　多層の階段室の設計例 ……138
５－３－４　階段室設計の計算例 ……142

5－3－5　本手法のプログラミング ……142
5－4　むすび ……144
表・図 ……145
参考文献 ……162

第6章　建築設計支援システムにおける生成検証法のプログラミング ……164
6－1　はじめに ……164
6－2　手続き型言語によるプログラミング ……165
6－2－1　手続き型言語によるプログラミング ……165
6－2－2　手続き型言語によるプログラミングの難点 ……167
6－3　設計計算用言語によるプログラミング ……169
6－3－1　ＤＳＰプログラムの記述形式 ……169
6－3－2　ＤＳＰプログラムの作成手順 ……171
6－4　設計計算用言語の実行環境 ……173
6－5　階段設計のプログラミングの実際 ……174
6－5－1　階段設計における問題設定 ……174
6－5－2　生成検証法のための問題の定式化 ……175
6－5－3　データフロー図式の作成 ……176
6－6　生成検証法のプログラミング実験 ……178
6－7　むすび ……180
表・図 ……181
参考文献 ……198

第7章　本研究の総括 ……200

Appendix Ⅰ ……206
Appendix Ⅱ ……214

謝　辞 ……234
索　引 ……235

第１章

序　論

－ 建築設計支援システムの現状と本研究の目的 －

第1章　序　論　　－建築設計支援システムの現状と本研究の目的－

1－1　研究目的

近年建築設計の分野では，コンピュータ上に実現された建築設計支援システムが普及し，これを運用することによって設計作業の効率化に貢献している。

しかし，これらの建築設計支援システムは建築の分野で独自に発展したものではなく，機械設計等で開発された汎用のターンキーシステム(turn key system)を建築設計に応用した事例報告が多い[1],[2],[3],[4],[5],[6],[7]。これらのシステムを使った建築の設計作業では定型的作業と非定型的作業とが混然としている設計作業を，定型的な作業と非定型的な作業とに分離している。また，設計作業をコンピュータ化する為に，設計業務の系統的な分析を行い，建築設計支援システムを対話型（interactive)としている。すなわち，定型的な作業が現れたときにはコンピュータに処理させ，非定型的な作業が現れたときには設計者自身が判断を行い処理するシステムである。

一方，建築設計支援システムの方法論については，図形処理技術，問題向き建築設計支援システム[8],[9],[10],[11]を中心として発展しており，特に図形処理技術の分野では，山崎[12]らの，グラフィックディスプレーを使った建築パースの表現法について，笹田[2]らの，ＣＧ（Computer graphics）技術を使って建築物の表現や都市景観の表現法について，また設計問題を扱う方法論としては，青木[13],[14],[15]らは，相関類推法を用いて住宅建築の部屋配置問題について，谷口[16],[17]は設計用語の記述についての報告を行っている。しかし，これらの研究では，論理装置設計や機械設計において展開されているような明確な設計支援システムの方法論を展開しているとは云えない。

1－1－1　現有の建築設計支援システムの持つ問題点

現有の建築設計支援システム[3],[18],[19],[20],[21],[22],[23]の多くは，建築設計における個々の作業を取り出して個別的に支援するシステムであり，設計図や設計書（以下，設計図書）の作成，構造計算，積算等の作業を設計作業の流れに乗って進めるものとはなっていない。更に，これら各種の設計支援ツールを利用者自身の業務に合わせて改良（カストマイズ（customize））することは容易

ではない。これは，現状の建築設計支援システムに以下のような問題点がある為と思われる。

(1) 設計作業を一貫して支援する機能の未整備

建築設計では，設計完了後でも発注者の要求や施工上の問題点を解決するため，頻繁に再設計が行われる。このような設計条件の変更に伴う再設計において，従来から行われている手作業に個別作業の建築設計支援システムを併用する方法では，設計者自身が各種設計図書の変更や構造計算の基礎データを修正しなければならず，各種設計図書間の整合性の管理に手間取り，設計ミスの発生や迅速な設計変更に対応できない。この問題は，対象とする建築物の設計情報の一元化が不十分なこと，各種の設計作業の支援ツール（以下，設計支援ツール）に一貫して支援することを前提とした考慮が成されていないことによっている。

(2) 各種設計作業の支援機能の不十分さ

建築物の設計作業には自動化しても設計品質に問題がない作業も含まれている。このような作業は設計作業の効率化のために，自動的に設計できるものに関しては，これに対応するツールを作成することが望ましい。

例えば，現用の建築設計支援システムでは，設計案の探索をする機能が不備で有るため，作業効率の向上が十分には期待できない。このような，設計案を系統的に探索する機能の不備は，自動化の不十分さと共に，過剰な標準化の原因になることがある。

(3) 設計者向きのカストマイズ機能の不備

設計者自身の業務に合わせて，システムの機能を改変したいという要求が有るが，現有の建築設計支援システムでは，このようなカストマイズ（customize）機能はほとんど実現されていないことである。

(4) システムの保守管理の問題点

現有の多くの建築設計支援システムでは，設計計算の実行手順を表す「コ

ントロールフロー」で表現することによってプログラム化が行われている。このため，ＦＯＲＴＲＡＮ や ＰＬ／１，Ｃ，ＢＡＳＩＣ 等の手続き型言語を用いてシステムのプログラム作成が行われ，プログラム作成者には，建築の設計知識に加えて，ある程度のプログラム技術が要求されることになる。このことは，設計に関する法規や設計仕様の変更，あるいは，これに付随する設計手順の変更等に伴う建築設計支援システムの修正変更を建築設計者だけで行うことを難しくしている一つの要因である。

１－１－２　本研究の目的

上述の問題点を解決するためには，建築設計支援システムが設計作業の流れ全体を一貫して支援できることが必要である。このような建築設計支援システムは，以下のような基本的概念に基づいて構築することによって解決できると考えている。

(1) 設計作業を上流から下流へ一貫して支援すること。

建築物の設計の各段階における設計情報を建築物モデル上で一元化し，建築物モデルと各種設計作業を支援するツールとを有機的に結合して設計支援システムを構築する。この建築物モデルは建築物の計画作業や構造設計作業に際して，修正の容易な柔軟な構造で実現する。これは，建築物モデルの修正が容易になれば，それを前提とした設計過程が可能となり，設計の変更に対して柔軟に対処できるからである。ここで修正が容易な柔軟な構造とは，例えば，平面図上で柱の位置を変更する場合，その動きにつれて梁の長さも自動的に修正される支援機能を備えることを指す。また，設計作業を一貫して支援する為には，各種の設計作業に最適な設計支援ツールを整備し，建築物モデルと共に統合化する必要がある。例えば，設計支援ツールＡの出力は，設計支援ツールＢの入力に充分な情報を提供できるようにしなければならない。また，設計作業を一貫して支援するには，設計過程を標準化した設計作業の流れとして捉え，各種の設計作業に対応した設計支援ツールを整備し設計支援システムに取り入れることにより，設計の流れ全体を分かりやすくすることが出来る。この為，概要設計，意匠設計，構造設計，積算，設計図書

等の作成にそれぞれ対応する支援ツールの整備を行う。

(2) 設計作業を一貫して支援する為の，各種の設計支援ツールの整備

設計者の持つ設計知識を取り入れることによって，設計作業をある程度自動化できることが予想される。このことから，幾つかの設計作業の支援ツールには，システムに設計案を探索する機能を与え，設計者の探索作業を支援する試みを行う。なお，本論文中では，エディタや構造計算プログラム等の設計支援ツールについては，既存の技術を用いて作成したため，詳しくは触れない。

(3) 設計者向きのカストマイズ機能の整備

建築設計支援システムを，利用者向きにカストマイズする機能を強化する為に，システムの作成者が予め想定した範囲の部材は，利用者自身の手で新しい部材を定義できるように構成する。また，知識工学的方法を用いて設計支援システムを開発し，設計者自身が業務に合わせてカストマイズする方法を研究する。

(4) システムの保守管理すること

建築設計支援システムの機能の修正，変更，改変，拡張が容易となるように，標準設計，部材規格等の変更に対しては，部材データベースを作成して各種支援ツール間で共通に使えるデータベースを構成する。また，各種の設計支援ツールは建築物モデルから独立させ，建築設計支援システムの機能の改変には比較的に柔軟に対応できる手法を研究する。

1－1－3　本研究の概要

本研究の目的は，建築設計作業の一貫した支援を可能とする建築設計支援システムの構築法を提示することである。

この研究目的を達成するために，情報処理技術の分野で整理されている設計支援システムの基本概念[30],[52]（1－2－6項 参照）の中から主として設計対象モデリング，アルゴリズム論的方法，および知識工学的方法に立脚して，以下のような順序で研究を進めた。

(1) 建築物の設計情報を一元的に表現した建築物モデルを中心として，意匠設計，構造設計，積算，設計図書の編集等の設計作業を支援するツールを配置した建築設計支援システム[24]を開発し，実用化した。

このシステム開発は実用化のための研究であった為，比較的実現が容易な情報処理技術のうち，設計対象モデリングとアルゴリズム論的方法を応用した。

(2) 上述(1)の研究は，建築物モデルの概念が外在化しておらず，その開発段階においても保守が困難であった。これについては，次のような機能を持つ建築物モデルを考案し，実現した。建築物モデルは部材の集合からなり，部材間には「存在の従属性」と「属性の従属性」を定義した。

次に，建築物モデルの一貫性を管理する建築物モデル管理機構を設け，建築物モデルを各種の支援ツールから直接操作が行えないように隠蔽する機能を持たせ，設計者や各種支援ツールが建築物モデル管理機構を通してモデルを操作することによって，システムの保守を容易にした[24]。また，建築物モデル管理機構に，上記の「存在の従属性」と「属性の従属性」を管理する機能を与えることにより，建築物モデルを修正の容易な柔軟な構造として実現することができた。

建築物モデルに対応することを前提として，意匠設計，構造設計，積算，設計図書の編集等の各種の設計支援ツールを再度整備した。建築物モデルと設計支援ツールは，次のように独立した構成にした。例えば，設計支援ツールの1つであるエディタは，設計者からは建築設計図面として動き，システ

ムの内部では，建築物モデルを設計情報の一元管理の為に使用している。構造計算，積算等は，実用性能を考慮して専用のアルゴリズムをC言語で記述することによって実現した。

(3) 次に，小規模な組み合わせ選択問題の解法を支援する設計ツールの作成法を研究[25]した。情報処理技術における生成検証，データフロー，および再帰等のプログラミング概念を用いた設計計算のプログラムを構築する一手法を提案し，階段，床組等の設計プログラムの作成実験を行うことによって，その有効性を実証[26],[27]した。

建築物モデルを用いて設計情報を一元的に管理すること，および設計作業の流れ全体を一貫して支援することは，本研究によって基本的には達成されたと考えている。しかし，利用者向カストマイズの機能や設計支援ツールの構築法については研究が不十分であり今後の課題が残されている。

1－2　既往の研究　（－設計支援システムの発展と歴史－）

設計支援システム（ＣＡＤ(Computer Aided Design system)）の発展の歴史[8],[28],[29],[30],[31]は，論理装置設計と機械設計を中心に大きく４つの時期に分類される。

1－2－1　第一期　１９６０年代前期

Ｍ．Ｉ．Ｔ（Massachusetts Institute of Technology ﾏｻﾁｭｰｾｯﾂ工科大学）のＣＡＤプロジェクトが『計算機を設計支援に用いる』という着想を明確にし，設計支援システムの概念を初めて提唱した[32]。このプロジェクトにおいて掲げられた目標は，

(1) 人間と計算機の対話による計算機の利用
(2) 図形を媒介にした計算機との対話
(3) 計算機支援によるシミュレーション

の三つに要約される。なかでもグラフィックス(graphics)とライトペン(light pen)を用いて計算機との対話を試みた SKETCHPAD [33],[34]は，その後この分野の発展の基礎となり大きな影響を与えた。しかしながら，この当時は計算機のハードウエアとソフトウエア技術共に十分に発達していなかったので，あまり具体的な成果を得るには至らなかった。この時期はコンピュータによる図形処理の可能性の検討期であったと云える。

1－2－2　第二期　１９６０年代後期

計算機技術全体の発達に伴い具体的な成果が現れ始めた。設計作業がルーチン化され，標準化が進んでいる製品（例えば電源トランスやポンプ等）を自動設計する設計支援システムが最初に作られた。これは図面等を用いてルーチン化された設計業務を直接プログラム化したもので，問題向き設計支援システムと呼ばれている[35]。この問題向き設計支援システムは実用上大きな成果をあげたが，以下に示すような問題を残した。

(1) 設計支援システムとしての方法論の基礎付けがなく個別対応的であり一般化できない。

(2) 通常ＦＯＲＴＲＡＮ等の手続き型言語で書かれており，一旦作成したプログラムはブラックボックス化(black box)しやすく，設計思想や基準等の変更に柔軟に対応できない。さらに，大規模システムになりやすく，前述の理由から，設計支援システムは各種の変更に対して柔軟な対応ができないために硬直化しやすく保守が困難である。

(3) 汎用言語を用いて簡単な図形処理に至るまでのすべてのプログラムを作成しなければならず利用者の負担が著しく過大であった。

(4) 自動化が進みすぎたため，設計過程の途上で設計者の意志を十分に反映できなかった。

この時期は，模索期であったと云える。

１－２－３　第二期　１９６０年代後期～１９７０年代初頭

その後，航空機や船体等のラーメン構造やトラス構造等を扱う構造解析システム[36],[37],[38]や電子回路解析システム[39],[40]等では，設計案の解析や結果の評価を行うことにより汎用性のより高い方法論が採られ始めた。これらのシステムは，

(1) 設計対象の構造が比較的簡単である。

(2) システムで取り扱う設計知識が限定されている。

(3) 解析に必要な基礎理論が完備している。

等の特徴を備えていた。

一方，計算機による図形処理技術はコンピュータグラフィックスとしてこの時期に独自に発展した。なかでも対話型図形処理や３次元図形処理技術の発展は設計支援システムに多大の貢献をした。最初に実用化された図形処理技術はワイヤーフレーム（針金細工的表現）処理を基本とした作図支援システムである。これらは，２次元あるいは３次元空間に与えた図形要素に拡大，縮小，回転等の操作

を，組み合わせて複雑な図形を記述するシステムであり，ターンキーシステム(turn key system)（あるいはスタンドアローン型(stand-alone type)設計支援システム）と呼ばれている。ターンキーシステムは，ＭＩＴのＣＡＤプロジェクトの２番目の目標である図形を媒介にした計算機との対話をほぼ完成させた技術となった。しかし，形状表現を取り扱うシステムとしては十分ではなかった。

この時期の設計支援システムの利用面では，利用者の負担を軽減する方法として，設計支援システムを導入したらすぐに利用できるターンキーシステムを供給者側で組み立て，利用者に供給する方法が取られはじめた。つまり，スケッチパッドで提案された図形処理等のプログラムをコンピュータシステムに組み込み，グラフィックディスプレーを介してコンピュータと対話しながら設計作業を進める設計支援システムを供給者側ですべて組み立てて，利用者に提供する方法である。このシステムの出現により設計支援システムは大きく展開し，設計支援システムとしての地位を確固たるものにした。このターンキーシステムの出現および普及期を設計支援システムの展開期と考えることができる。

建築設計の分野では，２×４専用，一般住宅専用，マンション専用等作業の定型化が進んでいる分野にみられる。

１－２－４　第三期　１９７０年代

３次元立体形状の計算機モデルとしてＢＵＩＬＤ[41]，ＴＩＰＳ－１[35],[42]等のソリッドモデルが提案された。

これらのシステムはモデル化の手法として，プリミティブ（ primitive ）と呼ばれる立方体や円筒，円錐からなる基本要素をあらかじめ用意しておき，和，差，積等の形状演算を施すことによって集合演算的に組み合わせて所定の形状を構築する。このようにして，一般の立体を表現する方法を用いている。

このソリッドモデルの概念により立体形状を計算機中に表現する手法が確立された。最近では，このモデルがＣＡＤ／ＣＡＭ(Computer Aided Design/Computer Aided Manufacturing) システムの中核として位置づけられ，次第に実用化されている。

１－２－５　第四期　１９８０年代

知識工学や認知科学等人工知能関連技術が設計支援システムの開発研究に大きな影響を与え始め，現在に至っている。

建築の分野では，８０年代にはいると他の分野で確立した設計支援システムの方法論を建築設計のためにも応用しようとする動きが現れてきた。

８０年代後半にはいると知識工学や認知科学等人工知能関連技術の影響から建築専用の設計支援システム技術[24],[26],[43],[44],[45],[46],[47],[48],[49]が報告され始めた。

１－２－６　設計支援システムの基本概念

以上，設計支援システムはこの２０数年間に長足の進歩を遂げ，ＬＳＩＣＡＤシステムや形状モデラと汎用解析システムによって構成されたシミュレーション型ＣＡＤシステム[50]等一部では，さらに高度な発展を遂げている[51]。

上述のような歴史的背景を経て，今日情報処理技術の分野で長澤は設計支援システムの基本概念を，公理論的方法，設計対象モデリング，アルゴリズム論的方法，知識工学的方法の４つに分類している[30],[52]。これらのアプローチは互いに影響し合いながら発展している。各方法の基本的概念は以下の通りである。

(1) 公理論的方法

述語論理や集合論等数学的な基礎の明確な体系をモデル化の枠組みとしようとするものである。このアプローチは設計過程の一般的な理解と設計支援システムの基礎付けを主な狙いとしており，個々の設計問題には立ち入らず一般的議論を展開している。代表的なものとして吉川の一般設計学[53],[54]，柳生のデータメタモデル[55],[56]大須賀の多層論理[57],[58]を挙げることができる。

(2) 設計対象モデリング

解析や設計結果の表現に用いられてきた解析，表示モデルを設計対象のモデル

として発展させようとするものである[59]。論理装置設計（ＬＳＩ等）の分野では，設計作業に付随する要件が比較的よく整理できる。このため設計対象を抽象化して記号的に取り扱うことが比較的に容易である。これに対して機械設計の分野では，設計対象の多様性や形状の複雑性あるいは要求される設計練度の高さによって設計対象の多面的なモデル化は困難であった。しかしながら近年，属性モデリング[60]とよばれる方法が発展し，機械の機能や機構を部品の形状と接続関係あるいは材質，強度等の属性と属性間の拘束関係によって表現できるようになった。代表的なものとして，木村ら[61],[62]のプロダクトモデル，沖野[63],[64]のオブジェクトオペレーション二元論，中島ら[65]のＦＤ（Feature Description）がある。また，長澤[66],[67]は機械の設計過程では，寸法や材質等の属性や構造の詳細が未定であるモデルを取り扱う必要があることを指摘し，このようなモデルを記述するするための汎用言語としてＡＤＬを提案した。伊藤[68]は認知科学的な立場から研究を行い，設計者が持っていると考えられる機械部品のメンタルモデルの表現を狙いとした形状モデラＣＯＮＭＯＴＯを提案した。本論では，設計対象モデリングを参考にし，属性モデル編集システムを拡張して建築物モデルの統合化を行う。

(3) アルゴリズム論的方法

現在実用に供されている多くの設計支援システムは対象領域固有の理論を基礎にＦＯＲＴＲＡＮ等の手続き型言語で開発されている。たとえばＬＳＩ設計におけるフロアープラン，プリント基板上の部品の配置配線の為の設計支援システム，板金部品の板取りの為の設計支援システム等である。これ等の設計支援システムの特徴は，設計要件が比較的少なく技術の発展に伴う設計知識の変化が少ないこと，および問題設定のサイズ（計算量）が比較的大きいことである。このため効率のよいアルゴリズムの開発が主要な研究課題とされていたが，近年ＶＬＳＩ設計等では設計問題が著しく大規模化しつつあり，従来のアルゴリズム論的方法だけで設計支援システムを構築することは困難になりつつあるとも云われている[69]。本論では，建築物の構造解析，断面設計等を行う部分でアルゴリズム論的方法を参考にしている。

(4) 知識工学的方法

知識工学の分野で発展した知識ベースシステムあるいはエキスパートシステムの方法を用いて設計者の設計行為自体を計算機上にモデル化しようとするものである。知識工学的方法を用いる研究の動機は，次に示すように様々である。論理装置設計では，大規模な設計問題の解法を熟練設計者が経験的に獲得している設計知識に求める研究[70],[71],[72]がある。機械設計では多様な設計問題を汎用的な枠組みで記述する研究[31],[63],[64],[73]，概念設計[74],[75]，基本設計[76]，工程設計[77],[78]等への応用が報告されている。本論では，知識工学的方法を参考にして生成検証法を用いた小規模な設計案の探索を行っている。

1－3　論文の構成と研究概要

本論文は，第1章『序論』から第7章『本研究の総括』までの全7章とAppendix Ⅰ～Ⅱにより構成される。第1章，第7章を除く各章は，それぞれ，”はじめに”において各章の研究目的を述べ，研究本文と続き，最後に”むすび”においてその章で得られた知見をまとめると共に研究項目に関する筆者の考え方，立場を述べている。また，Appendix Ⅰ～Ⅱでは，研究本文中において議論を展開する上で必要な事項を補足している。以下に，各章の研究概要について章を追って述べる。

第2章では，建築設計支援システムを構築するために必要な建築設計の背景となる設計の段階，分業化，実施設計の範囲を分析し，建築設計から生じる建築設計支援システムへの要求と建築設計支援システムの範囲について述べ，建築設計支援システム構築のための建築設計作業の流れの分析，設計過程と設計知識について，建築設計支援システムの設計情報を一元的に表現した建築物モデルの設計概念について考察を行い，建築における設計支援システムの特性についてまとめる。

第3章では，建築設計の職能別に分業した分野毎の個別的な支援による問題を解決するため，建築物の統合化モデルの表現法[24]について，建築物の設計情報を一元的に表現した建築物モデルを中心として，意匠設計，構造設計，積算，設計図書の編集等の設計作業を支援するツールを配置した。このことによって設計者は，建築物モデルの編集，一貫性管理，構造設計モデルへの設計データの変換に煩わされることなく一貫して設計作業を進めることができる。建築物モデルの一貫性を管理する建築物モデル管理機構を設け，システムの保守を容易にした。また，設計過程の標準化は，建築物モデルの中で使用される設計データの流れを管理することにより行った。この結果，設計変更に際して設計案を容易に修正できる機能，設計図書間の整合性を管理する機能，複数の分野にまたがる設計上の問題点を指摘する機能を実現できることを実証する。

第４章では，設計作業を一貫して支援する建築設計支援システムを構成するのに適した建築物モデルと部材構成の表現法について述べる。また，建築物モデルを各種の支援ツールから独立させるため，建築物モデル管理機構を通してモデルを操作することとした。建築物モデルを各種の支援ツールから隠蔽する機能は建築物モデル管理機構が「存在の従属性」，「属性の従属性」を管理することによって実現する。

第５章では，建築物設計における小規模な組合せ選択問題[26]を対象として，情報処理技術における生成検証（generate and test），データフロー，および再帰（recursive）等のプログラミング概念を用いた設計支援の一手法を提案する。

第６章では，始めに生成検証法を用いたプログラミング手法[27]を設計者側の立場から整理検討する。次に，階段設計を例にして，問題の設定からプログラム作成までの実際を述べ，本論で提案するプログラミング手法の有効性を論じる。

第７章では，各章で得られた知見等の要点を整理し総括としている。

Appendix Ⅰでは，本論文で用いた用語およびこれに関連する用語の定義について述べる。
Appendix Ⅱでは，本研究に付随して開発したデータフロー図式の実現に適した簡易言語の概要を述べ，この簡易言語に与えた機能について概説し，基本的な操作法について述べる。

【第１章の参考文献】

(1) 松岡進士郎：建築分野のＣＡＤ／ＣＡＭの現状と展望，別冊「コンピュートピア」，Ｎｏ．６，株式会社コンピュータ・エージ社，pp.56-60，昭和６０年１２月

(2) 建築におけるＣＡＤの現況と将来について，シンポジウムテキスト，日本建築学会近畿支部，1990.2

(3) 第４～１０回電子計算機利用シンポジウム論文集，日本建築学会，(1982～1988)

(4) 第１１～１２回情報システム利用技術シンポジウム論文集，日本建築学会，1989

(5) 手越義昭，藤岡豊三雄，秦昌昭：住宅設計におけるレイヤ構成の応用，第８回電子計算機利用シンポジウム論文集，日本建築学会，第８巻，pp.7- 12，1986.3

(6) 手越義昭，西川加禰：建築設計教育における電子計算機利用の位置づけに関する研究（その１），広島工業大学研究紀要，第２０巻　Ｎｏ．２４号，pp.191-194，昭和６１年３月

(7) 手越義昭，西川加禰：建築設計教育における電子計算機利用の位置づけに関する研究（その２），広島工業大学研究紀要，第２０巻　Ｎｏ．２４号，pp·195-201，昭和６１年３月

(8) 千田豊満：ＣＡＤ／ＣＡＭシステム　－　基礎から構築まで，理工学社，pp.6-10，1990.1

(9) 手越義昭，西川加禰：建築設計教育におけるコンピュータ利用に関する研究（パーソナルコンピューターを使った建築設計教育用ＣＡＤシステムの開発）第７回電子計算機利用シンポジウム論文集，日本建築学会，第７巻 pp.319-324，1985.3

(10)手越義昭，西川加禰：建築専門教育におけるコンピューター利用に関する研究（その１）建築設計製図への試行的導入の検討，広島工業大学研究紀要，第１９巻　Ｎｏ．２３号，pp.241-250，昭和６０年３月

(11)手越義昭，西川加禰：建築専門教育におけるコンピューター利用に関する研究（その２）建築透視図への試行的導入の検討，広島工業大学研究紀要，第１９巻　Ｎｏ．２３号，pp.251-258，昭和６０年３月

(12)山崎均，真鍋正規：コンピュータグラフィックスと建築パース，日本建築学会計画系論文報告集，第４０４号，pp.37-47，1989.10
(13)青木義次，山縣洋：ＣＡＤにおけるフレキシブル条件の概念の定式化と応用，日本建築学会計画系論文報告集，第３６５号，pp.68-74，昭和６１年７月
(14)青木義次：相関類推法を用いた建築知識ベースの生成と類推（建築ＣＡＤのための基礎的研究　その１），日本建築学会計画系論文報告集，第３８９号，pp.62-71，昭和６３年７月
(15)青木義次，西能完，菅野元衛：相関類推法の統計学的根拠と建築知識ベースのメンテナンス（建築ＣＡＤのための基礎的研究　その２），日本建築学会計画系論文報告集，第３９８号，pp.69-74，１９８９年４月
(16)谷口興紀：要求文の述語論理的分析（設計思考活動の測定方法に関する基礎的研究　その１），日本建築学会論文報告集，第３３６号，pp.112-120，昭和５９年２月
(17)谷口興紀：設計思考における要素の導入について（知識工学的観点から），日本建築学会計画系論文報告集，第３８７号，pp.71-78，昭和６３年５月
(18)ICAD Inc.:The ICAD System :A New Way to Capture Design and Manufacturing Knowledge,1986
(19)ＮＴＴデータ通信㈱：DEMOS BUILD-1 説明書，第２版，1～4編，1989
(20)㈱構造システム：BUS-2 一貫構造計算プログラム，1986
(21)ユニオンシステム㈱：Super Build/SS1 解説書，1987
(22)オートデスク㈱：AUTO CAD ADE-3EX 操作ガイド，1985
(23)㈱ｺﾐｭﾆｹｰｼｮﾝｼｽﾃﾑ：STCAD 構造図化システム基本操作マニュアル，1987
(24)長澤勲，手越義昭，牧野稔：ＩＢＤＳ：建築物の統合化設計支援システム，情処処理学会論文誌，Vol.30，No.8，pp.1058-1067，1989.8
(25)長澤勲，手越義昭：ＤＳＰ：設計計算のためのスプレッドシート，昭和６３年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集，pp.437-438，1988
(26)手越義昭，長澤勲，前田潤滋，牧野稔：建築物設計における小規模な組合せ選択問題の一解法，日本建築学会計画系論文報告集，第４０５号，pp.157-165，1989.11

(27)長澤勲，前田潤滋，手越義昭，牧野稔：建築設計支援システムにおける小規模な組合せ選択問題のためのプログラミング手法，日本建築学会構造系論文報告集，第４１７号，pp.157-166，1990.11

(28)日本機械学会編：ＣＡＤ／ＣＡＭ事例集，技報堂出版，pp.1-5，1987.11

(29)樋口登志男，吉永和彦：ＣＡＤ解説，実教出版株式会社，1984.10

(30)長澤勲：設計エキスパートシステム，情報処理２８，２，pp.187-196，1987

(31)長澤勲：設計支援システムのための知識表現と推論機構に関する研究，九州大学工学研究科学位論文，1986

(32)Mann,R.W.:The CAD Project,Mechanical Engineering(ASME),p.41(1965).

