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2報 ： 枠組の展開と適用事例）
Author(s)	藤田, 喜久雄; 赤木, 新介; 廣川, 敬康
Citation	日本機械学会論文集 C編. 1996, 62(600), p. 3355-3362
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/3254
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. 95-1161

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)*

藤田 喜久雄 *1, 赤木 新介 *1, 廣川 敬康 *1

Product Design Framework with Configuration Network and its Viewing Control (2nd Report: Development and Application of the Framework)*

Kikuo FUJITA, Shinsuke AKAGI and Noriyasu HIROKAWA

A framework of computational design method and modeling has been proposed for the layout and geometry design of complicated mechanical systems, which is named *"configuration network and its viewing control"* in the first report. In this paper, we present its application to a design problem of air-conditioner units in order to demonstrate the validity and effectiveness of the framework. In the design process, the components must be located in the entire package, and pipes should also be arranged in it, so as to satisfy the functional requirements, ease of production and maintenance, etc. The computational models for hierarchical design process, design objects including geometry modeling, evaluation of design results, and synthesis operations are developed for such a practical design problem. By using those computational models, a design result of an air-conditioner unit is demonstrated to show the validity and effectiveness of the framework.

Key Words : Design Engineering, Modeling, Configuration, Computational Method, Product Design, Parametric Geometry, Concurrent Engineering, Air-Conditioner Units

1 緒 言

機械系分野の製品設計においては，製品を構成するシステム要素を製品パッケージ内に配置するとともに，それらの要素などの形状と決定する「形状操作を伴った配置設計」が大きな位置を占めている．例えば，空調機ユニットの設計問題では，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必要があり，これらの内容は，主要機器の配置から個別配管系の配置に至る階層的な内容を含んでいることに加えて，そのような設計対象の評価に当たっては，空調機そのものの機能やコスト，製造性やメインテナンス性，振動特性などの多様な内容をあわせて評価する必要があることから，以上のような複雑な内容を総合的に取り扱うことのできる設計支援手法が求められている．

本研究では，著者らによる形態の管理を中核とした統合化設計の枠組(1)をもとに，空調機ユニットの設計問題を具体的な対象と想定した上で，製品設計のための配置・形状統合化設計支援手法を構成する．すなわち，製品設計における多様で複雑な設計処理の内容をコンピュータ上で表現・処理するための「プロセス管理モデル」・「対象モデル」・「評価モデル」・「操作モデル」のそれぞれ(2)を，上記の枠組に従って具体的に構成し，それらを統合化することにより，実際的な設計支援システムを構成する．さらに，設計事例への適用を通じて，前報(1)で提案した枠組の有効性を検証する．

2 製品設計における配置・形状統合化設計

本節では，まず，製品設計における形状操作を伴った配置設計問題の特質と，前報で提案した枠組(1)の概要を示した上で，前者の設計問題に対して後者を適用するための基本概念についてまとめる．

2.1 製品設計の特質 緒言でも述べたように，機械系分野の製品設計においては，システム構成機器の形状を操作しながら，製品パッケージ内におけるそれらの配置を定める必要があり，このような設計を行なうにあたっては，製品そのものの性能の評価に加えて，コストや製造性などに関わる内容を総合的に評価しながら設計を行なう必要がある．このような設計過程の特徴は，設計対象のシステムとしての構造を段階

* 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).

的に発展させていき，具体的な形状としての構成やそれらの配置を大まかな内容から詳細な内容へと徐々に定めていく点にあるとすることができる．そのような段階的な詳細化の過程に対して総合的な設計支援を行なうためには，複雑な設計処理の内容を整理するための観点と手段が必要となる．

著者らが前報[1]で提案した枠組においては，まず，このような設計問題における複雑性が「設計対象の内容をどのような詳細度でとらえるかに関わる**粒度** (granularity)」・「設計対象の実体として空間的な広がりや評価における領域の多様性に対して設計対象のどのような部分をとらえるかに関わる**範囲** (scope range)」・「設計における探索問題の性質が本質的には列挙不可能であり，適切な**文脈** (context) や**フレーム** (frame) を選択的に導入することが不可欠であるという**開いた可能性** (openness)」という３つの観点から整理することができるものと仮定し，それらに付随して，設計過程においては「**代替案** (alternatives)」を比較検討できることが必須であるとの前提を設けた．そのもとで，具体的に設計支援を行なっていくための手段として，設計対象を，対象そのもののシステム的な構造や形状における構成的なプリミティブ間の位相的な関係などを各粒度レベルにおける様々な構成要素の間で宣言的に定義した「**形態** (configuration)」と，それらを拘束条件として各構成要素の位置や寸法に関する属性情報を数量的に確定させた「**配置・形状** (arrangement and layout)」とに大別してとらえ，前者を単位として多様で複雑な設計処理を統合化できるものとした．

