

協調作業環境のためのマルチメディアデータモデルの一考察

- 建築設計情報データベースの設計 -

中村 竜也 宮田 功治

NTT データ通信株式会社開発本部

高木 裕之

鹿島建設株式会社情報システム部開発課

建築設計の設計モデルは、建築物を構成する要素相互に依存関係があるため複雑な構造にならざるをえない。オブジェクト指向データベースは、CADに見られるような、複雑なデータ構造を記述するために適切であると考えている。そのためにも、データベースは、先に示した要素相互の依存関係を維持する機能を含め、制約を伴うような複雑な構造を持つデータの構造を維持する機能を持つ必要がある。オブジェクト指向アプローチに基づくデータ構造の表現は、以上のような要素間の関係表現をデータ構造に導入できるため、効果的である。本稿では、従来分散していた建築設計過程を検討し、統合環境において共有可能な建築設計情報データベースをオブジェクト指向データベース上に構築したので紹介する。

A STUDY IN MULTI MEDIA DATA MODEL FOR
COOPERATIVE PRODUCT DEVELOPMENT

- BUILDING ENGINEERING INFORMATION DATABASE SYSTEM -

Tatsuya Nakamura Kouji Miyata

NTT DATA Communications Systems Corporation Development Headquarters

Hiroyuki Takagi

Kajima Corporation System Engineering and Development Section
Information Processing Center

Product model for building design is especially complicated because each object may be dependent upon other object. Object-Oriented Database has been proposed as being more suitable to express complicated data structure as seen in CAD. Moreover, to keep data structure constraint, database should store and maintain constraints among objects, including above dependencies. An Object-Oriented approach for representation is more efficient in this case since relationships are easily incorporated in the data structure. In this paper, we analyze the technical requirements of an integrated distributed design environment for the building domain, and present an architecture, centered on an object-oriented database, that can support a common data model.

1 はじめに

エンジニアリング部門全般において製品設計過程の各段階を支援する環境の電子化が急速に進められている。

企画段階においては、CADによって製図そのものの品位が向上した。また、それを視覚化する技術により、平面的であった製図作業が空間的に製品の外観を把握しながら行なうことができるようになった。構造設計における構造計算や管理部門におけるプランニングにおいても、設計段階を支援する環境の電子化によって非常に複雑な製品の設計情報を意のままに操作することができるようになった。しかし、たとえば構造解析に必要な製品の構造に関する情報は、構造設計者がCADで書かれた設計図を理解して導き出している。また、構造解析の結果を意匠設計に反映させるために、意匠設計者がその計算結果を理解することによりCADのデータを変更している。こういったことは、意匠設計と構造解析においてばかりでなく、先に述べた製品設計過程の各設計段階相互にいえることである。

設計段階における支援環境の電子化によって、各々のアウトプットの品位や作業効率は向上したものの、各段階の情報の伝達が過去の因習に従っているために、その効果が全体として生かされていない。このように、設計過程を情報の流れといった観点から考察すると、ある設計段階で発生した情報が次の段階に伝達される時、次の段階に必要な情報がその段階で理解できる形になっていないものと考えられる。つまり、ある設計段階における製品の本質的な情報、すなわち設計対象に依存した知識は、ある一部分の知識が計算機で代行できるようになっているものの、本質的には作業を実際に行なっているユーザの知識に依存しているものといつてよい。そのため、各過程を支援する環境が電子化されたものの、設計作業の流れに劇的な変化を及ぼすまでには至っていないものと考えられる。

この反省から、製品設計の上流工程やエンジニアリングシステムの効率化あるいは設計品位の向上のためにも、各段階を支援する環境の機能を維持したまま、それらを統合する必要があると認識されつつある。

ある支援システムの情報を、別なシステムに変換するための機能を実現して統合を達成した環境が研究試作されているものの、各支援システムそれぞれに異なった設計情報を変換するための機能が必要であり、それらは巨大なシステムになってしまう傾向にある。さらに、同じ製品を設計しているにもかかわらず、各支援システムそれぞれが持つ異なった構造の情報を操作しているといった、統一していない設計環境になっ

