OUKA
The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	形態の段階的詳細化と視点管理による製品設計の枠組とその展開(第1報 ： 基本概念と実装方法)
Author(s)	藤田, 喜久雄; 赤木, 新介
Citation	日本機械学会論文集 C編. 1996, 62(600), p. 3347-3354
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/3176
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

The University of Osaka

日本機械学会論文集 (C 編)
62 巻 600 号 (1996-8)

論文 No. 95-1160

形態の段階的詳細化と視点管理による製品設計の枠組とその展開 (第 1 報：基本概念と実装方法)*

藤田 喜久雄 *1，赤 木 新 介 *1

Product Design Framework with Configuration Network and its Viewing Control (1st Report: Fundamental Concepts and Computer Implementation)*

Kikuo FUJITA and Shinsuke AKAGI

A framework of computational design method and modeling is proposed for the layout and geometry design of complicated mechanical systems, which is named "*configuration network and its viewing control*". In this method, a design object is represented by a set of declarative relationships among various elements of a system, that is, configurations, which are gradually extended from system structure to exact layout and geometry through the design process. Since use of all of the configurations leads to an extremely complicated network, how subparts are viewed is controlled by levels of granularity and width of scope range. Such a configuration network is allowed to grow and refined through embodying geometry and layout corresponding to a focused subpart with a numerical optimization procedure. Moreover, its implementation in object orientation and application to a design problem of air-conditioner units are briefly shown, the details of which are reported in the subsequent reports.

Key Words : Design Engineering, Modeling, Configuration, Computational Method, Complexity, Product Design, Parametric Geometry, Artificial Intelligence, Object Orientation

1 緒 言

機械系分野における様々な製品は何らかの機能を実現すべく設計されるものであり，多くの要素から構成されるシステムとしての構造を有している．それらの要素の配置や形状は，製品の機能や振舞，経済性などに大きな影響を及ぼすため，そのような内容を決定する設計過程は製品設計における本質的な部分のひとつである．このような設計問題は，それぞれのシステム要素をパッケージ内のいずれかの位置に配置する必要があることに加えて，個々の要素の形状は形態レベルの形状プリミティブや付加的な形状特徴などの階層的な内容を含んでいることや，それらの内容が多様な領域の問題に対して相互に異なった影響を及ぼすことに起因して，ある種の複雑な探索問題となっている．このため，設計には多くの時間を必要としており，コンピュータによる支援についても，現在実現されているものは，解析的な内容や，定型的な小規模のシンセシス処理などに限られている[(1)]．

本研究では，上記のような機械系の製品分野における設計問題の複雑性，それに対するコンピュータ上での計算可能性[(2)]についての議論に基づいて，形状設計を伴った配置設計のための枠組を提案する．すなわち，配置・形状設計における問題点を複雑性の観点から階層的にとらえた上で，配置や形状の空間的かつ位相的な内容が個々の構成要素間の宣言的な関係，すなわち形態によって規定できるとする立場から，形態情報の段階的な詳細化とそれらの柔軟な管理を中核とした対象モデリングによる統合化設計支援システムの構成方法を提案する．さらに，本報では，このような枠組をオブジェクト指向プログラミングのもとで実装する方法と，空調機ユニットの設計問題に対する適用の概要について示す．なお，後者の詳細と形状モデリングの方法については，続報[(3)(4)]において報告する．

2 製品設計における複雑性と計算可能性

2.1 配置形状設計における複雑性 緒言でも述べたように，形状操作を伴った配置設計の問題は，設計対象の表現と計算における複雑性[(5)~(7)]に起因して，困難な問題となっているものとして把握することができる．そのような複雑性を克服するためには，限られた能力の中で，設計対象をどのようにモデル化するかについてのメタレベルでの管理が必要であり，そ

* 原稿受付 1995 年 7 月 12 日
*1 正員，大阪大学工学部 (〒 **565** 吹田市山田丘 2-1).

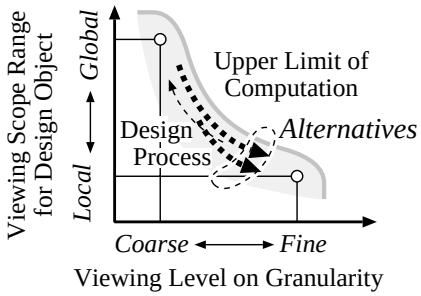

Fig. 1 Complexity and computability of design problem

のための基準として以下のものを想定する．

粒度 (granularity) … 製品におけるシステムとしての構造や配置・形状は，それぞれに概略なレベル (coarse) から詳細なレベル (fine) に至る階層的な構造を持っており，設計対象の内容をどのような詳細度，すなわち粒度[(8)]でとらえるかによって，その内容や性質が様々に変化する．

