

# 溶接製缶品の製作設計支援のための設計対象モデル

章 志 華<sup>†1,†4</sup> 長 澤 勲<sup>†2</sup> 望 月 雅 光<sup>†3</sup>  
山 口 秀 行<sup>†1,†5</sup> 梅 田 政 信<sup>†2</sup>

知的設計支援システムの実現には、設計業務ごとにその特徴に適合した設計対象のモデル化が必要である。著者らは、先にカメラのような精密機器を対象に、その知識ベースを構築するプログラミング手法やレンズ枠設計支援システムを開発した。本論文では、これらの研究を基礎に、溶接製缶品の設計のうち製作設計に着目し、その支援に必要な設計対象モデルを提案した。本モデルは製作設計者が操作する基本単位である機能要素の組合せにより、設計対象を表現する。次に、本モデルを用いて設計手順を整理し、製作設計における上流から下流までの設計情報を一元的に表現、管理できることを示した。最後に、設計実例に適用し、本モデルの表現能力と有効性を検証した。

## A Design Object Model for Manufacturing Design of Welding Vessel Objects

ZHIHUA ZHANG,<sup>†1,†4</sup> ISAO NAGASAWA,<sup>†2</sup> MASAMITSU MOCHIZUKI,<sup>†3</sup>  
HIDEYUKI YAMAGUCHI<sup>†1,†5</sup> and MASANOBU UMEDA<sup>†2</sup>

To develop a knowledge-based design support system, it is necessary to present a design object model which is adaptable for the features of design work of a specific domain. We have proposed the programming techniques for construction of knowledge base for tolerance analysis in camera design and developed a design support system for lens case units of cameras. Based on the research results, this paper focus on the manufacturing design of welding vessel objects and present a design object model for it. In this model, assembly structure of a design object is represented by the essential functional elements used by designers in manufacturing design of welding vessel objects. A detailed manufacturing design process is then performed based on this model and shows the possibilities on integrated representation and management of manufacturing information based on this model. Finally, an application result of a real design problem is shown for the examination of representation ability and effectiveness of the model.

### 1. はじめに

熱交換器やタンク等の耐圧容器は、溶接製缶品と呼ばれる比較的大型の製品である。この分野は定型設計が多いため、分業や標準化が進められ、設計を自動化

するシステムも開発、導入された。これにより設計の生産性は向上し、設計品質は一定になったが、分業により業務が硬直したり、自動化により技術者教育が疎かになる等の弊害が発生した。また、原子力発電プラント等の設計業務のように、新技術に対応した製品開発が求められる新規設計では、従来の定型設計の範囲を越えており、定型設計を支援するシステムは利用できない。新規設計を支援するには、設計者が暗黙に持つ設計知識を設計者自身が体系的に整理できる環境を構築し、体系化した設計知識を組織的に運用することが必要である。このような目的のため、設計対象と設計過程とに関する知識を備えた統合的な枠組みとして、知的設計支援システムが指向されている。知的設計支援システムの実現には設計業務ごとにその特徴に適合した設計対象のモデル化が必要である<sup>1)~5)</sup>。そこで著者らは、設計者が操作する基本単位である機能要素

†1 九州工業大学大学院情報工学研究科博士後期課程  
Graduate School of the Faculty of Computer Science and System Engineering, Kyushu Institute of Technology

†2 九州工業大学情報工学部  
Faculty of Computer Science and System Engineering, Kyushu Institute of Technology

†3 九州工業大学情報科学センター  
Information Science Center, Kyushu Institute of Technology

†4 山陽女子短期大学  
Sanyo Women's College

†5 長菱設計株式会社  
Choryo Design Ltd. Co.

(以下、機能素)を組み合わせて、設計対象をモデル化する接近法を用いて研究を進めている。これまでに民生精密機器の設計対象をモデル化し、知識ベース構築のためのプログラミング手法を整理した<sup>6)</sup>。また、これを用いてばらつき発現モデルを表現し、カメラの鏡枠ユニット設計の設計支援システムに適用した<sup>7)</sup>。これらの研究を基礎に、本論文では、溶接製缶品の設計のうち製作設計に着目し、その支援に必要な設計対象モデルを提案する。製作設計では、基本設計で与えられた設計対象の構造を詳細化し、加工、溶接、組立等の情報を付加しなければならない。

現在までに設計対象のモデル化に関連して次のような研究が行われている。形状フィーチャを拡張し、機能や組立てを表現するフィーチャ<sup>8)~11)</sup>を用意し、設計対象をモデル化する研究は、詳細設計における形状の表現、特に機械加工にかかわる詳細部位の操作を容易にした。また、設計者のメンタルモデルを計算機上に表現した CONMOTO システム<sup>12),13)</sup>は、部品素と呼ぶ、機能を担うと設計者が意図する領域を部品を記述するための構成要素とし、それを局所的空間座標を用いて空間に配置することで設計対象を表現した。しかし、これらの研究は本研究の対象とする溶接製缶品において、基本設計の結果から、詳細形状、加工法、接合法等の決定に至るまでの設計操作を十分には取り扱えない問題がある。

著者らは先に既報<sup>6),7)</sup>において民生精密機器設計のための組立構造を提案した。本論文では、この組立構造の基本概念を上述の問題に対応できるように拡張する。