てしまう。このような問題を回避するためには、各設計の多様な設計観点を満足できる、共有可能な設計情報データのモデリングが欠くことのできない課題であると考えられる。

著者らは、建築設計における各設計過程を分析し、基本設計段階において、電気や上下水道、エレベータ等の多岐にわたる設計を必要とする設備設計を除き、設計データの共通点が客観的に理解し易い建築、構造の各設計と、施工法や建設経費等、基本設計の初期の段階で決定することによって設計の効率化を図れると思われる施工設計の設計過程を取りあげ、これら各設計に共有可能な建築設計情報のモデル化をおこない、これをオブジェクト指向データベース上に構築した。本稿では、この建築設計情報のモデリングについて紹介する。

2 建築設計過程の考察

2.1 背景

最近の建築物は、以前のような利便性を追求する設計から、より周辺環境を重視する設計に変わりつつある。そのため、社会性、文化性、環境工学、都市工学等を意識した建築物が増えている。このように、建築物に対する要求条件は多様化しており、構造中心の設計から意匠中心の設計に変わってきている。建築物が個性化する中では、設計の企画、あるいは初期の設計に占められる時間の比重が非常に高くなってきている。

また、自動工作機械や自動搬送機が主体となる量産を目的とした他の製造業と異なり、建設分野においては単品受注生産が基本である。したがって、企画から生産に至る過程でのエンジニアリング部門、企画開発、基本設計、生産設計に要する時間や手間の比重が非常に大きい。実際の施工に際しては、生産効率の向上が期待できないことから、企画、基本設計、施工計画といった建築設計過程の上流工程の生産性の向上が課題とされている。

実際、建築設計情報の統合化によるコンカレントエンジニアリング手法 [1][2] が非常に大きな効果をもたらすものと考えられ、研究が進められている。

2.2 設計過程

一般に、建築設計の過程は、建築物によって若干の差がある。意匠を重視する中高層建築の場合には、意匠設計と構造設計の差が比較的明らかであるが、同様に意匠を重視する設計の中でも、ドームに代表される

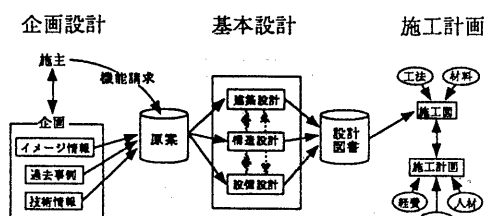


図-1 中高層建築物の設計過程

ような膜を持った構造物においては、膜の構造自体が外観を規定するという意味で設計の過程が異なっている。このように、構造が美観あるいは機能を決定するような建築物の設計においては、その設計過程自体が建築物それぞれに設定されるため、設計時の生産性が向上しない。

本稿においては、設計時の生産性の向上や統合化が期待されている代表的な中高層建築物の設計過程を考察する。

図-1は中高層建築物の設計過程の概略である[3]。中高層建築物の設計過程は、若干の差はあるものの、この過程に従っている。以下では、各設計段階を概説する。

2.2.1 企画

企画では施主の要求を満足するようなイメージをまとめ、施主に提示するためのプレゼンテーション資料の作成をおこなう。

ここでは、立地条件や敷地面積、法的要因を考慮して過去事例を調査する。また、それらの情報から施主のイメージに沿った内外観パースを作成する。このパースを用いた環境シミュレーションをもとに施主にプレゼンテーションをおこない仕様を決定する。

2.2.2 基本設計

基本設計段階では、企画段階で確認された仕様をもとに、建築、構造、設備の対象別に詳細な設計をおこなう。基本設計終了時に設計図書と呼ばれる基本設計書が完成する。設計図書は、次の段階である施工計画に必要な、詳細な建築設計情報をすべて含んでいる。

基本設計における建築、構造、設備の各設計の流れを図-2に示し、以下に概略を説明する。

建築設計 建築設計では、建築物を柱、梁、床、壁といった構造的な要素としてとらえるのではなく、それら構造的な要素によって形造られる空間としてとらえ、仕様を満足する外観のデザインや