範囲 (scope range) … 設計対象の実体として空間的な広がりや評価における分野の多様性により，処理対象となる情報の量や性質が大きく異なってくる．そのため，上記の粒度のレベルに関連して，粗いレベルにおいては全体的な配置 (global) を考えることができるが，個別機器の機器の具体的な形状など (local) は細かい粒度で処理する必要が生じる．

開いた可能性 (openness) … 設計解における対象システム要素の具体的な配置や形状についての可能性のすべてを前もって列挙しておくことは不可能であり，その内容は設計プロセスの進行に従って動的に定められる．

以上のなかでも，粒度と範囲に関連して，複雑なシステムにおける評価の問題を考えた場合，概略の配置や形状は特定の領域に対して支配的である一方，詳細な内容は別の領域に関して重要であるようになる．加えて，個々の領域の内容に対する解析モデルについても，階層的なシステムの粒度レベルに対応した個別の解析モデルを想定する必要がある．したがって，粒度と範囲を管理するにあたっては，このような評価領域や解析モデルとの関連付けにも注目する必要がある．

2.2 配置形状設計のための計算手法 前述のように，複雑なシステムの設計においては，個々の設計処理を設計における計算能力 (computability) の範囲内に抑えるために，粒度や範囲を切り換えながら，様々な処理を行なっていく必要がある．図 1は，そのような状況を模式的に示したものである．つまり，設計過程においては，粒度が粗いレベルの主要な配置や形状が細かいレベルの付加的な配置や形状に対して支配的であることから，前者の内容を設計対象の全体に対して決定しつつ，徐々に後者の内容を限定された各部分に対して決定していくようにし，状況によっては，後者において生じる問題点に対して前者の内容に修正を加えながら，設計を進めていく．さらに，複雑なシステムの設計問題は組合せ的な側面を含んでおり，修正操作などが複数の代替案 (alternatives) を生じることから，より望ましい設計解を得るためには，そのような代替性を比較しながら設計を進めていくことが不可欠となる．

一方，設計対象の開いた性質に関しては，設計解における可能性のすべてを具体的に列挙することは現実的に不可能であり，設計プロセスを制御するためのメタレベルの知識によりそのような内容に対応する必要がある．望ましい結果を得るためは，合理的な制御知識や管理知識を具体的な設計作業に前もってフレーム (frame)[†1]や文脈 (context) として記述しておくことが重要であると考えられる．

2.3 配置・形状設計における形態 上述のような議論に基づいて，実際的な設計方法や設計モデルを構成してためには，様々な視点における対象モデルの内容を相互に関連つけて管理する必要があり，本研究では，そのような目的で，設計対象を以下の二つの観点から階層的にモデリングすることにする．

形態 (configuration) … 対象システムの要素やそれらの間の関係，そのような要素の構成的な形状プリミティブとそれらの間の空間的かつ位相的な関係を指し，それぞれの粒度や範囲に対して宣言的に記述することができる．例えば，「A はある間隔を隔てて B の前方にある」などの内容[†2]．

配置・形状 (arrangement and geometry) … 設計対象の要素プリミティブや関連する特徴の位置や寸法に関する内容であり，それらは数量的に表現される．このような数量値は何らかの形態によって拘束されており，適当な数値最適化のアルゴリズ

[†1] フレーム[(5)~(7)]とは，何らかの情報処理を行なうに当たって，対象を限定的にとらえるために設定する枠組を指す．逆説的にいえば，いずれの情報処理も何らかのフレームのなかで限定的に行なわれており，それ以外の状況には元来，そのレベルにおいては対応することができないといえる．

[†2] 形態という用語は，いわゆるラフスケッチに対応するような設計対象全体の概念的で位相的な構造を表すために用いられるが，本研究では，そのような構造を表現するための個別要素を指すために用いている．

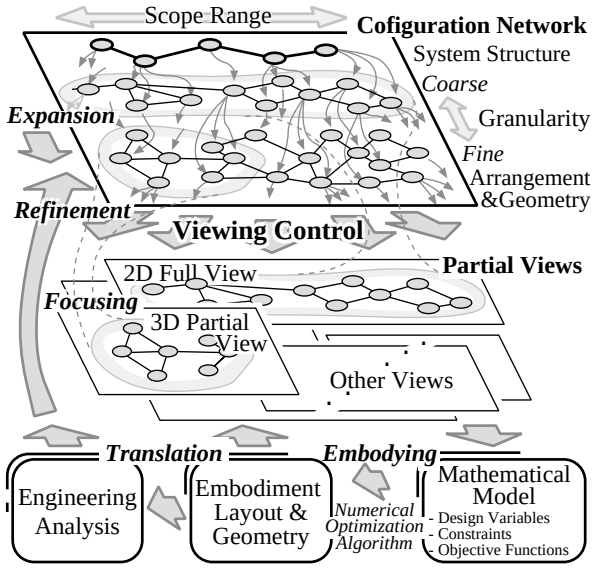

Fig. 2 Configuration network and its viewing control

ムを用いることによって決定することができる．例えば，「*A* は *B* の前方 380 *mm* のところに位置している」などの内容．

なお，以上のような位相的な内容と寸法情報を階層的に表現しようとする考え方は，プラントの機器配置設計手法[9]や遺伝的アルゴリズムによる板取手法[10]とも共通するものである．また，設計における形態の重要性も広く認識されつつある[11]．