2.2　形態の段階的詳細化とその視点管理による枠組[1]　図 1は，上記の観点のもとで構成した製品設計の枠組を概念的に示したものである．図の上部は，形態の宣言的記述の集合がネットワーク状のグラフ構造を形成している部分 (これを “コンフィグレーションネットワーク” と呼ぶ) を示しており，設計プロセスにおいては，そのようなネットワークを，設計対象のシステム的な構造から，具体的な配置や形状に係わる表現要素へと，すなわち，粗い (coarse) 粒度から細かい (fine) 粒度のレベルへと段階的に展開していく．これに対して，様々な設計処理を行なうに当たっては，図の中部のように，粒度のレベルや範囲の広さをもとに**視点** (view) を設定して部分ネットワークを限定し，それによって，設計に関わる計算能力の範囲内で何らかの結果を得るようにする．図の下部に示す，形態情報から具体的な配置や形状情報を確定する処理や，評価のための解析シミュレーション処理は，このような

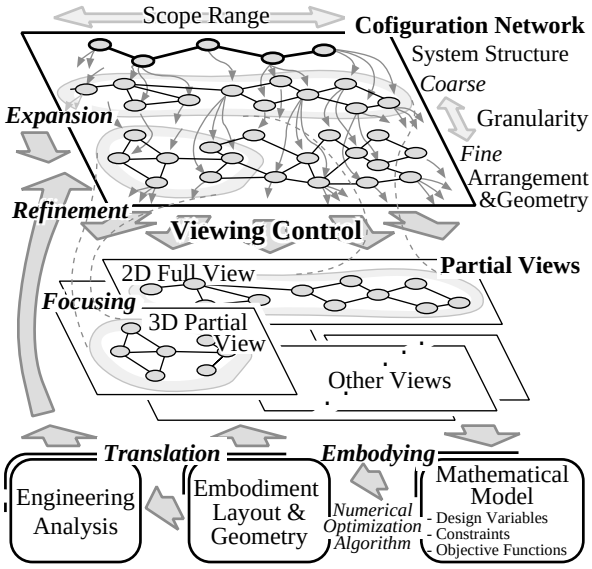

Fig. 1　Configuration network

処理の代表的なものである．それらの結果はある種のフィードバック情報として参照され，以上を通じて，既に設定されている形態を修正したり洗練化したりすることによって，段階的に設計を行なうようにする．また，そのような処理によって生じる代替案についても，視点を介して形態情報の管理を行なうことによって，複数の設計案を効果的に比較したり，相互に切り換えたりすることもできる．以上のような枠組により，柔軟な設計過程を構成することが期待できる[1]．

2.3　製品設計における複雑性・形態・文脈およびフレーム　具体的な設計支援手法を考えるに先立ち，以下に，具体的な空調機ユニットの設計問題に対して上記の枠組を照らし合わせた場合の対応関係を整理する．

前述のように，製品設計における特質の一つは評価項目の多様性と多層性にある．空調機ユニットでは，形状実体として成立するための幾何的な条件をはじめとして，製品そのものの機能やコストに関わる条件，製造性や組立性，メインテナンス性に関わる条件などを考慮する必要があり，設計対象である実体そのものの階層的な内容に対応して，設計プロセスの各段階において，それら評価項目の内容を適度に考慮しながら，段階的に設計を進めていく必要がある．

このような内容に対して，具体的な形態の内容を考えた場合，設計対象のシステムとしての構造，個別の構成要素のプリミティブレベルでの形状表現における位相的な構造とそれらの間で成立すべき空間的な位相条件，それらを具体化した実際の形状プリミティブ，

さらに，それらに対して付随的な形状要素などを想定することができる．

また，これらの各種の形態を段階的に定めつつ，設計を行なっていく上での文脈やフレームとしては，以下のような具体的な内容を合理的に想定することができる．

- 主要な機器の形状は，おおまかに単純なソリッドプリミティブ，あるいはそれらの集合として表現することができ，それらの配置は特定の参照面を基準とした 2 次元的な処理により行なうことができる．
- 配管系は，セグメント (直管部) とベンド (曲がり部) の列として表現することができ，パイプやベンドの径を無視することにより，それらの経路は折れ線上のスケルトンとして表現することができる．配管経路を決定する処理についても，上記の参照面をもとにおよそ 2.5 次元的な空間において操作することができる．

