



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3報：形態に基づく形状モデリング法）
Author(s)	藤田, 喜久雄; 赤木, 新介; 廣川, 敬康 他
Citation	日本機械学会論文集 C編. 1996, 62(600), p. 3363-3370
Version Type	VoR
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/3162">https://hdl.handle.net/11094/3162</a>
rights	
Note	

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

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

The University of Osaka

## 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)\*

藤田 喜久雄\*<sup>1</sup>, 赤木 新介\*<sup>1</sup>,  
廣川 敬康\*<sup>1</sup>, 不破 正人\*<sup>2</sup>

### Product Design Framework with Configuration Network and its Viewing Control (3rd Report: Geometric Modeling Method Directed by Configurations)\*

Kikuo FUJITA, Shinsuke AKAGI, Noriyasu HIROKAWA and Masato FUWA

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 a geometric modeling technique with the aim of its integration with the framework. In the modeling method, each geometry of an object entity is represented with a geometric primitive or a set of ones, and they are manipulated through form features such as positions, directions and dimensions, which are represented with symbol-based algebraic expressions. The restrictions and desirable states imposed by configurations on an artifact are translated into mathematical functions among the features, and those variables are fixed by an optimization calculation in order to embody the configurations into actual arrangements and geometries. Moreover, this model has an ability to partially analyze the consistency of configurations among geometric primitives with symbol-based algebraic expressions. Finally, some examples of its applications are briefly demonstrated in a design problem of air-conditioner units.

**Key Words :** Design Engineering, Modeling, Configuration, Parametric Geometry, Product Design, Object Orientation, Artificial Intelligence, Optimization

#### 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。このような設計問題の特質の一つは、設計対象のシステム構成を出発点として構成要素それぞれの配置位置や形状を段階的に具体化していく点にあり、そのような内容をコンピュータを用いて支援しようとする場合、設計プロセスの各段階における問題内容の粒度に対応した対象モデルを相互に関連付けながら操作していくことが求められる。

著者らは、このような設計問題に対して、設計対象の内容を位相的な内容に関する「形態」とそれによって拘束された数量的な実態である「配置・形状」の二つの部分に大別した上で、前者の形態を設計内容に関する粒度や範囲をもとにして統括的に管理することに

よる製品設計の枠組と支援システムの構成方法を提案した<sup>(1)</sup>。さらに、具体的な適用事例として空調機ユニットの設計問題を取り上げ、コンピュータによる支援を実現する上での様々なモデリングの方法とそれらを統合した設計支援システムを構成した<sup>(2)</sup>。このような設計の枠組や支援システムにおいては、設計対象の具体的な実態である形状のモデル表現が不可欠であり、設計シンセシスの操作と連動できる形状モデリング法の融合が必要となる。

本研究では、以上のような観点から、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<sup>(1)(2)</sup>のもとでの形状モデリングに求められる要件について検討した上で、形態情報による拘束に基づいて配置や形状を表現・操作するモデリング手法を提案する。具体的には、オブジェクト指向と記号処理技術のもとで対象形状をパラメトリックに操作できるようにし、拘束条件についての定性的な評価や最適化アルゴリズムによる形状の具体化処理を統合化することにより、設計における意図や拘束を反映して形状の操作が行なえるモデリング手法を構成する。最後に、形状モデリングとそ

\* 原稿受付 1995 年 7 月 12 日

\*<sup>1</sup> 正員, 大阪大学工学部 (〒 565 吹田市山田丘 2-1) .

\*<sup>2</sup> 学生員, 大阪大学大学院 (現在, 松下電工) .

れによる処理の事例について示す。

## 2 製品設計における形態と形状モデリング

本節では、具体的な形状モデリング法について示す前に、製品設計の特徴の一つである段階的な詳細化という側面と、それに付随して、形状モデリングにおける形態の位置付けについて述べる。

**2.1 製品設計のプロセスと形態** 緒言でも述べたように、製品設計の過程においては、設計対象のシステム構造を出発点として、構成要素それぞれの配置位置や形状が段階的に具体化されていく。そのようなプロセスにおける対象形状の内容は、まず最初の段階においてはラフスケッチ的な大まかな内容として表現され、続いて、比較的単純なプリミティブ形状やそれらの集合により表現され、その後、細部における形状特徴が付与されていくことにより、具体的なものとして定められていく。このような状況においては、前段階で決まった内容がその後の段階で決めるべき内容に対してある種の拘束条件として働き、それによって、具体的な設計対象の内容が段階的に確定されていくことから、そのような拘束条件によって設計そのものの内容を特徴付けることができる。