3 形態の段階的詳細化と視点管理

前節で述べたように，設計対象の内容は，形態と配置・形状とを区別することにより，位相的な部分と数量的な部分とに効果的に分類して表現できる．このとき，前者の形態に関する内容は宣言的な項目とそれらの関係から構成されるある種のネットワーク状のグラフを構成しているとみなすことができる．本研究では，そのようなグラフを「コンフィグレーションネットワーク (configuration network)」と呼ぶ．そのもとでは，形状操作を伴った配置設計の問題は，形態から配置・形状を具現化しつつ，その結果や比較からのフィードバック情報に基づいた形態の洗練化を通じて，段階的に詳細化を行なっていく過程であるとすることができる．

以下では，このようなコンフィグレーションネットワークの具体的な内容について述べる．

3.1 コンフィグレーションネットワーク

図 2はコンフィグレーションネットワークの概念的な構成を示したものである．図の上部には，設計対象システムの構造とそれに対応して導入される形態がネットワーク状のグラフとして表現されており，粗い粒度の内容を細かい粒度の内容へと展開していく (expand) 様子を示している．図の中部には，限られた計算能力の範囲や特定の評価領域に関連して何らかの設計操作を行なうために，コンフィグレーションネットワークの様々な部分を切り出す (focus) ことにより，部分ネットワークを形成している様子を示している．図の下部では，そのような部分ネットワークのもとで，数学的なモデルに対して最適化アルゴリズムを適用することにより，形態に対応する配置や形状を具体化したり (embody)，具体化された配置や形状から解析モデルを導出して (translate)，何らかの評価を行なったりする様子を示している．図の上部で生成された形態は，下部におけるこれらの操作によって得られた結果を参照することにより，洗練化されていく (refine).

ここで，視点 (view) とは，形態ネットワークの部分を切り出すために用いる粒度のレベルと範囲の広がりの組を指す．

3.2 形態のもとでの配置・形状[4] 上記のコンフィグレーションネットワークにおいて，実際の配置や形状は，形態から演繹される拘束条件のもとで，寸法や位置についての数量値として決定される．

形態とは，前述のように，システムを構成する諸要素における空間的な内容に関する拘束条件を個々に独立させて宣言的に記述したものである．したがって，寸法や位置についての数量値を伴った実際の配置や形状を求める上では，数値最適化における制約条件や目的関数として取り扱うことができる．そのような数学的な表現は，制約条件によって配置や形状が実現できる連続空間を規定し，目的関数によってそれらを方向付けるものであることから，適当な数値最適化のアルゴリズムを適用することにより，何らかの具体化の結果を得ることができる．このような点からすると，制約条件や目的関数は，形態を具体化するために導入される仮想的なポテンシャル場を規定するものであると言え，それらの具体的な内容としては，例えば，後述の空調機ユニットの設計問題においては，“パッケージサイズの最小化” や “パイプ全長の最短化” などが想定できる．

なお，このような内容は，問題の表現を宣言的に記述しようとする点で，制約指向[12][13]における考え方と共通する部分も大きい．

3.3 形態の管理と代替案の保持 図 2に示したコンフィグレーションネットワークにおける操作は，それぞれの視点のもとでの形態が相互に組み合わされた

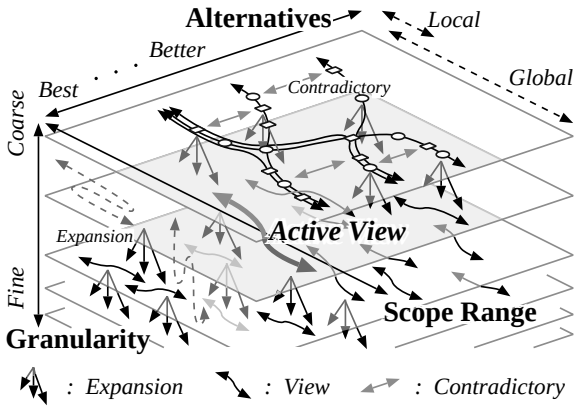

Fig. 3　Mechanism of viewing control

り，洗練化されたりしながら，視点を次々に切り換えることにより，行なわれる．そのような視点相互の関係は，様々な粒度のレベルや範囲の広がり，さらに洗練化などにより生じる代替性のもとで管理される必要があり，本研究では，そのようなメカニズムを「視点管理 (viewing control)」と呼ぶことにする．