このような内容は，限定的ではあるものの，そのような内容を想定することによって，はじめて設計が可能になっているとも言うことができる．

以下の各節では，以上のような設計問題に対して，コンピュータを用いた具体的な設計支援を行なっていくために必要となるモデリング方法[2]のそれぞれについて述べる．

3　プロセス管理モデル

まず，粒度や範囲を設定する上で，その基準となる設計プロセスの構成と，それを管理する上での単位となる形態の内容について検討する．

3.1　設計プロセスの構成　上述のように空調機ユニットの設計過程は段階的であり，大きく「主要機器の概略配置」・「個々の配管系の形態の決定」・「それら配管系の形状の具体化」の 3 段階に階層化することができる．これらのうち，全体に対しては機器の概略配置が支配的であるものの，個別の配管系の形態や形状が細部においては重要であることから，基本的には，まず，前者の処理を行ない，それによって定まる内容を拘束条件として，それに続く処理を行なっていく必要がある．

3.2　形態と視点による設計プロセスの管理

図 2は，そのような設計プロセスの内容を，前報の枠組[1]のもとで具体的に構成した状況を模式的に示したものである．

まず，設計条件として与えられたシステム構成に対して，主要機器の概略配置をいくつかの条件設定のもとで求めた上で，それらの中から様々な評価項目のバランスに優れたものを選択する．この段階で求められる機器間の位置関係は，後の設計を行なう上での拘束条件とする必要があることから，ある種の形態としてとらえるものとする．なお，それらの代替案は，このような形態を個々に独立した視点のもとに生成することによって，相互に区別して管理するようにする[1]．

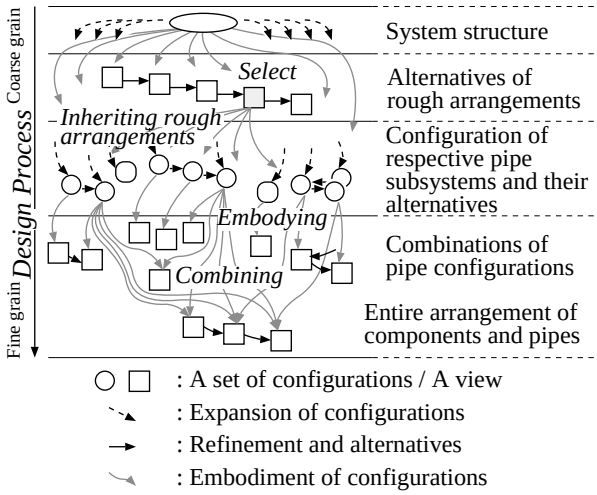

Fig. 2　Contents of design process

次に，個別の配管系毎に，配管を構成するプリミティブレベルの位相的な形態を定めては，それを形状に具現化する一方，そのようにして得られる配管の形態を段階的に組み合わせていくことにより，最終的な機器や配管の全体配置を決定する．この過程で，個別の配管形態を定めた場合やそれらを組み合わせた場合において，何らかの問題点や改善点が生じた場合には，それらに対応するために，個別の形態に修正を加えたり，相互の空間的な位置関係に対して拘束条件となる外部形態を導入したりするなどして，総合的に優れた設計解を求めるようにする．このような処理においても，個々に独立した形態群を個別の視点のもとに定義するようにし，それらを適宜，組み合わせていくことにより，設計プロセスを管理できるようにする．

以上のように，設計プロセスは，設計内容の粒度に対応して，いくつかのステップとそれらを特徴付ける形態を設定することにより，それぞれに管理することができる．なお，前報に示したオブジェクト指向による実装[1]において，このような管理は，個別の視点に関わる形態の集合の参照可能性を world オブジェクトを単位として制御することにより行なっている．