前報<sup>(1)(2)</sup>で提案した製品設計の枠組においては、上記のような拘束条件を具体的な配置や形状の内容から区別する必要があるとの視点に立って、以下のような設計対象における形態情報に着目するものとした。

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。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。

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、それらは何らかの形態によって拘束されて数量的に表現される。例えば、「AはBの前方380 mmのところ position している」などの内容。

**2.2 形態を中心とした製品設計の枠組** このような形態を設計対象を表現・操作する上での単位として導入することにより、設計は、設計対象のシステム構造に関する部分から具体的な配置や形状に関わる部分へと形態を段階的に詳細化させていく過程として把握することができ、さらに、そのような過程の各段階においては、形態から何らかの配置や形状を具体化させたり、解析計算により得られる評価結果をフィードバック情報として参照したりしつつ、形態を洗練化さ

せていく操作が行なわれているものとして行うことができる。したがって、それらの内容をコンピュータ上で具体的に表現・管理することによって、有効な設計支援システムを構成することができる<sup>(1)(2)</sup>。

**2.3 従来からの形状モデリングの問題点** このような枠組のもとで、設計支援を行なっていくためには、形態情報から具体的な配置や形状をどのようにして定めるかが重要であり、なかでも、形状の取り扱いには不可欠のものとなる。

形状モデリングに関しては、今日では、B-Reps や CSG によるソリッドモデリング技術により複雑な形状をコンピュータ上の表現できることはもちろんのこと、フィーチャ表現により製造に関わる様々な内容を処理することができたり、フィーチャ表現に基づいたパラメトリック操作により設計シンセシスの操作をコンピュータ上に実現できる商用システムも現れるに至っている<sup>(3)~(5)</sup>。また、コンカレントエンジニアリングなどの立場から、製品設計の関わる様々な内容を統合的に表現しようとするプロダクトモデルなどの試み<sup>(4)(6)</sup>も進められつつある。しかし、これらの各形状モデリング技術は、既に決定された形状を取り扱ったり、部分的な寸法レベルでの形状変更に対応しようとするものに過ぎない。このため、前報<sup>(1)(2)</sup>で示したような形態設計と形状設計を統合化した設計支援を実現するためには、機能やコストなどの評価内容に対応して形状そのものを生成していくことのできる新たな形状モデリングの枠組が必要となる。

## 3 形態に基づく形状モデリング法の構成概念

**3.1 形状モデリング法の基本構成** 本研究では、上述のような形態の管理を中核とした設計支援システムにおける形状モデリングの方法として、設計シンセシスの操作に対応することのできるモデリング法を提案する。その基本的な構成は以下のとおりである。

- (1) 設計対象システムの各構成要素の形状を、単純な形状プリミティブやそれらの集合として表現し、位置や向き、寸法などの特徴量(フォームフィーチャ)を用いて構成的に操作できるようにする。
- (2) そのような特徴量の操作に当たっては、それらの間に成立する依存関係などを明示的に代数式として保持させ、それらをもとに定性的な形状操作や最適化アルゴリズムによる形状の具体化処理を行なうようにする。
- (3) 最適化計算による形状の具体化にあたっては、形状モデリングにおける初期化機能や形態情報に基

づいた処理により、形状に関わる拘束や意図を制約条件や目的関数として自動的に反映できるようにする。

これらのうち、(1)については、最終的な製品の形状は複雑な表現方法により取り扱う必要があるものの、本研究では、概念設計や機能設計を主な対象に考え、形状表現における細部を無視して、単純なプリミティブやそれらの集合として取り扱うものとする。また、プリミティブの集合による表現においても、CSGにおける和・差・積などの演算は想定せず、単に和集合のみを考えることにする。これは、本研究で適用事例に想定しているような機械製品の設計問題<sup>(2)</sup>においてはそのような表現方法で対応できることによる。

また、(2)については、形態そのものは形状表現における位相的な内容や定性的な情報を表現したものであることから、それに基づいて導出される記号による代数関係式を操作することにより、形状に関わる様々な処理、例えば、立体どうしの干渉の有無を調べる場合において、複雑な3次元空間における幾何学的演算を行なうまでもなく、有無の可能性を断定することができたり、比較的簡単な代数式によりそのような判断を行なえるなどのことも期待できる。このような内容は、設計者による処理の効率性と通じる部分でもあり、具体的な形状を定義している状況に依存して、対象を限定的に認識することにより効率的な形状処理を実現できる可能性を示唆するものである。

なお、Rosenら<sup>(7)</sup>は、フィーチャによる形状操作にゴールプログラミングによる最適化法を統合化することにより、設計意図に基づいて形状を操作するモデリングの方法を提案しており、本研究との共通点も多いが、設計における多様な内容を総合的に処理しようとする面から限定的である。