図 3は，視点管理のメカニズムを示したものであり，範囲の広がり・粒度のレベル・形態の代替性に関する 3 つの軸から構成されている．この図 3から代替性に関する軸を取り除いたものが，前出の図 2の上部に対応している．前述の設計操作は，それぞれ，活性化された視点 (active view) のもとで行なわれ，図中ではそれが両端に矢印の付いた少し曲がった線分として表されている．活性な視点とは，その時点で着目した形態の部分を切り出すために用いられている視点のことであり，例えば，設計過程において形態を展開する操作は，このような活性な視点を定めた上で，それに含まれる形態の内容をより詳細度の高い形態で置き換えることにより行なわれ，結果として，視点は粒度のレベルに関して粗いものから一段細かいものへと移動することになる．また，洗練化の操作は，粒度の等しいレベルの中で，活性な視点のもとで切り出されている形態の一部を新たな別の形態で置き換えることによって行なわれ，このような操作が形態に関する代替性と相互に矛盾する形態の対を生成することになる．このようにして生じる代替案は，総合的な観点に立った様々な評価内容に基づいてより優れた設計解を求めるために，相互に比較される必要がある．そのためには，粒度や範囲を管理することに加えて，形態の代替性を管理する必要があり，具体的には，代替案を相互に切り換える機能や，相互に矛盾する形態を内部的に含んだ部分ネットワークを自動的に排除するなどの機能が求められる．

以上のような視点管理のメカニズムは，次節で示す方法で，特定の視点のもとでの個別形態の参照性・非参照性を管理することによって構成可能である．また，このような複数の代替案を同時に保持する機能は，設計者にとって，柔軟に様々な内容を比較・検討していくことにより，総合的な点からより望ましい形態を得ることができる環境として，期待が持たれる．

3.4　工学解析との統合化　前述のように，機械系のシステムの設計問題においては，設計結果を評価する上で，個々の評価領域や粒度に呼応した解析モデルを用いた工学解析による評価をそれぞれに行なう必要がある．このような内容に対しても，ここで提案するコンフィグレーションネットワークは，設計過程における様々な内容を同時に保持できることから，上述の視点管理機能により，それぞれの内容に対応した部分を効果的に切り出して，適切な評価計算を随時実行できるようになることが期待することができる．

4　オブジェクト指向による実装

本節では，以上のような形態の段階的詳細化と視点管理による統合化設計手法，すなわちコンフィグレーションネットワークをコンピュータ上に具体的に実装する方法の概要について述べる．

4.1　実装の概要　コンフィグレーションネットワークは，様々なシステム要素とそれらについての形態，両者のそれぞれの間の関係から構成されており，ある種のネットワーク状のグラフを形成している．本研究では，そのようなグラフをオブジェクト指向プログラミング[(14)~(16)]を用いて実装する．なお，具体的なプログラミング言語としては，Common Lisp 上のオブジェクト指向環境である Clos (Common Lisp Object System)[(17)]を用い，数値最適化などの手続き的な処理などの必要に応じて C 言語などの外部プログラムを融合する場合を想定する．

図 4は，後述の空調機ユニットの設計問題[(3)]を例に，オブジェクト指向を用いてコンフィグレーションネットワークを構築する際のクラスオブジェクトの階層構造を示したものであり，図 5は，そのような各クラスオブジェクトのもとでのコンフィグレーションネットワークの表現例を部分的に示したものである．図 5においては，図 4の各種クラスのもとに，様々なインスタンスオブジェクトが定義されるとともに，それらが ‘association’ や ‘relation’ などの関係やスロットによるポインタの保持によって相互に関連付けられてお