また、特定の設計分野のシステムとして船舶や航空機の機能設計のための設計対象モデル<sup>14)</sup>や建築物の統合化設計支援システム<sup>15)</sup>等の研究は、定型設計を対象としており、一般に柔軟性を欠くことが多いため新規設計に十分に対応できないことが多い。本研究の手法により、設計対象モデルを設計者自らが構築し、操作できることから、新規設計の支援にも柔軟に対応可能と考える。

## 2. 溶接製缶品の設計の概要

### 2.1 溶接製缶品について

図1に示すように、溶接製缶品は一般に球形胴、円筒胴、フランジ、ノズル、支持構造物等から構成される<sup>16)</sup>。全体として大きな体積を持つため、部品の長さを数メートル程度に分割して製作する。製作には大型の加工機を用い、板材や型加工した鋼材を板曲げ、切断、溶接等により加工する。このため形状は、円筒形

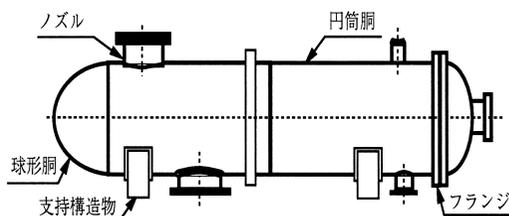


図1 溶接製缶品の例

Fig. 1 An example of welding vessel object.

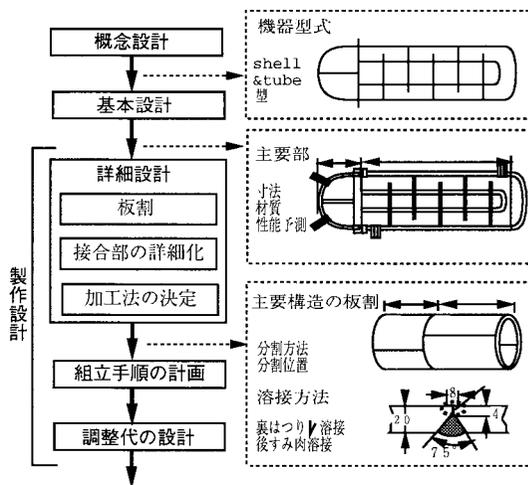


図2 溶接製缶品の設計手順

Fig. 2 Design flow of welding vessel object.

を中心とした単純なものになる。また、加工の対象が大きいこと、溶接による熱歪みが発生すること等の理由から部品の長さを計測し、調整しながら組立てを行う。この作業を現合と呼ぶ。現合を可能にするため、製作時のばらつきを予測し、あらかじめ寸法に余裕(以下、調整代)を設ける。調整代を設けた部品をここでは調整部品と呼ぶ。一般に現合箇所が増えると加工コストが増大するため、現合の箇所は少ないほど良いといわれている。

### 2.2 製作設計の位置

溶接製缶品の設計手順を図2に示す。概念設計では、機器の使用目的や機能要求から構造や機能等の機器型式を決定する。基本設計では、機器の性能を左右する主要部の寸法や材質を決定し、性能予測や強度検証を行う。詳細設計では、穴の位置や強度を考慮し溶接位置を決めるとともに、素材板の大きさや加工機の制限を考慮し、主要部構造の分割方法や分割位置を

標準的な設計手順は存在しない。ここでは熱交換機の設計を例に便宜的に図2のように整理した。

機器型式はシェル・アンド・チューブ型やフィン・チューブ型等がある。

表 1 組立構造の構成要素の例

Table 1 Example of functional elements used in manufacturing design of welding vessel objects.

分類	種類	名称	属性
機能素	主要形状	tube (円筒)	配置座標系, 追い寸の値, 外径, 板厚, 材質等
		tube_section (円筒殻)	配置座標系, 追い寸の値, 外径, 板厚, 材質等
		flange (フランジ)	配置座標系, 追い寸の値, 内径, 板厚, ボルト穴の径, ボルト穴数等
	主要形状の部位	cylcyl_hole (円形穴)	配置座標系, 追い寸の値, 直径, 深さ等
		tube_cut_plane (円筒端面)	配置座標系, 追い寸の値, 直径, 板厚等
追加工	x_groove (X形開先) round (丸み付け)	配置座標系, 追い寸の値, 開先角度, ルート間隔, 開先深さ, 板厚等 配置座標系, 追い寸の値, 半径等	
溶接部	groove_weld (突合せ溶接部) fillet_weld (すみ肉溶接部)	配置座標系, 追い寸の値, 材質, 溶接姿勢, 溶接電流, 層数等 配置座標系, 追い寸の値, 材質, 溶接姿勢, 溶接電流, 層数等	
モジュール	溶接継手	groove_weld_joint (突合せ溶接継手)	配置座標系, 追い寸の値, 板厚, 溶接線長さ, 溶接方向等
		fillet_weld_joint (すみ肉溶接継手)	配置座標系, 追い寸の値, 板厚, 溶接線長さ, 溶接方向等
		nozzle_joint (ノズル継手)	配置座標系, 追い寸の値, 板厚, 溶接線長さ, 溶接方向等
	胴体	body (円筒胴)	配置座標系, 追い寸の値, 材質, 長さ, 重さ, 体積, 圧力等
sphere_body (球形胴)		配置座標系, 追い寸の値, 内径, 高さ, 板厚等	