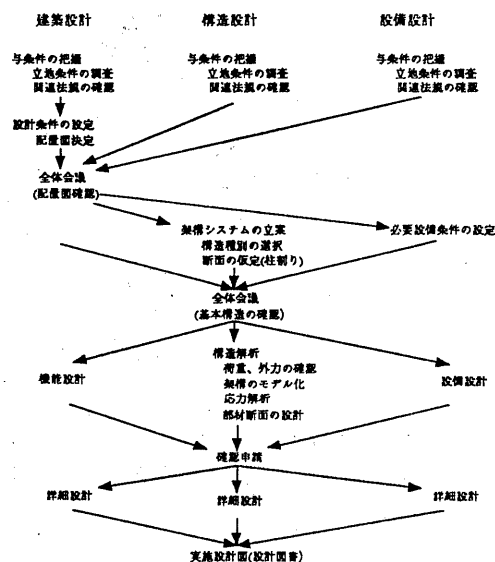
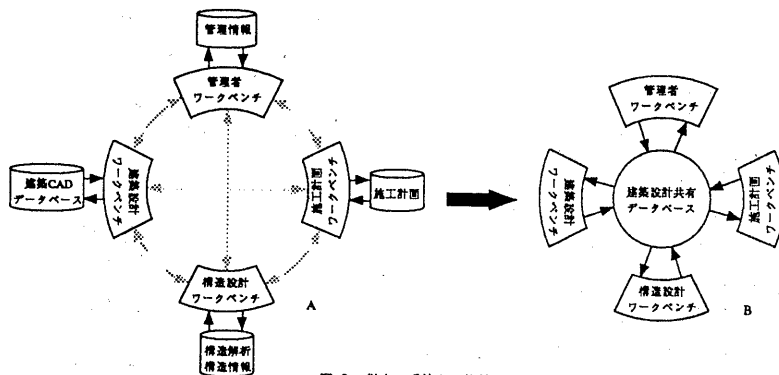


図-2 建築設計における基本設計過程

フロアデザイン、施工時に必要な各部の詳細な設計をおこなう。建築設計はフロア面や断面の詳細な設計であり、二次元的な製図である。しかし、設計者が実際に製図する段階では、建築物は空間として把握されているはずである。つまり、柱を書くといったような、設計図では二次元的な製図であっても、その柱を示す図は高さ方向に意味を持った三次元の物体として意識して描かれていることになる。

構造設計 構造設計では、全体会議で決定された配置図をもとに、今後の基本設計における各部材の位置関係を明確にするための基準となる“通り芯”と呼ばれる設計上の線を設定する。これを柱割りあるいはスパン割りと呼ぶ。スパン割りは、構造設計者の経験あるいは過去の事例を参照しておこなわれる。ここで確定した通り芯の交点に基礎、柱が設定され、その交点間に梁が設定される。柱、梁等の耐震性に関与する部材は、耐震要素と呼ばれ、通り芯の位置関係によって一意に決定できるような仕組になっている。また構造設計では、建築物を柱、梁、壁といった物理的な、建築物を支える架構システムとしてとらえ、これをモデル化し有限要素解析法により架構システムの構造計算を行ない、建築物が地震や突風に耐える構造であるか確認する。

設備設計 設備設計では空調、上下水道、電気、防火



等の全ての環境設備の設計をおこなう。中高層の建築物では、空調装置や貯水、配電等の設備も余裕を持った大きな設備となるので、その配置は予め十分に考慮されなくてはならない。

2.2.3 施工計画

施工計画では、基本設計段階までに完成した設計図書をもとに、実際に建築物を施工する際の工法を決定する。工法は建築各社で独自のものや、非常に一般的なものまであり、対象になっている建築物にどの工法を適応するかは、設計者の経験や過去事例を参照することに頼っている。また、ここで建築物にかかるコストを算出をおこない、建築物の構造要素の体積と規格、単位当りの価格、仕上の面積と規格によって計算される。

工法が決定すると施工図と呼ばれる、実際の建設に対処できるまでに詳細に書かれた設計図を設計図書をもとに作成する。施工図には建築物に関する詳細な設計図ばかりでなく、建築に必要な資材を置くための場所や、重機を置く位置等の施設配置が詳細に記載される。この段階で、最終的な建設スケジュールが作成され、人件費を含めた最終的な経費が算出される。