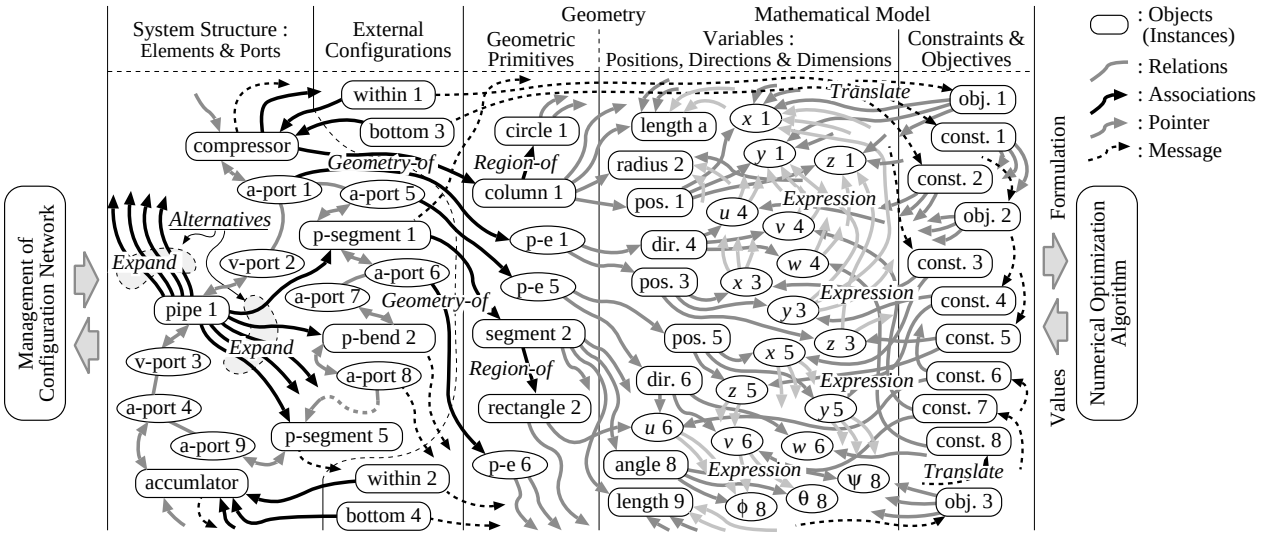

Fig. 5 Object-oriented representation of configuration network

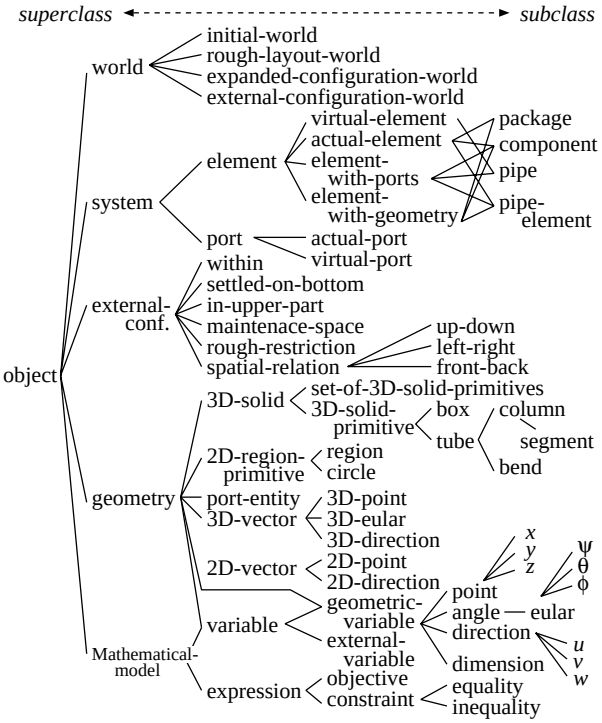

Fig. 4 Class objects on configuration network

り[†3]，形態や配置・形状が統合的なモデルとして表現されている．

以下に，このような表現方法による具体的な内容や処理方法について述べる．

4.2 形態と配置・形状の表現と処理

設計対象のシステムの構成や形態に関する情報は，図 4中の以下のクラスを用いて表現する．

system … 設計対象のシステムとしての構造を表現するためのクラス．具体的な機械システムにおいては，個々のシステム要素が機構上の対偶や配管のポートなどによって接続されていることから，以下の二つのクラスを組み合わせて用いることにより，そのような関係を表現する．

element … 設計対象のシステム要素の実体を表現するためのクラス．ただし，この オブジェクトは単に実体を表現するのみで，具体的な形状は後述の形状についてのオブジェクトを *‘geometry-of’* という association により保持することによって表現する[(16)]．

port … 設計対象のシステム要素間の関係を保持するためのクラス．具体的には，上記のシステム要素のインスタンスに保持され，相互のシステム要素がどのように接続されているかなどの情報を保持する．

また，個別のシステム要素がどのようにしてサブ要素に展開されたかなどについては，*‘expand’* という association を用いて，粗い粒度レベルにおけるインスタンスがどの細かい粒度レベルへのインスタンスへと展開されたかを関係付けることにより，表現する．

external-conf. … 外部形態を表現するためのクラ

[†3] ‘association’ と ‘relation’ は，オブジェクト対の間の関係を表現するために導入した CLOS に対する拡張であり，前者は方向性のある関係を，後者は方向性のない関係を表すために用いる．

ス．ここで言う ‘外部形態’ とは，上記の element や port のオブジェクトを用いて表現することのできるシステム構造に関する ‘内部形態’に対して，それらの間の空間的な関係などの明示的に表現する必要のある形態を指す．例えば「*A* は *B* の手前に配置する」「*A* は上の方に配置する」など．なお，個々のサブクラスは，具体的な外部形態の種類に対応するものである．

図 5の左部は，以上のクラスを用いたオブジェクトによる対象表現の状況を示している．

また，上記の element や port のインスタンスについての形状情報は， geometry というクラスのサブクラスを用いて表現する[(4)]．そのようなクラスの構成は，大きく，形状プリミティブに関するものと，位置や寸法，向きや角度などのそれらを定義するための特徴量 (フォームフィーチャ) に関するものとに類別することができ，図 5にも示すように，前者のオブジェクトは後者のオブジェクトをポインタとしてそのスロットに保持している．