決める。次に、分割した部分の接合方法や溶接方法の詳細を決め、最後に加工方法を決める。組立手順の計画では、組立ての容易性や現作業に配慮して、組立手順を決める。調整代の設計では、必要な精度を得られない箇所を検討し、組立手順を考慮しながら部品に調整代を設ける。ここでは、詳細設計、組立手順の計画、調整代の設計を総称して製作設計と呼ぶ。

### 3. 設計対象モデルの要件

製作設計の支援に必要なモデルの要件を以下に示す。

(1) 設計対象の表現範囲 溶接製缶品の製作設計にかかわる寸法, 材質, 組立て等の設計情報を取り扱える必要がある。特に, 製作時の誤差の発生と調整部品との関係等の現作業にかかわる設計情報の取扱いにも配慮する。

(2) 設計情報の一元管理 部品や組立品の組立構造を体系的に表現でき, 設計の上流から下流までに使用する設計情報を設計対象モデルを用いて一元的に管理する必要がある。

(3) 設計対象モデルの段階的詳細化 設計の進行にともない設計の詳細が決まるため, 段階的に設計対象モデルを詳細化できる必要がある。

(4) 組立手順の表現 組立手順が決まると調整部品を決定できる。このため, 組立手順の決定に必要な情報を設計対象モデル上に表現できる必要がある。

## 4. 設計対象モデル

### 4.1 組立構造

軸や穴のように他との相互作用により機能を発現す

る部分を機能素と呼ぶ。機能素の選び方は、一般に設計の性質や支援の目的ごとに異なる。本論文では、表1のように整理した。表中、主要形状は、設計者が入手可能なフランジ等の半完成品、あるいは鋼材を加工してできる円筒や円筒殻等の代表的な形状を持つ部材を表す。主要形状の部位は、主要形状に穴加工や切断等の加工を施した際に出現する部位を表す。追加工は、丸み付けや開先加工によりできる部位を表す。溶接部は、溶接にかかわる部位を表す。これらの機能素をもとに部品や組立品の組立構造を再帰的に構成する。以下、機能素、部品、組立品を総称し、組立オブジェクトと呼ぶ。組立オブジェクトは、その特徴を表す属性を持つ。たとえば、表1に示した機能素 tube (円筒) は、配置位置と姿勢を規定する配置座標系や、その形状を規定する外径, 板厚等の属性を持つ。一般に、属性間には従属関係 (以下、属性間関係) が存在する。属性  $a$  が属性  $b_1, \dots, b_n$  によって決まるとき、 $b_1, \dots, b_n$  を  $a$  の下位属性、また逆に  $a$  を  $b_1, \dots, b_n$  の上位属性と呼ぶ。組立オブジェクト間には、全体部分、寸法の追い、追加工等の関係がある。これらを総称して依存関係と呼ぶ。依存関係の例を表2に示す。表中、全体部分関係は組立オブジェクト間の全体と部分の関係を示す。寸法の追いは組立オブジェクトの配置位置を示す。追加工関係は切断加工や穴加工を示す。組付関係は溶接や挿入等の組付方法をそれぞれ示す。取り付け優先順位は取り付け方法が複数ある場合に、組立手順の優先順位を規定する (5章で詳述)。以下、組立オブジェクト  $a$  が組立オブジェクト  $b$  に対して依

モジュールに関しては、4.2節で詳述する。

既報<sup>(6),(7)</sup>では、特に製品の性能や精度、評価等に影響を及ぼす属性を特性と呼び、特性間の従属関係を特性間関係と呼んだ。ここでは、これを属性間の一般的な関係としてとらえる。

本論文では、既報<sup>(6),(7)</sup>に提案した機能素と依存関係の概念を参考にし、溶接製缶品の表現に必要な組立構造を改めて提案する。

表 2 依存関係の例

Table 2 Examples of dependencies.

依存関係の種類	関係名	説明
全体部分関係	part_of	組立オブジェクト間の全体と部分の関係
寸法の追い	transfer rotate	長さ寸法だけ並進 角度寸法だけ回転
追加工関係	cutting hole_making grooving	切断加工 穴加工 突合せの開先加工
組付関係	welding inserting screwing	溶接 挿入 ねじ締め
取り付け優先順位	precedence	取り付けの優先順位の指定

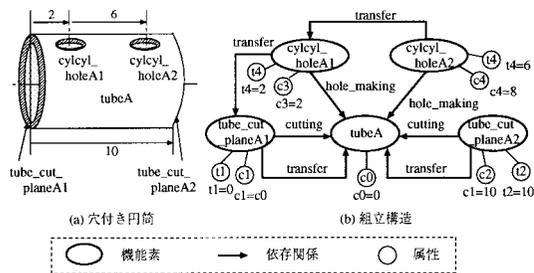


図 3 組立構造の例

Fig. 3 An example of assembly structure.