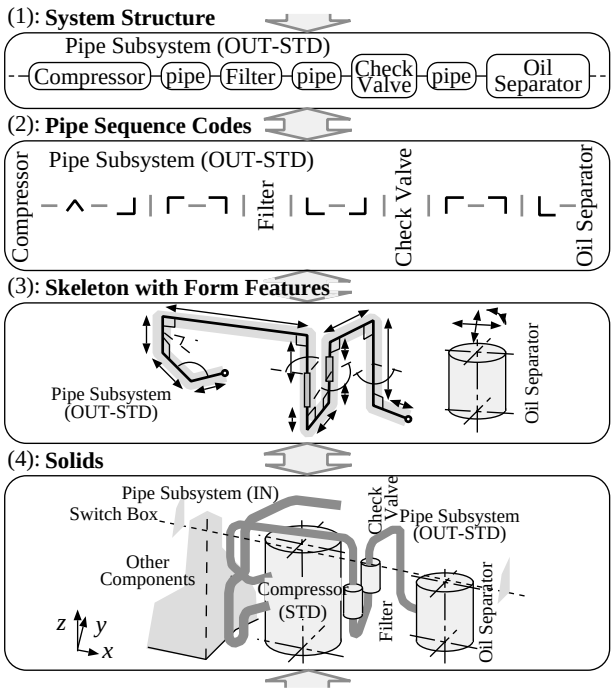

Fig. 3　Hierarchical object modeling

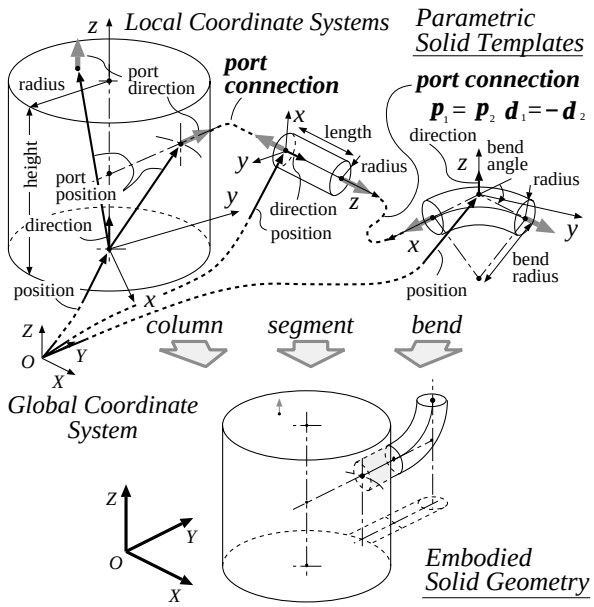

Fig. 4　Parametric geometry modeling

4　対象モデル

次に，設計対象のシステム構成や形状などの実体としての内容，および，その振舞いに関するモデルについて述べる．

4.1　階層的統合化対象モデル　前節で示した設計プロセスの各段階は，設計対象を表現する上での粒度に対応して構成されたものであり，後述の評価や操作を行なう上で，具体的に設計対象の内容を表現するためには，それらの段階に応じたモデリング方法を導入することが必要となる．

図 3は，そのような対象モデリングの中でも，特に配管系における階層的な表現方法の概要を示したものである．図は，ある配管系に関係する配置と形状を段階的に決定していく過程に対応しており，(1) の部分は，システム構成に関わる機器の接続関係を，(2) の部分は，配管を構成するセグメントやベンドの列のコード化表現 (pipe sequence codes) を表している．さらに，(3) の部分は，そのようなコード化表現を 3 次元空間におけるスケルトンとして展開したものを，(4) の部分は，それらの特徴量 (フォームフィーチャ) を確定することにより定まる具体的なソリッドとしての形状を表している[3]．

4.2　オブジェクト指向による対象表現の実装

図 3に示したような対象モデルは，個別の要素とそれらの間の接続関係とによって構成されており，このような内容に対しては，オブジェクト指向[4]による表現を導入する．すなわち，それらのプリミティブな項目を個々にオブジェクトして表現し，設計における様々な処理をメソッドとして記述するようにする．

なお，具体的なクラスオブジェクトの構成やインスタンスオブジェクトによる表現方法は，前報[1]に記したとおりである．

4.3　形状モデルのパラメトリック操作[3]

図 4は，上記の対象モデルの中でも，ソリッドモデリングに関連して，形状表現をパラメトリックに操作するための仕組みを，ある機器に対応する円柱とパイプのセグメントとベンドに相当するプリミティブ要素の部分について示したものである．

前出の図 3にも示したように，対象モデリングにおいて用いる形状プリミティブが導入されると，図中上部のように，個々の要素は，その絶対座標系における代表点の位置ベクトルと代表軸の方向ベクトル，さらに半径や長さなどの一連の特徴量に依存して定義することができるようになる．また，各ポートについても，そのような個別要素に固定された局所座標系上での位置と方向を特徴量として与えることによって定義するようにする．