(33)Sutherland,I.E.:SKETCHPAD A Man-Machine Graphical Communication System,MIT Lincoln Lab.TR296,1963

(34)コンピュータグラフィックスの原点 SKETCHPAD とその果たした役割，ＰＩＸＥＬ，Ｎｏ．３，図形情報処理センター，PP.79-83，1988

(35)沖野教郎：自動設計の方法論，養賢堂，p.192，1982

(36)STRESS:Structured Engineering System Solver,A User's Manual,MIT Press,1965

(37)手越義昭，佐藤立美：既存鉄筋コンクリート造建築物の振動実測に基づく性能調査（マイクロコンピュータによる波形解析ソフトの開発），第６回電子計算機利用シンポジウム論文集，日本建築学会，第６巻，pp.163-168，1984

(38)手越義昭，佐藤立美：マイクロコンピューターとシグナルアナライザーを使った高速波形解析システムの開発（常時微動計測時に建築物が周辺地盤へ及ぼす影響に関する研究），第７回電子計算機利用シンポジウム論文集，日本建築学会，第７巻，pp.211-216，1985.3

(39)Malmberg,A.F.,Cornwell,F.L. and Hofer,F.N.:NET-1:Network Analysis Program,Report LA-31119,Los Alamos Scientific Laboratory,Los Alamos,N.M.,1964

(40)Jensen,R.W. and Lieherman,M.D.:IBM Electronic Circuit Analysis Program,Prentice Hall,1968

(41)Braid,I.C. and Lang,C.A.:Computer Aided Design of Mechanical Compoments with Volume Building Bricks,Proc. PROLAMAT'73,1973

(42)Okino,N.,Kakazu,Y. and Kubo,H.:TIPS-1:Technical Information Processing System for Computer Aided Design,Drawing and Manufacturing,Proc. PROLAMAT'73,1973

(43)山田周平，栗原信一郎，藤田三男：建築設計支援システムＤＥＬＴＡ（その１～その３），第９回電子計算機利用シンポジウム論文集，日本建築学会，第９巻，pp.199-216，1987

(44)篠田博水：３次元家モデルに基づく住宅設計一貫システム，UNIVAC TECHNOLOGY REVIEW 第８号，pp.22-36，1985

(45)牧野稔，手越義昭：パーソナルコンピュータシステムを利用した建築構造解析ＣＡＤグラフィックスシステム，情報処理学会第３３回全国大会，3S-11，pp.2321-2322，昭和６１年後期

(46)松下聡，岡崎甚幸，国枝毅：１次元最適部屋配置モデルの研究，日本建築学会計画系論文報告集，第３８０号，pp.56-63，昭和６２年１０月

(47)小澤由紀夫，松下洋治，井田いずみ，池田昌泰：最適土地利用企画エキスパート・システムの研究と開発，日本建築学会計画系論文報告集，第４００号，pp.51-59，１９８９年６月

(48)手越義昭，牧野稔，長澤勲：『建築構造設計支援システム』，昭和６３年１０月，日本建築学会建築学会大会（関東），pp.915-916，1988

(49)伊東健司：杭工法選択システムにおける知識獲得と知識ベース開発，人工知能学会誌，第３巻　第１号，pp.10-17，昭和６３年１月

(50)沖野教郎:ＣＡＤの研究，情報処理，Vol.24，No.1，pp.11-16，1983

(51)羽根田博正，芳井隆，野田浩明：パーソナルコンピュータを利用した電気回路解析用ＣＡＤグラフィックスシステム，情処処理学会論文誌，Vol.26，No.4，pp.600-608，1985.7

(52)長澤勲：設計エキスパートシステム，人工知能学会全国大会（第１回）チュートリアル講演，pp31-50，昭和６２年

(53)Yoshikawa,H.:General Design Theory and A CAD system,in Sata,T. and Warman,E.(eds).Man Machine Communication in CAD/CAM,Proc.IFIP WG5.2/5.3 Working Conference(Tokyo),North-Holland,p.35,1981

(54)Tomiyama,T. and Yoshikawa,H.:Extended General Design Theory,IFIP WG5.2 Working Conference(Tokyo),Preprnts,pp.75-104,1985

(55)柳生孝昭：ＣＡＤのための data metamodel，情報処理学会グラフィックスとＣＡＤシンポジウム論文集，pp.1-11，1983

(56)柳生孝昭：形式的・数学的体系としてのＣＡＤ，第４回設計自動化工学講演会講演論文集，pp.1-11，1986

(57)Ohsuga,S.:A New Method of Model Description-Use of Knowledge Base and Inference,CAD System Frame Work,in K.Bo and Lillehagen,F.M.(eds). North-Holland,pp.285-312,1983

(58)山内平行，大須賀節雄：知識ベースシステムＫＡＵＳによる構造体表現と推論方式，電子通信学会技術報告ＡＬ82-69，1982

(59)伊藤公俊：対象の計算機モデリングと設計，日本ロボット学会誌，4,4,pp.101-108，1986

(60)斎野享，水野正敏：「知的ＣＡＤ」を目指して飛躍する機械設計システム，日経ＡＩ，7.6付録pp.1-20，1987

(61)Kimura,F.,Sata,T.and Hosaka,M.:Integration of Design and Manufacturing Activities Based on Object Modelling,Advances in CAD/CAM, North-Holland,pp.375-385,1982

(62)Kimura,F. et al : A Study on Product Modeling for Integration of CAD/CAM,Int. J. of Computers in Industry,North-Holland,Vol.5,No.3, pp.239-252,1984

(63)Okino,N.Kakazu,Y. and Kubo,H.: TIPS-Technical Information Processin System for CAD/CAM in Kitakawa,T.(ed.),JARECT Vol.7,Computer Science & Technologies,pp.204-224,OHMSHA,LTD.and North-Holland,1983

(64)沖野教郎：オブジェクト・オペレーション二元論に基づく設計論，精密工学会，春季大会シンポジウム資料，pp.18-23，1986

(65)石田智利，箕輪元，中島尚正：設計対象物の非要求機能検出に関する研究，精密工学会誌，52,2，pp.106-112，1986

(66)長澤勲，古川由美子，荒牧重登：論理プログラミングを基礎とした設計システム記述言語ＡＤＬ，情報処理学会論文誌，25,4，pp.606-613，1984

(67)長澤勲：ＡＤＬⅡ：Ｐｒｏｌｏｇ を核とした知識表現言語，九州大学大型計算機センタマニュアル，1984

(68)Ito,M.,Kono,M. and Hayashi,K.:CONMOTO: A Machine Part Design System based on Designer's Mental Processes. IFIP WG5.2/5.3 Working Conference(Tokyo), Preprints pp.123-152, 1985

(69)村井真一，南谷綜（編）：大特集：論理装置ＣＡＤの最近の動向，情報処理 25,10, pp.1025-1168, 1984

(70)高木茂：論理装置のデータパス自動合成の一手法，情報処理学会論文誌，26,4, pp.715-725, 1985

(71)高木茂：データパスの検証・補正への一アプローチ，情報処理学会論文誌，26,1, pp.9-18, 1984

(72)高木茂：テンプレートを用いたＡＬＵ回路の自動合成，電子通信学会論文誌，J68-D,7, pp.1369-1375, 1983

(73)長澤勲，古川由美子：拘束条件リダクション法を用いた機械設計計算支援システム，情報処理学会論文誌，27,1, pp.112-120, 1986

(74)岸義樹：知識依存型概念設計システムの研究－機械構造の知識表現－，精密工学会誌，第５１巻，１１号，pp.83-89, 1985

(75)岸義樹：知識依存型概念設計システムの研究－数理構造の知識表現と操作－，精密工学会誌，第５２巻，８号，pp.130-137, 1986

(76)Mittal,S. and Morjaria,M.:PRIDE:An Expert System for the Design of Paper Handling System,IEEE Computer,pp.102-114, 1986

(77)Markus,A. et al :Fixture Design Using Prolog : An Expert System, Robotics & Computer-Integrated Manufacturing,Vol.1,No.2,pp.167-172, 1984

(78)Descotte,Y. and Latombe,J.C. : Making Compromises among Antagonistic Constraints in a Planner,Artifi. Intelle.Vol.27.No.2.pp.183-217, 1985

第２章

建築設計支援システムの特性の分析と提案

第２章　建築設計支援システムの特性の分析

２－１　はじめに

近年，建築設計技術の高度化，効率化に対する要求が強まって来ており，建築設計支援システム（建築設計用のＣＡＤシステム(Computer Aided Design system) 本論文では以下，設計支援システムと云う。）の構築技術の役割はますます重要なものとなっている。設計支援システムが，広義の計算機を利用した設計をする支援システムであるならば，現在すでにかなり幅広い分野で利用されている多くのシステムが設計支援システムに属することになる。例えば建築設計において簡単な構造計算を計算機プログラムに組んだシステムも設計支援システムである。このように，設計支援システムの発展は建築の各分野の要求に応じて分野毎に個別[(1),(2),(3),(4)]に部分的な進歩がなされてきた。この基本的な原因は，建築の設計では，職能別の分業化が進んでいることから，設計支援システムに要求する機能が個々別々であったことと，一人の設計者では，分業化した設計分野にまたがる設計知識の体系的な理解が難しいことに起因している。

建築設計では，設計が完了した後にも頻繁に再設計が行なわれており，個別作業の設計支援システムでは，設計図書間の整合性に手間取る。この問題を解決するには，設計作業の流れ全体を一貫して支援する必要がある。建築設計を一貫して支援する統合化設計支援システムを構成するには，建築設計の背景となる知識を盛り込むことが必要となる。この背景となる知識は，建築設計の持つ特有の性質であり，これらは設計対象についての知識と設計作業についての知識とに区別できる。例えば，３次元直交座標系を基にして Ｘ，Ｙ 座標軸を平面座標系，Ｚ 座標軸を高さ方向の座標系として，建築物を構成する主柱を例として述べると，柱の接続先は上下階の柱，または基礎であり，この柱に接続する部材は上階の柱，梁，壁，等である。また，設計図を書く場合には，この柱の位置は Ｘ，Ｙ，Ｚ 座標上の基準点からの変位で表せる。同様に，床を設計する場合には，床として成り立つための各種の制約を受けていると同時に，床の荷重を周辺の梁へ分配して伝え，さらに梁から柱へと一意的に伝えることが行われる。これらの事柄は，建築設計の持つ特有の性質と云える。この特有の性質である「設計制御属性」と「制約条件」を利用することによって，設計支援システムは作図支援から製図支援へと一歩進むことができ，さらに，床荷重を分配して周辺の梁に荷重を伝える

ことによって，構造耐力の検証を行うことができるようになる。このように，設計支援システムは，建築設計の知識と制約条件を取り入れることによって，汎用の設計支援システムに比べると，機能的には建築特有の性質を持つ制約を受けるが，全体をコンパクトに構成することができる。その他に，建築設計では法規制[5]等の公的な制約や価格や予算等の経済的な制約を受けている。また，建築設計の分業化に対しては，設計支援システムを構築するための，統合化した建築物のモデル化の概念が必要であり，建築設計の持つ特有の性質のうち，「設計制御属性」や「制約条件」を取り入れた，設計支援システムの支援の範囲について考察を行う。設計作業についての知識は，個別支援について述べる。例えば，生成検証法を用いた設計案の探索には，第5，6章で探索のプロセスを記述できる設計用言語について述べ，また 建築物モデルの編集は設計者が主として行い，ウィンドインタフェースの操作性に力点をおいて構成する。構造解析，見積積算等の作業は建築物モデルから管理機構を通して属性の制御を行い，これを管理して，対象モデルの編集を行う。これらの作業は属性の制御によって対象モデルの編集を実現している。

本章の，2－2節では，設計支援システムを構成するために必要な建築設計の背景となる設計の段階，職種による分業化，実施設計の範囲を分析し，2－3節では，2－2節で述べた建築設計から生じる設計支援システムへの要求と，設計支援システムの範囲について，2－4節では，設計支援システム構築のための建築設計作業の流れの分析，設計過程と設計知識について，2－5節では，設計支援システムの設計情報を一元的に表現した建築物モデルの設計概念ついて考察を行い，2－6節では，建築における設計支援システムの特性についてまとめる。

2－2　建築設計の特徴

建築物の設計は，概念設計，基本設計，実施設計，施工図へとつながる縦方向の流れ（flow）と，分業化された設計の各分野間の横のつながりを通して，相互にバランスを取りながら，各々の局面（phase）におけるデータの整合性を保ちつつ進めて行く作業から構成されている。（図2－1(a)）

2－2－1　建築設計の流れ

ここでは，建築物を設計する際の概念設計，基本設計，実施設計，施工図へとつながる縦方向に設計内容を詳細化する流れ（flow）図2－1(b)を分析する。

概念設計では，建築物の美的要素や感覚的な表現を中心として検討を行う。美的な要素の中には，建築物の景観等立体的な造形の概念も含まれている。概念設計が固まったら，建築物を実現するための設計図面を作る必要が生じ，基本設計へと進む。

基本設計では，概念的な設計案を詳細に検討して要求機能，仕様，概略構造，経済性，施工性，使いやすさ，公的な制約等を明確にして実現の可能性を検討する。ただし，明確にする範囲には段階があり，各項目の調和を図る為に様々な知識を用いて設計案の変更を繰り返す。この為設計者には，建築物の持つべき機能と美的な要素を調和して実現するための葛藤が生じる。建築設計は，プラン優先で表現し，各種の制約条件との調和を検討しながら作業を進めて行く。基本設計の内容が明確になったら，実施設計へと進む。

実施設計における建築の設計図は，機械設計等で用いる工作図等の詳細な設計図とは異なり，スケッチに近い。このことは建築物を構成する部材を記号で表すことができるように整理されており，下流の施工に対して，詳細なディテール（detail）まで決めなくても設計図面になるという性質がある。

施工現場では，実施設計図を基にして施工のためのディテールまでを決めた施工図を作成する。即ち，建築設計者が扱う実施設計までの設計図と施工者が扱う施工図とのタイプの異なった図面が生じる。

このように，建築の設計では，上流から下流へと進む段階でいくつかの表現方法が異なる設計図が作られている。例えば，概念図に近いデザインコンペのための図面や，基本設計の例としては施主に説明する図面等がある。

2－2－2　建築設計の分業化

建築設計の縦方向の流れ（flow）に対して，意匠設計，構造設計，設備設計等と云うように，各々の段階に於いて専門化された各設計分野の横のつながりが有る。建築設計はプランを中心として検討を進めて行くので概念設計や基本設計の段階では横への広がりは少ない。ここでは，実施設計における分業化された分野間の横方向のつながりについて分析を行う。

建築の実施設計の特色は，一品毎の受注生産であり，建築物を構成する部品点数が多いことがあげられる。また，発注者からの個別の要求に対応した，設計作業を迅速に行うための，分業化が行われている。この分業化は，表２－１に示すように，通常意匠設計，構造設計，設備設計等の専門分野毎に分業化されており，それぞれの図面の種類に対応した職能別に分業化している。即ち，建築設計の特徴は，一品毎の受注生産であること，建築物を構成する部品点数が多いこと，分業化が明確になっていることと，職能別に設計作業が一方向的に行われていることがあげられる。しかし，建築設計では，設計が完了した後で発注者の要求や施工上の問題点を解決するため，頻繁に再設計が行なわれる。設計条件が変化した場合の再設計において，従来から行なわれている手作業と個別作業の設計支援システムを併用する方法では，設計者自身が設計図書の変更や構造計算の基礎データを修正しなければならず，様々な設計図書間の整合性の管理に手間取り，設計ミスの発生や設計変更に迅速に対応できないという問題がある。この問題を解決するには，設計作業の流れ全体を一貫して支援する必要がある。

2－2－3　知的設計業務と定型的設計業務

建築実施設計の具体的な手順は，設計者が，基本設計で描いたプランを基にして，建築物が出来上がった時点の形をイメージしながら各階の意匠平面図を作成する。この意匠平面図を基にして立面図を描く。これらを基にして断面図等の必要な設計図を作成して行く。即ち，建築設計者は単にプランではなく常に出来上がった物を意識しながら平面図上に絵として表現して行く。この設計者の意識と絵の間に建築設計の知識が存在している。

この設計知識は，建築設計の常識となっている設計手順等の建築設計の背景と，個々の設計者により独自に行われている設計行為とに大別することができる。

前者はいわば定型業務に属し，後者は知的あるいは創造的な設計作業と呼ぶことができる。また，建築の実施設計の中には，多くの定型作業が含まれている。この定型作業は複雑に組み合わされているので，見かけ上，知的と考えれるが，実は定型作業の組み合わせである部分と，本当に知的な作業を要求される部分とに分けられる。前者の例では，意匠設計の支援のうち，作図支援や製図支援がこの範囲に入り，構造設計の支援では，構造計算を例にするならば，柱，梁，床版の厚さを検証すること等である。後者の例では，意匠設計の支援のうちのプランに関することや建築物の用途等の設計判断を要求される箇所がこれに該当する。

２－２－４　まとめ

建築の設計は，概念設計，基本設計，実施設計，施工図へとつながる縦方向の流れ（flow）と，意匠設計，構造設計，設備設計等の，各々の段階に於いて専門化された各設計分野に分類することができる。しかし，建築設計は，本来職能別に独立して行えるものではなく相互の関連を見ながら設計を進めることが必要である。設計途上で全体を見渡すことができれば，意匠設計が終った時点で，構造耐力の不足や異常に高い見積金額となることは生じない筈であり，意匠設計者は意匠設計と平行して柱梁の断面を仮定して行くべきである。現在はこの部分は，意匠設計者とは別に，構造設計者が平面図，立面図を基にして柱梁の断面を仮定して建築物の耐力の検討を行っている。

このように設計者は本来ばらばらではなく常に関連する事項を頭に描きながら設計作業を進めて行くべきである。ところが，現状の設計では業務が細分化され相互関係が見失われてしまいがちである。

2－3　建築設計と設計支援システム

建築設計は，概念設計，基本設計，実施設計，施工図へとつながる縦方向の流れ（flow）を支援する設計支援システムと，分業化された設計の各分野間の横のつながりを支援する設計支援システムに大別して考える必要がある。このことは，設計の流れに応じたモデル化の変換過程に用いる情報系の技術が異なるためである。例えば，概念設計や基本設計では，建築物の彩色や質感等の検討を行う。この実現のためには，コンピュータグラフィックスや3次元物体をソリッドモデルとして扱うことが必要である。また，実施設計の製図システム等では，ベクタグラフィックス技術を用いたワイヤーフレームモデル表現による，配置を主体としたシステムで良い。

2－3－1　建築設計の流れと設計支援システム

一般に建築の設計は，機能と美的な要素を統合化したものであり，これを組み合わせて概念設計，基本設計，実施設計，施工図へと上流から下流へ設計内容を段階的に詳細化しながら進めて行く。

概念設計や基本設計から始まる縦の流れの設計支援システムは，実施設計へ引く継ぐためのモデル化の過程を支援すること，即ち感覚を表現する部分，又は感覚が入っても認められる部分を支援することが必要である。次に，実施設計での変換過程を支援するシステムとは，ラフスケッチやプランニング等の基本設計までで決まったことを，実施設計支援システムに工学モデルとしてモデル化することである。工学モデルとは，設計支援システムに設計図及び，関連情報を認識させることを意味する。これらの設計支援システムの機能として要求されることを，表2－2に示す。

概念設計では，コンピュータグラフィックス[6]－[11]，レイトレーシング[12]，[13]，レンダリング技術等のコンピュータの表示技術を取り入れた設計支援システムがある。これらの表示技術は，設計者が感覚を表現する部分，即ち，紙と鉛筆，絵の具と筆に代わる SKETCHPAD[14]，[15] として位置づけることができる。イメージや感情が左右する部分は，設計者の提案した建築物のスケッチを様々な観点から表示してくれる設計支援システムが望ましい。例えばプレゼンテーション用のコンピュータグラフィックス[16]－[20]等である。建築におけるデザイン的，

芸術的部分を扱う場合には，表示技術に負う所が大であろう。

基本設計を支援する設計支援システムとは，実施設計へのモデル化の過程を支援するものである。設計支援システムができることは，設計者が意志決定を行った後，その結果を記述することである。即ち，感覚や建築物を実現するための条件や形等の表現する部分は，設計者が意志決定を行うことを原則とする。ただし，設計支援システムで設計者の提案を変換して表示したりして，設計者に確認させることは実現できる。

実施設計を支援する設計支援システムとは，工学モデルへ変換する過程の支援である。この作業は実際には，図形を媒介にした計算機との対話[21]である。設計者は，設計支援システムを対話的に利用することによって設計支援システム内に建築物のモデルを記述する。したがって，実施設計における設計図書の清書機能や設計図面や部品図の再利用等の機能が要求される[22],[23]。建築に於ける設計支援システムが要求される機能の概要を表２－３に示す。

概念設計や基本計画を個別に支援する例は，パース[24],[25],[26]，日照，日影[27],[28]等，施工では施工図[29],[30]がある。

縦の流れのモデル化は，各段階におけるモデル化の技術が異なるため汎用的なシステムは実現されていない。しかし，特定の分野では実用化されている。例えば，２×４住宅専用[31],[32]，木造一般住宅専用[33],[34],[35]，マンション専用，その他の専用システム[36]~[43]等は，作業の定型化が進んでいるため，概念設計から実施設計までを支援している例がある。これらの分野では基本プランができており一連の設計作業を手順化できるためシステムを実現している。

２－３－２　建築設計の分業化と設計支援システム

現在多く利用されている設計支援システムは，表２－４に示すように，設計図書の編集，構造計算，積算等の設計作業を流れに乗って進めるものではなく，設計の流れの一部である製図作業[44],[45],[46]や構造計算[1],[2],[3],[4]や積算等を取り出して個別に支援しているに留まっている。目的テーマ別の設計支援システムは，当面する目的に応じて分業化されたいろいろな部分で個別の情報系技術を用いて発達しており，製図システム[21],[47],[48],[49],[50]，構造計算[51]~[58]，基礎杭診断[59]~[62]，プロッターを利用したバッチ処理システムに

よる作図[30]，構造製図システム[45]・[46]，等のように，職種毎に発展している。

2－3－3　建築実施設計でのモデル化と設計支援システム

建築の設計は，プランを優先して設計を進める。建築物を住空間としてとらえるならば，床は水平に構成しなくては生活に支障をきたす。この為，床が水平であることは建築物の常識であり，この常識を用いることでプランが固まれば立体が構成できる。すなわち，平面が与えられると容易に立面をイメージできる。

建築物は曲面を扱うことが少なく，斜路や階段等の複数の層にまたがる部材も平面図，立面図等の３面図として表す。この結果，設計者が建築物モデルを平面図，立面図等の２次元データおよび壁厚等の属性集合を付加したものとして扱える（以下これを２．５次元と云う）。また，パース図等では３次元データが必要であり３次元図形表示処理機構が必要となる。この為，建築物モデルを３次元構造とすると，２次元プラス属性から３次元へと変換する機能が必要である。このように３面図で表現できることに対応したＣＡＤは，モデルを構築する部分を２次元入力とし３次元モデルを持つ，２．５次元ＣＡＤとして構成できる。この結果，平面図に高さ関係のデータを与えれば立面図，断面図，パース等をシステムが生成することができる。

建築物を構成する面材は，線材と線材に囲まれた材に面の情報をつけ加えたサーフェイスモデル（surface model）として表現できる。この為，本論で取り上げる実施設計の設計支援システムは，ＣＡＤ／ＣＡＭ等で，基本立体を組み合わせて３次元の物体を表すソリッドモデル（solid model）等の３次元モデリング技術は必要性が少ない。

実施設計図面は概念図として表せ，設計図面の中へ詳細を記述しなくて済む。このことから，建築の設計図は，建築物を構成する部材を代表する記号で整理することができる。また，建築物を構成する部材は小量多品種であるが，性質の類似した部材毎に分類できる。部材はこの分類に従ってパラメータ的に表現することができる。例えば，鋼材の種類を系列化し，サイズ別にパラメータで表現することができる。このことから，建築物で用いる部材の多くは膨大なデータベースを構成することを避けて，パラメトリック（parametric）に生成して配置することができる。

建築物の特徴は，基準線に依存することであり，意匠寸法，構造寸法，仕上げ寸法等は基準線からの相対位置（offset）で表せる。建築物の複数階は多層性（マルチレイヤー(multi layer)）として扱える。また，職能別の設計作業の分類は，異なる属性を操作する作業として捉え，同一の対象を設計作業の性質に適した属性の集合として操作する設計作業とみなすことができる（以下，多視点（マルチビュー(multi view)）と呼ぶ。）。例えば，意匠図と構造図の分類等である。また，柱は真っ直ぐに立っていること等の，設計支援システムを構成して行くための建築の知識や基本概念，法的な規制について考慮して，モデルを構成することが望ましい。