依存関係  $R$  を持つことを  $a \xrightarrow{R} b$  と表す。

たとえば、図 3 (a) に示す穴付き円筒を組立構造で表現すると図 3 (b) のようになる。図中、楕円は機能素を、矢印は依存関係を、円は機能素の属性を、属性に付与した式は属性値をそれぞれ表す。穴付き円筒は、円筒を表す機能素  $tubeA$ 、円形穴を表す 2 つの機能素  $cylcyl\_holeA1$ ,  $cylcyl\_holeA2$ 、および、円筒端面を表す 2 つの機能素  $tube\_cut\_planeA1$ ,  $tube\_cut\_planeA2$  から構成される。また、属性  $c0, \dots, c4$  は各機能素の位置と姿勢を規定する配置座標系<sup>6)</sup>を、属性  $t1, \dots, t4$  は各機能素の追い寸の値をそれぞれ表す。これらの組立オブジェクト間には、依存関係が付与されている。たとえば、 $cylcyl\_holeA2 \xrightarrow{transfer} cylcyl\_holeA1$  は寸法の追いを表し、円形穴  $cylcyl\_holeA2$  の配置位置が、円形穴  $cylcyl\_holeA1$  を基準に決まることを示す。 $tube\_cut\_planeA1 \xrightarrow{cutting} tubeA$  は、 $tubeA$  に端面を切断加工することを表す。同様に、 $cylcyl\_holeA1 \xrightarrow{hole\_making} tubeA$  は、 $tubeA$  に  $cylcyl\_holeA1$  の穴

追い寸の基準となる組立オブジェクトの配置座標系と追い寸の大きさから該当する組立オブジェクトの配置座標系が決定される。なお、組立オブジェクトの配置位置は拘束条件として扱うこともできるが、ここでは寸法の追いと追い寸の値を表す属性の組で表現した。

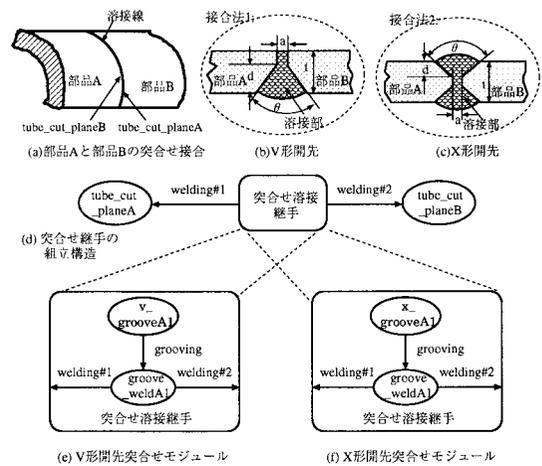


図 4 突き合わせ溶接モジュールの詳細化

Fig. 4 Refinement of assembly structure of grooving weld joint module.

加工することを表す。

#### 4.2 組立構造のモジュール化

簡単のために、図 4 (a) に示す部品 A と部品 B とを突き合わせ溶接する例を用いて説明する。一般に、小さい円筒胴を作るときには、図 4 (b) に示す円筒胴の外側だけを溶接する V 形開先による突き合わせ溶接を、接合部の強度が必要な場合には、図 4 (c) に示す円筒胴の内側と外側を溶接する X 形開先による突き合わせ溶接を選ぶ。このように、設計操作により互いに置き換え可能な組立オブジェクトを代表するものをモジュールと呼び、一般に機能素と同等に取り扱う。モジュールの例は、表 1 に示した。表中、溶接継手は、突き合わせ溶接やすみ肉溶接<sup>17)</sup>を表す。胴体は胴体の構造を表す。モジュールの内部構造は設計の進行に従い詳細化される。またモジュールの内部構造が一意に決まるときには、モジュールの生成時にあらかじめ内部構造を決定してもよい。

突き合わせ溶接継手の例では、次のようになる。図 4 (d) の突き合わせ溶接継手モジュールは溶接の部位を表す。以下、モジュールを丸角の長方形で表す。依存関係  $welding\#1$  と  $welding\#2$  は、部品 A、部品 B の端面  $tube\_cut\_planeA$ ,  $tube\_cut\_planeB$  を溶接することを表す。次に、開先形状を決める。V 形開先を選択した場合には図 4 (e) のように、X 形開先を選択した場合には図 4 (f) のようにモジュールを詳細化すればよい。ここで、開先加工を表す機能素  $x\_grooveA1$  や  $v\_grooveA1$  は開先角度、開先深さ、ルート間隔<sup>17)</sup>等の属性を持ち、突き合わせ溶接部を表す  $groove\_weldA1$  は、溶金材質、溶接姿勢、溶接電流等の属性を持つ。依存関係  $grooving$

表 3 組立構造の基本的な操作  
Table 3 Examples of basic operations for assembly structure.

操作の種類	操作名	操作内容
組立オブジェクトの生成	<code>make_instance(O, Class, attributes(a1(v1), ..., an(vn)))</code>	<i>Class</i> に属する組立オブジェクト <i>O</i> を生成する. $a_i(v_i)$ ( $i = 1, \dots, n$ ) は組立オブジェクト <i>O</i> の属性 $a_i$ の初期値が $v_i$ であることを表す.
依存関係の生成	<code>make_relation(R1, R)</code>	<i>R</i> に属する依存関係 $R_1$ を生成する.
依存関係の取り付け	<code>add_relation(R1, O1, O2)</code>	組立オブジェクト $O_1, O_2$ 間に $O_1 \xrightarrow{R_1} O_2$ となる依存関係を付与する.
依存関係の削除	<code>del_relation(R1, O1, O2)</code>	組立オブジェクト $O_1$ と $O_2$ 間の依存関係 $R_1$ を削除する.
依存関係の収集	<code>get_relation(O, R, R1)</code>	組立オブジェクト <i>O</i> の依存関係 <i>R</i> を集め, $R_1$ に返す.
依存関係の参照	<code>O!R</code>	組立オブジェクト <i>O</i> が依存関係 <i>R</i> により依存する組立オブジェクトを参照する.
依存関係の逆参照	<code>O!inv(R)</code>	組立オブジェクト <i>O</i> が依存関係 <i>R</i> により依存されている組立オブジェクトを参照する.
属性値の追加	<code>add_attribute(O, a, val)</code>	組立オブジェクト <i>O</i> に値 <i>val</i> を持つ属性 <i>a</i> を追加する.
属性値の削除	<code>del_attribute(O, a, val)</code>	組立オブジェクト <i>O</i> の属性 <i>a</i> を削除する.
属性値の編集	<code>edit_attribute(O, a, val)</code>	組立オブジェクト <i>O</i> の属性 <i>a</i> の値を <i>val</i> にする.
属性の参照	<code>O!a</code>	組立オブジェクト <i>O</i> の属性 <i>a</i> の値を参照する.