このような形状に対するパラメトリックな表現のもとでは，それに付随して，例えば，長さがある範囲の値を取る必要があるなどの個別の形状プリミティブについての条件や，相互に接続されているポート対の間で，両者の絶対座標系における位置と方向が一致する

などの条件が成立する必要がある．これらの内容は，すべて，形状定義に関わる特徴量の間で成立すべき関係式や制約条件式として表現することができ，後述の評価モデルや操作モデルとともに，最適化計算により具体的な形状を定める際に，あわせて考慮する必要がある．

以上の内容についての詳細はさらに別報[3]に示すが，オブジェクト指向による形状プリミティブと特徴量の表現や，記号表現による数式処理，最適化計算との融合などの処理を統合化することにより，上記のような形状モデリング法を構成することができる．

4.4 振舞いモデル … 振動解析モデルの一例

以上のような設計対象の実体のモデリングに対して，その機能的な内容である振舞いを求めるためのモデルとして，粗いレベルでの振動解析のためのモデルの例を考えることができる．

配管系の振動特性そのものは厳密には有限要素解析などにより解析されるが，設計の初期段階において，およその特性を把握する上では，伝達マトリックス法[6]による簡便な解析計算を想定することができる．その場合，解析計算のためのモデルが上記の図3の (3) に示すような配管系のスケルトン状の表現に比較的良く対応していることから，直ちに解析計算に必要となる諸量を導出することができ，適切なレベルの解析計算を容易に統合化することができる．

5 評価モデル

前述のように，製品設計の特質の一つは評価内容の多様性にあるが，本節では，上記のプロセス管理モデルや対象モデルに関連させて，そのような内容を実際に評価していくための方法について示す．

5.1 評価の多領域性 空調機ユニットの設計問題において評価すべき内容のうち，代表的な項目は，以下のように整理することができる．

- 製品機能に関する条件 … 機器機能に対応して配置位置や向きに関する条件が存在するほか，配管系の振動特性，パッケージ内の通風性などを考慮する必要がある．
- 製品コストに関する条件 … 配管の長さを短くすることなどのほか，下記の内容も製造コストに関わるものである．
- 製造性・組立て性・メインテナンス性に関する条件 … 機器の組付けや配管の接合などが容易に行なえるための様々な空間的条件や，特定の機器を交換可能な位置に配置しておくなどの条件を考慮する必要がある．

これらの内容には相反するものが含まれていることから，それらの間のバランスに優れた妥協点を見い出すことは重要である．一方，全体としての設計プロセスを考えた場合には，各評価項目をどのステップでどの程度考慮していくかを配分することも重要となる．

5.2 評価の多段階性と統合化 そのような内容は，前報[1]で述べた粒度や範囲に対応して，全体に対して支配的な内容は粗い粒度の広い範囲において評価し，細部においてはじめて評価できる個別的な内容は細かい粒度の狭い範囲において評価するように，設計におけるメタレベルの文脈を構成する必要があることに対応している．

例えば，配管の長さについては，主要機器の位置関係が大局的には重要な意味を持つため，概略配置を行なう際に，配管系で接続された機器を相互に近い位置に配置する必要がある．その上で，個別配管の形状を決定する際においても，まず，配管の曲がりの数などを抑制するためには，ベンドやセグメントの列をどのように構成するかが重要である一方，最終的な配管の長さは配管そのものの形状が数量値を伴って確定されてはじめて評価できるようになる．

また，特定の機器のメインテナンス性についても，最終的には全体の配置や形状を定めた段階で厳密に評価する必要があるものの，主要機器の概略配置を行なう段階では，メインテナンス性に関わる適切な位置関係を確保しておくことが重要となる．

したがって，前述のプロセス管理モデルとの関連において，以上の各評価内容を，次節で示す操作モデルのそれぞれにおいて適切かつ段階的に評価していく必要がある．

6 操作モデル

最後に，以上の各モデルに基づいて，具体的な設計処理を行なうための操作モデルについて示す．

6.1 概略配置の操作 主要機器の概略配置を参照面上において 2 次元的に決定する際には，以下の条件を考慮する必要がある．(1) すべての機器をパッケージ内に空間的なバランスを保って配置する．(2) 配管によって直接，接続されている機器の対は，両者の距離が配管長さに対して支配的であることから，できるだけ近い位置に配置するようにする．(3) 後段階のプロセスにおいて配管を施すためのスペースを各機器の周囲に留保しておく．(4) 機器の組立て性やメインテナンス性に関連して，決定的に意味を持つ領域をおよそ確保しておく．