2.3 設計過程の考察

図-2に示したように、基本設計においては、同期した設計がなされているわけではない。つまり、構造設計者は構造要素である柱、耐震壁、スラブ等を設計している。構造要素を設計する権限を建築設計者は持っていない。また同様に、一般要素の設計は部屋の機能や美観を設計する建築設計者にしかできない。したがって、基本設計においては、独立した設計が並行してな

される傾向にある。

このような非同期分散環境における作業では、各設計の独立性が高い傾向にある。そのため、外部からの変更請求があった場合、その変更が自己の設計に及ぼす影響がどの程度のものであるか理解できないばかりでなく、特定の部分の変更が大幅な変更になる場合であるとか、変更の見落としが発生する。

問題を基本設計における建築設計者と構造設計者に限定した場合、問題が生じるのは、構造設計的に問題があつて構造要素を変更しなくてはならなくなつた場合と、機能あるいは美観上構造要素を変更しなくてはならなくなつた場合が考えられる。この場合、双方が独自に設計した設計図の意図を相手に理解してもらわなくてはならない。また、その調整の結果を双方の設計に反映しなくてはならない。しかし、建築設計、構造設計はそれぞれが独立した設計観点に基づく設計を行なっているために、それぞれの設計の完成度（組織における最適化）は非常に高くなっている。そのため、ある程度まで完成している設計にとっては、特定の要素の変更が大幅な変更をきたす場合もありうる。

ある環境で意味を持った情報を別な環境に反映させるためには図-3(A)に示すように、各々の環境に合った情報に変換するための機能を実現する方法が考えられる。これは、従来固有の観点を持った設計環境に閉じていた設計情報を、異なった環境相互に変換できるようなプログラムを用意し、設計情報を共有しようとするものである。このような設計環境にすることによって、ある設計環境の情報が他の設計環境の観点に従った形の情報に変換され伝播することにより、他の設計環境の設計情報に影響し、他の設計環境における設計の完成度ととのバランスをとることが可能となる。建築設計情報処理関連では、既存のシステムを活用すると

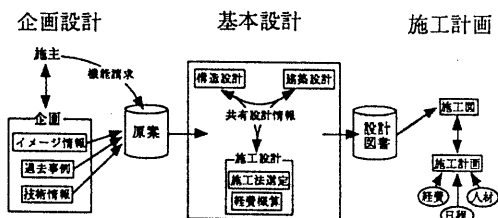


図-4 本稿で設計対象とした設計過程

いった観点から、このような中間情報の標準化を目指す方向にあるが、対象となる既存の特定の設計観点到特化したシステムが増えるに従い、それらの規格に合うような中間情報が肥大化する傾向にあり、それらのシステムに対応する変換プログラムを用意しなければならず、システムが巨大化してしまうため現実的であるとはいえない。

このような問題を回避するためにも、図-3(B)に示すような共有設計情報の実現が課題であると考えている。このような環境を実現した場合、各設計環境の情報の交換は共有設計情報を介して行なわれるため、設計情報の交換における情報の欠落や、異なった観点の問題が様々な環境に分散してしまうことを防ぐことが可能である。また、特定の環境への最適化を抑える効果がある。以上のように、各設計の設計情報が相互に透過な環境を実現することによって、設計過程がある一つのモデルを主体として進行するといったシステムを実現することが可能である。

図-1で示したように、工法の選定は基本設計の後に行なわれている。工法は建設に必要な経費を左右する要因であり、工法の選定を基本設計の後に行なう場合、その設計を満足する工法を選定するわけであるから、コストは基本設計の段階である程度決定されてしまっているものと考えてよい。この場合、経費を低く抑えるためには、基本設計を再検討することが必要となる。このとき、施工計画者が予想される工法を指定して基本設計をやりなおすわけだから、結局、工法の選定を基本設計の段階から行なっていることと変わらなくなってしまう。

工法の選択は建築物の規模や構造様式を判断材料にしておこなわれているのであるから、基本設計の段階から構造様式であるとかコストを判断し、工法をより早い段階で決定することができるし、工法が基本設計の早い段階に決定しているのであれば、その工法に従った最善の基本設計をすることが可能になり、設計の能率が高くなるものと考えられる。以上の情報の流れを図-4に示す。以降の共有モデルの設計において