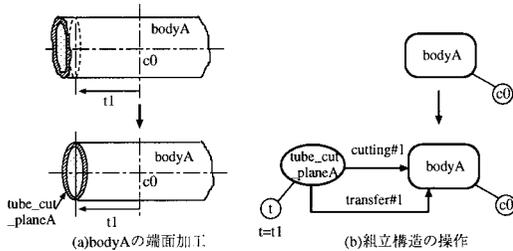


図 5 胴体端面加工における組立構造の操作の例

Fig. 5 Example of assembly structure operation in the end-cut design of a body.

は開先加工を規定する。ここで、モジュールとその構成要素間の関係は全体部分関係であり、モジュールを示す丸角の長方形に構成要素を示す図形を包含させて表した。

4.3 組立構造の操作

組立構造は、表 3 に示す基本操作を用いて行う。ここでは、図 5 に示した円筒胴 bodyA の端面を切断加工する例、および図 4 (e) に示す突合せ溶接継手を詳細化する例を用いて説明する。

図 5 の (a) に示す bodyA に対して、bodyA の基準  $c_0$  から  $t_1$  の位置に円筒端面 tube.cut.planeA の切断を行うと、組立構造は図 5 の (b) ようになる。この操作は図 6 に示す手続き cut.by.plane を用いて実現する。同図の記述形式は Prolog 言語にオブジェクト指向の機能を追加したものである。ここで、body はクラス名、cut.by.plane はメソッド名である。また、::

```

body::cut_by_plane(Self, A, T):-
  make_instance(A, tube_cut_plane,
    attributes(diameter_out(Self!dia_out),
      transfer_dist(T),
        thickness(Self!thickness))), .....(1)
  make_relation(R1, cutting), .....(2)
  add_relation(R1, A, Self), .....(3)
  make_relation(R2, transfer), .....(4)
  add_relation(R2, A, Self). .....(5)
    
```

図 6 胴体端面の切断加工を行う手続き

Fig. 6 A method for the end-cut of body.

はメソッド定義を示す 2 項演算子である。

今、`::cut_by_plane(bodyA, A, t1)` のように呼び出すと、(1) で図 5 の (b) 中の円筒端面  $A = \text{tube\_cut\_planeA}$  を生成する。ここで、`::` はメソッド呼び出しを行う述語である。このとき、`tube_cut_planeA` の属性、外径、板厚の値は、`bodyA` のそれと同じになる。次に、(2) で依存関係  $R_1 = \text{cutting}\#1$  を生成し、(3) で円筒端面 `tube_cut_planeA` を `bodyA` に依存させる。同様に、(4)、(5) において、依存関係  $R_2 = \text{transfer}\#1$  を生成し、`tube_cut_planeA` を `bodyA` に依存させる。なお、説明を容易にするため、生成された依存関係に #1 や #2 のような添字を付与し、識別名とした。

図 4 (e) は突合せ溶接継手モジュールを V 形開先の突合せ溶接継手に詳細化する例である。この操作は図 7 に示す手続き `make_v_groove` を用いて実現できる。

ここで、突合せ溶接継手のモジュール名を `jointAB` とし、`::make_v_groove(jointAB, Theta, D, A, TW, N)` のように呼び出すと、(1) で図 4 の (e) 中の突合せ溶接部  $W_1 = \text{groove\_weldA1}$  を生成し、(2) で V 形開先  $V_1 = \text{v\_grooveA1}$  を生成する。このとき、開先角度  $\theta$ 、開先深さ  $D$ 、ルート面間隔  $A$ 、溶接姿勢  $TW$  等の属性値を与える。次に、(3) で `jointAB` が持

実際に開先加工を施す場所は、部品 A や部品 B の端面である。tube\_cut\_planeA の開先加工の情報は依存関係 `welding#1` と `grooving` との矢印を逆方向にたどり、開先 `v_grooveA1` や `x_grooveA1` の属性を参照すればよい。

```

groove_weld_joint::make_v_groove(Self, Theta,
                                D, A, TW, N):-
  make_instance(W1, groove_weld,
               attributes(weld_posture(TW),
                          num_of_layer(N),
                          groove_angle(Theta),
                          weld_depth(D),
                          root_gap(A),
                          thickness(Self!plate_th)), .....(1)
  make_instance(V1, v_groove,
               attributes(groove_angle(Theta),
                          weld_depth(D),
                          root_gap(A),
                          thickness(Self!plate_th)), .....(2)
  get_relation(Self, welding, [R1, R2]), .....(3)
  add_relation(R1, W1, Self), .....(4)
  add_relation(R2, W1, Self), .....(5)
  get_relation(Self, grooving, [R3]), .....(6)
  add_relation(R3, V1, W1). .....(7)

```

図7 V形開先突合せ溶接継手の詳細化手続き

Fig. 7 A method for refining of a grooving weld joint as a v-groove one.