2－3－4　まとめ

設計支援システムによって分業化された相互の分野にまたがった情報の意志決定の為の関係を知ることができれば高品質な設計を期待することができる。そのためには，

設計方式から見ると，

(1) 建築の設計図を見ると，色々な生産の職能別に分類して作られている。この為，建築物モデルの統合化を行うためには，分業化に対応した相互の分野にまたがった情報が確認できることと相互のデータの管理ができることが望まれる。

(2) 建築物はあらかじめ定義された部材を有機的に統合して構成することができる。また，建築物の多層構造に対してもフロアー毎の層構造として対処できる。

(3) 分業化に対応した実施設計の設計支援システムを構成するには，単一の建築物モデルと図２－２に示す実施設計のデザインスパイラル[63],[64]に対応した設計作業の支援システムから構成することが望ましい。

生産方式から建築物を見ると，

(4) 小量多品種の部材で構成している。この為に，各設計支援ツール間で用いる部材データベースは多品種となり，相互に関連し合うから，各種支援ツール

が個別に部材データベースを持っていたのでは建築物の設計情報を一元的に表現した建築物モデルの整合性が取り難くなる。したがって，設計支援システムを統合化して構成するためには，部材データベースを共通にして構成することが望ましい。

(5) 建築物を構成する部材は小量多品種であるが，性質の類似した部材毎に分類でき，この分類に従ってパラメトリックに生成することができる。

システムから見ると

(6) 設計支援システムは，モデルを構築する部分を２次元入力とし３次元モデルを持つ，２．５次元編集システムとして構成できることがわかった。

(7) 設計支援システムに用いるモデリング技術は，２次元の線画を基本とした簡単なモデルで表現できる。　ただし，パース，鳥瞰図等を取り入れると２．５次元から３次元まで引き上げることができる。

(8) 設計情報を一元的に表現した建築物モデルを構成することによって，

①様々な視点から建築物を見ることができる。

②分業化された分野にまたがった相互に関連する事項の検討が自動的におこなえる。

③建築設計上不具合な個所が発生した場合その基となる個所までさかのぼってチェックすることが可能である。

等が考えられる。

2－4　建築実施設計の設計過程の分析

本節では，建築実施設計における設計過程の特性を設計データの流れと制御の流れとに分けて分析し，設計支援システムを構成する為に必要な，設計過程と設計知識について述べる。

2－4－1　建築設計のデータの流れと制御の流れ

設計作業は総合して行われており，ある局面を見ただけでは分かりにくい。この為ここでは，縦方向に実施設計手順の流れを記述し，横方向に設計作業項目の詳細化の流れを記述して設計手順の流れを整理する。図2－3に床版設計を中心として，床荷重を周辺の骨組みへ伝える手順をその制御の流れに沿って分析した例を示す。設計者は，作業手順を力の流れを中心にして考えており，ここでは，床組を高次の小梁から順に分解して荷重を伝える作業手順に対応している。この作業手順に付随して床版設計のために必要な工学的な意味を持った設計データが流れている。システム側から見ると，この設計データがどこに伝わっているかが，分かりやすいように分析することでシステムが構成しやすくなる。この為，データの流れと制御の流れを分ける。

データには，設計対象となる建築物固有のデータ，建築物モデルを構築する為に必要なデータ，部材データベースに共有して使うデータ，法規制や公的なデータベース，データ駆動に必要なデータ，データ駆動で処理できる計算結果のデータ，等の幾つかの種類がある。図2－4（a）に構造計算の為のデータモデルの例を示す。図2－4（b）に構造設計の床版設計のデータの流れを示す。同図中のM，C，D，Jはそれぞれ図2－4（a）にデータモデル中の立地条件，床，小梁，床組の分解を意味する。図2－4（b）中の数字は図2－4（c）に示す各々のデータの持つ工学的な意味を表している。データモデル中の立地条件のデータは，対象となる建築物固有のデータであり，床，小梁，床組は，建築物モデルを構築するデータであり，使用コンクリート設計基準強度，主筋材質，主筋径，肋筋材質，肋筋径等は公的なデータベースからのデータであり，梁背，梁幅，等はデータ駆動に必要なデータであり，梁のC，M0，Q0 データはデータ駆動で処理できる計算結果のデータである。

次に，工学的な意味を持つ設計データの流れは，設計手順を表しており，建築

設計者自身でデータの持つ意味を判断できる。設計支援システムの処理プログラムとデータを分離するとプログラムの修正変更や拡張性が容易となり部材規格，標準設計等の変更に対して柔軟に対応できる。

2－4－2　建築設計の定型業務に使われる設計知識

建築設計の定型業務に使われる設計知識は，設計の常識として一般に行われている標準的な設計手順（設計過程）を整理して，建築設計において常識として行われている部分（設計対象に関する知識），設計判断を要求される部分（設計を制御する知識），建築設計の分業化された複数の分野にまたがった情報の伝達を行う部分（設計案を操作する知識）とに分類することができる。ここで，設計対象に関する知識とは，設計公式などの拘束条件に関する知識や機能と構造に関する知識，性能やコスト評価法に関する評価関数等の知識であり，設計案の解析や評価に用いられる。設計を制御する知識とは，設計者が経験的に知り得た知識や設計計算の順序を制御する知識，設計の評価の尺度を利用した知識等であり，設計過程の全体の制御に用いられる知識である。この知識は設計の効率を決定する。設計案を操作する知識とは，設計案を詳細化する操作知識や設計案の変換や修正等の操作知識である。例えば，平面図は基準線を基にして柱，壁を描き（設計対象知識）順次詳細な図面に仕上げて行く（設計操作知識）詳細化の過程で，柱，壁等の大きさを決めて（設計制御知識）その大きさや重量は構造計算へと引き継がれる。

設計者の持つ常識的な設計知識は，設計業務の定型業務に当たる部分に多く使われている。建築設計者は，例えば，床は周囲に梁が存在することを前提として記述する。また，壁の開口は壁の中に存在するものであり，壁の大きさよりも大きな開口を書く設計者はいないだろう。これらのことは床が存在するためには梁が必要であり，壁の開口は存在する壁よりも小さいことや，さらにこの壁を消去すれば存在する開口も同時に消去することが設計者の常識として存在するためである。このように，設計者は建築設計の背景となる建築の常識を取り入れながら設計作業を進めて行く。設計支援システムを使って製図作業を進めることは，システム内にモデルを構築して行くことに対応する。このモデルを構築する過程でシステム内に設計者の常識のうち一意的に決まる設計知識をシステムに取り入れ

ることによって前述の壁を消去することによってシステムが自動的に開口を消去する等多くの部分が自動化できる。

2－4－3　属性管理と製図支援

設計支援システムは，建築用の設計支援システムとして要求される支援の機能とデザインに段階がある。設計支援システムの段階は，作図支援，製図支援，設計情報を一元的に管理した建築物モデルによる業種にまたがる製図支援，工学モデルの検証の支援，設計支援等に分類することができる。

作図支援とは，窓や扉を示す記号や柱を示す矩形図等の建築の設計製図に多く使われている記号や，壁，梁の線として記述する平行２本線や，矩形の図と平行に線の取り合い部分の包絡処理等の作図機能を建築製図作業向きに描きやすくした製図用の支援システムが行う支援を云う。

製図支援とは，例えば，図２－５（ａ）のような柱梁伏図上で柱Ｃ２の位置をＸ１からＸ２’に変更したと仮定すると，柱の動きにつれて，図２－５（ｂ）のように梁 Ｇ１の長さも自動的に修正することである。作図支援システムでは，柱の断面を表す矩形を「移動」すると，図２－５（ａ）のように梁は短いまま残ってしまう。この場合，設計者は梁の線分を延長して図面を完成しなくてはならない。作図支援システムに製図支援を行う働きを持たせるためには，「柱」は柱として，「梁」は梁として，システムが認識していることが必要であり，柱と梁の間の関係をシステムが管理する必要がある。設計知識と設計制約条件を基にした属性管理機能を取り入れることによって，設計支援システムは作図支援から製図支援へと支援範囲が広がる。

建築物の設計情報を一元的に表現した建築物モデルを用いて，専門の業種間にまたがる製図支援を行う為には，建築物を構成する部材間相互の関係を建築設計知識として記述していなければならない。例えば，「梁」は「柱」と接合していることや，「床」は「梁」と接合していることなどである。このような建築設計者に取っては常識と云える設計知識は，システムが属性管理を行うことによって，「柱」，「梁」を自動的に認識することで実現する。

作図支援，製図支援共に個別の図面管理が行える。個々の図面の管理が実現できると一つの建築物を一元的に表現した建築物モデルを構成することが考えられる。

その為には，表面に現れた図形に対し，それが現している「事物」の実態を，適切にモデル化した表現方法を用いて，建築物モデルとして計算機内に蓄積する。

工学モデルの検証の支援とは，「柱」と「梁」の相互の関係を記述した建築設計の基本概念を用いることによって，設計内容の検証を行うことができる。例えば，柱を移動することにより，柱間隔が変わり床面積が変わる。その為，この柱に接続している梁が負担する床荷重が変化し，梁の応力が変化するので梁の大きさを変更する等の必要性が生じてくる。梁の断面形状を変更すれば，この変更に見合うだけの応力を負担できるように，柱の断面積を変更することが必要となる。これら一連の設計支援もデータ駆動で解ける範囲の検証は自動的にできることになる。設計支援システムは，データ駆動で検証を行った結果，不都合が生じると新たに設計案を提案し，検証，修正する作業が生じる。

次に，設計者が設計変更を行った場合，変更内容がデータフローの範囲を越えていると，変更後の設計内容が満足な解とはならない場合が生じる。設計支援システムが，このような問題を解決するために，再設計の条件に対して，設計案の探索を行い，設計案の提案，解析，評価のような一連の設計作業の支援を行うことを設計支援と云う。

2－4－4　まとめ

建築実施設計の設計過程を標準的な設計手順を基本として整理し，設計手順を設計データの流れと制御の流れに分類し，一般に設計の常識として行われている部分，設計判断を要求される部分，他の部分にまたがった情報の伝達を行う部分とに分類して，属性管理と製図支援の範囲を検討した。その結果，

(1) データには，設計対象となる建築物固有のデータ，建築物モデルを構築する為に必要なデータ，部材データベースに共有して使うデータ，法規制や公的なデータベース，定数，データ駆動に必要なデータ，データ駆動で処理できる計算結果のデータ，等の種類に分類することが望ましい。

(2) 設計支援システムのプログラムを知識データと処理プログラムに分離するとシステムの修正変更や拡張性が容易となり部材の規格変更や標準設計等の変更に対して理解しやすくなる。

(3) モデルを構築する過程で定型業務に使われる設計知識と設計判断を要求される部分が分かりやすくなった。

(4) 一意的に決まる設計知識をシステム内に取り入れることによって，設計者の持つ常識的な設計作業の内の幾つかの部分が自動化できることがわかった。

(5) 部材データベースを作成して各種支援ツール間で共通に使えるデータベースを構成すると，プログラムとデータを分離することで保守，管理が容易におこなえる。

等が考えられる。

2－5　設計支援システムの設計

建築設計は3次元形状を直交座標系の3面図として表現するので，これは2次元ＣＡＤとして取り扱うことができる。この為に，建築の実施設計に必要なデータの統合化をはかり管理するためには，直交座標系の3次元データ構造を持ち，このデータを2次元に変換して操作する2．5次元のＣＡＤとして構成することが必要である。このため，図面として表示される部分（2次元）と建築物モデル（3次元）のつながりを扱う箇所に部材間の関係を扱う機構が必要となり情報系の技術で云うデータベース（database）[65]の考え方に加えて，新たに「存在の従属性」と「属性の従属性」を定義し，これを管理する機能として建築物モデル管理機構を取り入れることによって，建築物の設計情報を一元的に表現した建築物モデルを構成[66]することができる。

本節では，方法論として，設計支援システムに建築物の設計情報を一元的に表現した建築物モデルを用いた。建築物モデルを各種の設計支援ツールで操作した場合に整合性を保つために，建築物モデルの「存在の従属性」，「属性の従属性」を管理する。建築物モデルの「存在の従属性」，「属性の従属性」を操作するプログラムを通さなくては設計情報を一元的に表現した建築物モデルのデータを操作することができないように，データ構造とそのデータ構造を操作する関数と手続きを一体化して操作する建築物モデル管理機構を設け，建築物モデルを各種の設計支援ツール間から隠蔽する機能を設けた設計支援システムの提案を行う。

(1) 建築物の設計情報を一元的に表現した建築物モデルを中心として，意匠設計，構造設計，積算等の設計作業を支援するツールを配置した。このことによって設計者は，各種の設計支援ツール間の設計データの変換に煩わされることなく一貫して設計作業を進めることができる。
(2) 建築物モデルの一貫性を管理する建築物モデル管理機構を設け，システムの保守を容易にした。

設計者とシステムとの対話部分は，製図作業に当たる図形処理部分であり，表示，編集を行いながら建築物モデルを構築して行く。この編集作業時に建築物モデルを直接操作したのでは，各種の設計支援ツールから見た場合，モデルの整合

性がなくなる。この問題を解決するために，設計の分業化に対応した各種の設計支援ツールから行う建築物モデルの操作は建築物モデル管理機構を通して行う。この結果，建築物モデルのデータの隠蔽性が守れ，データの変化に対するプログラム修正が不要となる。例えば，部材の規格，標準設計仕様等は，その内容が変化するものや，設計支援ツールの設計機能の追加等のプログラムの拡張が容易となる。

このように，設計者が建築物モデル管理機構を通してモデルを操作することによって，属性管理からモデルの統合化までを対象とした，実施設計の一貫支援システムを提案する。

ただし，本論で述べる設計支援システムは，２－３節で述べた設計の段階的詳細化に対応した支援を対象としており，創作的な建築物の設計活動の支援は本設計支援システムの範囲を越えるものとした。

２－５－１　建築物モデル

建築物モデルには，次の点を配慮した。

(1) 設計情報の一元管理

建築物の設計は，表２－１に示すように，意匠，構造等の設計作業に適した図書を用いて行なわれているが，これらの図面は相互に関連し合って建築物を表現している。建築物モデルは，これらの図書の内容を整合性を保って管理し，設計作業毎に必要な情報を提供できるものでなくてはならない。

(2) 再設計に対する修正の容易性

建築物の設計は，使い勝手，経済性，耐震性，施工の容易性等多面的な設計要求の調和を目的とした再設計の繰り返しである。このため建築物モデルは，再設計に対して修正の容易な柔軟な構造とし，単に設計結果のみの再利用に留まらず，設計の根拠となる情報を格納することによって，設計再利用の容易性を得る。

２－５－２　視点の統合と変換

(1) 視点と属性

設計支援システム内部で表現可能な属性の一例を図２－６に示す。これは建築物を構成する部材間の依存関係を表したものであり組み合わせて設計者の思考上

の視点として各種の設計図面として表現できる。さらにデータ駆動で実行可能な設計解析を実現できる。

(2) 設計視点の変換及び統合の能力

設計は一般に同一の設計対象に対しても多重の視点で行われるが，ある視点で行われた変更が別の視点の属性に影響を及ぼすことが多い。設計支援システムはそれぞれの視点に対応すると同時に，各種設計支援ツールに対応した，視点間の変換及び統合の能力を持ち，視点間の整合をとることが要求される。

2－5－3　建築物モデルの機能

本節では，常識的に標準化された設計手順を設計支援システムに取り入れることを対象としており，設計判断を伴う部分，例えば，偏心率条件に対しての平面計画変更等の支援は，対象としていない。また，支援の範囲を実施設計とし，建築物は架構形式でビル建築を対象とした。

建築物モデルの機能は，部材データベース，建築物モデルデータベースおよび建築物モデル管理機構の組合せによって実現される。部材データベースは各種の支援ツールが共通して使う個々の部材を，建築物モデルデータベースは設計中の建築物モデルを格納する。建築物モデル管理機構はこれらの二つのデータベースを使用し，建築物モデルの一貫性の管理や各種の設計作業に必要な情報の提供を行う。

ここでは，建築物モデルの基本的な概念である部材の配置と従属性について述べる。これは部材は別の部材に依存して配置（接続）され，その属性の一部は別の属性から一意に決定されること（属性の従属性），またある部材が削除されるときその部材に接続された部材も同時に削除されること（存在の従属性）を意味する。

部材データベースは，建築物を構成する鉄筋，鉄骨等の構造材や内装材等の仕上材の素材と，複数の素材を組合せて建築物を構成する基本要素としてまとめた柱，梁，壁等の部材を格納する。素材はＪＩＳ規格や各メーカの規格品情報を多量に収集して作成する。部材は建築物毎の取り決めや各社の標準仕様を対象としており，素材に比べて少量である。これらはシステムの利用者が自由に定義できるように配慮する。

２－５－４　システム構成と設計支援の範囲

近年のパーソナルコンピュータの処理速度の向上と大容量化の発達には目を見張るものがある。このため高速化，大容量化したパーソナルコンピュータを使って建築物の多層構造全体を実用的に扱えるような設計支援システムの設計をパーソナルコンピュータ上で展開できるようになった。

本システムは，各設計者が個別に占有できることを前提として，パソコン上に実現することにした。パソコンは日本電気製のパーソナルコンピュータＰＣ－９８０１を対象とした。ハードウエアの構成の概略を図２－７に示す。

本システムの適用範囲は，一般建築物の大半を占める１５階建，高さ６０メートル以下の一般的な用途のラーメン構造建築物とし，軸方向スパン数≦１４，桁方向スパン数≦１４，全節点数≦３０００とする。構造種別は鉄筋コンクリート造（ＲＣ造），鉄骨造（Ｓ造），鉄骨鉄筋コンクリート造（ＳＲＣ造）および，これらの混合構造物とする。

2－6　むすび

本章では，設計支援システムを構成するために必要な建築設計の背景となる設計の段階と分業化，実施設計の範囲を分析し，建築設計から生じる設計支援システムへの要求とその支援の範囲について検討を行った。また，設計支援システム構築のための建築設計作業の流れの分析と設計支援システムの設計情報を一元的に表現した建築物モデルの設計概念について考察を行い，建築における設計支援システムの特性についてまとめた。その結果，

(1) 基準線を基にすることによって，職能別に分業化された業種間にまたがる設計図面を統合化して管理することが容易になる。

(2) 部材と部材の関連を「存在の従属性」と「属性の従属性」で認識することによって，部材の追加，削除，属性の変更，等に関連した部材の編集処理が容易にできる。

(3) 建築物の多層構造に対しては多視点化（マルチレイヤー化）で対処できる。

(4) 従来の設計支援システムにおいて処理プログラム中に記述していた設計知識や設計手順を，知識データとその処理プログラムとに分離することによって，設計支援システムの機能の変更に対して柔軟に対応できやすくなる。

(5) 建築物の実施設計の設計支援システムでは，２．５次元的に集約化した建築物モデルを構成できる。

(6) 建築物の設計情報を一元的に表現した建築物モデルを中心として，周辺に職能別分類した各種設計支援ツールを配置することによって，設計者は，設計データの変換に煩わされることなく一貫して設計作業を進めることができやすくなる。

(7) 建築物モデルの一貫性を管理する建築物モデル管理機構を設けることによって，設計支援システムの保守が容易になる。

(8) 建築物モデルは，設計情報を一元的に管理して蓄積することによって，意匠，構造，積算等の異なる業種間で利用することが可能となる。

(9) 建築物モデル管理機構を通して，「存在の従属性」と「属性の従属性」の管理を行うことによって，データ構造の変化に対するプログラム修正が不要となり設計支援ツールの拡張が容易となる。

(10)設計支援システムが業種にまたがる図書間の整合性の管理を行うことによって，設計の修正，追加，削除，変更等の設計図書の編集作業が極めて容易に行える。

(11)部材データベースを整備することによって，設計者の属する組織内での部材の標準化が行える。

(12)設計結果の再利用性は，従来の作図支援システムでも実現されていた利点であるが，単に結果のみの再利用に留まらず，できるだけ精密な設計の根拠となる情報を格納することによって，再利用を容易にする。

(13)知的な設計支援については現状は情報工学の分野で研究段階であり，設計支援システムに十分に取り入れるところまで行っていない。知識ベースシステムの利点は，

①従来のシステムに比較して，複雑な設計知識を取り扱うことができる。

②設計知識の役割分担を明快にする。

③設計支援システム構築のための分業体制を可能にする。

である。

等が考えられる。

このような設計支援システムが発展すると，概念から描き始め，基本図へと派生して，より詳細な工作図へと進む設計作業の段階的詳細化をシステムが管理できる。さらに，その一部は自動化できる。例えば，鉄骨構造物等では，工作図までを起こせるようになって行く。これらの基本図は，基準線を基にして各段階の図面と整合性を取りあっている。このことから，今後は，建築全体の統合化，特に施工図等の下流に対しての統合化の試みがなされて行くであろう。

本章の設計支援システムのような属性管理を行う設計支援システム[64]を用いることによって，設計の下流に対して新しい工業化の改革を提案できるであろう。

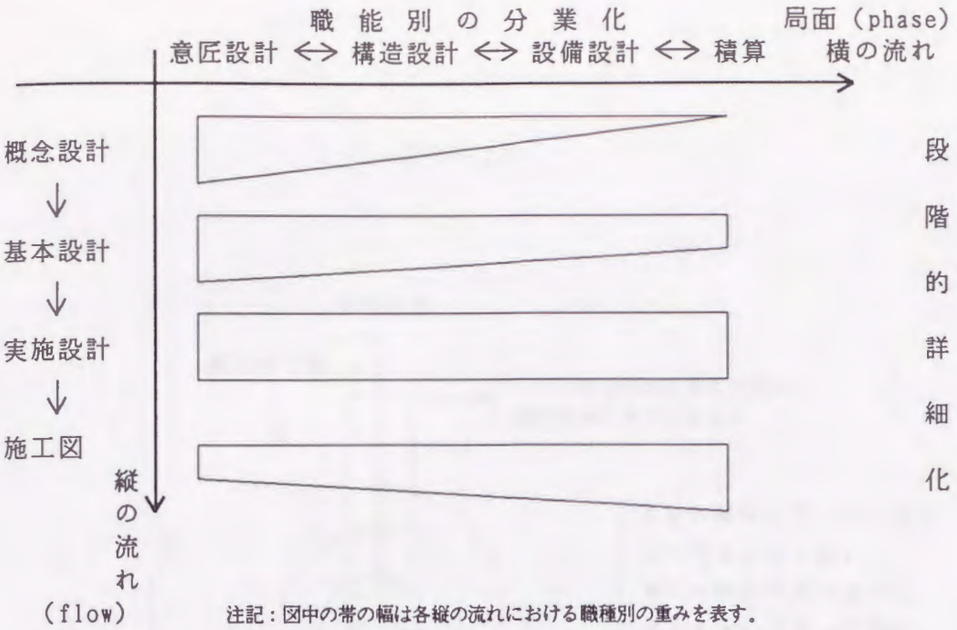


図２－１(a)　設計の流れの分類

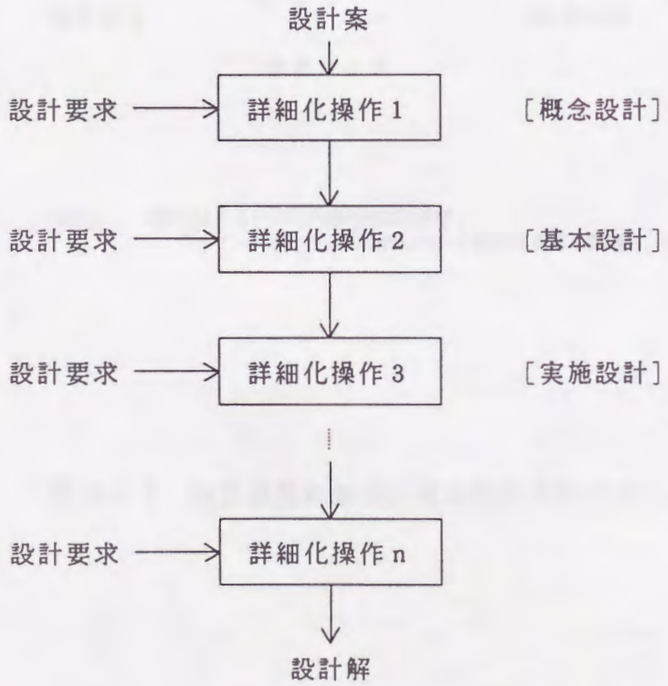
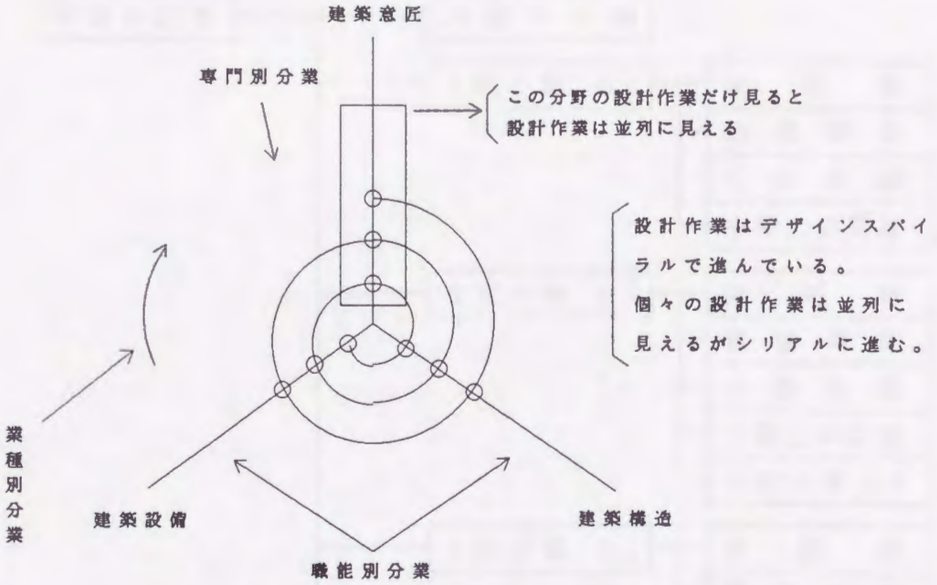