は、図-4に示した設計過程に従い、多岐にわたる煩雑な設計を必要とする設備設計は除外し、基本設計における建築、構造設計と施工設計における施工法選定と建設経費の概算に焦点を絞るものとする。

3 共有設計情報モデルの設計

この章では、以上に示した観点に基づいた建築設計情報のモデルを設計する。ここで対象としたのは、先に示した図-4の基本設計段階のうちで建築、構造の設計と施工設計の一部である。

従来、建築物を構成する部材やそれらによって構成される部屋としての空間の階層構造は検討されてきたが、部材とそれによって構成される空間の階層構造相互の関係記述については具体的に検討されていなかった。この章では、構造要素によって組み立てられる実際の建築物の構造と、それらによって構成される部屋や階としての空間の階層構造を記述し、この階層の各クラスがどのような依存関係にあるのかをオブジェクト指向データベースのオブジェクト識別子を用いた依存関係リストとして表現することにより、階層構造によって表現された建築設計モデルが建築、構造、施工の各設計に共有可能であることを示す。

3.1 建築設計モデルの階層表現

中高層建築物の設計に必要な要素は基礎、基礎梁、梁、柱、耐震壁（耐震性に寄与する壁）、一般壁（耐震性に関与しない壁であり、開口を持ち、建築設計者が設計するもの）、窓、扉、カーテンウォール等である。その他、通り芯、補助線、グランドライン（地表を示す基準線）、フロアライン（階の高さを示す線）が設計をする上で必要になる。ここでは、これらの要素をすべて含む建築設計の例として図-5に示す建築設計図をモデル化の対象として説明する。

図-5の建築設計図を各設計がどのような要素を読み取るのか、以下でその観点を整理しておく。

構造設計においては、先に示したように、建築物を構成する個々の要素を一つ一つの部品と考え、建築物をこれらの部品が構成する架構システムとしてとらえている。通常、耐震性に関与する部材は施工時に一体形成されるが、構造設計においては構造計算の必要上、各階に属する基礎、柱、梁、スラブのような個々の部品としてとらえられる。たとえば図-5からは、耐震要素である柱、耐震壁、スラブが認識される。

建築設計においては、構造設計では架構システムとして意味のあった要素は意味を失しない、それら柱、壁、床の表面（仕上り面）が構成する空間としてとら

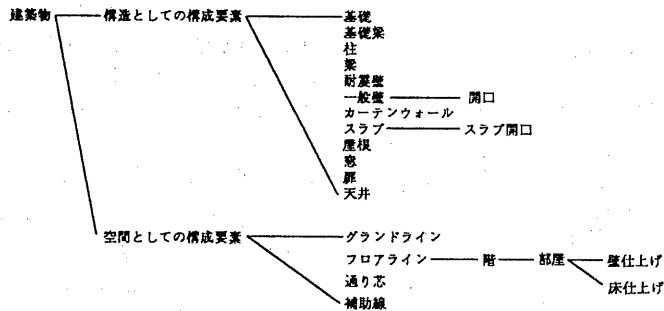


図-6 建築設計モデルの階層表現

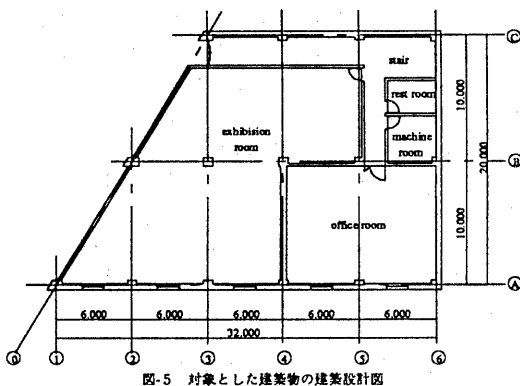


図-5 対象とした建築物の建築設計図

えられる。また、それら空間が集まり部屋として認識され、それらが階を構成する。また、意匠としての窓や耐震性に関与しない壁の開口、扉も設計図より認識される。これらは、部屋のように意味的にとらえられるのではなく、実際に存在するものとして理解される。