### 3.2 形態による拘束…制約条件と目的関数

前報<sup>(1)</sup>で提案した枠組において、形態とは、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り、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、配置や形状が実現できる連続空間を規定したり、それらを方向付けるものとして取り扱うことができる。それらの内容はそれぞれ、以下のような数学的な内容に変換することができる。

形状プリミティブそのものに固有の条件 … 形状プリミティブにおける特徴量に対する「円柱の高さは正である」などの幾何学的に自明な条件を、最適化計算による具体化処理においては明示的に取り扱う必要がある。

製品構成要素として求められる条件 … 例えば、「配管の直管部の長さが製造上の理由により、cm以上でなければならない」などの、個別の形状が製品の物理的な構成部品であることによる条件。

形状プリミティブ相互の位置関係に関する条件 …

上述のポート間に位置関係に関する条件をはじめとする諸条件であり、形態の詳細化に連動し、システム構造に基づいて義務的に付加される条件と、干渉を回避するなどの目的のもとで恣意的に導入される条件に大別することができる。

製品機能やコストなどの設計目標に関係する条件

… 製品のシステム全体としての評価に関連して、考慮されるべき条件であり、別報<sup>(2)</sup>でその適用例を示した空調機ユニットの設計問題においては、「パイプ全長の最短化」などを想定することができる。

したがって、これらの内容をそれぞれ制約条件や目的関数として定めることにより最適化問題を構成することができる。

3.3 初期解の設定と文脈依存 以上のような最適化問題は非線形で制約条件を含んだ問題となるため、多峰性を内在しており、最適化アルゴリズムを用いて得られる解は与える初期解に依存することになる。これに対して、本枠組<sup>(1)</sup>においては、各設計段階で形態に対応して定められる具体的な配置や形状も広義の形態に含めるとの立場から、既に得られている適当な設計解における各特徴量の値を新たに定めようとする配置や形状に対する初期値として与えるようにする。これにより、粗い粒度レベルにおいて定められた内容や洗練化を行なう元となった内容に従った局所解を求めるようにして、設計における文脈に依存して最適化計算による具体化が行えるようにする。

### 3.4 形態の段階的詳細化と形状モデリング

また、各制約条件や目的関数は明示的に記述された何らかの形態に基づいて定められるものであり、具体化された配置や形状のそれ以外の部分において、例えば、形状要素間の干渉を生じるなどの実在形状としての矛盾を生じる可能性がある。これに対して、このような内容は組合せ的であることから、そのような事態を生じないための条件のすべてを前もって列挙し、制約条件などとして記述することは実質的に不可能である。本形状モデリング法においては、そのような矛盾の解消も、別報<sup>(1)</sup>で提案した枠組における「定められた形態を形状の具体化やそれをもとにした解析評価の結果をもとに洗練化する」操作のひとつであるとの考

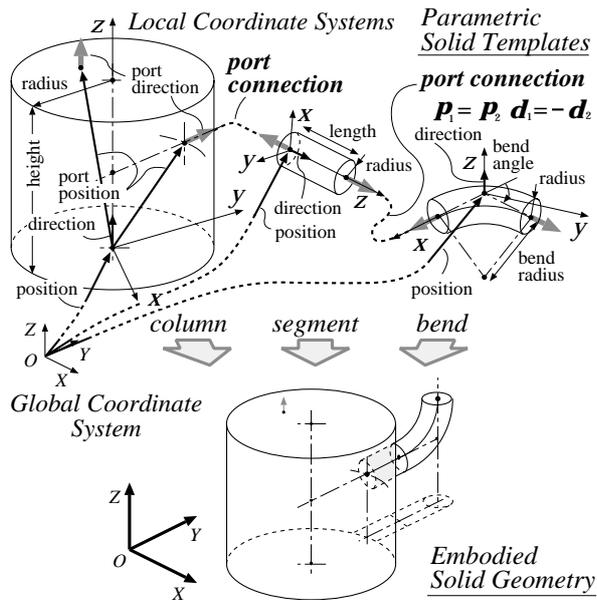


Fig. 1 Parametric geometry modeling

え方に立ち、まず、具体化を行なった上で、実際に発生した矛盾点を解消するための空間的な条件を形態の一種として段階的に加えていくことにより、最終的に矛盾のない具体化された形状を求めるものとする。