4.3 代替案の管理・保持 以上のようにして表現される形態や形状情報に対して，コンフィグレーションネットワークにおける視点管理を行なって代替案の保持や比較を可能とするメカニズムは，ネットワークを構成するすべてのオブジェクトを CLOS 上のハッシュ表にその名称を鍵として登録した上で，その参照可能性を，様々な視点を管理するためのクラスである world のインスタンスのもとでビットベクトルを用いて制御することにより，以下のようにして実現する．なお， world の各サブクラスは，それぞれに異なった粒度の視点に対応するものである．

まず，個々の視点に対応する world のオブジェクトを整数を用いてインデックス付ける一方，それぞれのオブジェクトには，個々の視点における参照可能性を表すビットベクトルを保持させ，参照可能な視点の world の有するインデックスの位置のビットを立てておくようにする．このようなインデックスとビットベクトルとを比較することにより，個々のオブジェクトの参照性を管理できるようになる．さらに，association や relation という関係を介しての他のオブジェクトの参照性を，両者のオブジェクトのビットベクトルにおいて，現在の world のインデックスの位置が立っている場合のみ，相互に参照することができるようにする．このようなしくみにより，例えば，図 5の左部にも示すように，異なった視点のもとで拡張された相互に排他的となるオブジェクトを ‘*expand*’ という association を通じて区別できるようになる．

なお，このようなしくみは，設計過程における多重の文脈を管理するための手段を与えるものであり，具体的にどのようにそれらを管理するかは，個別の設計問題に依存する．

4.4 最適化計算による配置と形状の具体化

さらに，様々な形態情報をもとに具体的な配置や形状を具体化する処理は， mathematical-model クラスのもとに，形状を表現する geometry オブジェクトの特徴量を表現した variable クラスのオブジェクトと，内部形態や外部形態に対応して，そのような特徴量の間で成立する等式制約・不等式制約・目的関数などを表した expression クラスのオブジェクトを用いて実現する．

具体的な処理は，まず，特定の視点のもとで切り出された個々の形態を翻訳することにより，数学的な制約条件や目的関数を表現するインスタンスオブジェクトを生成し，次に，実際の最適化計算が効率的に実行できるように，記号処理の機能を用いて，それらのオブジェクトに保持されている数式表現の内容を処理した上で，最適化の対象モデルに相当するサブプログラムを自動生成する．続いて，それを何らかの最適化ルーチンとリンクした上で，最適化計算を実行する．最後に，その結果として得られる最適値を元々の特徴量のオブジェクトに保持させることにより，配置や形状を具体化する．

なお，このような機能に関連する形状モデリング法の詳細については，別報[(4)]に示す．

5 適用事例 — 空調機ユニットの設計

本節では，以上のコンフィグレーションネットワークの枠組とオブジェクト指向による実装を，具体的な空調機ユニットにおける機器配置や配管設計の問題に適用した事例[(3)]の概要を示す．

5.1 設計プロセスの構成 空調機ユニットの設計問題は，製品パッケージ内に圧縮機などの機器を配置するとともに，それらの間の配管を定める問題であり，あわせて，製造性やメインテナンス性，振動解析などによる性能評価を行なう必要があり，多様な評価項目を総合的に考慮した設計が求められる．それらの多様な内容に対して，基本的には，機器配置が配管に対して支配的であるなどの理由から，設計対象における粒度のレベルや範囲の広がりに照らし合わせて，設計過程をおよそ以下のように定めることができる．

(1) 概略機器配置 ··· まず，基準となる 2 次元平面上に対して，各機器の配置位置を，機器の組み付け性やメインテナンス性などの条件，配管の施しや

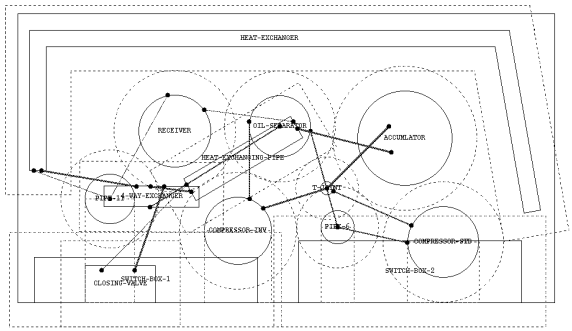

Fig. 6 Rough arrangement of components

すさなどを考慮しつつ，おおまかに決定する．

(2) 配管・詳細配置 … 個別の配管ごとに，配管の形態を決定しては，その形状とそれに係わる機器の位置を決定していき，それらを組み合わせていくことにより，全体としての詳細な配置を定める．

これらの設計処理に加えて，解析・評価処理なども適切に統合化される必要がある．以下に，個々の処理の概要を述べる．

5.2 概略機器配置 概略配置は，各機器の 2 次元平面上での位置を設計変数とし，それらの周囲に配管を施すためのスペースや配置バランスに対応する仮想的な余裕度のサイズ (図 6中，点線で示された領域) を付加した上で，相互の干渉を避けることやパッケージ内に配置されること，さらに組み付け性やメインテナンス性などの条件を制約条件とする一方，配管長さに対応する機器間の距離を最小化すべき目的関数に設定することにより，最適化計算を用いて定める．