図２－１(b)　段階的詳細化



〔注記〕　同軸上にある作業は同種の作業を表す。
デザインスパイラルの進行につれて設計は次第に詳細化して収束する。

図２－２　設計過程の整理と実施設計でのデザインスパイラル

（手作業による作業フローチャート）

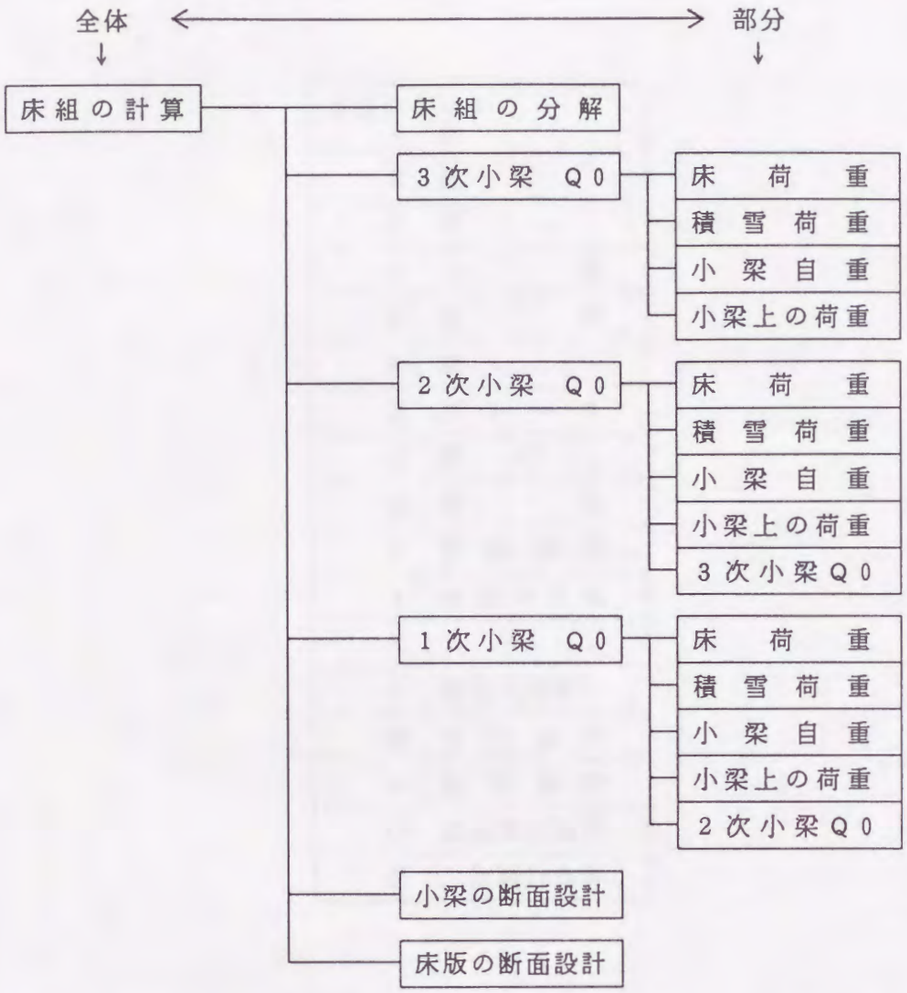


図２－３　床版設計の作業の手順

建築物データ
A 梁
B 柱
C 床
D 小梁
E 床組
F 壁
F' ブレース
G 開口
H 雑壁
I 特殊荷重
J 床組の分解
K スパン
L 階高（階数）
M 立地条件
N 解析条件
O 断面算定条件
P 二次設計条件

図２－４（ａ）　建築物モデルの部位別と環境情報のクラス分けの例

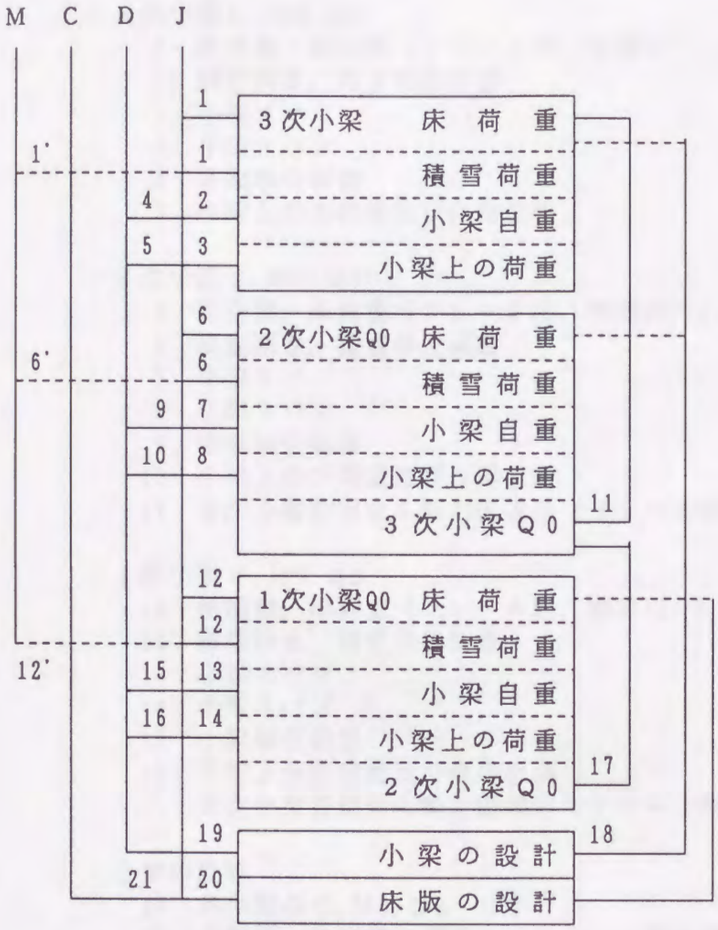


図２－４（ｂ） 床版設計の手順に対応したデータの流れ

注記：図中の符号，数字は図２－４（ａ），図２－４（ｃ）の符号，項目に対応する。

《床版設計のデータの持つ意味》

準備計算

・３次小梁Ｃ，Ｍ０，Ｑ０
　１　床座標，床荷重（フレーム用，地震用），床負担面積
　１'　積雪深さ，積雪単位荷重
　２　小梁スパン
　３　小梁スパン
　４　小梁単位荷重
　５　小梁上分布荷重及び作用位置

・２次小梁Ｃ，Ｍ０，Ｑ０
　６　床座標，床荷重（フレーム用，地震用），床負担面積
　６'　積雪深さ，積雪単位荷重
　７　小梁スパン
　８　小梁スパン
　９　小梁単位荷重
　１０　小梁上分布荷重及び作用位置
　１１　３次小梁負担せん断力伝達分（フレーム用，地震用，積雪用）

・１次小梁Ｃ，Ｍ０，Ｑ０
　１２　床座標，床荷重（フレーム用，地震用），床負担面積
　１２'　積雪深さ，積雪単位荷重
　１３　小梁スパン
　１４　小梁スパン
　１５　小梁単位荷重
　１６　小梁上分布荷重及び作用位置
　１７　２次小梁負担せん断力伝達分（フレーム用，地震用，積雪用）

・小梁の設計
　１８　各小梁のＣ，Ｍ０，Ｑ０
　１９　小梁幅，小梁背，使用コンクリート設計基準強度，主筋材質
　　主筋径，肋筋材質，肋筋径

・床版の設計
　２０　床座標（短辺長さ，長辺長さ）
　２１　床単位重量

図２－４（ｃ）　床版設計データの内容

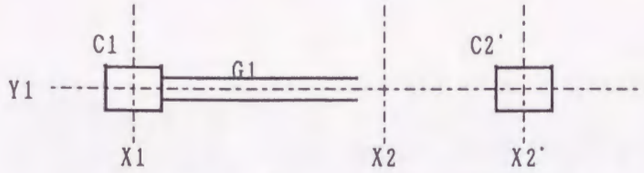


図２－５（ａ）　従属性の未使用
柱の移動

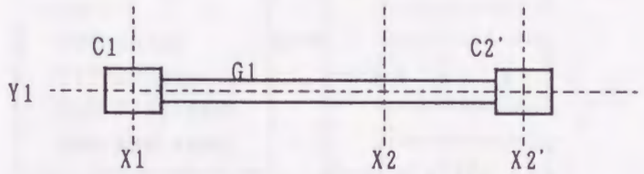


図２－５（ｂ）　従属性の利用
柱の移動

- 主柱
  - 接続関係
    - 接続先部材（下階柱，ｘ，ｙ，上下階ｚ基準線）
    - 被接続部材（梁，壁，上階柱）
  - 位置属性
    - 基準点
    - 基準点からの変位
  - 接合状態
    - 柱頭，柱脚（固定，ピン）
  - 形状属性
    - 形状（矩形，円形，多角形）
    - 寸法（幅，長さ）
  - 材　　料
    - 主　材（ＲＣ，Ｓ，ＳＲＣ，および材質）
    - 仕上材（モルタル，板張材，耐火材，タイルなど）
  - 価　　格
    - 躯体単価
    - 仕上単価
  - 力学属性
    - 断面性能（断面定数，ヤング率など）
    - 構造モデルパラメータ（剛度割増率，剛域長など）
    - 応力（軸力，曲げ，せん断力，Ｃ，M_0，Q_0など）
    - 重さ
  - 配筋属性
    - 断面，定着長など

図２－６　部材の持つ属性の内容（主柱）

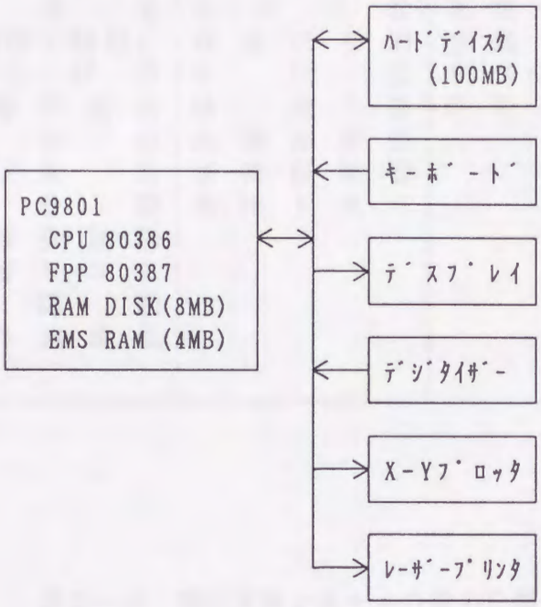


図２－７　ハードウエアの構成

表２－１　建築実設計の分業化と建築図面の種類

意匠図	構造図	設備図
付近見取り図	仕様書	仕様書
配置図	各階伏せ図	給排水設備図
仕様書	小屋伏図	電気設備図
（標準・特記）	基礎伏せ図	空調設備図
仕上げ表	杭伏図	ガス設備図
各階平面図	軸組図	防災設備図
立面図	架構詳細図	ｸﾚｰﾝ･ﾎｲｽﾄ設備図
断面図	基礎詳細図	
矩計図	各種リスト	
各種詳細図		
各種リスト		
展開図		
屋外施設図		

表２－２　設計支援システムの縦の分類

①概念設計 のモデル化	設計イメージ［創作］ ↓①のプロセスを支援する。 モデル化を支援する
②基本設計 のモデル化	ラフスッケッチ・プランニング ↓②のプロセスを支援する。 工学モデルへの橋渡しのモデル
③実施設計 のモデル化	意匠設計・構造設計・等 ↓③のプロセスを支援する。 工学モデル［自動設計が可能］

表２－３　建築実施設計支援システムの横の要求機能

（デザイン支援）	（エンジニア支援）
設計の生産性をあげる 定型業務の省力化 出来上がった設計図書の清書 設計図の再利用（図面，部品）*) 作図支援 面積計算 寸法距離計算 包洛処理 平行２線 複写機能 図面の修正が容易 図面管理ができる パラメトリック機能 （開口，床，梁，柱，等）	構造計算 部分計算モジュール 計算書の清書 計算の一連化 結果の再利用と発展利用 躯体数量積算 構造図の自動生成 ２次設計へのデータの引き渡し

＊）図形単位でまとめたものオブジェクトグループ毎にまとめる再配置型

表２－４　ＣＡＤの歴史ニーズに対して行われたこと

１９７０年代前半　↑ 建築ＣＡＤは職種ごとに発展している	企画 ＣＧ パース 土地利用計画 建物配置と法規制 日照，日影	プロッターを利用したバッチ処理システム
１９８０年代　↓ 知識工学を応用したCAD技術が進歩	作図 製図システム　（構造図，施工図） 設計 構造計算 基礎杭診断	

＊＊）２×４住宅専用，木造一般住宅専用，マンション専用，等作業の定型化が進んでいる分野で実現している。

【第２章の参考文献】

(1) ＮＴＴデータ通信㈱：DEMOS BUILD-1 説明書，第２版，1～4編，1989

(2) 和田情報システム：アーキプロ－１ 概要説明書，1989

(3) ㈱構造システム：BUS-2 一貫構造計算プログラム，1986

(4) ユニオンシステム㈱：Super Build/SS1 解説書，1987

(5) 建設省住宅局建築指導課：図解建築法規，新日本法規，1988

(6) 川崎清，笹田剛史，吉川真：画像表示システムの街区保存・再開発計画への応用，第４回電子計算機利用シンポジウム論文集，日本建築学会，第４巻，PP.253-258，1982

(7) 山口重之：建築設計のパーソナル・グラフィックス・システムについて・ＡＲＣＨＧＲＡＦの研究開発，第４回電子計算機利用シンポジウム論文集，日本建築学会，第４巻，PP.283-288，1982

(8) 笹田剛史，吉川真，清水弘之，沢井健，能勢浩三，山本俊三：ダイナミックグラフィックスの建築設計への導入に関する基礎的研究，第６回電子計算機利用シンポジウム論文集，日本建築学会，第６巻，pp.325-330，1984

(9) 篠崎道彦，出口敦，渡辺定夫，山田学：都市計画情報の統合化による計画シミュレーション手法の研究，第６回電子計算機利用シンポジウム論文集，日本建築学会，第６巻，pp.181-186，1984

(10)西河清，井ノ部博，能勢浩三，北原英雄：景観シミュレーションにおける周辺環境の表現に関する考察，第６回電子計算機利用シンポジウム論文集，日本建築学会，第６巻，pp.415-420，1984

(11)川崎清，笹田剛史，吉川真，沢井健：コンピュータ・グラフィックスによる都市景観シミュレーション動画の制作技法，第８回電子計算機利用シンポジウム論文集，日本建築学会，第８巻，PP.337-342，1986

(12)山崎均，山下一彦：レイトレーシング法による室内照明度分布計算の一手法，第６回電子計算機利用シンポジウム論文集，日本建築学会，第６巻，pp.463-468，1984

(13)清水弘道，平田泰敏，笠原信一：ＣＧを利用した質感検討システム『ＲＥＡＬ』の開発，第９回電子計算機利用シンポジウム論文集，日本建築学会，第９巻，PP.235-240，1987.3

(14)Sutherland, I. E. :SKETCHPAD A Man-Machine Graphical Communication System, MIT Lincoln Lab. TR296, 1963

(15)コンピュータグラフィックスの原点 SKETCHPAD とその果たした役割，ＰＩＸＥＬ，Ｎｏ．３，図形情報処理センター，PP. 79-83, 1988

(16)笹田剛史，吉川真，後藤尚生，沢井健，能勢浩三：マイクロコンピュータを用いた建築表現システムの開発に関する研究，第６回電子計算機利用シンポジウム，日本建築学会，第６巻，pp. 331-336, 1984

(17)武政孝治，小玉祐一郎，位寄和久，大橋征幹：住宅地の景観予測システムに関する研究(その２)樹木の表現に関する検討，第６回電子計算機利用シンポジウム，日本建築学会，第６巻，pp. 133-138, 1984. 3

(18)山口重之，新田，山谷薫：コンピュータ・グラフィックスによるデザイン・シミュレーション，第８回電子計算機利用シンポジウム論文集，日本建築学会，第８巻，PP. 367-372, 1986. 3

(19)奥田宗幸，小吹達哉，風間達矢：エスキースにおけるＣＡＤの利用（屋内配置計画における対話型ＣＡＤシステムの開発），第１１回電子計算機利用シンポジウム論文集，日本建築学会，第１１巻，PP. 55-60, 1989

(20)遠藤，西川，秋道，北原，後藤，新井，井ノ部，池上，片桐，能勢：建築の企画・設計・施工におけるプレゼンテーション，第１１電子計算機利用シンポジウム論文集，日本建築学会，第１１巻，PP. 67-72, 1989

(21)手越義昭，西川加禰：建築専門教育におけるコンピューター利用に関する研究（その１）建築設計製図への試行的導入の検討，広島工業大学研究紀要，第１９巻　Ｎｏ．２３号，pp. 241-250, 昭和６０年３月

(22)手越義昭，西川加禰：建築設計教育における電子計算機利用の位置づけに関する研究（その１），広島工業大学研究紀要，第２０巻　Ｎｏ．２４号，pp. 191-194, 昭和６１年３月

(23)手越義昭，西川加禰：建築設計教育における電子計算機利用の位置づけに関する研究（その２），広島工業大学研究紀要，第２０巻　Ｎｏ．２４号，pp·195-201, 昭和６１年３月

(24)山崎均，真鍋正規：コンピュータグラフィックスと建築パース，日本建築学会計画系論文報告集，第４０４号，pp. 37-47, 1989. 10

(25)堀口恵一，江口：三次元カーソルを用いた建築形状ワイヤーフレームモデルの入力方法，第６回電子計算機利用シンポジウム論文集，日本建築学会，第６巻，pp.319-324，1984

(26)手越義昭，西川加禰：建築専門教育におけるコンピューター利用に関する研究（その２）建築透視図への試行的導入の検討，広島工業大学研究紀要，第１９巻　Ｎｏ．２３号，pp.251-258，昭和６０年３月

(27)辻英一，中本三朗，安永通晴，青木智子，久米川敦子：逆日影問題に関する一考察（その３），第４回電子計算機利用シンポジウム論文集，日本建築学会，第４巻，PP.277-282，1982

(28)小玉祐一郎，位寄和久，武政孝治，安留昌三：住宅地における太陽エネルギー分布シミュレーション，第６回電子計算機利用シンポジウム論文集，日本建築学会，第６巻，pp.307-312，1984

(29)堤泰彦，時田純，権田晃，森本亘一：凡用ＣＡＤシステムを利用した施工図作成システム，第１０回電子計算機利用シンポジウム論文集，日本建築学会，第１０巻，PP.109-114，1988

(30)柏崎孝史，木田邦夫，上前和之，二神延平，荒巻剛哉：「建築施工図作成ＣＡＤシステム」の運用と効率化について，第１１回電子計算機利用シンポジウム論文集，日本建築学会，第１１巻，PP.43-48，1989

(31)鈴木良太郎，石神，平間重義：枠組み工法住宅作図．積算プログラムーHOUES24，第６回電子計算機利用シンポジウム論文集，日本建築学会，第６巻，pp.283-288，1984.3

(32)坂本光弘，渡辺寛，伊藤雄太郎，大崎貴子，米原ひろみ：枠組壁工法住宅に於ける構造の自動設計システムについて，第９回電子計算機利用シンポジウム論文集，日本建築学会，第９巻，PP.13-18，1987

(33)長沼純一郎：マイクロコンピューターによる住宅の設計（Ⅱ），第５回電子計算機利用シンポジウム論文集，日本建築学会，PP.373-378，1983

(34)横井時人：住宅CADシステムのデータベース構造と処理，第６回電子計算機利用シンポジウム論文集，日本建築学会，第６巻，pp.199-204，1984

(35)石割浩司，安田武夫：住宅とコンピュータ，近代建築，PP15-22，1984

(36)山田周平，栗原信一郎，藤田三男：建築設計支援システムＤＥＬＴＡ（その１~その３），第９回電子計算機利用シンポジウム論文集，日本建築学会，第９巻，pp.199-216，1987

(37)福川義明，近藤公正，吉田吉利信，長井昌志，稲辺健三：パーソナルコンピュータによる「ＡＬＣパネル自動割付・製図システム」の開発，第５回電子計算機利用シンポジウム論文集，日本建築学会，第５巻，PP.103-108，1983

(38)新井勉，高橋輝男：最適配管問題に関する研究，第５回電子計算機利用シンポジウム論文集，日本建築学会，第５巻，PP.385-390，1983

(39)菊池孝之，山下純一，池滝文男，富本秀俊，帆足弘治：「壁構造躯体積算システム」の開発，第１１回電子計算機利用シンポジウム論文集，日本建築学会，第１１巻，PP.31-36，1989

(40)榎本範子，関根毅，長町三生：台所設計支援システムの開発，第１１回電子計算機利用シンポジウム論文集，日本建築学会，第１１巻，PP.61-66，1989

(41)松下聡，岡崎甚幸，国枝　毅，：１次元最適部屋配置モデルの研究，日本建築学会計画系論文報告集，第３８０号，pp.56-63，昭和６２年１０月

(42)河村廣，谷　明勲，松本真一，山田　稔：最適構造計画におけるプロダクション・ルールによるファジィ統合則，第１０回電子計算機利用シンポジウム論文集，日本建築学会，第１０巻，PP.277-282，1988

(43)篠田博水：３次元家モデルに基づく住宅設計一貫システム，UNIVAC TECHNOLOGY REVIEW 第８号，pp.22-36，1985

(44)オートデスク㈱：AUTO CAD ADE-3EX 操作ガイド，1985

(45)㈱コミュニケーションシステム：STCAD 構造図化システム基本操作マニュアル，1987

(46)和田情報システム：アーキプロ－Ｄ１　総合マニュアル，1989

(47)長島雅則：コンピュータによる図面処理における諸問題，第４回電子計算機利用シンポジウム論文集，日本建築学会，PP.1-6，1983

(48)手越義昭，西川加禰：建築設計教育におけるコンピュータ利用に関する研究（パーソナルコンピューターを使った建築設計教育用ＣＡＤシステムの開発），第７回電子計算機利用シンポジウム論文集，日本建築学会，第７巻，pp.319-324，1985.3

(49)手越義昭，藤岡豊三雄，秦昌昭：住宅設計におけるレイヤ構成の応用，第８回電子計算機利用シンポジウム論文集，日本建築学会，第８巻，pp.7- 12，1986.3

(50)手越義昭，秦昌昭，藤岡豊三雄：パソコンを利用したＣＡＤシステムのネットワークの構成，第８回電子計算機利用シンポジウム論文集，日本建築学会，第８巻，pp.13-18，1986.3

(51)桑形松夫，下平作士，安田武男，吉田二郎：建築設計プログラムＢＵＩＬＤ－１（その１）概要，第７回電子計算機利用シンポジウム論文集，日本建築学会，第７巻，PP.223-228，1985.3

(52)下平作士，前田良二，黒沢稔，野村進，木股信夫：建築設計プログラムＢＵＩＬＤ－１（その２），応力計算方法，第７回電子計算機利用シンポジウム論文集，日本建築学会，第７巻，PP.229-234，1985.3

(53)今井崇行，川井喜大，福若光則：鉄骨造自動設計システム（ＳＱＵＰ－３），第７回電子計算機利用シンポジウム論文集，日本建築学会，第７巻，PP.235-240，1985.3

(54)滝野文雄，広瀬育男，北野修，八ヶ賀英幸，大日方貞夫：パーソナルコンピュータ用ＲＣ／ＳＲＣ建築一貫計算プログラムのシステム設計，第７回電子計算機利用シンポジウム論文集，日本建築学会，第７巻，PP.247-252，1985

(55)松林隆道，提和敏，薦野和彦，広部正章，小笠原勲，富本秀俊：構造図自動作成および積算への連動システムの開発，第８回電子計算機利用シンポジウム論文集，日本建築学会，第８巻，PP.205-210，1986

(56)手越義昭，牛島賢象：建築構造設計におけるパーソナルコンピューターの利用法に関する研究（その１），広島工業大学研究紀要，第２０巻　Ｎｏ．２４号，pp.231-235，昭和６１年３月

(57)手越義昭，牛島賢象：建築構造設計におけるパーソナルコンピューターの利用法に関する研究（その２），広島工業大学研究紀要，第２０巻　Ｎｏ．２４号，pp.237-245，昭和６１年３月

(58)永田敬雄，稲田達夫，入江元章：構造一貫計算システム「ASTS」へのオブジェクト指向（プログラミングツール「FACT」の組み込み），第１１回電子計算機利用シンポジウム論文集，日本建築学会，第１１巻，PP.139-144，1989

(59)久保猛志，磯部行久，山本清治:土地利用的評価におけるパーソナル．コンピューターの利用，第６回電子計算機利用シンポジウム論文集，日本建築学会，第６巻，pp.253-258，1984

(60)今野英山，佐久間護，小橋哲朗，吉田恭子：エキスパートシステムによる土地利用企画提案システムの開発，第１０回電子計算機利用シンポジウム論文集，日本建築学会，第１０巻，PP.241-246，1988

(61)河添斉，中嶋文子，田中宏隆：杭形式選定システムの開発，第１０回電子計算機利用シンポジウム論文集，日本建築学会，第１０巻，PP.271-276，1988

(62)小澤由紀夫，松下洋治，井田いずみ，池田昌泰：最適土地利用企画エキスパート・システムの研究と開発，日本建築学会計画系論文報告集，第４００号，pp.51-59，1989.6

(63)日本機会学会編：ＣＡＤシステムの機能と構成，技報堂出版，1987.8

(64)（社）日本設計製図学会：高度技術化に対応する機械製図システムの標準化のための調査研究（第三年度）報告集，1988

(65)情報処理ハンドブック　情報処理学会偏　p460

(66)長澤勲，手越義昭，牧野稔：『ＩＢＤＳ：建築物の統合化設計支援システム』，情処処理学会論文誌，Vol.30，No.8，pp.1058-1067，1989.8

第３章

ＩＢＤＳ：建築物の統合化設計支援システム

第３章　ＩＢＤＳ：建築物の統合化設計支援システム

３－１　はじめに

建築設計の分野においても，パーソナルコンピュータ上に実現された設計支援システム[1],[2],[3],[4],[5],[6],[7]が普及し，設計作業の合理化に貢献している。しかし，これらの設計支援システムは，設計図書の編集，構造計算，積算等の作業を設計作業の流れに乗って進めるものではなく，流れの一部を取り出してそれぞれ独立に個別的に支援する設計支援システム（図３－１(a)）が多く，次のような問題がある。建築設計では，設計が完了した後で発注者の要求や施工上の問題点を解決するため，頻繁に再設計が行われる。設計条件が変化した場合の再設計において，従来から行われている手作業と個別作業の支援を行う設計支援システムを併用する方法では，設計者自身が図書の変更や構造計算の基礎データを修正しなければならず，様々な図書間の整合性の管理に手間取り，設計ミスの発生や設計変更に迅速に対応できないという問題がある。この問題を解決するには，設計作業の流れ全体を一貫して支援する必要がある。

本章では，設計の個別的な支援による問題を解決するために開発した，次の特徴をもつ設計支援システムＩＢＤＳ(Integrated Building Design System)[8],[9],[10]の構築法のうち，設計作業を一貫して進めること，意匠設計，構造設計，積算などの設計作業を支援する各種の設計支援ツールについて述べる。