#### 4 形態に基づく形状モデリング法

本節では、形態に基づく形状モデリング法の具体的な構成や処理方法について述べる。

なお、形状モデリング法の実装には、代数関係式の操作を記号処理により容易に実装できること<sup>(8)</sup>や、形状プリミティブ、点や向き、座標値や寸法などの様々な諸情報を効率的に取り扱う上で、データや処理のモジュール化の容易なオブジェクト指向プログラミング<sup>(9)</sup>が有効であることから、COMMON LISP 上の CLOS (Common Lisp Object System)<sup>(10)</sup>を用いるものとする。また、具体化処理における最適化計算の数値計算の部分についてはC言語を用いる。

##### 4.1 プリミティブと特徴による形状表現

まず、上述のような形状表現を行なうにあたって、具体的な設計対象のシステム要素の形状が、比較的単純な形状プリミティブやその和集合として表現できる状況を想定し、以下に示すようにしてそれらの特徴量(フォームフィーチャ)により定義付けるようにする。すなわち、図1にも示すように、単一のプリミティブにより表現される実体の形状は、そのようなプリミティブにおける代表点の位置と代表軸の向き(これらは、その形状を定義するための局所座標系と一致する)、さらに、プリミティブそのものを定める諸寸法に

より表現する。また、プリミティブの和集合として表現される実体の形状については、形状を定義するための局所座標系の中心点の位置と代表軸の向きを定義した上で、そのような座標系上での各プリミティブの代表点の位置と代表軸の向き、ならびに、それらの諸寸法により表現する。

一方、具体的な機械システムは、個々のシステム要素が何らかの対偶によって接続されることにより、目的とする機能を実現しているが、そのような対偶については、図1にも示すように、まず、上記のような個別要素の形状表現に対して、接続関係を表現するためのポートの位置と向きをその局所座標系上で定義し、その上で、接続されているポートの対の間で成立すべき位置関係をもとに、関係する諸特徴量を拘束することにより表現する。

##### 4.2 オブジェクト指向による形状と特徴量の表現

図2は、オブジェクト指向を用いて、前出図1のような形状を定義し、それらが相互に続されている状況を表現する方法を示したものである。図中の最左部は、システム構成要素である component オブジェクトそれぞれに接続関係を表現するための port オブジェクトを保持させ、そのような port を関係 'opposite-of' により関連付けることにより、2つのシステム要素がポートを介して接続されていることを表現している。それらの要素やポートは、形状に関わる内容を表現するためのオブジェクトを、それぞれに関係 'geometry-of' により保持している。また、そのような形状プリミティブは、位置や方向、寸法などを表すオブジェクトをスロットにポインタとして保持しており、さらに、位置や方向などのベクトル量も、同様に、それらの要素をポインタとして保持している。その上で、座標値や寸法の各変数のオブジェクトは、その値が他の変数に依存して決定できる場合には、スロットにそのような代数式を保持している。

このほか、各種の形態に基づいて導出される、そのような諸変数の間で成立すべき、等式や不等式などの制約条件、目的関数なども、図中の最右部のように定義されており、そのスロットにも具体的な条件式が記述されている。

4.3 代数関係式の記号による表現と操作 以上の表現における各種変数のオブジェクトや、等式や不等式などの制約条件、目的関数などの式のオブジェクトには、上述の代数式をはじめとして、以下の各情報をそれぞれのスロットに保持させる。