以上のような条件に対して，ここで示す空調機ユ

ニットの設計問題においては，空間のバランスと配管スペースのためのマージンスペースをすべての機器に対して等しく付加した上で，そのようなスペースのサイズの最大化と配管によって直接接続された機器間の直線距離の総和の最小化を競合する 2 つの目的関数に，その他の条件を制約条件として数学的な定式化を行ない，ペナルティ法による準ニュートン法の最適化アルゴリズムにより概略配置を求めることにする．具体的には，このような定式化が 2 つの相反する目的関数を含んでいることと，配置を調整していく上で，個々の機器の重なりを避ける制約条件を設定することによって配置解の局所性や多峰性が生じることから，以下のようにして概略配置を定める．まず，負のマージンスペースを想定して配置を定め，それに続いて，そのような配置を初期解としてマージンスペースを増加させた配置を定め，このような操作をマージンスペースを含めた機器の重なりが大きくなってくるまで繰り返した上で，それらの各マージンスペースに対する配置を比較することにより，全体としてのバランスに優れている配置を選択して，概略配置の解とするようにする．

なお，これらのマージンスペースのサイズによる代替案は，前報[1]に示した実装方法により，視点を用いて，随時相互に切り換えたり，比較することができるようにする．

6.2 配管形態の生成と修正 配管形態，すなわち，配管のコード化表現を定めるに当たっては，曲がり部の数が増加すると，製造工数が増えることや部品サイズの拡大・全長の増加につながることから，まず，接続すべき機器のポートの向きやそれらの高さをもとに，最も少ないベンドを組み込んだコード列を仮定する．その上で，実際の配置を定めたり，他の配管系との統合化を行なった場合に問題が生じた際には，曲がり部を設けるなどして，そのような問題点を回避していくことにより，最終的な配管の形態を定めるようにする．このようなコードの生成・修正処理は，それぞれの条件での生成・修正パターンをルール化して記述することにより，実現するこことができる．

6.3 部分詳細配置の操作 個別配管系の形状やそれに関わる機器の詳細配置，さらにそれらを組み合わせた内容については，上記の 2 つの操作によって定められる各形態を目的関数や制約条件などの数学的な記述に翻訳した上で，ペナルティ法による準ニュートン法の最適化アルゴリズムを用いて，各形状プリミティブの位置や方向，寸法などの特徴量を数量的に確定させることにより，そのような内容を決定するようにする[3]．この段階での目的関数としては，配管の全長と各機器の概略配置位置からの偏差との総和の最小化を用いる．

6.4 部分詳細配置の統合化操作 さらに，個別に定められた配置や配管の結果を全体としてまとめあげていく操作は，個別の部分に関わる形態のすべてを含んだ視点を設定した上で，部分詳細配置の操作と同様の操作を，部分配置を行なった際に帰結された値を各設計変数の初期値として適用することにより行なう．このとき，相互に組み合わせた配管が干渉を生じるなどの問題点を生じる場合が予期できるが，そのような可能性のすべてを前もって制約条件として規定することは不可能である．そこで，まず，そのような問題点を想定しない配置を定めた上で，その後，実際に生じた問題点に対して，個別配管の形態を変更したり，配管相互や機器相互の位置関係に対して，「配管の部分 A は機器 B の手前側を通る」などの，付加的な (外部) 形態を導入することにより，生じた問題点に対する制約条件を導入し，再び，具体的な配置を定めるようにし，そのようなステップの繰り返しにより，最終的な配置を段階的に定めるようにする．

このような部分形態を段階的に組み合わせて全体としての配置を定める際にも，プロセス管理モデルにおける視点を管理するメカニズムにより，代替案を適宜比較しながら設計を行なうことができるようになる．

7 設計支援システムの実装

前報[1]にも示したように，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，両者それぞれの間における関係から構成されるネットワーク状のグラフとなることから，オブジェクト指向プログラミングを用いることにより，設計支援システムを構築する．具体的なプログラミング言語としては，Common Lisp 上の Clos (Common Lisp Object System)[5]を用い，さらに，グラフィカルユーザインターフェースについては Clos 上の CLIM (Common Lisp Interface Manager) を，最適化計算については C 言語を用い，これらは，Sun SPARC Station 上の Solaris 2.3 において統合的に構成する．