図 6は，このような機器の概略配置の結果の一例であり，各機器の周囲にバランス良く配管のためのスペースが確保されていること，メンテナンスのために機器の手前側に空間が確保されていること，配管で結ばれる機器どうしが比較的近い位置に配置されていることなどが確認できる．

5.3 配管・詳細配置 配管の配置は，概略機器配置による拘束のもと，個別の配管を対象とした上で，まず，配管形態生成ルールに基づいてその形態を仮定しては，3 次元ソリッドモデルにより表現された配管各部の長さや曲がり具合を，関連する機器の詳細な位置とともに，それらの形態から導出される最適化計算モデルによって決定する．さらに，そのような結果から，干渉や組立性などの項目を評価しては，仮定した形態に修正を加えたり，他の配管を順次，組み込んでいき，最終的に全体としての詳細な配置配管を定めるようにする．

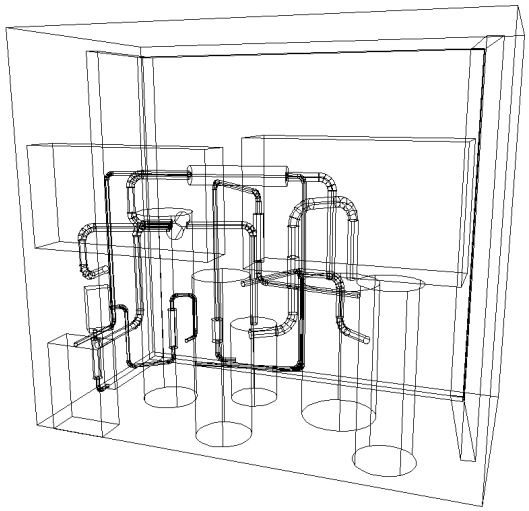

Fig. 7 Component arrangement and pipe routing

図 7は，このようにして得られた配管を施した全体配置結果の一例であり，複数の入り組んだ配管の処理が行なわれていることを確認できる．

5.4 解析シミュレーションによる評価 以上の配置や配管処理のほか，設計結果の評価計算については，例えば，配管系の振動解析に関しては，配管についてのスケルトン状の表現をコンフィグレーションネットワークによる対象モデルより抽出した上で，伝達マトリクス法[18]を用いて解析することができる．

6 関連研究

最後に，本手法の特徴と主旨を明確にするために，関連する研究についてまとめる．

設計対象のモデリングは，形状モデリングを中心として，現在の設計支援技術において重要な位置を占めるものであり，フィーチャ表現やプロダクトモデルなどにより，その操作性や表現能力も大いに改善されるに至っている[19][20]．しかし，そのような能力は，本研究で対象としている形状操作を伴った配置設計の問題においては，その生成的な面で不十分である部分も大きい．このような背景には，従来からの形状モデリング技術が，形状そのものをより精密に表現しようとする面に力点が置かれており，設計プロセスにおける処理内容との関連付けなどの面で不足していることがあげられる．

一方，配置設計におけるコンピュータの利用については， VLSI 設計の分野や建築設計などの分野において，シミュレーテッドアニーリング法[21]や遺伝的アル

ゴリズム[22]などの最適化技術や，エキスパートシステム[23]の技術を援用して，有効なシステムが構築されている．これらの分野においてコンピュータ化が進んでいる理由の一つには，構成要素の数が膨大であっても，個々の要素の形状が非常に単純であり，問題そのものに含まれる粒度が比較的よく揃っていることがあげられる．このような状況に対して，機械系の製品分野における配置設計問題はその複雑性の面でなお困難な問題であると言える．

また，コンカレントエンジニアリング[24][25]における，DFX (design for X, X = Manufacturing, Maintenance, Assembly, Disassembly, Recycling, etc.) の問題やそれらのための情報モデルも，本研究で取り上げた複雑性に関連するものであり，本質的な解決を実現するためには，粒度や範囲に基づいた視点の管理，さらに設計プロセスの全体をとらえたモデリング技術の確立が必要であり，本研究はそのような試みの一端として位置付けることができる．

7 結 言

本研究では，機械システムの形状操作と連動した配置設計の問題に対して，「コンフィグレーションネットワーク」と呼ぶ形態の段階的な詳細化とそのような過程における操作視点の管理による枠組を提案し，オブジェクト指向による実装の方法などについて述べた．本枠組の基本的な考え方は，設計において取り扱うべき内容が根本的に大量であるとともに複雑であることに対して，合理的に設計を行なうために，形態情報を中心としてそのような内容を管理しながら，段階的に設計を進めていこうとするものである．本報は，枠組の提案を目的としており，様々な設計問題に対して具体的な設計手法を確立するためには，用いるべき形態の整理や，設計過程の制御・管理方法についての検討などが重要であると考えられる．

本研究の一部は，文部省科学研究費一般研究 (B) 06452169 の援助によるものであり，また，空調機ユニットの設計問題につきましては，ダイキン工業の植村義之・楠本伸廣・平野徹の 3 氏に御教授頂きました．記して，謝意を表します．

文 献

(1) 赤木・藤田, [研究展望] 設計におけるコンピュータ利用とシンセシス, 機論, **60**-579, C (1994), 3591-3601.