expression ... その変数や式を計算するための代数関係式の元来の定義であり、他の変数オブジェク

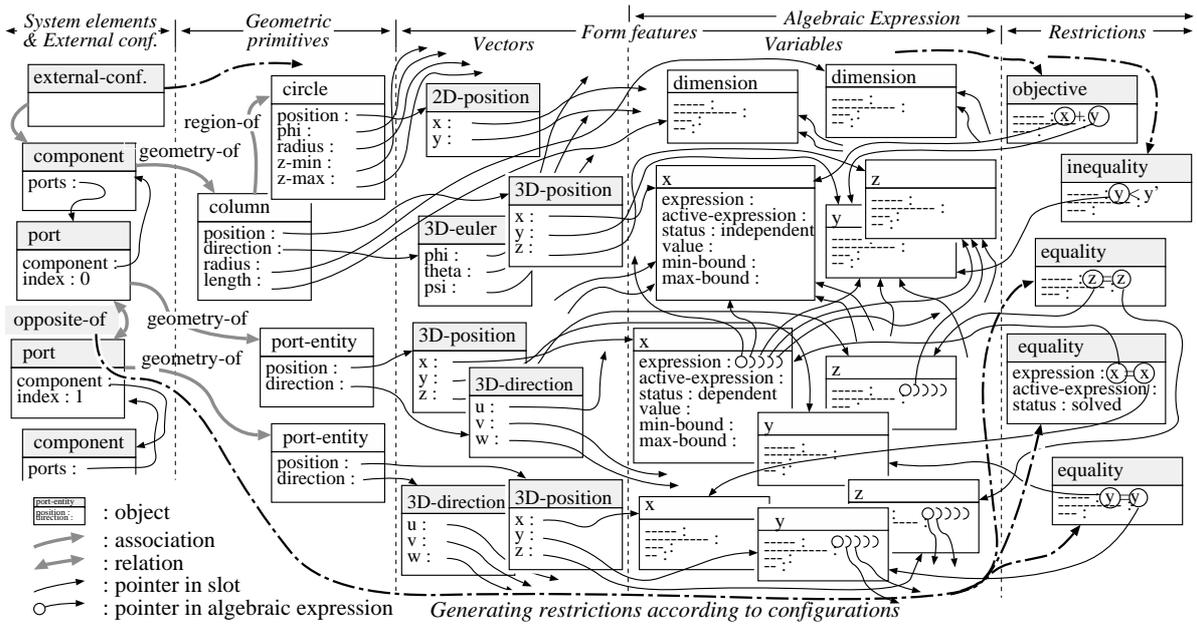


Fig. 2 Object-oriented representation of configuration-driven geometry

トや数値を含んだ代数式がリスト構造を用いて表現されている。

active-expression ... 特定の設計対象の部分に含まれる変数や式を操作するために一時的に代数関係式を保持する作業領域。

status ... 上記の代入による整理を行なった際に、その変数が独立変数になるか、従属変数になるか、数値になるか、あるいは、その式が既に満足されているかどうか、などを表すフラッグ。

value ... さらに、そのような代数式に対して最適化アルゴリズムを適用することにより決定できる特徴量の値<sup>†1</sup>。

upper-bound, lower-bound ... その変数の値の上下限値。

このような変数や式のオブジェクトは、expression および active-expression における変数間の依存関係にしたがって、ある種の有向グラフを構成しており、前者の内容から後者の内容を導出する処理をはじめとして、代数関係に関わる後述の様々な処理は、メッセージ送信によりそのようなグラフを再帰的にたどっていくことにより行なうことができる。

4.4 形状の初期定義方法 図3は、各システム要素とその形状表現を定義するための記述例を示したものである。

図中(a)は、単一の垂直な円柱 (vertical-column) により表現することのできる圧縮機の記述であり、その形状の定義が初期化スロット :geometry に、ポートの位置と方向が初期化スロット :port に記述されている。形状そのものの定義においては、前者は寸法値とその付加情報として「パッケージ内部に設置されること」や「参照面上に設置されること」が記述されるのみで、その  $x$  および  $y$  座標値の定義はなく、実際の値は、形態に基づいた拘束や方向付けにより決定されることになる。一方、ポートの位置については、そのような形状に固定された局所座標系における位置と方向が数値として与えられているものの、絶対座標系におけるそれらの内容は、形状そのものに付随して変化するため、そのような依存関係に基づいた代数式を自動的に導出して、図2に示したオブジェクトによる表現の expression スロットに保持させるようにする。

図中(b)は、熱交換プレートとその形状を三つの垂直な直方体 (even-box, even-box-with-offset) により表現する同様の記述である。

図中(c)は、以上のようにして定義される機器のポートを介しての接続関係を記述した例であり、圧縮機のあるポートと油分離器のあるポートが配管で接続されており、その間にはフィルタと逆止弁が組み込まれることを示している。

4.5 区間代数による形態解析 以上のような形状の定義方法や表現方法のものでは、各特徴量は、記号による代数式によって、他の特徴量に対する関係が

<sup>†1</sup> このスロットは、第1報<sup>(1)</sup>で述べた複数代替案のそれぞれにおける変数値を保持するために、実際には、連想リストになっている。

```
(make-instance 'device
  :name 'compressor-std
  :geometry '(vertical-column :radius 87.0
                             :length 500.0)
  :ports '((:position (rtz r -2.9 320.0)
                   :direction (rtz u v 0.0))
          (:position (rtz r -2.4 456.0)
                   :direction (rtz u v 0.0))))
(define-within 'compressor-std 'package)
(define-settled-on-bottom 'compressor-std)
```