施工設計においては、建設経費、施工性、施工法といった観点から設計図が理解される。つまり、構造、建築の設計にはなかった量(ボリューム)としてとらえられる。

以上のように、建築物は、構造としての構成要素と空間としての構成要素から成り立っていることが理解できる。また、構造としての構成要素は、構造設計で認識される耐震要素である基礎、基礎梁、梁、柱、スラブ、耐震壁や建築設計者が設計する一般壁や窓、扉、カーテンウォール、天井等によって構成されている。一方、空間としての構成要素は、地上高を定義するグランドライン、各階の高さである床の仕上げ面までの高さを示すフロアライン、設計上の基準となる通り芯、一般壁等の定義に必要な補助線から構成される。フロアラインの間が階であり、階は部屋によって構成され、部屋をとり囲むオブジェクトである壁仕上げと

床仕上げから構成される。これを図-6に示すような階層構造として表現した。

ところで、この建築設計モデルの階層構造が共有情報であるためには、空間としての構成要素と構造としての構成要素の間の依存関係が記述されていなくてはならない。たとえば、空間を構成する要素である壁仕上げの移動によって、壁仕上げを構成する構造としての構成要素である壁と柱が移動する。次に、その柱と壁を規定する通り芯が移動する。そして、この通り芯によって規定されるオブジェクトが移動することになる。また逆に、構造としての構成要素を移動することによって空間を構成する要素が変更される。

また、建築設計者が壁仕上げを移動することによりフロア面積を大きなものとしようとすることは、構造設計者の設計対象である柱や壁の移動として受け取れ、構造の再検討ができ、その変更による建築経費が算程され、現在の施工法が最適であるかどうか施工設計者が判断できるようなる。

このように、ある設計者のモデルに対する操作がその他の設計者の設計に反映できるような建築設計モデルは、一連の設計過程における建築設計のための共有情報であると考えられる。

以上のような建築設計過程の共有情報を実現するためにも、異なった階層として表現されている、構造としての構成要素と空間としての構成要素相互の依存関係を実現しなくてはならない。

3.2 オブジェクト識別子を用いた依存関係リスト

図-6の各オブジェクトがどのようなオブジェクトによって規定されているのか、その依存関係を図-7に示す。たとえば、スラブは梁が基礎梁に依存しており、そのスラブに関与する梁は、柱によって規定されることを示す。また逆に、柱は梁を規定し、それによ