(2) Dixon, J. R., On Research Methodology Towards a Scientific Theory of Engineering Design, *Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing*, **1**-3, (1987), 145-157.

(3) 藤田・赤木・廣川, 形態の段階的詳細化と視点管理による製品設計の枠組とその展開 (第 2 報：枠組の展開と適用事例), 機論, **62**-600, C (1996), 3355-3362.

(4) 藤田・赤木・廣川・不破, 形態の段階的詳細化と視点管理による製品設計の枠組とその展開 (第 3 報：形態に基づく形状モデリング法), 機論, **62**-600, C (1996), 3363-3370.

(5) McCarthy, D. and Hayes, P. J., Some Philosophical Problems from the Standpint of Artificial Intelligence, *Machine Intelligence*, **4**, (1969), 463-502. (邦訳：三浦, 人工知能の観点から見た哲学的諸問題, 人工知能になぜ哲学が必要か — フレーム問題の発端と展開, (1990), 哲学書房, 9-174.)

(6) Dennet, D, “Cognitive Wheels: the frame problem of AI,” *Minds, Machine & Evolution*, (1984) Cambride University Press. (邦訳：信原, “コグニティブ・ホイール — 人工知能におけるフレーム問題,” 現代思想, **15**-5, (1987), 128-150.)

(7) 橋田・松原, 知能の設計原理に対する試論 — 部分性・制約・フレーム問題 —, 認知科学の発展, **7**, (1994), 講談社サイエンティフィック, 159-201.

(8) Hobbs, J. R., Granularity, *Proceedings of the Ninth IJCAI*, (1985), 1-4.

(9) 藤田・赤木・長谷・仲戸川・竹内, 制約指向探索と最適化法とのハイブリッド化によるプラントの配置設計手法, 機論, **58**-547, C (1992), 967-974.

(10) 藤田・赤木・廣川, 遺伝的アルゴリズムと極小値探索アルゴリズムとのハイブリッド化による板取り問題の一解法, 機論, **59**-564, C (1993), 2576-2583.

(11) 日本機械学会 (編), 形態とデザイン (1993), 培風館.

(12) Sussman, G. J. and Steele Jr., G. L., CONSTRAINTS — A language for expressing almost hierarchical descriptions, *Artificial Intelligence*, 14, (1988), 1-39.

(13) Serrano, D. and Gossard, D., Constraint management in MCAE, *Artificial Intelligence in Engineering: Design*, (Gero, J. S., editor), (1988), Elsevier, 217-240.

(14) Booch, G., *Object-Oriented Design with Applications*, (1991), Benjamin/Cummings Publishing.

(15) 赤木・藤田, オブジェクト指向に基づく設計エキスパートシステムの研究, 機論, **54**-500, C (1988), 1017-1025.

(16) 藤田・赤木, 機能設計における設計対象のモデリングと形状モデルとの融合, 機論, **57**-535, C (1991), 1058-1065.

(17) Steer Jr., G. L., *Common Lisp — The Language, Second Edition*, (1990), Digital Press.

(18) 長松, モード解析, (1985), 培風館, 195-197.

(19) Krause, F. -L. and Jansen, H. (ed.), *Advanced Geometric Modelling for Engineering Applications*, (1990), North-Holland.

(20) 穂坂・佐田, 統合化 CAD/CAM システム, (1994), オーム社.

(21) Shechen, C. and Sangiovanni-Vincentelli, A., The TimberWolf Placement and Routing Package, *IEEE J. Solid-State Circuits*, **SC-20**-2, (1985), 510-522.

(22) Shahookar, K. and Mazumer, P., A Genetic Approach to Standard Cell Placement Using Meta-Genetic Parameter Optimization, *IEEE Trans. on Computer-Aided Design*, **9**-5, (1990), 500-511.

(23) Flemming, U. Coyne, R., Glavin, T. and Rychener, M., A Generative Expert System for the Design of Building Layouts, *Applications of Artificial Intelligence in Engineering Problems*, Vol. II, (Sriram, D. and Adey, R., editors), (1986), Springer-Velag / A Computational Mechanics Publication, 811-821.

(24) Haug, E. J. (ed.), *Concurrent Engineering: Tools and Technologies for Mechanical System Design*, (1992), Springer-Verlag.

(25) Kusiak, A. (ed.), *Concurrent Engineering – Automation, Tools, and Techniques*, (1993), John Wiley & Sons, Inc.