つ依存関係  $R1=welding\#1$ ,  $R2=welding\#2$  を参照し, (4), (5) で溶接部  $groove\_weldA1$  を  $jointAB$  に依存させる. このとき, モジュールの内側の依存関係と外側の依存関係の識別名を一致させて, それぞれを関連づける. 同様に, (6) で  $jointAB$  が持つ依存関係  $R3=grooving\#1$  を参照し, (7) で  $V1=v\_grooveA1$  を  $W1=groove\_weldA1$  に依存させる.

次に, 表3に示した基本操作と図6, 図7に示した操作手続きを用いて, 一連の設計操作が可能であることを示す. 図8は円筒胴の組立構造を段階的詳細化する例である. 図中(1)で  $make\_instance$  を用いて, 胴体クラス  $body$  から円筒胴  $A=bodyA$  を生成する(①). このとき, 配置座標系  $cood$ , 外径  $diameter\_out, \dots$ , 板厚  $thickness$  等の胴体属性の初期値を与える. 簡単のために, 組立構造の図解には, これらの属性は省略した. (2)で手続き  $cut\_by\_plane$  を用いて,  $T1=t1$  の位置に円筒端面  $A1=tube\_cut\_planeA1$  を,  $T2=t2$  の位置に円筒端面  $A2=tube\_cut\_planeA2$  をそれぞれ生成し,  $bodyA$  に依存させる(②, ③). (3)で手続き  $make\_hole$  を用いて(付録A.1参照), 胴体  $bodyA$  に対して, 追い寸  $T3=t3$  の位置に円形穴  $H1=cylcyl\_holeA1$  を, 追い寸  $T4=t4$  の位置に円形穴  $H2=cylcyl\_holeA2$  を, それぞれ設ける(④, ⑤). このとき,  $cylcyl\_holeA1$  は円筒端面  $A1=tube\_cut\_planeA1$  を,  $cylcyl\_holeA2$  は円形穴

$A2=cylcyl\_planeA1$  をそれぞれの寸法の追いの基準とする. なお,  $D$  は生成された穴の直径である. (4)で手続き  $divide\_by\_2$  を用いて(付録A.2参照),  $bodyA$  を基準  $c0$  から  $T5=t5$  の位置で切断し, 2分割する(⑥). (5)で突合せ溶接継手  $jointA1A2$  を手続き  $make\_v\_groove$  を用いてV形開先突合せ溶接継手に詳細化する(⑦). (6)で円筒胴  $bodyA1$ ,  $bodyA2$  の内部構造を手続き  $refine\_by\_tube$  を用いて(付録A.3参照), 円筒  $tubeA1$  と円筒  $tubeA2$  とにそれぞれ詳細化する(⑧, ⑨).

## 5. 組立手順の表現

### 5.1 組立のための依存関係

組立オブジェクト間の依存関係を用いて, 溶接製品の組立手順を表現する方法を示す. 組立手順を表現するために表2に示した依存関係に, 以下に示す3つの依存関係を新たに追加する.

部品間の取り付け関係 2つの部品の接合部は, 突合せ溶接継手等のモジュールを用いて表現した. しかし, 接合部を表すモジュールとその依存関係だけでは, 2つの部品の取り付ける順序(以下, 部品間の取り付け関係)を決定できない. そこで接合部を表すモジュールとその依存関係を1つの依存関係と考え, 部品の接続の向きを指定する. このために部品の取り付け関係を表す属性を接合部のモジュールに追加する. 図中, モジュール内の矢印を用いて表現する. たとえば, 図9に示すモジュール  $jointAB$ ,  $jointAC$ ,  $jointBD$  である.

部品間の寸法の追い 部品の配置位置が他の部品の配置位置を基準にして決まるとき, 2つの部品間に寸法を追う. これを部品間の寸法の追いと呼ぶ. 組立構造では, 部品間の寸法の追いが決まると, 部品間に寸法の追いを表す依存関係を付与すればよい. 基準となる部品は先に組み立てられる. たとえば, 図9(a)の場合, 今, 部品Cの配置位置から部品Dの配置位置が決まるとすれば, 部品C, 部品Dの順に組み立てればよい.

取り付けの優先順位 部品の取り付け関係や部品間の寸法の追いを決定しても, 組立手順が全順序にならない場合がある. この場合には構成部品の体積や組立ての容易さ等を考慮して, 組立ての優先順位を指定する. 組立構造では, 依存関係  $precedence$  を付与すればよい. たとえば, 図9(a)に示す例の場合, 部品A

部品の基準に依存する寸法の追いは省略する.

この操作は  $bodyA$  に対するものだが,  $bodyA$  は最終的には機能素  $tube$  に展開されるため, 最終的に  $tube$  に対する操作になる.

たとえば, 2つの部品を接合するとき, 一方の部品を先に適当な位置(たとえば工作台)に固定し, 他方の部品をその上に精密に位置決めし, 固定する.