なお，前節までに示したモデリングのオブジェクト指向による実装は，前報[1]に示したクラスやオブジェクトを用いて行なっている．

8 適用事例

最後に，ある空調機ユニットの配置設計を具体的に行なった事例を示す．

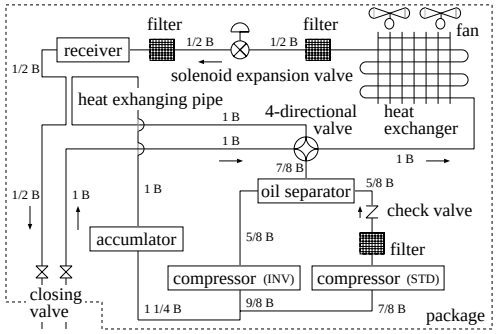

Fig. 5　Schematic diagram of an air-conditioner unit

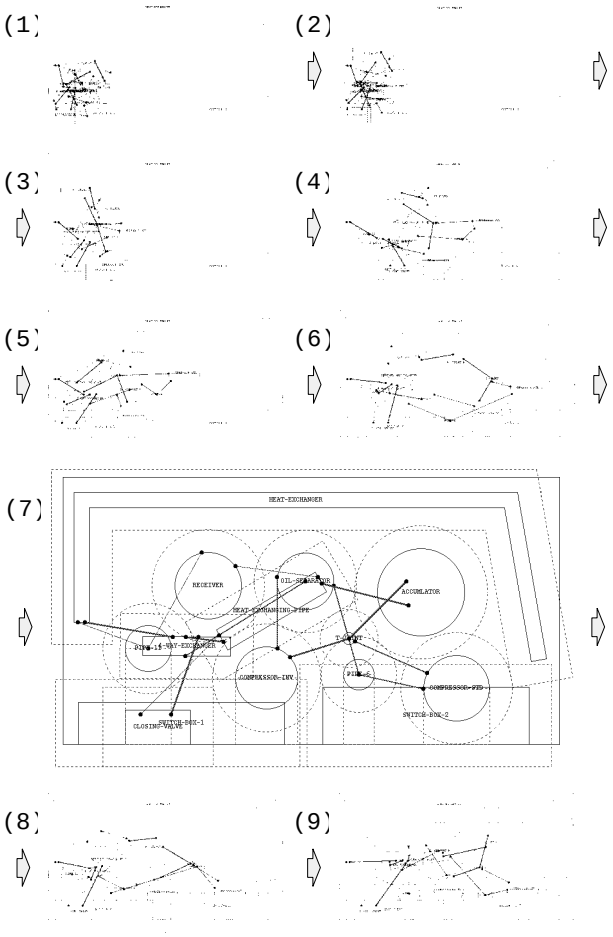

Fig. 6　Rough arrangments of components

8.1　空調機ユニットのシステム構成　前述のように，配置設計やそれに伴った形状設計を行なうにあたっては，まず，対象システムの構成が設計条件として与えられる．図 5は，その一例を示したものであり，圧縮機などの主要な機器が配管で接続され，いくつかの補助的な機器が配管系中に組み込まれている．

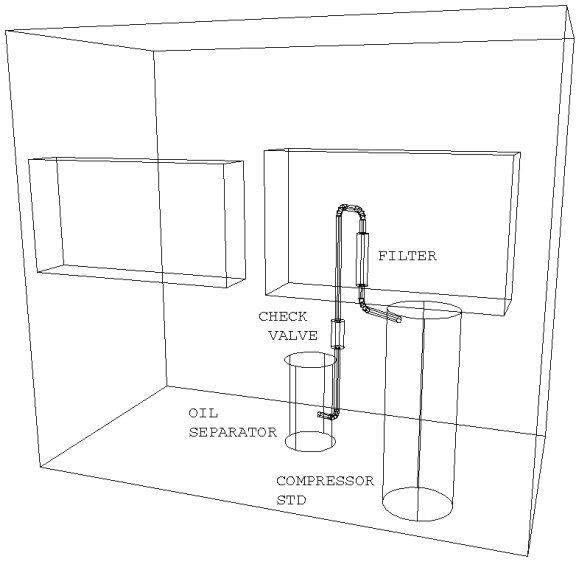

Fig. 7　Partial arrangement of a pipe system

8.2　概略機器配置　図 6は，図 5に示したシステム構成に対して概略機器配置を定めるために，(1) から (9) の順にマージンスペースを段階的に増加させていった場合の履歴を示したものである．図中では，個々の機器に対するマージンスペースが破線で，配管で接続されるべき機器の対が太い線で，それぞれ示されている．また，2 台の圧縮機の手前側の長方形の領域は組立てやメインテナンスに関連して仮想的に設定した空きスペースを示している．各マージンスペースに対する配置のなかでも，(7) の配置は，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に加えて，配管のためのスペースが各機器の周囲にバランス良く確保されていることを確認することができる．