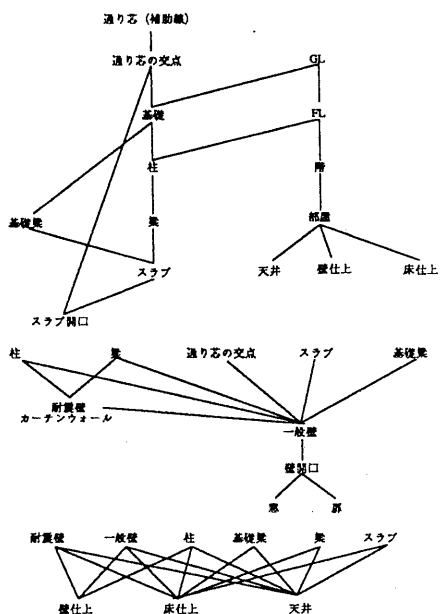


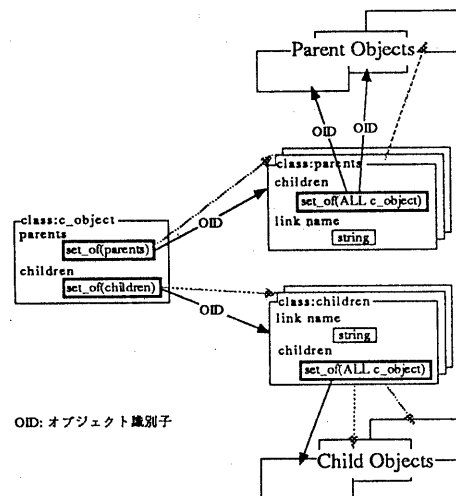
図-7 階層表現の各クラスの依存関係

て規定された梁によってスラブが決定される。

このような依存関係はリスト構造をしているが、図-6の各々のクラスに親と子に関する情報を持たせる場合、依存関係の定義が煩雑になる。また、その依存関係を維持する機能を異なったオブジェクトの手続きとして定義しなくてはならなくなり冗長である。そこで、このような依存関係を維持するためのオブジェクトを設け、このサブクラスに図-6の各クラスを定義する。個々のクラスは、依存関係を維持する機能と構造としての構造や空間としての構造に属する機能を多重継承する。この依存関係リストを維持するオブジェクトの構造を図-8に示す。

図-8の各オブジェクトはc_objectのサブクラスとして定義される。c_objectは親、子という属性を持ち、それらは親オブジェクト、子オブジェクトを集合として持つ。個々の親、子オブジェクトは実際の親、子のオブジェクトのクラスに対してそれぞれ定義される。親、子オブジェクトは実際の親、子のオブジェクトの識別子(c_objectのオブジェクト識別子)と、その依存関係の名前が属性値として設定される。

この依存関係記述によって、自己を規定するオブジェクト(親オブジェクト)の具体的な情報が得られるので、各オブジェクトは自己を規定するために必要な最小限の情報さえ持っていればよい。そのため、あるオブジェクトを変更することは、特定なオブジェクトを



OID: オブジェクト識別子

図-8 オブジェクト識別子を用いた依存関係リスト

除いて、そのオブジェクトの変更だけに止めることができる。実際にオブジェクトの外形に関する情報が必要となる場合には、その親オブジェクトを辿ることによって情報を得ることが可能である。

空間としての構成要素の操作が主体となる建築設計や構造としての構成要素の操作が主体となる構造設計の間において、各構成要素に対する操作は相互に伝播させることが可能であり、このモデルを介することにより、建築設計者が設計の対象とする、壁仕上げや床仕上げによって構成される部屋としての空間を構成するオブジェクトの変更は、構造設計者からは耐震性に関与するオブジェクトである柱や梁の変更としてとらえられ、変更後のモデルに対して構造計算をおこなうことにより、建築設計者が意匠の観点からおこなった変更が構造といった観点からも妥当なものであるかどうか判断することが可能となる。また、構造設計者が建築物が構造的に不十分であるため、柱を追加しパンを短くしようとすることは、施工設計者からは柱とそれとともなう梁や壁のための建設経費の増大としてとらえられるので、それが現状の予算の範囲を逸脱するような設計であるかの判断が可能であるし、施工設計者の過去の経験から、経費を削減できるような施工法を提案できる可能性があり、図-4に示した設計過程において、基本設計の初期の段階で、企画段階において立案された原案に沿った最適な施工法を決定することが可能となるため、従来の設計過程である図-1と比較して建築設計の効率化が実現できるものと考えられる。

4 まとめ

建築設計過程における基本設計過程において共有可能な建築設計情報データベースの設計について述べた。オブジェクト指向データベースは並行処理制御機能を持つため、複数ユーザの同時アクセスに対してもオブジェクトの整合性を保証できる機能を持つので、ここで紹介したモデルを核とした共同設計支援環境を実現することが可能である。

現在、この建築設計情報データベースを共有情報とした、統合設計環境に必要なデータベースの視覚表現やデータベースとデータの視覚表現の間の通信機能について検討している。この検討結果は別途報告する予定である。

最後に、本研究の機会を与えて下さいました、NTTデータ通信株式会社開発本部第一技術安部孝二郎長、第一応用ソフト鈴木幸市主幹、第二基本ソフト山田伸一主幹、横山重俊主任に感謝致します。

参考文献

- [1] Dunald E. Carter, Barbara S. Baker, "CE Concurrent Engineering, The Product Development Environment for the 1990s", Addison-Wesley Publishing Company, Inc.
- [2] West Virginia University: CE Enabling Technologies Group, Concurrent Engineering Research Center, "Proceedings: First Workshop on Enabling Technologies for Concurrent Engineering", Vol1 (DICE)
- [3] 嶋 富士雄, "建築の企画と設計の知識", 鹿島出版会