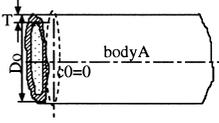
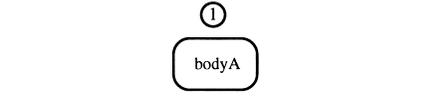
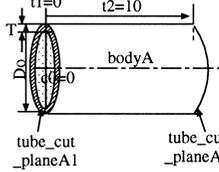
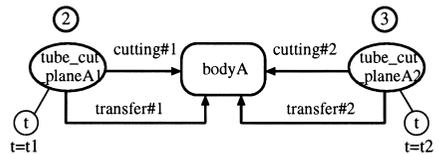
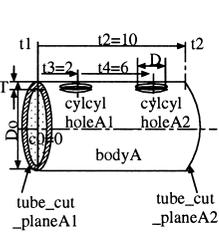
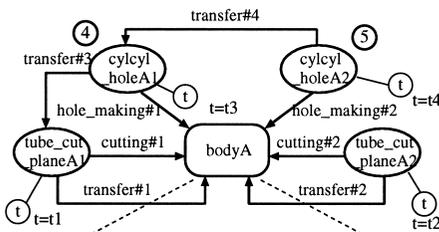
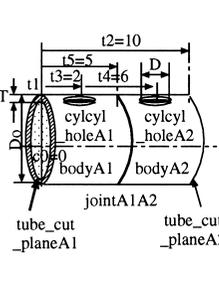
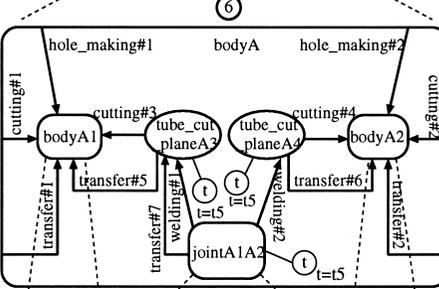
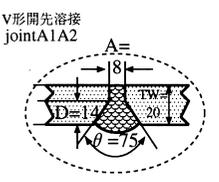
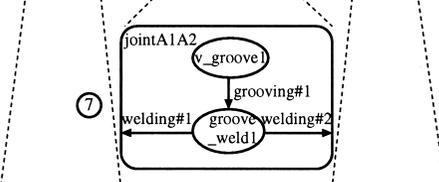
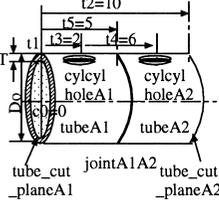
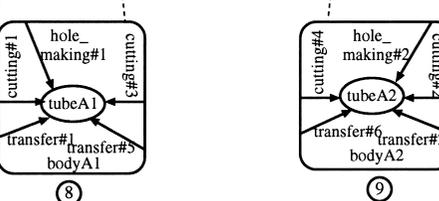
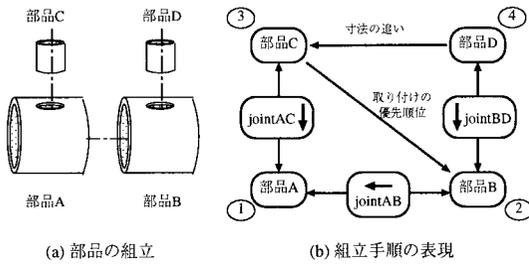
編集操作	図解	組立構造の詳細化
(1)円筒胴bodyAを生成する make_instance(A, body, attributes(cood(C0), diameter_out(Do), ..... thickness(T)))		
(2)円筒胴bodyAの端面を切断する ::cut_by_plane(bodyA, A1, T1) ::cut_by_plane(bodyA, A2, T2)		
(3)円筒胴bodyAに穴を開ける ::make_hole(bodyA, A1, H1, T3, D) ::make_hole(bodyA, A2, H2, T4, D)		
(4)円筒胴bodyAを分割する ::divide_by_2(bodyA, T5)		
(5)突合せ溶接継手jointA1A2をV形開先突合せ溶接継手に詳細化する ::make_v_groove(jointA1A2, Theta, D, A, TW, N)		
(6)円筒胴bodyA1, bodyA2をtubeA1, tubeA2に詳細化する ::refine_by_tube(bodyA1) ::refine_by_tube(bodyA2)		

図 8 組立構造の段階的詳細化における設計操作の例

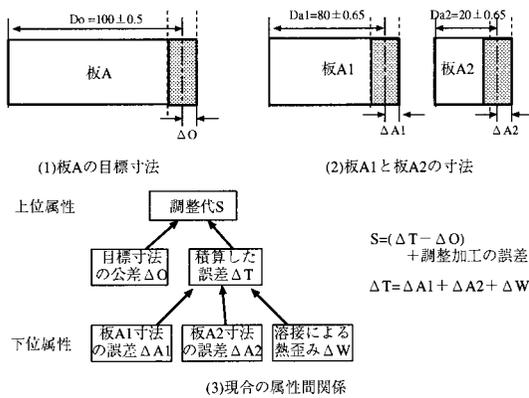
Fig. 8 Example of design operations in stepwise refinement of assembly structure.