## (a) Definition with a single primitive

```
(make-instance 'heat-exchanger-plate
  :name 'heat-exchanger
  :geometry
  `((even-box
    :x 70.0 :y 320.0
    :z 0.0 :phi ,(/ pi 2.0)
    :width 340.0 :depth 40.0
    :height 1110.0 )
   (even-box-with-offset
    :offset-x 300.0 :offset-y 40.0
    :offset-z 0.0 :offset-phi
    ,(/ pi -2.0)
    :offset-theta 0.0 :offset-psi 0.0
    :width 1162.0 :depth 40.0
    :height 1110.0 )
   (even-box-with-offset
    :offset-x 340.0 :offset-y -1080.0
    :offset-z 0.0
    :offset-phi ,(+ (/ pi -2.0) -1.4)
    :offset-theta 0.0 :offset-psi 0.0
    :width 450.0 :depth 40.0
    :height 1110.0 ))
  :ports
  '((:position (xyz 0.0 12.0 420.0)
   :direction (xyz -1.0 0.0 0.0))
   (:position (xyz 0.0 30.0 10.0)
   :direction (xyz -1.0 0.0 0.0))))
(define-within 'heat-exchanger 'package)
(define-settled-on-bottom 'heat-exchanger)
```

## (b) Definition with plural primitives

```
(define-pipe 'compressor-std 1
  'oil-separator 0
  :diameter 15.0
  :inline-components
  '(filter-comp-std-oil check-valve)
  :piping-space
  '(vertical-column :radius 40.0
                   :length 540.0 :z 0.0))
```

## (c) Definition of a pipe connection

Fig. 3 Initial definition of geometries

明示的に与えられており、また、変数そのものの意味的な性質や付加条件により、特定の変数については、値が固定されたり、取り得る範囲が限定されたりすることから、独立な変数に依存した従属変数の取り得る範囲を、代数的な処理(区間代数と呼ぶことにする)により導出することができる。具体的には、個々の変数の取り得る範囲の境界標を、その従属する変数の取り得る範囲の情報をもとに記号による代数式として連鎖的に表現していき、そのような内容を評価することにより、その範囲を解析するようにする。このような機能により、例えば、対象システムの構成や既知の形状要素の位相的な関係から仮定された形状定義を具体

化できるかどうかを、後述の最適化アルゴリズムを適用するまでもなく、前もって判定するなどの操作を行うことができるようになる。

なお、後出の配管系におけるセグメントとバンドの列を決定する処理は、このような操作の一例である。

**4.6 最適化計算による形状の具体化** 次に、各種の形態情報に基づいて特徴量の値を定め、形状を具体化する操作について述べる。

形態による拘束を具体的な数学的表現に変換した各種条件式は、図2に示したように、対象システムの形態や外部形態、個々の形状プリミティブにおける upper-bound や lower-bound のスロット値に基づいて、関係式クラスのもとにインスタンスオブジェクトを定義した上で、その expression スロットに、具体的な関係式の内容を変数オブジェクトを含んだリストによる代数式表現として保持させるようにする。

そのような制約条件や目的関数のオブジェクトを定義することにより、形状を具体化するための最適化問題が定式化でき、それに対する最適化計算を以下のように行なって、関連する特徴量の値を定める。すなわち、記号による代数関係式の処理により、最適化問題に含まれる関係式や変数のオブジェクトを active-expression スロットの内容を記述しつつ代数関係の整理を行ない、等式制約の関係式についてはある変数について解いた上で、その結果を他の代数式表現に代入し、さらに、関連する変数を変数間の依存関係により独立変数と従属変数に類別する。次に、そのような独立変数を設計変数とした最適化問題に対して、制約条件式や目的関数の内容を C 言語のサブルーチンとして記述し、それを非線形制約条件付最適化問題に対する適当なアルゴリズム<sup>†2</sup>のルーチンとリンクした上で、適切な初期値を与えて最適化計算を実行する。最後に、得られた独立変数の値を他の従属変数の値に伝播することにより、対象となっているすべての特徴量の値を決定して、形状を具体化する。

なお、後出の配管系の配置と形状を決定する処理は、以上の機能を用いた操作の一例である。

**4.7 形態情報の参照による形状操作** 以上の操作のほか、本モデリング法においては、個々の形状プリミティブが導出された背景を明示的に保持されていることから、様々な形状操作において、そのような内容を参照することにより効率化をはかることも期待できる。

例えば、配置処理を行なっていく上で重要となる具

<sup>†2</sup> 本研究では、一例として、準ニュートン法にペナルティ法を組み合わせたアルゴリズムを用いている。

体化された形状相互の干渉チェックにおいては、完全な3次元空間における検査を行なうことなく、個別の形状プリミティブに付随する形態情報に基づいて、特定の参照面上の2次元的な検査により判定することができる場合も多い。また、判定された干渉を解消する処理において、追加すべき形態をどのようなものにするかについても、そのような形態情報の内容は有効なものとなる。