(1) 建築物の設計情報を一元的に表現した建築物モデルを中心として，意匠設計，構造設計，積算，設計図書の編集等の設計作業を支援する設計支援ツールを配置した（図３－１(b)）。このことによって設計者は，設計データの変換に煩わされることなく一貫して設計作業を進めることができる。

(2) 建築物の設計作業を一貫して進めるために，モデルを管理する建築物モデル管理機構を設けて建築物モデルの一貫性を管理し，システムの保守を容易にした。

(3) 設計者が行う標準的な設計作業の流れを想定し，これを一連の設計作業が流れに沿って支援できるように配慮した。

(4) 建築物モデルを属性集合だけで表現した。

3－2　設計方針

本章で構築する設計支援システムの設計方針は次の通りである。

(1) 意匠設計の支援

意匠設計者は設計作業を進めるに際して，仕上げ材，構造材等の規格品のカタログを検索し，建築物の用途，設計条件，法規や施主の好み等を考慮しながら，部材の種類，色，形等の意匠を決定する。このとき設計者は，平面図，立面図等，目的に応じて様々な視点から捉えた意匠図を用いる。この部材のカタログを検索する作業や，図書間の整合性を保つ作業は，設計者にとり大きな負担である。したがって，本システムでは，意匠図面の編集機能と部材等のカタログ検索機能を有機的に結合すること，様々な図書間の整合性を管理すること，および床面積や窓開口率を自動計算することを支援の対象とする。

(2) 構造設計の自動化

建築物の設計では，意匠の概要（建設地域，用途，規模，構造種別）が与えられると構造の概要（柱，梁の配置と断面の仮定）が設計される。次に，意匠設計者は，この結果をもとに意匠の詳細を設計する。さらに，この結果をもとに構造の詳細が設計（構造計算）される。構造の詳細設計の結果が不適当であれば，意匠設計者は構造に影響を及ぼす意匠の詳細を変更する。経済的，力学的に高品質の建築物を得るためには，この過程を反復しなければならないが，現状では設計コストがかさむことになる。この問題に対して，本システムでは構造の概要設計および詳細設計を自動化する。

(3) 積算の自動化

意匠設計者は，部材の単位当りの価格を参考にして，意匠の詳細設計を行う。意匠の詳細設計が終了すると詳細な積算を行う。この結果と実行予算との間に差があれば，まず意匠の詳細設計のうち価格に大きな影響を与える仕上げを変更する。それでもまだ差があれば構造部材，設備機器の容量等の見直しを行い，可能な変更を試みる。このような過程を反復することによって実行予算に近い仕様の建築物が設計される。ところが，現状ではこの反復作業は，設計コストの上昇を

招いている。意匠設計者の選択した部材が，建築物全体の価格に及ぼす影響を，把握することは一般に困難である。したがって，本システムではこの積算作業を部材毎に単価の管理が出来るように自動化する。

(4) 操作性の良い安価なシステムとして実現

上記(5)に示した規模の建築物の設計は，比較的小規模な設計事務所で行われる場合が多い。したがって，各設計者が占有できる安価なパソコン上に実現することとした。

(5) 設計支援の範囲[11],[12]

本システムの対象とする建築物は，一般建築物の大半を占める１５階建て，高さ６０メートル以下の一般的な用途のラーメン構造建築物とする。構造種別は鉄筋コンクリート造（ＲＣ造），鉄骨造（Ｓ造），鉄骨鉄筋コンクリート造（ＳＲＣ造）および，これらの混合構造物とする。

(6) 構造部材の範囲

対象とする構造部材の種類と形状は，小規模なビル設計には，支障がないように，以下のようにする。

①鉄骨形状は，Ｈ形鋼，角形鋼管，鋼管，組立十字形鋼，組立ト字形鋼を対象とする。

②梁形状は，ＲＣ，ＳＲＣ部材は矩形断面を対象とし，鉄骨部材はＨ形鋼が使用できる。また，各形状とも各水平ハンチ，垂直ハンチが可能である。

③柱形状は，ＲＣ，ＳＲＣ部材は矩形断面を対象とし，鉄骨部材はＨ形鋼，角形鋼管，および鋼管を対象とする。

④鉄骨ブレースは，Ｘ形とし断面積で入力する方法を取った。また，引張材のみ有効として取り扱うことも可能とする。

⑤壁は，構造種別および入力により荷重計算方法を選択することができるように構成した。開口は最大５カ所まで入力でき，スリット壁，多スパンにまたがる壁も設計することができる。

⑥床は，小梁は３次小梁までの取り扱いが可能となるように構成する。一枚の床には，最大５０本までの小梁の入力が可能となるように構成する。小梁上の等分布荷重の取り扱いもできるように構成する。

⑦片持スラブは，先端つなぎ小梁付や，出隅の片持スラブも扱うことができる。

⑧コンクリートの材質の指定は，階毎に指定することができるように構成する。

⑨鉄筋の材質は，柱梁共，柱頭，柱脚（端部･中央），フランジ，ウェブ毎に指定できるように構成する。

3－3　設計支援システムの概要

設計支援システムは，図3－2に示すように2つのファイルと8つのプログラムモジュール（以下，モジュール）からなっており，処理プログラム，手続きプログラムとデータは分離して，ファイルとプログラムから構成した。図3－2中の2つのファイルは，建築物のモデル化を行ったファイル（以下，「建築物モデルファイル」と云う。）と，また，建築物モデルファイルを構築するために使う部材ファイル（以下，「部材ファイル」と云う。）とした。なお，第3章では，建築設計支援システムを構成する各種の支援ツールが，建築物として認識する範囲（建築物モデルファイルと建築物モデル管理機構等を総合した範囲）を「建築物モデル」と呼ぶ。また，ここでは，モジュールはプログラムの構成要素を表し，ツールは個別の作業の支援を行うプログラムの単位を表し，システムは全体を表すものとする。

(1) 部材ファイル①は，建築物を構成する柱，梁，床，壁等の基本要素を格納したものである。この基本要素は材料の性質，単価等の属性値を持っている。

(2) 部材編集モジュール②は，(1)の部材ファイルの管理，編集を行うモジュールである。

(3) 建築物モデルファイル③は，個々の部材で構成された設計中の建築物モデルを格納する。

(4) 個別支援モジュール④～⑧は，意匠，構造等の設計者が行う個別の設計作業に対応した設計支援を行う。

　(a) 建物概要入力モジュール④は，基本設計における建築物の概要の入力を支援する。

　(b) 意匠編集モジュール⑤は，建築物モデルの意匠の編集を支援する。

　(c) 構造設計モジュール⑥[11],[12]は，建築物モデルの構造の検討を支援する。

　(d) 積算モジュール⑦は，建築物の価格算出を支援する。

　(e) その他，必要に応じて専用のモジュール⑧が追加できる。

(5) 建築物モデル管理機構⑨は，建築物モデルファイルの一貫性を管理するとともに，設計作業毎に必要な情報を建築物モデルファイルから取り出し操作するモジュールである。

(6) ユーザーインタフェース⑩は，利用者とシステムの接点である。このモジュールには，個々の設計作業において設計者が慣用的に用いている図書を通して設計情報を表示，編集できる工夫を行っている。

3－4　建築物モデル

建築物モデルの実現には，次の点を配慮した。

(1) 設計情報の一元管理

建築物の設計は，表3－1に示すように，意匠，構造等の設計作業に適した図書を用いて行われているが，これらの図面は相互に関連し合って建築物を表現している。建築物モデルは，これらの図書の内容を整合性を保って管理し，設計作業毎に必要な情報を提供できるものでなくてはならない。

(2) 再設計に対する修正の容易性

建築物の設計は，使い勝手，経済性，耐震性，施工の容易性等多面的な設計要求の調和を目的とした再設計の繰り返しである。このため建築物モデルは，再設計に対して修正の容易な柔軟な構造でなくてはならない。

(3) 設計作業を一貫して支援する為の設計支援ツールの整備

建築物の設計情報の一元化に対応した，各種の設計作業の設計支援ツールは，設計者が各種の設計支援ツール間にまたがるデータの変換に煩わされること無く，設計作業を一貫して支援することを前提とした構造でなくてはならない。

(4) カストマイズの容易性

建築物に使用する部材や基準の取り方は，企業や設計グループ毎に異なっている。このため建築物モデルは利用者の要求に合わせて容易にカストマイズ（customize）できなくてはならない。

3－5　建築物の設計過程

前節までで述べた設計支援システムの設計概念に従って試設計した設計支援システムは，以下に述べるような作業手順で設計作業を進めることができる。

3－5－1　設計作業の流れ

本章で云う設計支援システムを使用して行う標準的な設計作業の流れを図3－3に示す。図中破線は設計者がシステムを操作して行う作業，実線はシステムが自動的に行う作業である。以下に，図中のステップに対応して設計手順を説明する。

STEP ① 設計者は，基本設計で検討を行った設計の基本条件である建物所在地，建物用途，建物規模，スパン長または柱の配置，階高等の建物概要をシステムに入力する。

STEP ② システムは，概略の構造計算を行い，この結果を用いて柱，梁の構造材が必要とする断面性能が最小値となる部材を選択して自動的に配置する。

STEP ③ 使用する部材を定義する。

STEP ④ 設計者は，配置された柱断面を考慮しながら，平面プランを基にして出来上がった形をイメージしながら，意匠設計を進める。つまり，意匠編集ツールを用いて，意匠平面図上で柱，壁等の部材を配置する。

STEP ⑤ システムは立面図，断面図，各階伏図，軸組図等を自動生成する。

STEP ⑥ システムは意匠設計の結果を用いて，構造設計を行い構造耐力の検証を行う。

STEP ⑦ 構造計算の結果を基にしてシステムは柱，梁等の部材リストや架構配筋図等を自動生成する。

STEP ⑧ 設計者は構造設計の結果を評価する。

STEP ⑨ 意匠部分と構造耐力を要する躯体部分の取り合いに不具合があれば，設計者は意匠図の修正を行い，STEP③④ を再度試みる。
不具合がなければ設計を終了する。

STEP ⑩ システムは，意匠図，構造図，構造計算書等の設計結果を出力する。

3－5－2　意匠設計の支援

(1) 部材ファイル

建築物は小量多品種の部材で構成している。この為に支援ツールが個別に部材ファイルを持っていたのでは建築物モデルファイルの整合性が取り難くなる。したがって，統合化した設計支援システムを構成するためには，部材ファイルを共通にする。さらに，性質の類似した部材は，利用者が自由に定義できるようパラメトリックに生成するように構成する。

(2) 意匠図の編集

意匠の編集には平面図，立面図，断面図を用いる。設計者は図3－4(a)に示す意匠平面図上で設計作業を進める。意匠平面図上では，部材ファイルから部材をマウスで選択し，平面図上に配置する（図3－4(b)）。このとき，システムは一貫性を保ちながら建築物モデルファイルを操作しているが，設計者からは見かけ上，平面図を描いているように見える。設計者が意匠図の柱寸法を変更した場合，これに依存する意匠図と構造図（図3－4(c)）の柱や梁の寸法は，建築物モデル管理機構の機能により，自動的に変更される。この結果，図3－4(d)に示すように意匠図と構造図にまたがる部材の取り合いを確認することができる。同様に，各階の意匠平面図を作成することにより，立面図や任意の位置での断面図を自動的に作成できる。設計者はこの立面図と断面図を用いて，立面方向の取り合いを確認する。

(3) 利用者インタフェース

設計支援システムの利用者インタフェースは，設計者の思考を妨げないように，設計者が慣れ親しんでいる設計図書を使用し，違和感なく操作できる必要がある。このため，意匠設計者が通常の業務で使用するのに適したウィンドウシステムを整備して構成するのが良い。システムは，座標値の選択やコマンドの入力等は，すべてマウスだけで行うことができ，また必要に応じて全操作をコマンドで行うこともできることが望ましい。画面上のカーソルの色や形状は，利用者が識別しやすいように，自由に選択できる。補助線の色とファンクション・キーについても利用者が自由に定義できるように設計すれば良い。

3－5－3　構造設計の自動化

このような概念で設計した設計支援システムは，意匠の詳細設計が終了すると設計者は構造設計ツール[11],[12],[13],[14]を用いて構造設計を行うことができるようになる。これまでに構成した建築物モデルでは，構造設計ツールが提案する設計解の品質は，必ずしも構造設計の専門家が満足するほどではないが，意匠設計者の意志決定には実用上十分である。構造設計の専門家が操作すれば，さらに高品質な解を得ることができる。構造設計の結果，構造材が耐力的に不具合な箇所は画面上で警告するように構成できる。さらに，詳細に検討を行うには，構造計算の結果を出力して確認できる。システムが生成した構造図（図3－4(C)）が，建築物として正しいかどうかを，意匠図に重ね合わせて表示することもできる（図3－4(d)）。意匠設計者はこれらの結果を参考にして，必要があれば意匠の修正を行う。

3－5－4　積算の支援

意匠設計を進めるに当たって，設計者は，壁や床の部材を配置する際に，その単価や品質の等級を考慮しながら詳細設計を行う。この時，設計者にとって，使用した部材の単価が建築物全体の価格に及ぼす影響を，詳細に把握することは困難である。本システムは，意匠図の編集時に設計者の要求に従って部材毎の価格を積算する。また設計の終了時には，工事種別，部屋別，設計見積，業者見積等に分けて詳細な積算を行う。

3－6　システム構成と評価

3－6－1　システム構成

本章で試設計し作成した設計支援システムは，日本電気製のパーソナルコンピュータＰＣ－９８０１のＭＳ－ＤＯＳ（MicroSoft-Disk Operating System）上で動作するＣ言語（MicroSoft C）を用いて作成した。ハードウエアの構成の概略を図３－５に示す。同図中①はパーソナルコンピュータの本体であり，建築物の骨組み解析等で実数の数値計算を大量に扱うため数値演算用の子プロセッサ（FPP 80387）を装備した。②は補助記憶装置である。①の主記憶領域が６４０ＫＢと制限があるため，設計作業を進めるにあたって操作性の向上と処理速度の向上を目的として建築物モデルファイルをワークファイルとして扱う領域とした。③は図３－２中の部材ファイルや建築物モデルファイル，各種の処理プログラムを格納するための外部記憶装置とした。④,⑤は入力装置である。⑥は利用者との対話を行うための表示装置である。⑦,⑧は設計図面や各種の計算書等の設計図書を出力するための装置である。

本システムの実行プログラムの大きさは約６ＭＢである。高速化が必要なグラフィック制御モジュール[15],[16]や使用機種に依存するディジタイザ・ドライバはアセンブラ（MicroSoft MASM）で作成した。また，プリンタ，プロッタ等の周辺機器の構成は環境設定のメニューの選択により，多機種に対応できるようにした。

3－6－2　システムの評価

本システムを評価するため，人手による設計との比較を行った。表３－２に示す３例は，①日本建築学会鉄筋コンクリート構造計算規準同解説[17]掲載の３階建建築物，②実在する平面形状が変形した５階建事務所ビル，③実在する鉄骨鉄筋コンクリート造の１２階建事務所ビルである。実験の結果，平面形状が単純な建築物の場合には，専門家が従来から行っている個別支援の方法で設計して約１週間かかる設計作業を，実施設計経験のない初心者が，本システムを使用して設計した場合，約２時間で終了した。設計結果に個人差はあるが，両者とも設計の品質は同等であった。なお，設計期間は，設計に用いた設計図の用紙サイズを基

準とし，設計者１人がＡ１サイズで１枚／人，Ａ２サイズで０．５枚／人日として換算した。本システムの効果は次のとおりである。

(1) 設計作業の効率は手作業に比べて２０倍以上に改善された。

(2) 建築物の設計品質については人手による場合と比較して遜色がない。

(3) 設計の変更は極めて容易である。

(4) 設計ミスがないこと，特に異なる図書間の不整合がない。

(5) 部材ファイルを整備することにより，設計者の属する組織内での部材の標準化が行える。

3－7　むすび

本設計支援システムは，設計作業の効率化を図ること，設計の分業の弊害を防ぐこと，ならびに安価なシステムを供給することを目標に開発してきたが，この点に関しては概ね初期の目的を達成したと考えている。

設計作業の流れを設計支援システムを用いて一貫して支援するには，

(1) 設計の各段階における設計情報を建築物モデルに一元化すること。
(2) 建築物モデルを修正の容易な柔軟な構造にすること。
(3) 設計過程を標準化すること。
(4) 設計作業を一貫して支援するためには，設計過程を標準化した設計作業の流れとして捉え，各種の設計手作業を支援するツールを統合化して設計支援システムに取り入れること。
(5) 設計支援システムの機能の追加，修正，変更，改変，拡張が容易となるように，標準設計，部材規格等の変更に対しては，各種設計支援ツール間で共通に使える部材ファイルを構成すること。

で実現できる。

建築物の設計情報の一元化については，

(1) 建築物モデル管理機構を用いて建築物モデルファイルの編集，一貫性管理，構造設計モデルへの変換等を行うこと。
(2) 設計過程の標準化は，建築物モデルの中で使用される設計データの流れを管理することにより行った。

この結果，設計変更に際して設計案を容易に修正できる機能，図書間の整合性を管理する機能，実施設計における意匠設計，構造設計，設備設計等の専門化された，複数の分野にまたがる設計上の問題点を指摘する機能を実現できた。

本設計支援システムの開発で，設計支援システムのソフトウエアを担当するソフトウエア技術者と建築の設計知識を整理する設計技術者の相互理解が容易でないことが明らかとなった。この点を改善する為には，建築物モデルや設計過程の

概念を容易に記述できる表現言語を開発する必要がある[18],[19]。これに関しては，設計者が用いる設計計算の手順を自然に表現するプログラミング概念と，この為に必要な設計計算用言語の一例について，第6章で述べる。

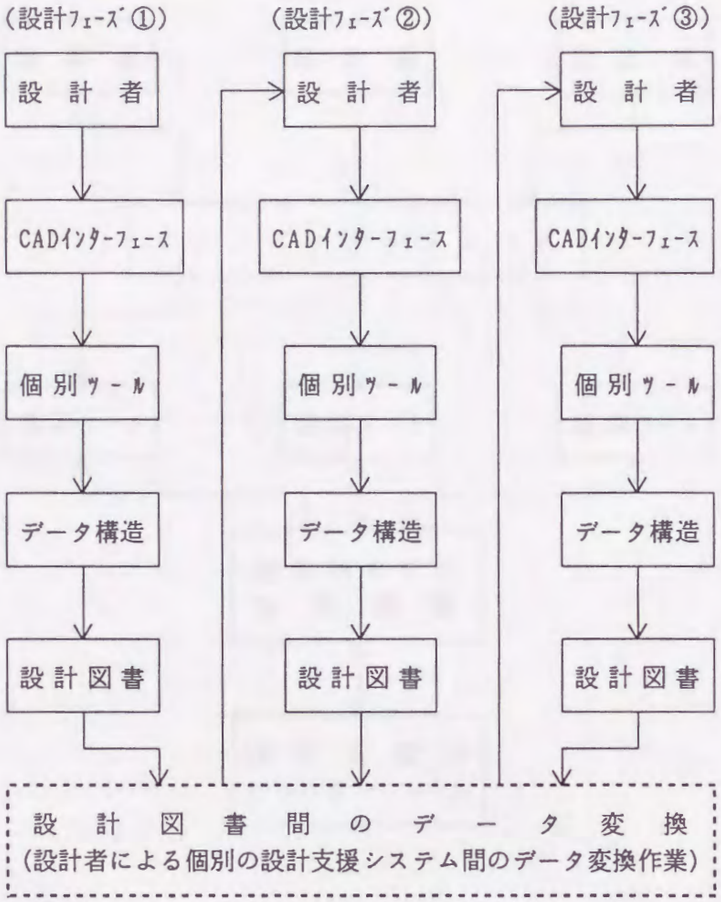


図３－１(a)　個別的に支援する設計支援システムの一般的構成例

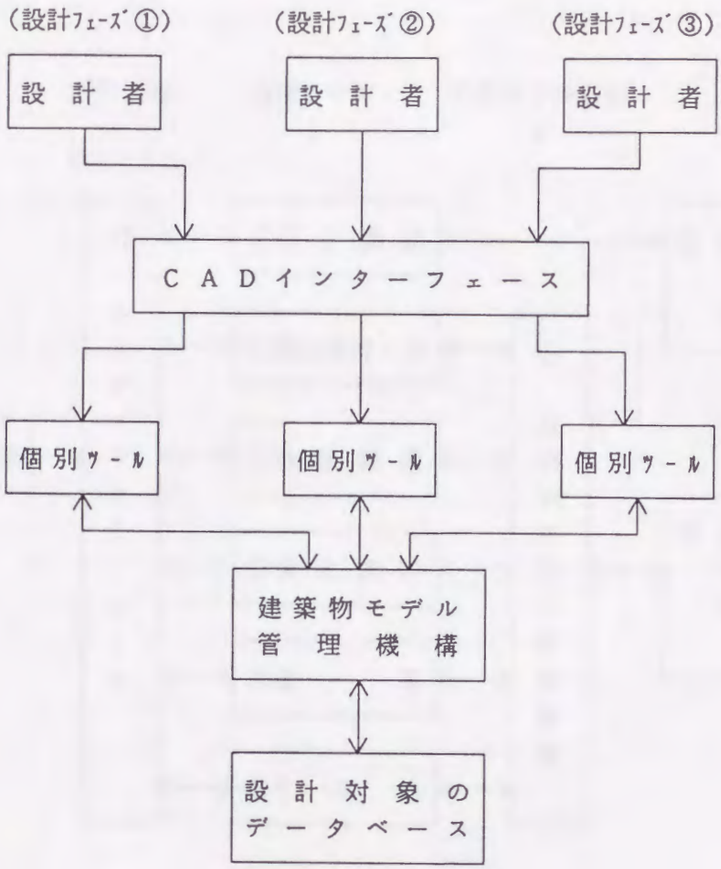


図3－1(b)　一貫して設計支援をするシステムの一般的構成例

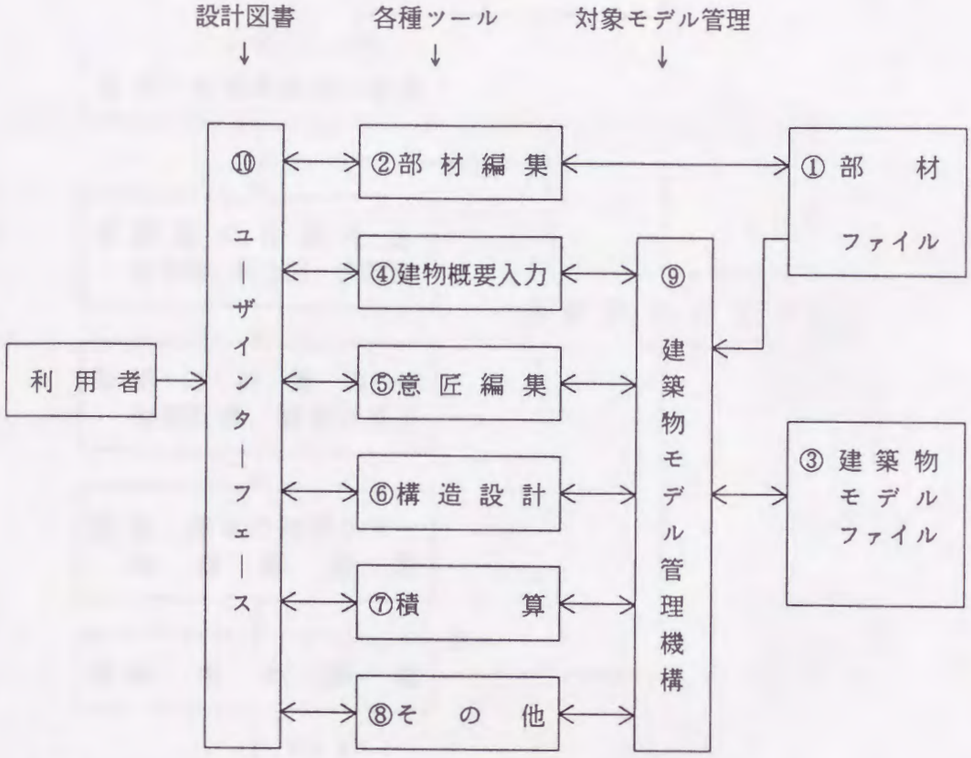
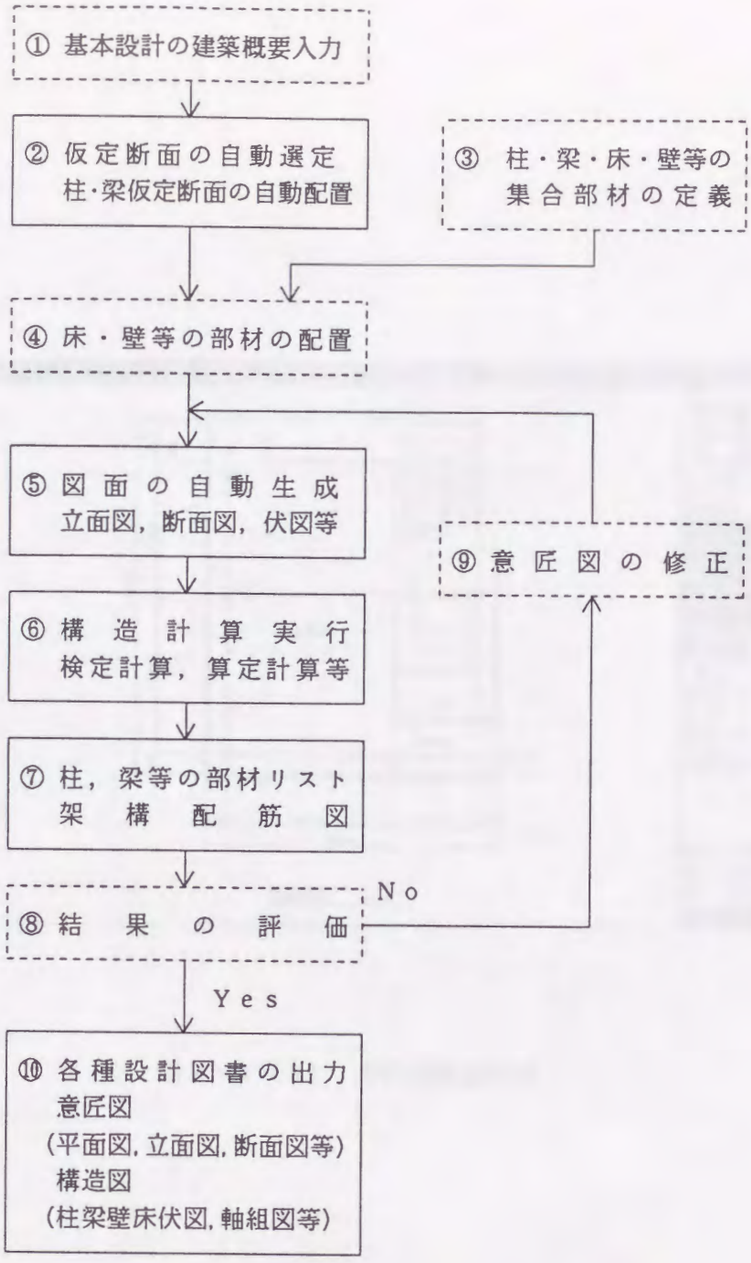