8.3　詳細配置と配管処理　図 7は，上述の概略配置に引き続いて行なった油分離器と圧縮機との間の配管処理の結果を示したものであり，図の配置においては，2 つの機器の配置が図 6に示した概略配置位置にほぼ拘束されるとともに，曲がり部の少ないコンパクトな配管が行なわれていることを確認することができる．さらに，図 8[†1]は，そのような個別の配管系の配置をまとめていくことにより得られる最終的な設計結果の一例であり，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．

[†1] 図 7と図 8は，本設計支援システムの内部データをもとにコマンド列を自動生成した上で，ソリッドモデリングカーネルである (株) リコーの DESIGNBASE の機能により描いたものである．

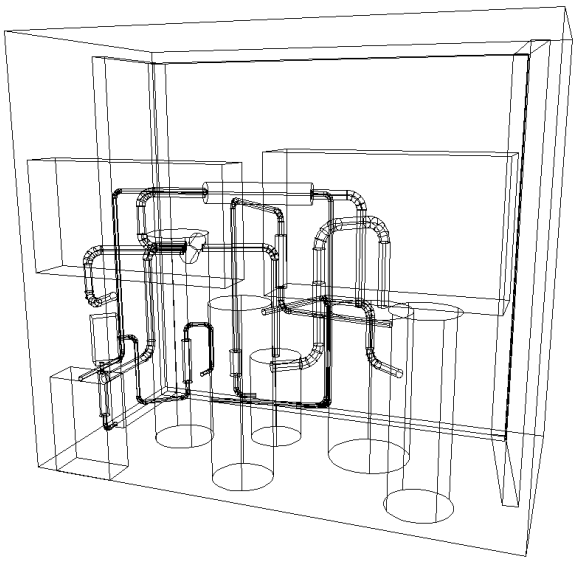

Fig. 8　Entire arrangment of components and pipes

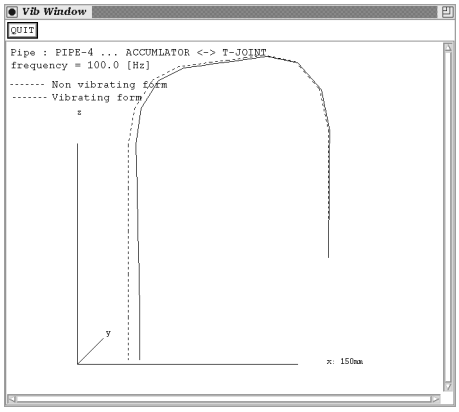

Fig. 9　Vibration analysis of a pipe subsystem

8.4　振動解析の統合化　また，図 9は，以上の設計処理に連動して，配管系の振動特性を評価するために，前述の解析シミュレーションを行なった場合の表示例である．

9　結　言

本研究では，前報[1]で提案した「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，機械システムの形状操作と連動した配置設計のための枠組を，空調機ユニットの設計問題という具体的な問題に対して展開し，その適用事例を示すことにより，実証的な有効性について考察した．設計問題の実際的な内容は，対象とする問題によって多くの部分で個別的ではあるものの，具体的な設計問題に適用することによって，製品設計における，設計プロセスの多段階性や設計評価における多領域性，対象モデリングにおける階層性などの内容に対して，本枠組がよく適合していることを示すことができた．なお，本報で取り上げた内容は，空調機ユニットの設計問題におけるすべての内容を含んだものではなく，上記の有効性を検証しようとする立場から，その典型的な部分内容から構成したものである．

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) 藤田・赤木, 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), 機論, **62**-600, C (1996), 3347-3354.
(2) 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.
(3) 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.
(4) Booch, G., *Object-Oriented Design with Applications*, (1991), Benjamin/Cummings Publishing.
(5) Steer Jr., G. L., *Common Lisp — The Language, Second Edition*, (1990), Digital Press.
(6) 長松, モード解析, (1985), 培風館, 195-197.