### 5 適用事例

最後に、以上の形状モデリング法による処理の例を、空調機ユニットの配置設計<sup>(2)</sup>における処理の中から示すことにする。

**5.1 区間代数による形態解析の一例** 空調機の主要構成機器の間の配管は、セグメント(直管部)やバンド(曲がり部)から構成され、それらの間には必要に応じて各種のフィルタや弁が設置されている。このような内容を具体的に決定するにあたっては、まず、各主要機器のポートの位置や向き、挿入すべき機器のポート相互の位置関係をもとに、セグメントとバンドの列を設定する必要がある。その際には、構成要素間のポートの向きに矛盾しないことに加えて、できるだけ少ない要素で構成されることや、製作上の都合などにより定められた各要素の最小寸法に対して、各要素の寸法を具体化した場合にそれらが実現可能であることなどが求められる<sup>(2)</sup>。

図4は、以上のような処理の一例として、図3(c)の記述に従い、油分離器と圧縮機との間に逆止弁とフィルタを含んだ配管の列を定める過程を示したものである。図中(a)は、そのような配管系の両端のポートが水平である必要があることから、単一の水平なセグメントを想定した状況を示している。これに対して、各形状プリミティブにおける特徴量の記号による代数式表現をもとに、配管部におけるz方向の座標値の取り得る範囲を解析すると、機器に固定された①と②の高さに対して、セグメントの他端③の高さを①と同一とした場合、②と等しくすることができないことが判明し、そのような配管列が矛盾することを判定することができる。これに対して、③の端を高くする必要があることから、そのような変更を加えるためのパターンを検索し、図中(b)のように変更を行なう。この結果に対して同様の区間代数による解析を行なうと、④は、図中の矢印で示された位置よりも高くすることが可能であり、②と接続できることが判定できる。続いて、図中(c)は、逆止弁を垂直上向きに挿入した状態を示している。この場合も、(a)と同様、⑤を②と接続

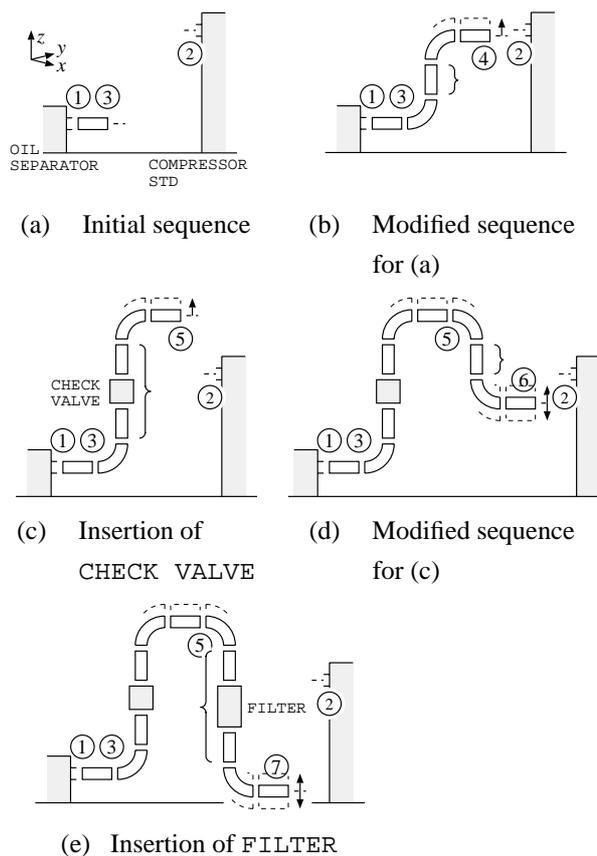


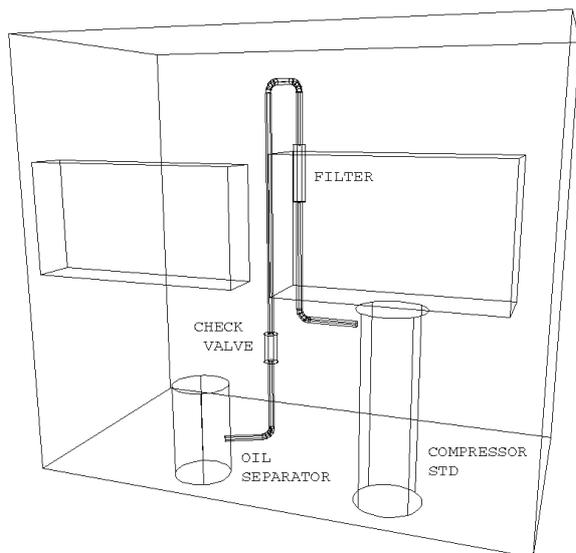
Fig. 4 Configuration verification with interval algebra

できないことが判定でき、それに対して、図中(d)のような変更を行なう。最後に、フィルタを垂直下向きに挿入することにより、図中(e)のような配管要素の列を設定することができる。