設計図書
各種ツール
対象モデル管理
⑩ ユーザインターフェース
②部材編集
④建物概要入力
⑤意匠編集
⑥構造設計
⑦積算
⑧その他
⑨ 建築物モデル管理機構
① 部材ファイル
③ 建築物モデルファイル
利用者

図3－2　システムの概要



【凡例】

実線はシステムが自動的に行なう作業である。

破線は設計者がシステムを操作して行なう作業である。

図3－3　本システムを用いた設計作業の流れ

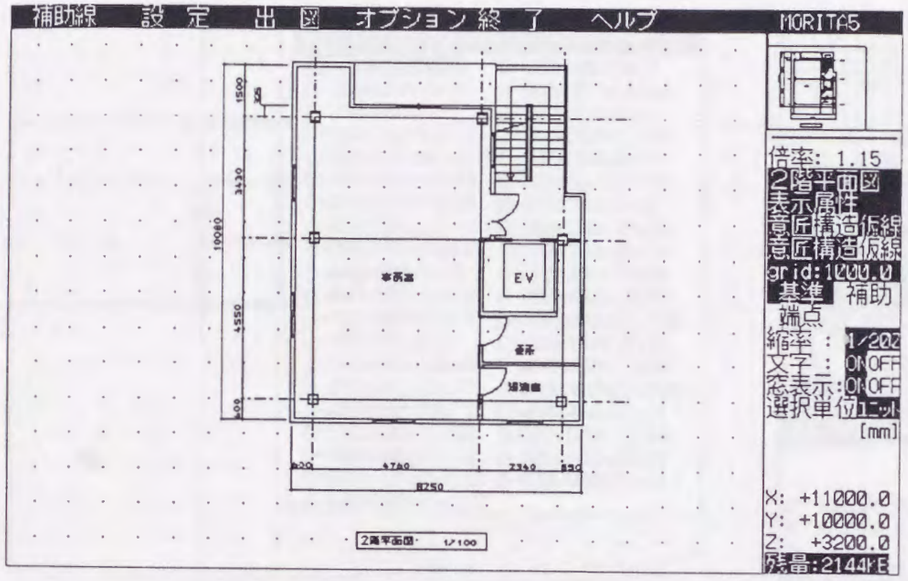


図３－４（ａ）　意匠図編集画面

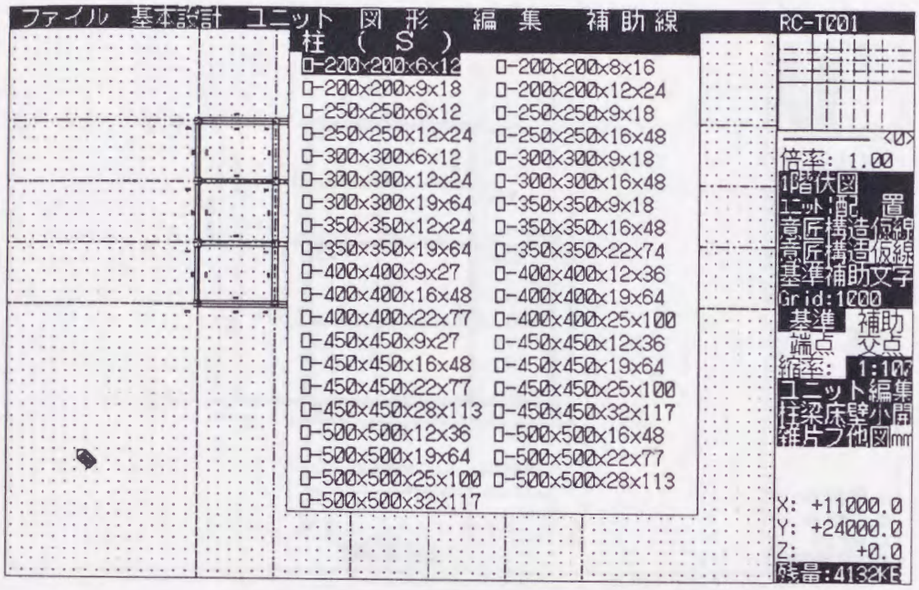


図３－４（ｂ） 部材の選択（部材データベースへのアクセス）

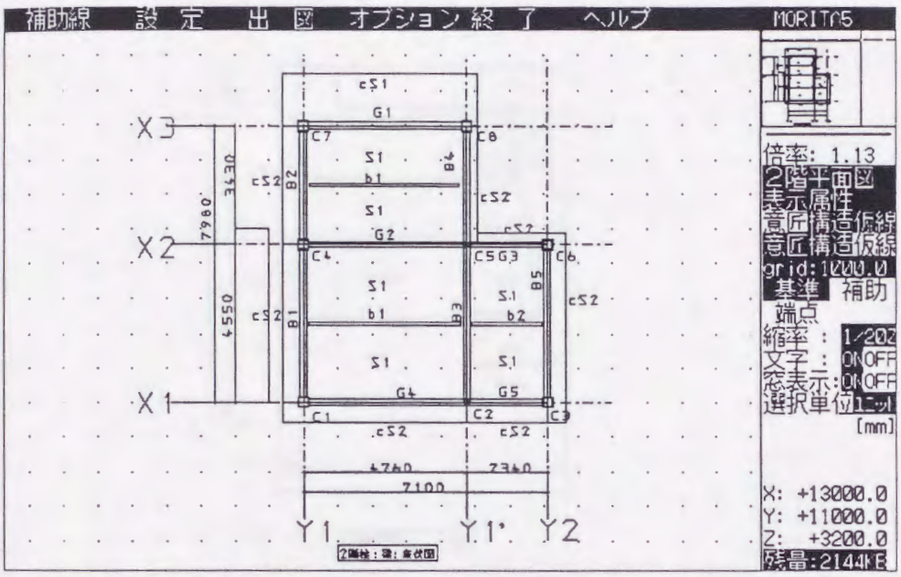


図３－４（ｃ）　構造図の表示画面

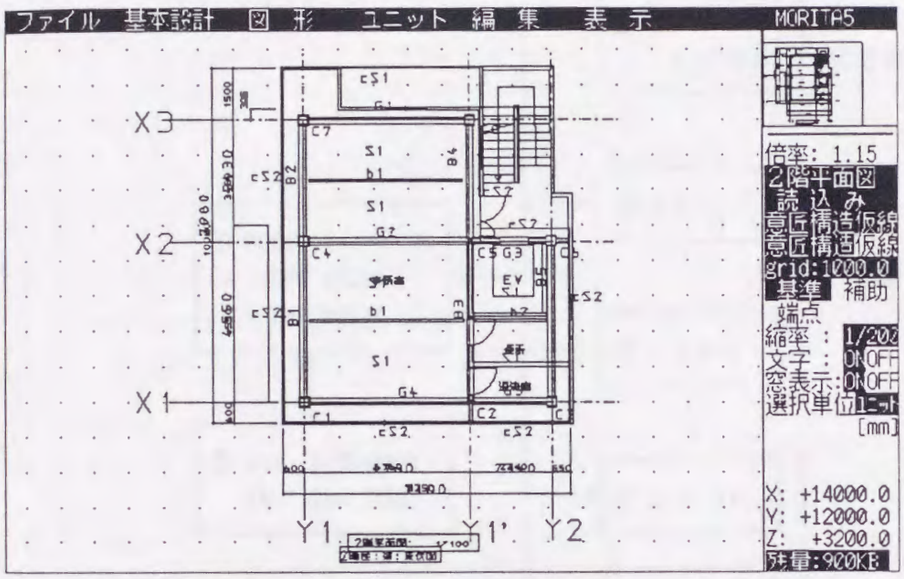


図３－４（ｄ）　意匠図，構造図の表示画面

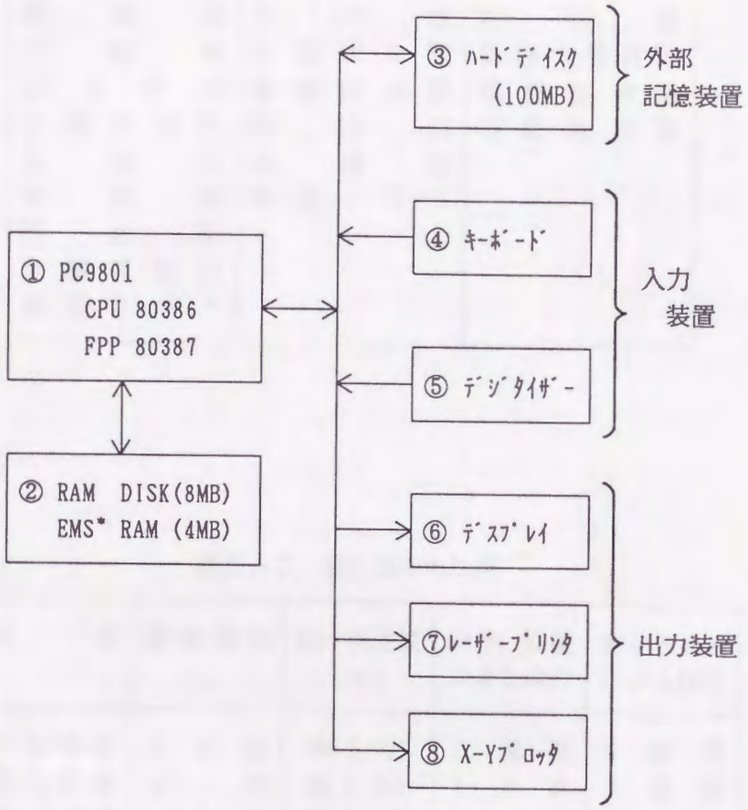


図３－５　ハードウエアの構成

注記：ＥＭＳ（Expanded Memory Specification）とは，米国Lotus, Intel, Microsoftの３社が提唱するi8086以上のＣＰＵにおける，ＥＭＭ（拡張メモリマネージャ）とアプリケーションとのインターフェースを定義したソフトウエアの規格。

表３－１　建築図面の種類

意匠図	構造図	設備図
配置図	仕様書	仕様書
仕様書	各階伏せ図	給排水設備図
仕上げ表	基礎伏せ図	電気設備図
各階平面図	軸組図	空調設備図
立面図	架構図	
断面図	各種リスト	
矩計図		
各種詳細図		
各種リスト		

表３－２　設計効率の比較

例題	構造種別	延べ床面積（㎡）	個別支援による設計	本システムによる設計
①規準書	ＲＣ造	約 2.300	1週間	2時間
②５階建	Ｓ造	約 3.000	1カ月	2日間
③12階建	ＳＲＣ造	約 7.000	3カ月	2週間

注記：　ＲＣ，Ｓ，ＳＲＣはそれぞれ，鉄筋コンクリート造，鉄骨造，鉄骨鉄筋コンクリート造の略称である。

【第３章の参考文献】

(1) 日本電信電話㈱：DEMOS BUILD-1 説明書，第２版，１～３編，1987

(2) ㈱和田情報システム：『アーキプロ－１　概要説明書』，1989

(3) ㈱構造システム：『BUS-2 一貫構造計算プログラム』，1986

(4) ユニオンシステム㈱：『Super Build/SS1 解説書』，1987

(5) オートデスク㈱：『AUTO CAD ADE-3EX 操作ガイド』，1985

(6) ㈱コミュニケーションシステム：『STCAD 構造図化システム基本操作マニュアル』，1987

(7) ㈱和田情報システム：『アーキプロ－Ｄ１　総合マニュアル』，1989

(8) 手越義昭，長澤勲：『建築設計支援システム』，昭和６３年度精密工学会春季大会，pp.433-434，1988

(9) 手越義昭，牧野稔，長澤勲：『建築物の設計支援システム』，第１０回電子計算機利用シンポジウム論文集，日本建築学会，第１０巻，pp.55-60，1988

(10)長澤勲，手越義昭，牧野稔：『ＩＢＤＳ：建築物の統合化設計支援システム』，情処処理学会論文誌，Vol.30，No.8，pp.1058-1067，1989.8

(11)手越義昭，牛島賢象：建築構造設計におけるパーソナルコンピューターの利用法に関する研究（その１），広島工業大学研究紀要，第２０巻　Ｎｏ．２４号，pp.231-235，昭和６１年３月

(12)手越義昭，牛島賢象：建築構造設計におけるパーソナルコンピューターの利用法に関する研究（その２），広島工業大学研究紀要，第２０巻　Ｎｏ．２４号，pp.237-245，昭和６１年３月

(13)手越義昭，牧野稔，長澤勲：『建築構造設計支援システム』，昭和６３年１０月，日本建築学会建築学会大会（関東），pp.915-916，1988

(14)牧野稔，手越義昭，：パーソナルコンピュータシステムを利用した建築構造解析ＣＡＤグラフィックスシステム，情報処理学会第３３回全国大会，3S-11，pp.2321-2322，昭和６１年後期

(15)ＮＥＣ半導体応用技術本部偏：『μＰＤ７２２０Ａ　ＧＤＣユーザーズ・マニュアル（ＩＥＭ－８６３Ｄ）』，日本電気株式会社

(16)星野進二：『ＧＤＣテクニカルブック』，株式会社日本ソフトバンク，1989

(17)（社）日本建築学会：鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説(1982)

(18)（社）日本設計製図学会：高度技術化に対応する機械製図システムの標準化のための調査研究（第三年度）報告集，1988

(19)長澤勲，前田潤滋，手越義昭，牧野稔：建築設計支援システムにおける小規模な組合せ選択問題のためのプログラミング手法，日本建築学会構造系論文報告集，第４１７号，pp.157-166，1990.11

第４章

建築設計支援システムに適した設計情報の一元管理と建築物モデルに関する考察

第４章　建築設計支援システムに適した設計情報の一元管理と建築物モデル

４－１　はじめに

「設計図面」上に描かれた図形の持つ意味は，工学のそれぞれの分野毎に，個々別々の表現方法が使われており，共通の約束ごとは存在していない。すなわち，図形を一つの言語として考えたならば，文法や用語に相当するものが存在していないのである。この為，多くの図形の取り扱いを可能としたシステムは，「作図支援システム（図形処理システム）」の域を越えられないでいる。例えば，設計支援システムは，設計者が指示を与えたい対象が，最終的には図面で表現されることが多い為，作図支援システムを中心に考えがちであるが，「作図支援システム」[1],[2],[3]に留まっていては，単に設計者のための製図機にすぎない。

設計支援システムとして本当に必要な機能は，設計者と計算機とが「設計図面」上の図形を媒介としてコミュニケーションすることである。例えば，図４－１に示す建築物の構造設計をしているとする。図４－２のような柱梁伏図上で柱 C2 の位置を動かしたと仮定するなら，柱の動きにつれて，梁 G1 の長さも自動的に修正されることが設計の支援[4]である。単なる作図支援システムでは柱の断面を表す矩形を「移動」すると，梁は短いまま残ってしまう。この場合，設計者は梁の線分を延長して図面を完成しなくてはならない。作図支援システムに設計者の支援（製図支援）を行う働きを持たせるためには，「柱」は柱として，「梁」は梁として，システムに認識されており，「柱」と「梁」の相互の関係も記述されていなければならない。

前述の例からも分かる通り，図形を媒介にしての人間と計算機のコミュニケーションを行うには，単に作図支援システムを用いて図形処理をするだけでは，目的を達成できない。表面に現れた図形に対し，それが表している「事物」の実態を，適切にモデル化し，適切な表現方法を用いて，計算機内に蓄積しなければならない。設計者が図形の一部を操作して，指示を行うことは，実際には，計算機内部のモデルに対して操作を与えることである。その結果として，表示される図形が変化する。

上記で述べた方法を発展させると，柱を移動することにより，柱間隔が変わり付随して床面積が変わる。この為，この柱に接続している梁が負担する床荷重が変化し，床荷重の変化に対応して梁の応力が変化するので梁の大きさを変更する

等の必要性が生じてくる。梁の断面形状を変更すれば，この変更に見合うだけの応力を負担できるように，柱の断面積を変更することが必要となる。ここで，前述の建築物の構造設計の例について考えると，この例では，「柱」や「梁」を建築物を構成している「部材」として捉えている。画面上に表示された矩形や線分は，「部材」の内部表現に従って表示された結果である。このようにシステム内部の「部材」の「記述（定義表現）」と人間の頭の中（設計知識）の「観念」とを一致させることがユーザーインタフェースの本質である。したがって，対象「モデル」と人間がその「部材」に対して抱いている「観念」との間に自然な対応があることが「部材」をモデル化するときの重要な事柄である。しかし，人間は個人個人によって，同一の「部材」に対して抱く観念が異なる場合が多い為，「自然な対応」ということは極めて曖昧である。ここで対象が建築設計作業であれば，建築設計者には，「部材」に対する「共通の観念」が存在する。これまで述べた建築物の構造設計の例では，「基準線」という概念が設計者の「共通の観念」である。設計者が平面プランの変更に伴い，柱間隔の変更を行う場合，「柱」を動かすという操作は，「基準線」と「柱」が移動するということであり，「基準線」が移動すれば，自然に「梁」も修正変更されると云うことである。これらのことが設計支援である。（図４－３）　このように，設計者を対象にした知識処理システムでは，設計者の「共通の観念」に沿った，部材のモデル化により，優れた設計支援システムを実現できる[(5),(6),(7)]。

本章では，第３章で述べたＩＢＤＳ[(5),(6),(7)]の構築法のうち，４－２節は，部材の表現のためのオブジェクト指向言語について述べ，建築物モデル管理機構等の基本について述べる。４－３節は，建築物モデルの情報を一元管理する方法を，建築物モデル管理機構を通して，部材の「クラス」，「インスタンス」の持つ属性管理から，建築物モデルと部材構成の表現法の工夫について考察する。４－４節は，建築物モデルの管理と製図支援について述べ，作成した建築物モデルから，設計者の「共通の観念」を用いて構造設計支援を行う例に付いて述べる。４－５節は，建築物モデルと各種設計作業の支援ツールとの関係に付いて述べる。

4－2　部材の表現のためのオブジェクト指向言語

オブジェクト指向言語（object oriented language）[8],[9],[10],[11]では，建築物を構成する個々の部材が持つ同じ性質を共通項としてまとめた抽象的なオブジェクトをクラス（class）と云う。これに対して，例えば，X1，Y1 通りの1階柱 C1 等のように，実体的なオブジェクト（object）をインスタンス（instance）と云う。また，オブジェクトのもつ性質が，クラス階層を通じて上位のクラスから下位のクラスにそのまま受け継ぐことができる性質のことをインヘリタンス（inheritance 継承）と云う。これによって，オブジェクトが受け取ったメッセージを処理するメソッド（method）がない場合でも，上位のクラスに自動的に再伝達することで処理できることになる。その結果，全体としてのコードサイズが小さくなり，またプロトタイピングやメンテナンスが容易になるという利点がある。ここで云うメソッドとは，メッセージとオブジェクト内のメッセージパターンがマッチングに成功すると対応する手続きの実行を始める。この手続きを云う。

4－2－1　建築物モデルを構成する部材の整理方法

建築物モデルを構成する基本要素をここでは部材と呼ぶ。これらの部材には他の部材との接続関係（2項関係として扱う）および各種の属性を与える（図4－4，図4－5参照）。建築物モデルを構成する部材は，オブジェクト指向言語の持つ性質を基本として，部材（クラス）の持つ属性の管理の方法を検討する。

(1) 部材

部材は，インスタンスとクラスによって表現する。インスタンスとは建築物を構成する個別部材の表現，クラスとはインスタンスの性質を代表する表現である。

(2) インスタンス

部材のインスタンスは，図4－6(a)の形式のように構成する。ここで i をインスタンス名，c を所属クラス名，$p_1, \cdots, p_m$ をプラグ，$s_1, \cdots, s_n$ をソケット，$g_1, \cdots, g_u$ を独立属性，$d_1, \cdots, d_v$ を

従属属性とよぶ。

(3) インスタンス名

インスタンス名 i は指定部材の識別名，所属クラス名 c は指定部材の属するクラスの名称である。

(4) プラグおよびソケット

プラグおよびソケットは指定部材の接続相手のインスタンス名を格納する。プラグ p_k(k=1, …, m) は，(V_p I_s) のように構成する。ここで V_p はプラグを表す変数，I_s は指定部材の接続先のインスタンス名である。ソケット s_k (k=1, …, n) は，(V_s I_p) のように構成する。ここで V_s はソケットを表す変数，I_p は指定部材に接続された部材のインスタンス名のリストである。

(5) プラグ定義

プラグ定義 P_k(k=1, …, m) は，(V_p C_s V_s) のように構成する。ここで V_p はプラグを表す変数，C_s および V_s は，接続先の部材のクラス名とソケットを表す変数である。ソケット定義 S_k(k=1, …, n)は，(V_s C_p) のように構成する。ここで V_s はソケットを表す変数，C_p は接続される部材の属するクラス名である。

(6) 独立属性

独立属性 g_k (k=1, …, u) は，指定部材の与件として与えられる属性を表し，(V_g A_g) のように構成する。ここで V_g は独立属性を表す変数，A_g は属性値である。

(7) 従属属性

従属属性は他の属性から一意に決定される属性を表し，(V_d A_d) のように構成する。ここで V_d は従属属性を表す変数，A_d は属性値である。

(8) 独立属性定義

独立属性定義 G_k(k=1, …, u) は，部材の独立属性を代表し，(V_g C_g D) のように構成する。ここで V_g は独立属性を表す変数，C_g は属性値のクラス名，D はデフォルト値である。

(9) 従属属性定義

従属属性定義 D_k(k=1, …, v) は，部材の従属属性を代表し，

(V_d C_d F_d) のように構成する。ここで V_d は従属属性を表す変数，C_d は属性値のクラス名，F_d は属性値を計算する関数である。

(10) クラス

部材のクラスは，図4－6(b)の形式で構成する。ここで C をクラス名，C_s を上位クラス名，P_1，…，P_m をプラグ定義，S_1，…，S_n をソケット定義，G_1，…，G_u を独立属性定義，D_1，…，D_v を従属属性定義，M_1，…，M_r を操作定義，V_1，…，V_t をビュー定義とよぶ。

(11) クラス名

クラス名 C はクラスに与える一意な名称，上位クラス名 C_s は上位のクラスの名称である。プラグ定義およびソケット定義は個別部材間の接続関係を代表する。

(12)操作定義

操作定義 $M_k(k=1, \cdots, r)$ は部材の操作を定義し，

$$m(a_1, \cdots, a_p) : B_1, \cdots, B_q$$

のように構成する。ここで $m(a_1, \cdots, a_p)$ を頭部，B_1，…，B_q を本体とよぶ。頭部の m は操作名，a_1，…，a_p は引数，本体の B_1，…，B_q は式である。式とは，定数（数値，クラス名，インスタンス名），変数（プラグ，ソケット，独立属性および従属属性を表す変数，局所変数），関数および後述のメッセージ式である。

(13)メッセージ式

操作定義はメッセージ式 [X $m(t_1, \cdots, t_p)$] によって使用される。ここで X はクラスあるいはインスタンス名，m は操作名，t_1，…，t_p は式である。メッセージ式の評価は X の属するクラスに定義された操作定義によって行われ，評価値として定義本体の B_q の値が返却される。

(14)ビュー定義

ビュー定義 $V_k(k=1, \cdots, t)$ は，設計作業毎に使用する操作集合を定義し，$v : m_1, \cdots, m_w$ のように構成する。ここでvはビュー名，m_1，…，m_w は操作名である。

4－2－2　建築物モデルの機能

本章では，属性間の計算を建築物モデルの内部に持たせるように構成した。このために，第3章で云う「建築物モデルファイル」は，独立した存在として考えることができる（以下，「建築物モデル」と云う。）。　また，第3章で云う「部材ファイル」も「建築物モデル」と同様に独立した存在として考えることができる（以下，「部材モデル」と云う。）。

建築物モデルの機能は，部材モデル，建築物モデルおよび建築物モデル管理機構の組合せによって実現する。部材モデルは部材のクラスを格納する。建築物モデルは設計中の建築物のモデルを格納する。建築物モデル管理機構は，二つのモデルを使用し，建築物モデルの一貫性の管理や各種の設計作業に必要な情報の提供を，以下の(1),(2),(3),(4),(5)に述べる建築物モデルの持つ機能（表4－1参照）に従って，部材の生成，接続，削除を行う。

(1) 部材の接続

部材の接続関係は，クラスのプラグおよびソケット定義とインスタンスのプラグおよびソケットによって表す。今，クラス C_b に属する任意のインスタンスがクラス C_a に属する任意のインスタンスに接続できるものとすれば，C_a のソケット定義を（V_a, C_b），C_b のプラグ定義を（V_p, C_a, V_s）のように構成すればよい。C_a のインスタンス I_a に C_b の2つのインスタンス I_{b1}, I_{b2} が接続された場合，I_a のソケットは（V_s, [I_{b1}, I_{b2}]），I_{b1}, I_{b2} のプラグはいずれも（V_p, I_a）ように設定される。ここで [I_{b1}, I_{b2}]は，I_{b1}, I_{b2} からなるリストである。

(2) 部材の生成

クラス C が与えられたとき，C のインスタンスは，メッセージ式 [C new（I_1, …, I_m)] を評価することによって生成される。ここで I_1, …, I_m は生成されたインスタンスの接続先のインスタンスであり，C のプラグ定義 P_1, …, P_m に対応している。生成されたインスタンスのプラグおよび，インスタンス I_1, …, I_m のソケットは前述のように設定される。また，生成されたインスタンスの独立属性はデフォルト値，従属属性は nil（未定義を示す）である。

new 操作は，クラス C に対して図４－７(a) ように定義される。

同図において，

①はクラス C の定義から変数値が未定義なインスタンスを作成 (make) し，局所変数 I_{new} に代入する。

②は I_{new} と各インスタンス I_1, …, I_m 間に接続関係を定義 (plugin) する。

③は I_{new} をインスタンスの集合からなる建築物モデル M_{odel} に挿入 (cons) する。

④は M_{odel} の各インスタンス I についてその従属属性を再計算 (reflesh) する。

⑤は生成されたインスタンスをメッセージ式の値として返却する。

である。

(3) 部材の削除

インスタンス I を建築物モデルから削除するには，メッセージ式 [I delete]を評価する。delete 操作は，インスタンス I に直接あるいは間接に接続されているインスタンスも同時に削除する。delete操作は図４－７(b)のように定義される。まず，全インスタンスにそれが削除されているかどうかを示す標識 Flag を与え，使用中，削除済，未検査に対してそれぞれ live, die, nil とする。

delete 操作の意味は，

⑥インスタンス Self を削除 (kill) する。

⑦建築物モデルの全インスタンスの Flag を nil に設定 (set) する。

⑧全インスタンスに対してそれが削除されるべきものであるかどうかを検査し，もしそうであれば削除 (clear) する。

⑨全インスタンスの従属属性を再計算 (reflesh) する。

kill 操作の意味は，

⑩接続先との接続関係を消去（plugout）する。

⑪建築物モデルから除去（omit）する。

⑫ Flag を die に設定する。

である。 また，clear操作の意味は，

⑬ Flag の値が live または die であれば，そのまま値として返却する。

⑭接続先の全インスタンス(plugs)を検査（clear)し，いずれかが die であれば，インスタンス Self を削除（kill）する。

⑮いずれでもなければ，Flag を live に設定し値として返却する。

である。

(4) 独立属性の操作

インスタンス I が与えられたとき，その独立属性 V_x を参照するには，メッセージ式［I V_x］を評価する。また，独立属性 V_x を属性値 A_x に変更するにはメッセージ式［I change_V_x(A_x)］を評価する。操作の定義を図４－８(a)に示す。