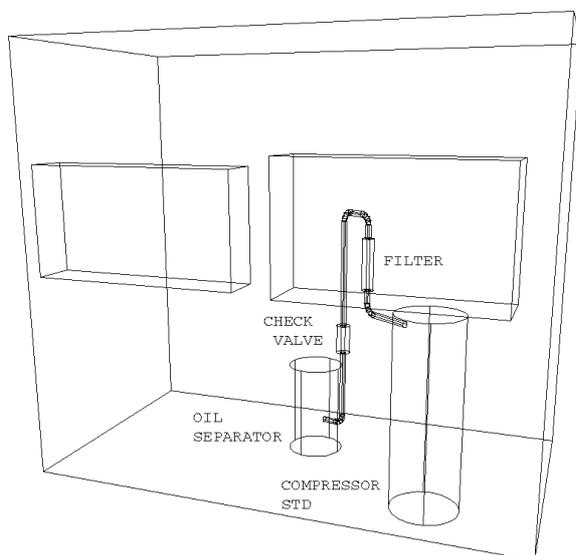
なお、このような内容については、機器を組み込む際の方向についての代替性や、区間代数による解析結果に基づいた修正パターンについての代替性により、最終的には複数の候補列が導出されるが、それらについては、最終的な要素の数などを基準として適切なものを選択するものとする。

**5.2 最適化アルゴリズムによる具体化処理の一例** 上記のようにして、対象の形状プリミティブの構成が定められると、それらに内在する形態情報やそのほかの外部形態をもとに、形状や配置を具体化する処理を行なう。

図5は、そのような処理の一例であり、図4の(e)のように定められたプリミティブ構成に対して最適化問題を定式化し、その最適化計算により具体的な配置や形状を定めている。図中(a)はそのような計算にあたってランダムに生成した初期配置であり、(b)は最適化計算によって得られた形態による拘束や方向付け



(a) Randomly generated arrangement



(b) Embodied arrangement

Fig. 5 Embodying geometry and arrangement through optimization

を反映した配置を示しており、各種の条件を満足し、配管長の短い配置が行なわれていることを確認することができる。

## 6 結言

本研究では、前報<sup>(1)</sup>で提案した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製品設計の枠組のもとでの、形状モデリングの方法について述べた。すなわち、対象システムの構成要素の形状を形状プリミティブもしくはそれらの集合として表現した上で、それらにおける特徴量を記号による代数

式として表現し、そのような表現と形態に関する情報から形状の定性的な性質を解析したり、形態に基づいた拘束や方向付けをもとに最適化計算を行なって形状や配置を具体化することのできる形状モデリングの方法を提案した。このような方法は、設計における様々な操作に連動させて形状や配置を表現・処理できることから、シンセシス処理を含めた総合的な設計支援システムを構成していく上で有効な方法として期待することができる。一方、本報で示した形状モデリング法の具体的な内容は特定の適用対象<sup>(2)</sup>に依存する部分も多く、より一般的なモデリング法とするためには、最適化計算による形状の操作に適切な収束性や安定性を保証することや、特徴量に依存して形状の位相が変化する場合などの状況にも対応できる形状モデリング法<sup>(11)(12)</sup>と連係することなどが求められる。

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) 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) 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.
- (3) 沖野, 自動設計の方法論, (1982), 養賢堂.
- (4) 穂坂・佐田, 統合化 CAD/CAM システム, (1994), オーム社.
- (5) Krause, F. -L. and Jansen, H. (ed.), *Advanced Geometric Modelling for Engineering Applications*, (1990), North-Holland.
- (6) 特集: プロダクトモデルと CAD データ交換国際標準 STEP, 精密工学会誌, 59-12, (1993), 1917.
- (7) Rosen, D. W., Chen, W., Coulter, S. and Vadde, S., Goal-Directed Geometry: Beyond Parametric and Variational Geometry CAD Technologies, *Advances in Design Automation*, DE-Vol. 69-1, (1994), 417-426, ASME.
- (8) Norvig, P., *Paradigms of Artificial Intelligence Programming: Case Studies in Common Lisp*, (1992), Morgan Kaufmann.
- (9) Booch, G., *Object-Oriented Design with Applications*, (1991), Benjamin/Cummings Publishing.
- (10) Steer Jr., G. L., *COMMON LISP — The Language, Second Edition*, (1990), Digital Press.
- (11) Inui, M. and Kimura, F., Using a truth-maintenance system to assist product-model construction for design process planning, *Computer-Aided Design*, 25-1, (1993), 59-70.
- (12) 清水・沼尾, 幾何制約に基づく3次元形状の設計, 人工知能学会誌, 9-1, (1994), 129-138.