(a) 参照操作の意味は，

①変数値を参照する。

である。

(b) 変更操作の意味は，

②属性値 A_x を変数V_xに設定し，

③建築物モデルの全インスタンスについて，その従属属性を再計算する。

である。

(5) 従属属性の操作

インスタンス I が与えられたとき，その従属属性 V_d を参照するするには，メッセージ式［I V_d］を評価する。また，建築物モデルの変更に際して従属属

性を再計算するには，メッセージ式 [I reflesh] を評価する。図4－8(b)に操作の定義を示す。

(a) 参照操作の意味は，

④もし変数値が，既に計算されていればそれを値として返却する。

⑤もし変数値が nil であれば従属属性定義に与えられた関数 F_d を用いて変数値を計算し，値として返却する。

である。

(b) 再計算操作の意味は，

⑥すべての従属属性（derives）の値を nil （未定義）に設定する。

である。

4－2－3 建築物モデルの構成例

ここでは，建築物モデルの基本的な概念である部材の配置と従属性について述べる。これは部材は別の部材に依存して配置（接続）され，その属性の一部は別の属性から一意に決定されること（属性の従属性），また，ある部材が削除されるときその部材に接続された部材も同時に削除されること（存在の従属性）を意味する。ここでは，図4－9に示す簡単な例を用いて建築物モデルの機能を説明する。図4－9(a)の建築物モデルは，x 基準線 x_0，y 基準線 y_0，z 基準線 z_0, z_1，および主柱 c_1 からなり，基準線 z_1 は基準線 z_0 に，主柱 c_1 は基準線 x_0, y_0, z_0, z_1 にそれぞれ接続（依存して配置）されている。また，基準線 x_0, y_0, z_0 は他の部材には接続されていない。

図4－9(b)は z 基準線のクラス（x，y 基準線のクラスもほぼ同じ）である。

(1) 図中①～③は基準線のプラグとソケット定義を示す。

Pred は先行（接続先）基準線を，Succ は後続（被接続）基準線を，Colm は被接続主柱のリストを表す。

(2) ④～⑥は基準線の属性を示す。

Span は先行基準線からの距離を，No は基準線に割り当てた一連番号を，Z は基準線の z 座標を表す。Span の値は change 操作によって変更できる。また，

No および Z は従属属性であり，属性値の参照に際して次のように計算される。No の計算⑤は，もし先行する基準線がなければ 0 を，そうでなければ先行基準線の一連番号 + 1 を値として返却する。Z の計算⑥は，もし先行する基準線がなければ Span を，そうでなければ先行基準線の Z 座標 + Span を値として返却する。基準線 z_0 は前者の場合に，z_1 は後者の場合に対応する。

(3) ⑦～⑨は基準線の操作定義を示す。

fig_xz は立面図に表示する形状（水平な破線）を，visible_xy は平面図からの可視性（非表示を示す nil ）を，visible_xz は立面図からの可視性（表示を示す true ）を値として返却する。

(4) ⑩～⑫はビュー定義を示す。

xy_plane は平面図の編集作業，xz_plane は立面図の編集作業，demo は例題のためのものである。xy_plane では，z 基準線は表示も編集もされないので visible_xy だけが必要である。xz_plane では，z 基準線の生成(new)，削除 (delete)，移動 (change_span)，表示 (fig_xz) が行われる。demo では，z 基準線の生成，削除が行われる。

図４－９(c)は主柱のクラスである。

(1) 図中①～④は主柱のプラグ定義を示す。

Xline, Yline, Zhline, Zfline は それぞれ接続先の x 基準線，y 基準線，上階 z 基準線，下階 z 基準線を表す。

(2) ⑤～⑬は主柱の属性を示す。

独立属性として柱幅 (D)，基準線からの x 方向変位 (Dx)，y 方向変位 (Dy)，従属属性として階番号 (Flno)，通番号 (Frno)，柱心 x 座標 (X)，柱心 y 座標 (Y)，柱頭 z 座標 (Zh)，柱脚 z 座標 (Zf) を与えている。従属属性の値は，独立属性と基準線の属性から計算される。

(3) ⑭～⑰は操作定義を示す。

fig_xy は平面図に表示する形状（方形）を，fig_xz は立面図に表示する形状（矩形）を，visible_xy は平面図からの可視性を，visible_xz は立面図からの可視性を返却する。

(4) ⑱～⑳はビュー定義を示す。

xy_plane では，主柱の生成（new），削除（delete），柱幅変更（change_D），x 変位変更（change_Dx），y 変位変更（change_Dy），表示(fig_xy) が，xz_plane では表示（fig_xz）が，demo では生成（new）と柱幅変更（change_D）が行われる。

建築物モデルを操作するプログラムの一例を図４－９(d)，(e)に示す。同図(d)は平面図を編集する操作をまとめたクラスである。

操作の意味は，

①平面図を生成（new）する。

②平面図を再生（reflesh）する。

である。

また，同図(e)は例題のためのクラスである。

操作の意味は，

① x 基準線 x_0 を生成する。

② y 基準線 y_0 を生成する。

③ z 基準線 z_0 を生成する。

④ z 基準線 z_1 を生成して z_0 に接続する。

⑤主柱 c_1 を生成して x_0，y_0，z_0，z_1 に接続する。

⑥ z 基準線 z_1 のスパンを 400 に変更する。

⑦平面図 xy_1 を生成し，全部材を表示する。

⑧立面図 xz_1 を生成し，全部材を表示する。

である。

図４－９(a) に示した建築物モデルは，メッセージ式 $demo_1$←[demo new], [$demo_1$ test] を順に評価することにより生成される。生成後のインスタンスの状態を図４－９(f) に示す。

4－3　建築物モデルの情報を一元管理する方法

建築物モデルと設計者の間を取り持ち，モデルを一元管理をするためには，①部材の「クラス」と「インスタンス」，②建築物モデル管理機構等の基本概念が必要であるが，これらの基本概念[8],[9],[10]は，4－2節で述べたが，建築物モデルと設計者の持つ「共通の観念」との関連から，各種の設計支援ツールと属性管理について構造設計支援ツールを例として以下に概説する。

4－3－1　部材の「クラス」，「インスタンス」

建築物を構成する柱，梁，床等の部材を「クラス」と呼び，「クラス」が持つ性質を引き継いだ個々別々の部材を「インスタンス」と呼ぶことにする。例えば，図4－2に示す建築物モデル中の「柱」は「クラス」であり，基準線 X1，Y1，Z1 の交点上の C1 柱は「インスタンス」である。言い換えれば，「インスタンス」が持つ共通の性質をまとめた部材の総称が「クラス」である。部材の「クラス」は建築物を構成する個々の部材の共通の性質を表し，部材と部材の間の依存関係を管理している。表4－2に柱を例とした部材の「クラス」を示す。同表中①は「クラス」名称，②は変数の定義，③はビュー定義を行っている。

次に，表4－3に柱を例とした部材の「インスタンス」を示す。同表中①はシステム内で一意な部材名称，②は部材の属する「クラス」名，③は部材のもつ変数名を定義している。部材のもつ変数は，⑤の部材の属性と関連して，同表中④の値を格納するためのものである。⑥は柱 C1 が依存する部材名である。
表4－4に部材の分類例を示す。表4－5に部材の接続関係と部材の持つ属性の例を示す。

4－3－2　建築物モデル管理機構とビュー

ビューとは，設計作業毎に必要十分な情報を提供する機構であり，設計者が各設計作業において，建築物を取り扱う設計図に対応した単位である。また，設計者が設計図面を用いて，建築物をどのような属性について見るか，あるいはどのような設計上の操作を行うかを表すものである。　建築物モデル管理機構は，各クラスの可視性管理，各クラスの属性計算，部材選択，部材検索，各クラスの部材生成，部材削除，属性変更等の各ビューに定義してある手続きを実行して，建築

物モデルを操作する。建築物管理機構の持つ機能を図４－１０に示す。建築物モデル管理機構は，手続きを実行すると同時に部材間の依存関係の管理を行うことによって建築物モデルの一元管理を行う。　表４－２の③の visible, new, move, xy-fig, change-d は柱に対する平面図のビューの例を示し，visible, xz-fig は立面図上のビューの例を示している。ここで，平面図上の操作 visible は平面図上で柱を表示することを意味し，new は新たに柱を生成して指定位置に配置する操作，move は既に配置してある柱を現在の位置から再指定した位置へ移動する操作，xy-fig は柱の平面形状を生成する操作，change-d は表４－３①中のｄの柱寸法の変更を示すものとする。立面図上の操作 visible は立面図上における柱の可視性を検証し，xz-fig は柱の立面形状を生成する操作の手続きを示すものとする。一階の柱だけが見えるように visible で定義すれば，一階平面図のビューからは，この条件を満足した柱だけが表示され，これらの柱には move, xy-fig, change-d の操作を行うことができ，さらに new 手続きによって新たに一階の柱を生成することができる。

この結果，例えば構造設計者は，梁，床等の配置を行う場合，各階の床を見下げた状態で力学的な力の流れや部屋の用途を考慮しながら設計作業を進めることができる。この時，設計者の思考は柱梁伏図によって表現されている。また壁や開口部の位置の修正や変更も柱梁伏図上で行う。このように設計作業毎に建築物モデルを操作する仕方は限られているので，逆に建築物モデルを各種の設計支援ツールから直接操作が行えないように構成し，建築物モデルを隠蔽する機能を持たせれば，設計者が独自に各設計支援ツールを作成した場合でも，建築物モデルを直接操作しないため，建築物モデルの一元管理が容易に実現できる。構造設計を中心にみた建築物モデルの階層構造の例を図４－１１に示す。また，対象とする構造が設計の知識に従って，複数個の副構造に分割できるとき，前者を全体構造，後者を部分構造とすると，分割に際し考慮した知識が全体と部分の関係を表わす。この全体－部分の関係（whole-relation）[11]の例として，応力解析に都合のよい「全体－部分」の関係を図４－１２に示す。さらに，リスト編集に都合のよい「全体－部分」の関係の例を図４－１３に示す。

4－4　建築物のモデル

建築の設計作業は一般的に分業化されている。この為，設計作業を一貫して支援するシステムを実現するためには，設計作業全体の流れの中で設計情報を一元的に管理する必要がある。建築物モデルに関しては，4－2節でも述べたが，ここでは一貫設計支援システムの特徴を建築物モデルの立場から述べる。

建築物の設計作業は，それぞれ設計作業に適した図面を用いて行われており，設計支援システムに対比した場合，例えば，編集システムは，設計結果を表現する設計図毎に分類して，建築物を異なる視点から検討する。例えば，意匠図，構造図等の設計に用いられる一般的な図面は，それぞれの表記法に従って表現されているが，互いに独立ではなく，相互に関連し合って建築物を表現している。また，解析システムは，設計対象の特性を知るための構造，振動，機構等を解析する。建築物のモデルは，これらの図面および解析結果の内容を整合性を保って管理できるように構成する。建築物モデルを構成する部材の配置に関しては，存在の従属性，属性の従属性の管理で行えることが特徴としてあげられる。建築物モデルの持つ機能としては，標準化に対応した部材はパラメトリックに生成して部材を組合せることによって建築物モデルを構成する。存在の従属および属性の従属を管理することによるモデルの一貫性の管理が行え，建築物モデル管理機構を通して一貫性の管理が行えること等である。

このことより，設計支援システムは，視点の統合と変換，再設計に対する修正の容易性を考慮して建築物モデルと部材の位置を管理する。

本章で述べた建築物モデルは，ＮＴＴインテリジェントテクノロジ株式会社製のＬＩＳＰマシンＥＬＩＳ上のＴＡＯＬＩＳＰ[8],[9],[10]を用いて試設計し作成して検証を行った。

4－4－1　建築物モデルの管理

本章のシステム構成を図4－14に示す。図4－14は，第3章の図3－2に示した建築設計支援システムを基にして，図中の①を部材モデルとしてクラスの集合で構成し，②を建築物モデルとして部材のインスタンスの集合で構成した。また，③建築物モデル管理機構は，モデル中の部材の属性を操作する機構とした。したがって，部材の「クラス」は部材モデルに，また部材の「インスタンス」は

建築物モデルに格納する。なお，図４－１４中のアンダーライン部分は，第３章の図３－２に示した建築設計支援システムを拡張した部分を示す。

４－４－２　製図支援と属性管理

設計支援システム上で個々の部材を配置すると，配置された各々の部材は互いに依存関係で拘束し合っている。このような拘束条件は，建築物の設計条件や建築の法規制等の不等式で表せるものと，表４－２中の⑥に示す部材の配置計算等のような，関数計算ができるものに大別される。さらに部材の依存関係を表現する為には，インスタンスに存在の従属性と属性の従属性の２つの従属性が必要であることを部材の配置を例にして示す。図４－１，図４－２において基準線 X1 を消去した場合，柱 C1 および梁 G1 は自動的に消去される必要がある。この機能を実現するために，表４－２中④に示すように部材間に「存在の従属性」を定義する必要がある。この例では，X1，Y1，Z1，Z2 で示されたいずれかの基準線が建築物モデルから消去された場合には，この「クラス」の「インスタンス」もまた自動的に消去されることを表している。

一方，図４－２において基準線 X2 を右方向に X2' まで移動したとする。このとき柱 C2 の位置および梁 G1 の右端は，図４－３のように変更されなければならない。この機能は表４－２中⑤に示すように「部材の属性間に属性の従属性」を定義することによって実現できる。

このように部材の持つ属性間の従属性を未使用の場合には，図４－２となり，使用した場合には，図４－３となる。

次に，建築物の設計では，部材を配置するという概念を使用している。これは，ある部材は別の部材に依存して配置し，かつ，その属性の一部は別の部材の属性から一意に決定することを意味している。例えば図４－２では，基準線 X1，Y1，Z1，Z2 に依存して柱 C1 を，基準線 X2，Y1，Z1，Z2 に依存して柱 C2 を，柱 C1，C2 に依存して梁 G1 を配置している。部材の配置関係を表４－３②のように表す。 ここで，xs，ys，hs，fs は，柱 C1 が依存する X1 基準線，Y1 基準線，Z2 基準線，Z1 基準線をそれぞれ示すものとする。

4－5　建築物モデルと各種設計作業の支援ツールとの関係

設計者と設計支援システムの役割分担は，建築物モデルの構成単位（部材）が明快であることや，同一部材の使用頻度が多いこと及び標準化した部材の使用によるコスト削減や施工ミス防止，職能別に別れた設計作業毎の属性と属性を操作するビューが明快に分類できることから，職能別に別れた設計作業単位に，設計支援ツールを構成することができる。

例えば，職能別の設計例として，意匠設計と構造設計を例にするなら，意匠図（配置図，各階平面図，立面図，断面図，各種リスト，各種詳細図，矩計図，仕上げ表，仕様書），構造図（各階伏せ図，基礎伏せ図，軸組図，架構図，各種リスト，仕様書）等が各設計分野で用いられている。これらの一般的な図面は，それぞれの表記法に従って表現されているが，互いに独立ではなく，相互に関連し合って建築物を表現している。表４－５に，部材の接続関係と部材の持つ属性を示す。同図中接続関係（上下階柱，上下階梁，ｘｙｚ基準線）は属性の従属性を，位置属性（基準点，（X_t，Y_t，Z_t，X_b，Y_b，Z_b），基準点からの変位（d_{xt}，d_{yt}，d_{zt}，d_{xb}，d_{yb}，d_{zb}））は存在の従属性を意味しておりこれらは主として部材配置に用いる。また，同図中の主材は部材の材質を意味し，鉄筋コンクリート構造の場合には，コンクリートと鉄筋とその材質，鉄骨構造の場合には，鉄骨とその材質，鉄骨鉄筋コンクリート構造の場合には，コンクリートと鉄筋と鉄骨とその材質，を属性値として持つ。形状属性は，矩形，円形，多角形等の材料の形状を表す。接合状態は，柱頭（固定，ピン），柱脚（固定，ピン）等のように力学的な接合属性を表す。この他に，使用する材料の素材が持つ力学属性，断面定数（Ｉ，Ｚ，Ａ，ｉ），ヤング率，ポアソン比等や，構造設計上のモデル化の為の属性として剛度割増率，剛域長等，解析の結果得られるその部材の持つ，応力（軸力，曲げ，せん断力）等がある。これらの力学的な属性値や依存関係を建築物モデル管理機構で管理する。また，これらの属性値は建築物モデル管理機構を通して構造設計支援ツールへと引き継ぐことによって，システムは，設計対象の特性を知るための構造，振動，機構等を解析すことができるようになる。また，建築物のモデルは，これらの図面および解析結果の内容を整合性を保って管理できるように構成できる。以上に述べた建築物モデル管理機構が持つべき機構として，建築物モデルと設計支援ツールのインタフェーイスの機能を表４－６に

示した。これらは，設計支援システムのうち製図支援システムの持つモデルの編集機能モジュールの一覧と建築物モデル管理機構の持つモジュールの例である。ビューは設計者が各設計作業において建築物を取り扱う単位であり，図面を用いて建築物をどのような属性について見るか，あるいはどのような設計上の操作を行うかを表すものである。

4－6　むすび

設計作業の流れを設計支援システムを用いて一貫して支援するには，設計の各段階における設計情報を建築物モデルに一元化することと，建築物モデルを修正の容易な柔軟な構造にすることが必要である。一般に建築設計においては，設計条件が変化した場合の再設計は煩雑である。本章で述べた設計対象を属性モデルとして定義し編集する方法を用いて，建築物の実施設計を対象とした設計支援システムを作成した結果，図面の変更や構造計算の基礎データを設計支援システムに作成させることが可能になり，設計者自身による設計図書間の整合性の管理を低減することができた。

本章で提案した建築物モデルは以下に示すような特徴を持ち，建築設計の設計支援システムにおける有用な概念となる。

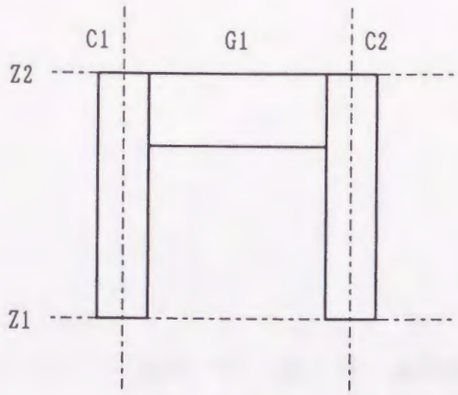
(1) 建築物を構成する部材の表現を，オブジェクト指向言語の概念であるクラス，インスタンスを用いて，建築物を構成している部材にあてはめて，部材の「クラス」，部材の「インスタンス」として分類して使えることを示した。

(2) 建築物モデルはデータ構造から見た場合，「存在の従属性」，「属性の従属性」の２つを管理すれば，追加，修正，削除等の変更に対して整合性が取り易く構成できることを示した。

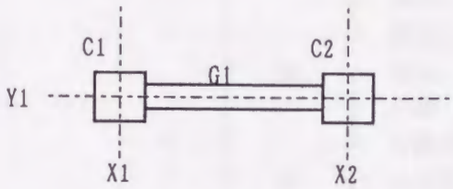
(3) 建築物モデルと設計支援ツールの間にビューの概念を取り入れることによって，各設計作業における図面に必要な情報の管理は，ビューが持つ手続きとして定義して扱うことができる。この結果，建築物モデルとビューを組み合わせることによって各作業間での設計データの変換に煩わされることなく一貫して設計作業を管理できることを示した。

(4) 建築物モデルの一元性を管理する建築物モデル管理機構を設け，建築物モデルの編集に伴う設計情報の一元性の管理を行った。また，設計図書の編集，意匠設計，構造設計，積算等の各モデルへの変換等を行う機能を持たせ，これらの設計作業を支援する設計支援ツールを配置した。この結果，設計支援ツール間のデータの変換に煩わされることなく一貫して設計作業を進めることが可能となることを示した。

(5) 再設計の支援は，建築物モデルの中で使用される設計データの流れを管理することにより行う。この結果，設計変更に際して設計案を容易に修正できる機能と各図書間の整合性を管理する機能を実現できた。



立面図



平面図

(a) 平面図・立面図による部材の表現

図４－１　建築物モデル

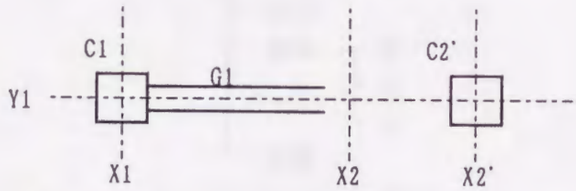


図４－２　柱梁伏図　柱の移動（従属性の未使用）〔図２－５(a)再掲載〕

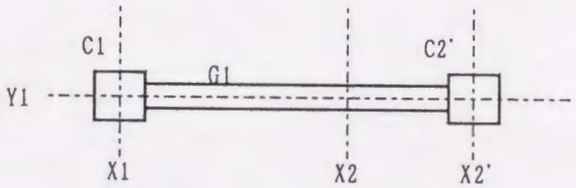


図４－３　柱梁伏図　柱の移動　（従属性の利用）〔図２－５(b)再掲載〕

- 部材
  - 線
    - 基準線
    - 寸法線
  - 基礎
  - 柱
    - 主柱
    - 間柱
    - 壁柱
  - 梁
    - 大梁
    - 小梁
    - 片持梁
  - 床
    - 4辺固定床
    - 3辺固定床
    - 床梁
    - 片持床
  - 壁
    - 耐力壁
    - 普通壁
    - 間仕壁
  - 開口
  - 建具
    - 窓
    - 戸
    - …
  - 設備

図4－4　建築設計支援システム内部で扱う部材の分類例

- 主柱
  - 接続関係
    - 接続先部材（下階柱，x，y，上下階z基準線）
    - 被接続部材（梁，壁，上階柱）
  - 位置属性
    - 基準点
    - 基準点からの変位
  - 接合状態
    - 柱頭，柱脚（固定，ピン）
  - 形状属性
    - 形状（矩形，円形，多角形）
    - 寸法（幅，長さ）
  - 材　　料
    - 主　材（RC，S，SRC，および材質）
    - 仕上材（モルタル，板張材，耐火材，タイルなど）
  - 価　　格
    - 躯体単価
    - 仕上単価
  - 力学属性
    - 断面性能（断面定数，ヤング率など）
    - 構造モデルパラメータ（剛度割増率，剛域長など）
    - 応力（軸力，曲げ，せん断力，C，M_0，Q_0など）
    - 重さ
  - 配筋属性
    - 断面，定着長など

図4－5　部材の接続関係と属性（主柱）　〔図2－6 再掲載〕

```
instance i
  c: c
  p: p1, ..., pm
  s: s1, ..., sn
  g: g1, ..., gu
  d: d1, ..., dv
```

(a) インスタンス

```
class   C
  super C0
  plugs   P1, ..., Pm
  sockets S1, ..., Sn
  givens  G1, ..., Gu
  derives D1, ..., Dv
  methods M1, ..., Mr
  views   V1, ..., Vt
```

(b) クラス

図4－6　部材の記述形式

```
new(I_1,…, I_m):
    I_new ← make(C),                                  … ①
  [I_new  plugin(I_1,…, I_m)],                        … ②
    M_odel ← cons(I_new, M_odel),                     … ③
    forall(I, M_odel, [I  reflesh]),                  … ④
    I_new                                             … ⑤
```

(a)　インスタンスの生成

```
delete():
    [Self kill],                                      … ⑥
    forall(I, M_odel, [I  set(Flag, nil)]),           … ⑦
    forall(I, M_odel, [I  clear]),                    … ⑧
    forall(I, M_odel, [I  reflesh])                   … ⑨

kill():
    [Self plugout],                                   … ⑩
    M_odel←omit(Self, M_odel),                        … ⑪
    [Self set(Flag, die)]                             … ⑫

clear():
    case(Flag → Flag,                                 … ⑬
        forsome(V_p, [Self plugs], [V_p clear]=die),  … ⑭
            → [Self kill],
        true → [Self set(Flag, live)])                … ⑮
```

(b)　インスタンスの削除

図４－７　部材の生成と削除

```
Vg():  Vg                                          … ①

change_Vg(Ag):
    [Self set(Vg, Ag)],                            … ②
    forall(I, Model, [I reflesh])                  … ③
```

(a)　独立属性の参照と変更

```
Vd():
    case(Vd → Vd,                                  … ④
        true → [Self set(Vd, Fd)])                 … ⑤

reflesh():
    forall(Vd, [Self derives], [Self set(Vd, nil)])  … ⑥
```

(b)　従属属性の参照と初期化

図４－８　部材属性の操作

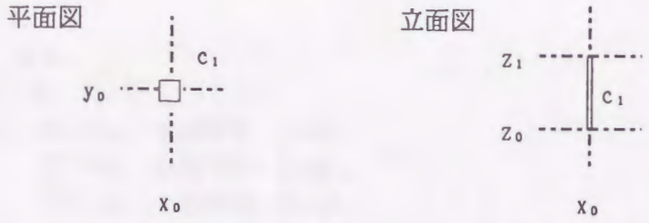


図４－９(a) 部材の配置例

```
class    z基準線
  super 基準線
  plugs   (Pred  z基準線  Succ)                                          … ①
  sockets (Succ  z基準線),                                              … ②
          (Colm  主柱)                                                  … ③
  givens  (Span  整数  700)                                             … ④
  derives (No    整数  case(null(Pred)→0, true→[Pred No]+1)),           … ⑤
          (Z     整数  case(null(Pred)→Span, true→[Pred Z]+Span))       … ⑥
  methods  fig_xz(): line(Z,50,Z,10000)                                 … ⑦
           visible_xy(Floor): nil                                       … ⑧
           visible_xz(Frame): true                                      … ⑨
  views    xy_plane: visible_xy                                         … ⑩
           xz_plane: visible_xz,new,delete,change_Span,fig_xz           … ⑪
           demo:     new                                                … ⑫
```

図４－９(b)　z基準線のクラス

図４－９　建築物モデルの例

```
class   主柱
  super  柱
  plugs   (Xline    x基準線  Colm),                          …  ①
          (Yline    y基準線  Colm),                          …  ②
          (Zfline   z基準線  Colm),                          …  ③
          (Zhline   z基準線  Colm)                           …  ④
  givens  (D      整数  60),                                 …  ⑤
          (Dx     整数   0),                                 …  ⑥
          (Dy     整数   0)                                  …  ⑦
  derives (Flno   整数  [Zhline No]),                        …  ⑧
          (Frno   整数  [Zline No]),                         …  ⑨
          (X      整数  [Xline X]+Dx),                       …  ⑩
          (Y      整数  [Yline Y]+Dy),                       …  ⑪
          (Zf     整数  [Zfline Z]),                         …  ⑫
          (Zh     整数  [Zhline Z]),                         …  ⑬
  methods  fig_xy(): rectangle(X-D/2, Y-D/2, X+D/2, Y+D/2)   …  ⑭
           fig_xz(): rectangle(X-D/2, Zf, X+D/2, Zh)         …  ⑮
           visible_xy(Floor): equal(Floor, Flno)             …  ⑯
           visible_xz(Frame): equal(Frame, Frno)             …  ⑰
  views    xy_plane: visible_xy, new, delete, change_D, change_Dx,  …  ⑱
                     change_Dy, fig_xy
           xz_plane: visible_xz, fig_xz                      …  ⑲
           demo:     new, change_D                           …  ⑳
```

図4－9(c)　主柱のクラス

図4－9　建築物モデルの例

```
class  xy_plane
  super window
  vars   (Floor  表示階)
  methods  new(Flr):                                    … ①
               [Self set(Floor,Flr)],
               [Self reflesh]
           reflesh():                                   … ②
               forall(I,Model,
                 case([I  visible_xy(Floor)]
                      → [Self draw([I  fig_xy])]))
```

図４－９(d)平面図のクラスの一部

```
class demo
  super window
  methods  test(): x0←[xline new(nil)],                 … ①
                   y0←[yline new(nil)],                 … ②
                   z0←[zline new(nil)],                 … ③
                   z1←[zline new(z0)],                  … ④
                   c1←[colm  new(x0,y0,z0,z1)],         … ⑤
                   [z1 change_Span(400)],               … ⑥
                   xy1←[xy_plane new(1)],               … ⑦
                   xz1←[xz_plane new(0)]                … ⑧
```

図４－９(e)操作例のクラス

図４－９　建築物モデルの例

```
instance x0
  c: x基準線
  p: (Pred  nil)
  s: (Succ  nil),
     (Colm [c1])
  g: (Span  100)
  d: (No      0),
     (Z     100)

instance y0
  c: y基準線
  p: (Pred  nil)
  s: (Succ  nil),
     (Colm [c1])
  g: (Span  100)
  d: (No      0),
     (Z     100)

instance z0
  c: z基準線
  p: (Pred  nil)
  s: (Succ   z1),
     (Colm [c1])
  g: (Span  100)
  d: (No      0),
     (Z     100)

instance z1
  c: z基準線
  p: (Pred   z0)
  s: (Succ  nil),
     (Colm [c1])
  g: (Span  400),
  d: (No      1),
     (Z     500)

instance c1
  c: 主柱
  p: (Xline   x0),
     (Yline   y0),
     (Zfline  z0),
     (Zhline  z1)
  g: (D       60),
     (Dx       0),
     (Dy       0)
  d: (Flno     1),
     (Frno     0),
     (X      100),
     (Y      100),
     (Zf     100),
     (Zh     500)
```

図4－9(f)　インスタンス

図4－9　建築物モデルの例

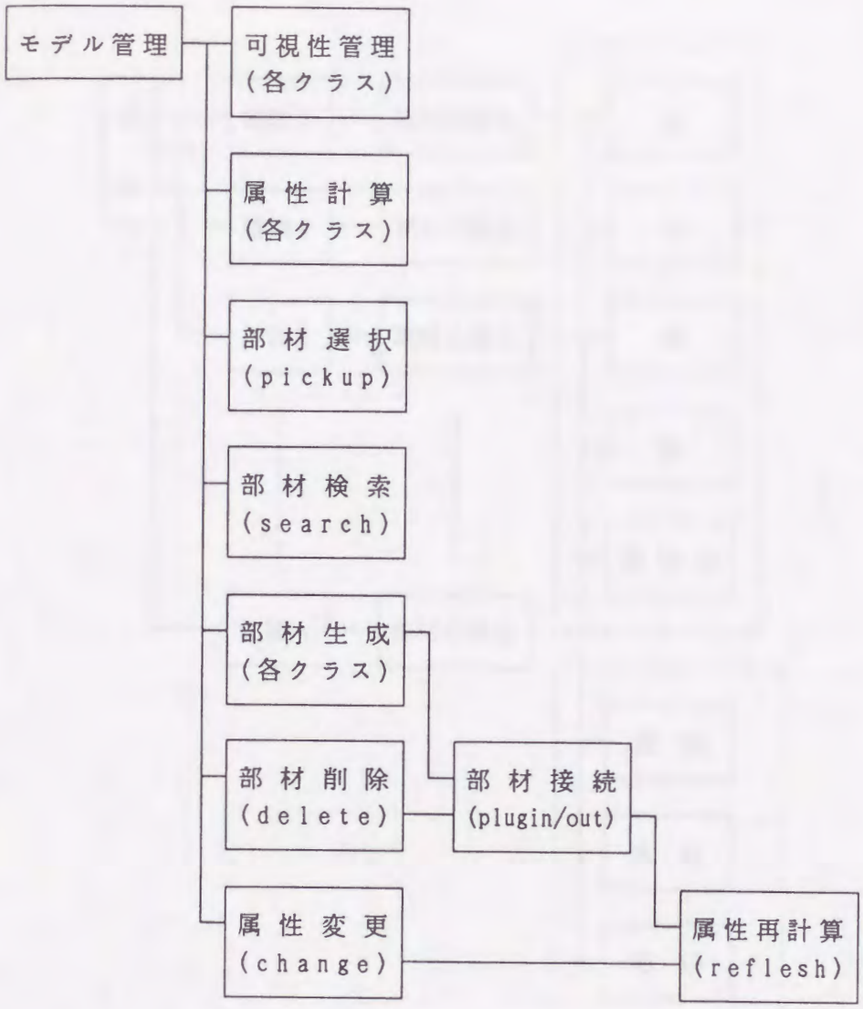


図4－10　建築物モデル管理機構の持つ機能例

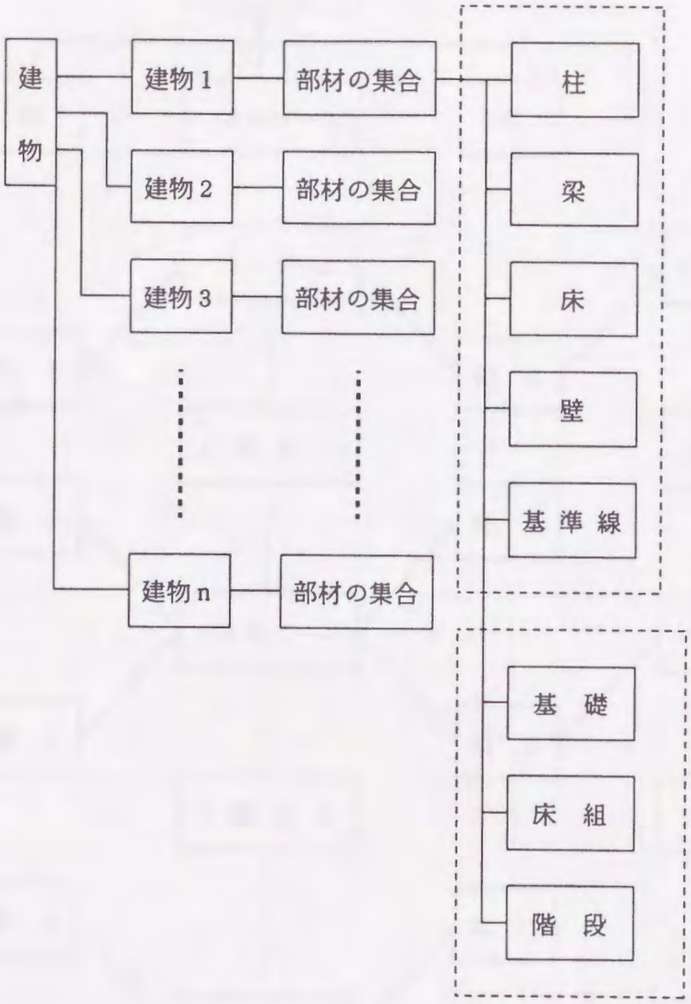
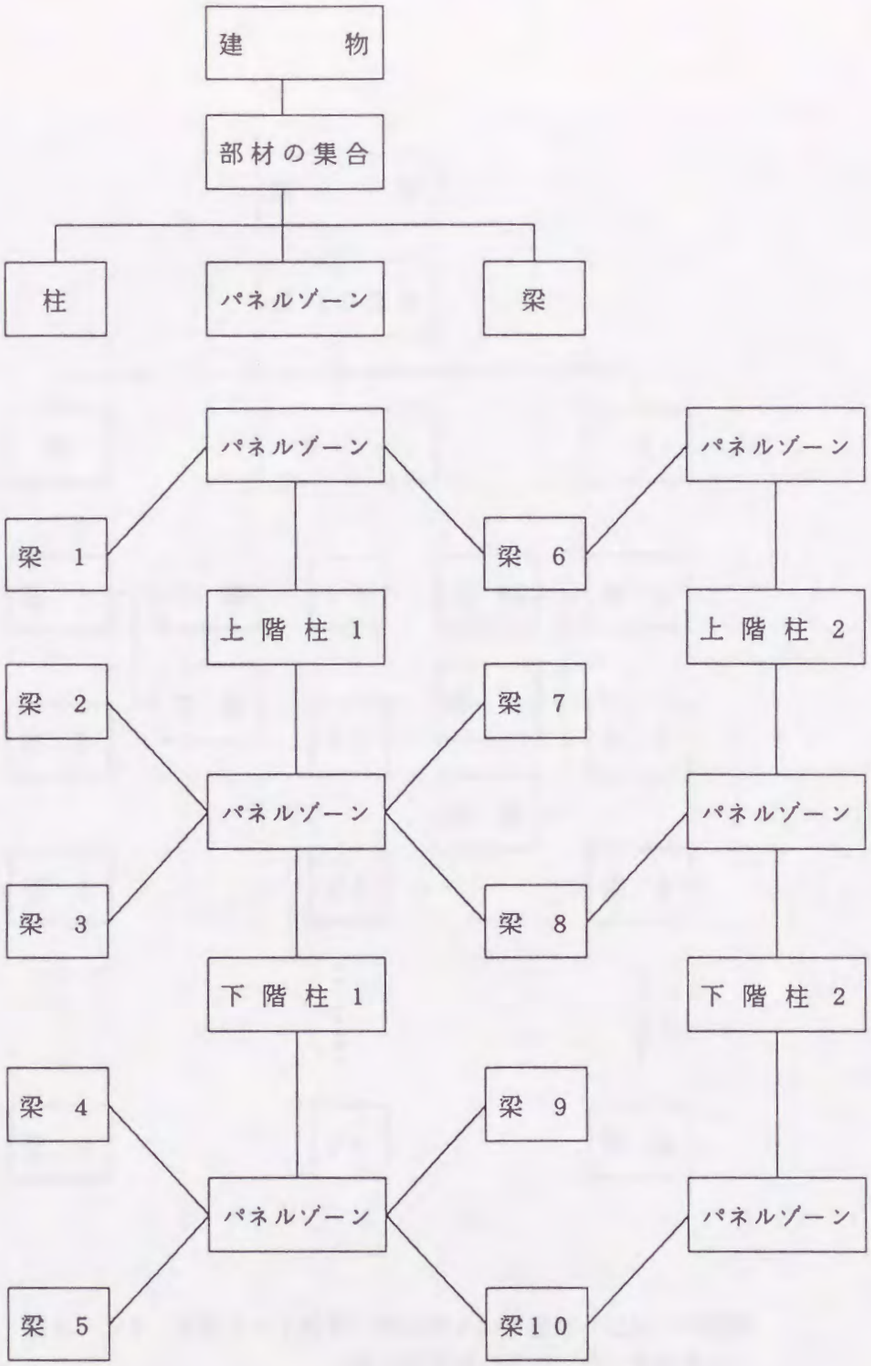


図4－11　構造設計を中心にみた建築物モデルの階層構造



注記：図中の符号Pはパネルゾーンを表す。パネルゾーンをjointの概念に置き換えると
(1) パネルゾーンに柱がなければ，「東西」「南北」の梁を通す。
(2) パネルゾーンに何も接続されていなければ，そのパネルゾーンは消滅する。
を意味する。

図4－12　応力解析に必要な部材の接続情報

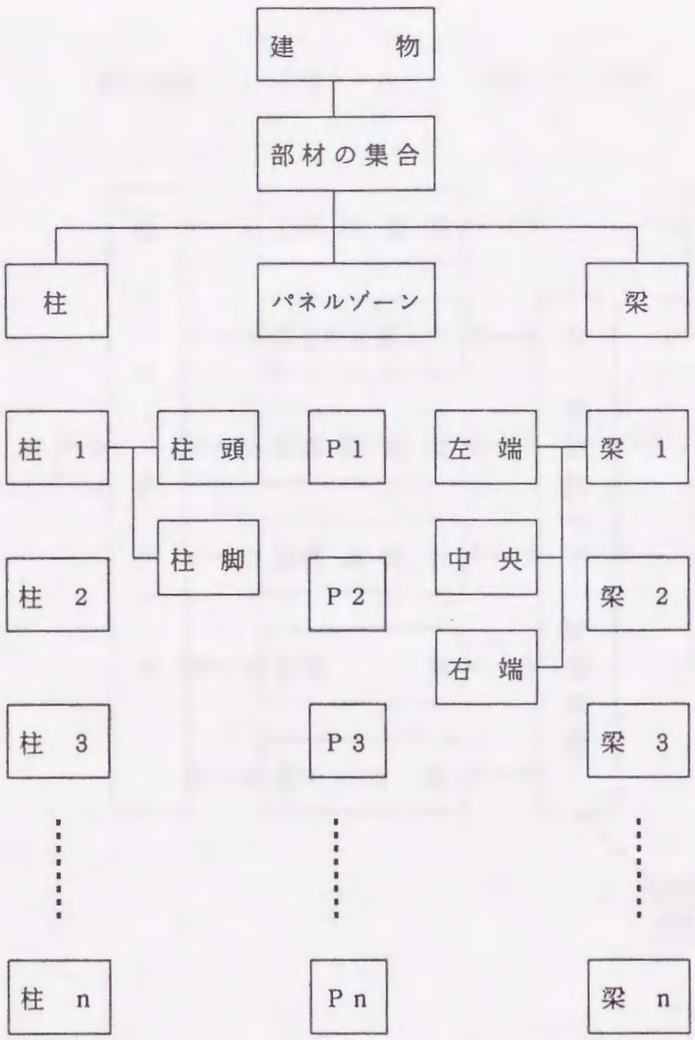


図４－１３　配筋リスト編集に都合のよい「全体－部分」の関係
（図中のＰはパネルゾーンを表す。）

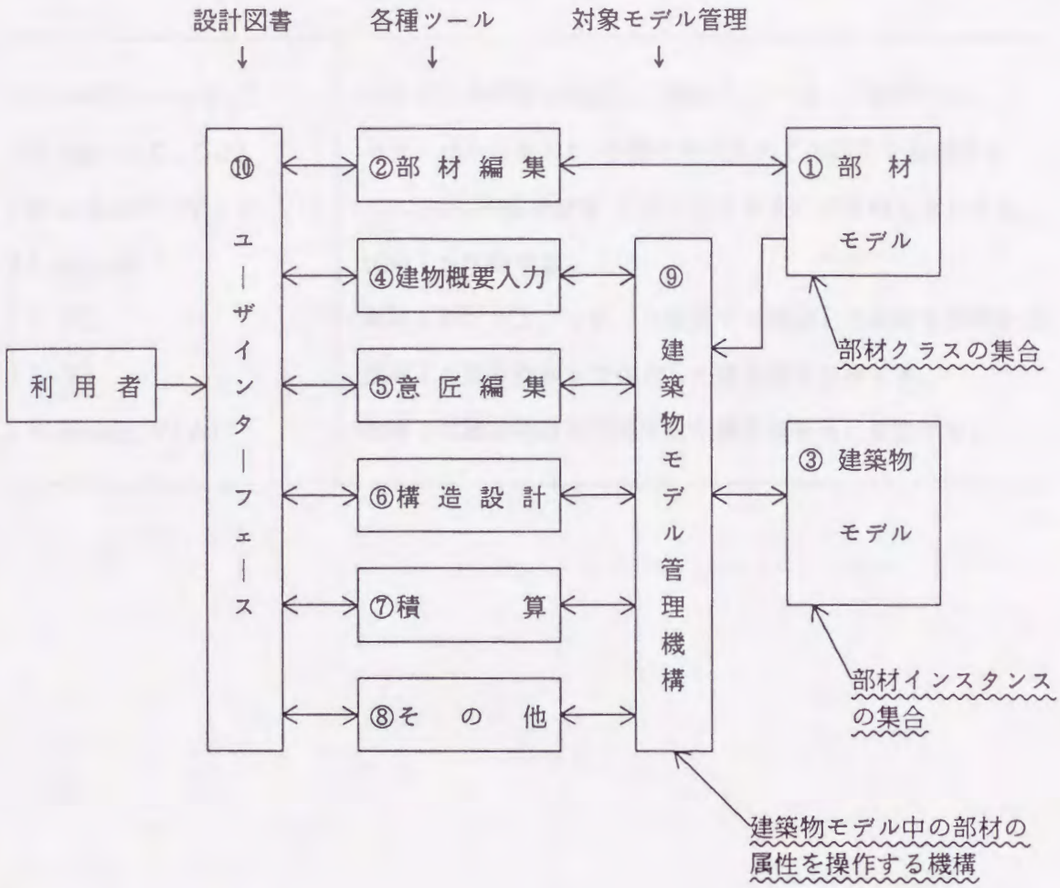


図4－14　システムの概要

表４－１　建築物モデルの機能

[C new(I_1,…, I_n)]	クラスＣの部材を生成し，部材I_1,…, I_nに接続する。
[M search(C, C_d)]	モデルＭから条件C_dを満たすクラスＣの部材を検索する。
[M pickup(C, V_w, X, Y)]	ビューV_wで座標値Ｘ，Ｙにあるクラスの部材を選択する。
[I delete]	部材Ｉを削除する。
[I V]	部材Ｉのプラグ／ソケット変数Ｖで指定した部材を参照する。
[I V]	部材Ｉの属性変数Ｖで指定した属性値を参照する。
[I change_V(A)]	部材Ｉの属性変数Ｖで指定した属性値をＡに変更する。

表４－２　部材のクラス（柱）

① クラス：　柱	

② 変数定義

コメント	変数名	タイプ	属性値を計算する関数
x 基準線	xs	存在従属	
y 基準線	ys ④	存在従属	
柱頭基準線	hs	存在従属	
柱脚基準線	fs	存在従属	
柱幅	d	与件	
柱心 x 座標	x	属性従属	xs.x
柱心 y 座標	y	属性従属	ys.y
柱頭座標	zh	属性従属	hs.z
柱脚座標	zf ⑤	属性従属	fs.z ⑥
平面形状	xy-fig	属性従属	(rectangle x-d/2 y-d/2 x+d/2 y+d/2)
平面形状	xz-fig	属性従属	(rectangle x-d/2 fs.z x+d/2 hs.z)
重量	w	属性従属	0.24*d*d*(zh-zf)

③ ビュー	
	平面： visible:　new:　move:　xy-fig:　change-d:
	立面： visible:　xz-fig:

表４－３　部材のインスタンス（柱）

① 部材名：　c1	② クラス：　柱

③ 変数	④ 値	
d	600	⑤ 柱の属性
x	0	
y	0	
zh	3500	
zf	500	
xy-fig	(rectangle -300 -300 300 300)	
xz-fig	(rectangle -300 500 300 3500)	
w	1.5	
xs	x1	⑥ 依存する部材名
ys	y1	
hs	z2	
fs	z1	

表４－４　建築部材のクラス階層

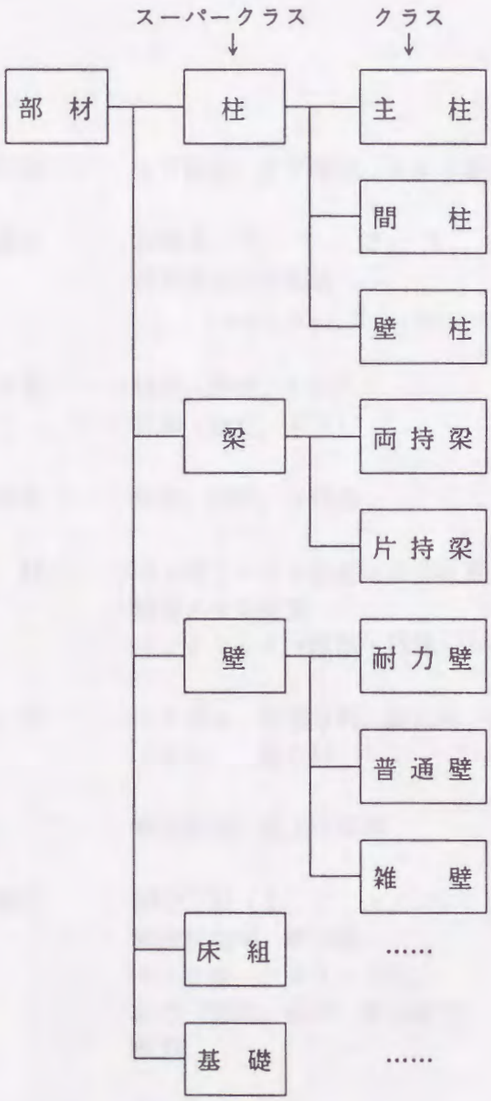


表４－５　部材の表現　接続関係と部材の持つ属性（部材配置，力学的依存）

主柱

接続関係	上下階柱，上下階梁，ｘｙｚ基準線
位置属性	基準点（X_t，Y_t，Z_t，X_b，Y_b，Z_b） 基準点からの変位 （d_{xt}，d_{yt}，d_{zt}，d_{xb}，d_{yb}，d_{zb}）
接合状態	柱頭（固定，ピン） 柱脚（固定，ピン）
形状属性	矩形，円形，ｎ角形
主　　材	コンクリート＋鉄筋＋その材質， 鉄骨＋その材質 コンクリート＋鉄筋＋鉄骨＋その材質
仕 上 材	モルタル，板張り材，耐火材， タイル，　塗り材
価格	躯体単価，仕上げ単価
力学属性	断面定数（Ｉ，Ｚ，Ａ，ｉ）， 剛度割増率，剛域長， ヤング率，　ポアソン比， 応力（軸力，曲げ，せん断力） 配筋

表4－6　建築物モデルと設計支援ツールのインターフェイス

	モジュール名称	機　能
建築物モデルの編集	BASE	基本データ入力
	BASECOPY	平面間複写
	BASEERAS	図面消去
	BASEMOVE	スパン長変更
	BASESEL	平面選択
	BASEWRLD	編集範囲
	BOXAREA	矩形領域指定
	EDIT_C	要素複写
	EDIT_D	要素消去
	EDIT_M	要素移動
	EDIT_S	面合わせ・接合部調整
	EDIT_SS	セットバック
建築物の概要	BASESEET	建物概要入力
	BASESPAN	スパン長入力
	DEFDATA	データ初期化
構造設計	BASEWARN	符号警告
	DEFPART	仮定断面配置
	EDIT_C	要素複写
	EDIT_D	要素消去
	EDIT_M	要素移動
	EDIT_S	面合わせ・接合部調整
	EDIT_SS	セットバック
ユニット関連	DISPINFO	ユニット情報
ユーザーインターフェース	COMMAND	コマンド解析
	DISPLAY	画面情報
	DRAWDATA	描画データ初期化
	DRAWFILE	描画データ（書込／読込）
	DSP_STAT	ステータス情報の表示
	EDITDATA	描画データ取出し
	EDIT_H	包絡処理
	EDIT_L	2直線接続
	EDIT_T	直線カット・中抜きカット

【第４章の参考文献】

(1) 手越義昭，西川加禰：建築設計教育におけるコンピュータ利用に関する研究（パーソナルコンピューターを使った建築設計教育用ＣＡＤシステムの開発）第７回電子計算機利用シンポジウム論文集，日本建築学会，第７巻 pp.319-324，1985.3

(2) 手越義昭，西川加禰：建築専門教育におけるコンピューター利用に関する研究（その１）建築設計製図への試行的導入の検討，広島工業大学研究紀要，第１９巻　Ｎｏ．２３号，pp.241-250，昭和６０年３月

(3) 手越義昭，西川加禰：建築専門教育におけるコンピューター利用に関する研究（その２）建築透視図への試行的導入の検討，広島工業大学研究紀要，第１９巻　Ｎｏ．２３号，pp.251-258，昭和６０年３月

(4) 長澤勲，手越義昭：『建築物実設計のためのスケッチパッド』，昭和６３年度精密工学会春季大会，pp.435-436，1988

(5) 長澤勲，手越義昭，牧野稔：『ＩＢＤＳ：建築物の統合化設計支援システム』，情処処理学会論文誌 ，Vol.30，No.8，pp.1058-1067，1989.8

(6) 手越義昭，長澤勲：『建築設計支援システム』，昭和６３年度精密工学会春季大会，pp.433-434，1988

(7) 手越義昭，牧野稔，長澤勲：『建築物の設計支援システム』，第１０回電子計算機利用シンポジウム論文集，第１０巻，日本建築学会，pp.55-60，1988

(8) 大里延康，竹内郁雄：『複合パラダイム言語ＴＡＯにおけるオブジェクト指向プログラミングとその実現』，情処処理学会論文誌 ，Vol.30，No.5，pp.596-604，1989.5

(9) 竹内郁雄：『マルチパラダイム言語ＴＡＯ　１～１２』ｂｉｔ，Vol.20 No.1～No.12，共立出版

(10)『ＴＡＯプログラミングマニュアル』：Ｖｅｒ１．０，ＮＴＴインテリジェントテクノロジ，1989

(11)吉川弘之，富山哲男『インテリジェントＣＡＤ（上）』：朝倉書店 p200，p205