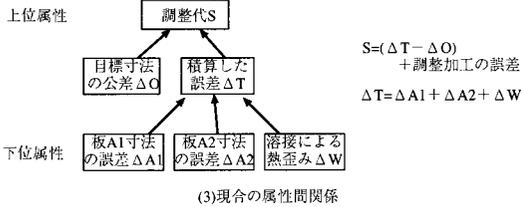
(a) 部品の組立 (b) 組立手順の表現

図 9 組立手順の表現

Fig. 9 Representation of assembly sequence.



(1)板Aの目標寸法 (2)板A1と板A2の寸法



(3)現合の属性間関係

図 10 現合の属性間関係

Fig. 10 Relationships between attributes for adjusting dimensions.

に対して、部品 C と部品 B のどちらを先に組み立てるかを決定できない。今、体積の大きい部品 B を優先するとき、図 9 (b) に示すように組立ての優先順位を指定すればよい。最終的に、組立手順は全順序になり、図中の番号順になる。

5.2 現合のための寸法

2.1 節で述べたように、切断誤差や熱歪み等が原因となり十分な加工精度を得られないときには、部品に調整代を設ける。製作時に、この調整代を用いて要求された寸法（以下、目標寸法）に調整する。

たとえば、図 10 (1) に示す目標寸法  $100 \pm 0.5$  の板 A を図 10 (2) に示す板 A1 と板 A2 とを溶接して作る。今、板の加工精度から板 A1 の寸法が  $80 \pm 0.65$ 、板 A2 の寸法が  $20 \pm 0.65$ 、溶接による熱歪みが  $\pm 0.4$  の範囲で発生するとする。また、一般に寸法  $D_1 = d_1 \pm \Delta d_1$  と寸法  $D_2 = d_2 \pm \Delta d_2$  とを最悪状態で積算（以下、最悪積算）すると、 $(d_1 + d_2) \pm (\Delta d_1 + \Delta d_2)$  となる。ここで板 A1 と板 A2 の長さを最悪積算すると、

部品の寸法は  $100 \pm 0.5$  のような公差付き寸法の形式で与えられる。一般に、100 は称評価、 $-0.5$  は最小許容差、 $+0.5$  は最大許容差と呼ばれる。

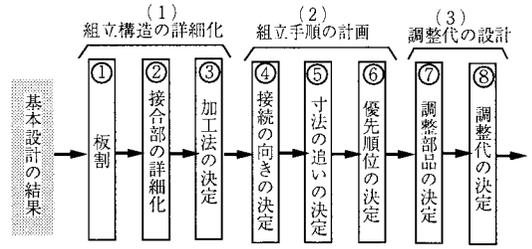


図 11 製作設計の流れ

Fig. 11 Manufacturing design flow of welding vessel object.

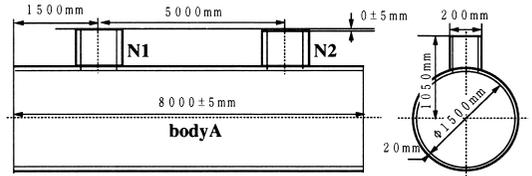


図 12 ノズル付き bodyA の例

Fig. 12 Example of bodyA with nozzles.

$100 \pm 1.7$  となる。以下、積算した寸法を積算寸法と呼ぶ。積算寸法と目標寸法の比較により、現合が可能かどうかを検証する。目標寸法と積算寸法とを比較すると、1.2 小さくなる可能性があることが分かる。ここで調整作業を溶接後に行い、その加工誤差を  $\pm 0.55$  とすれば、調整代 S に 1.75 必要であることが分かる。組立構造では、これら寸法や誤差を属性で表す。また、製作時に発生する誤差と調整部品の調整代とにかかわる属性間の関係は図 10 (3) のようになる。

6. 製作設計の流れ

6.1 製作設計の概要

4 章で提案した設計対象モデルを用いて、製作設計の流れを説明する。製作設計の流れを図 11 に示す。大きく (1) 組立構造の詳細化、(2) 組立手順の計画、(3) 調整代の設計の 3 つの段階で行われる。(1) 組立構造の詳細化では、基本設計で決定した組立構造を、製品の強度や加工機械の制約等を考慮し、製作できるように詳細化する。次に部品の接合方法を決め、部品の加工法や加工精度等を定める。(2) 組立手順の計画では、組立手順を一意に決定できるように、必要な情報を付与する。(3) 調整代の設計では、製作現場の現作業を考慮し、部品に調整代を設ける。

6.2 製作設計の例

図 12 に示す例を用いて製作設計を行う。本例は図 8

ここでは、設計の流れを 4 章で提案した対象モデルを用いた作業の形態によって分類した。

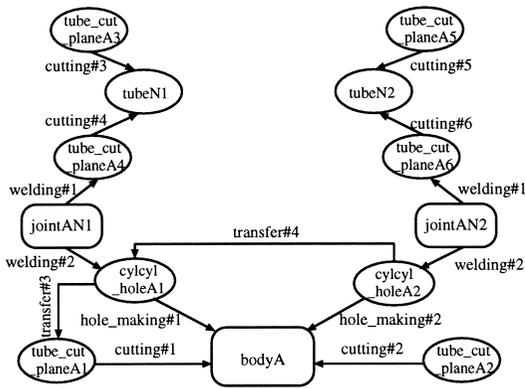


図 13 ノズル付き bodyA の組立構造

Fig. 13 Assembly structure of bodyA with nozzles.

に示した円筒胴 bodyA にノズル N1 とノズル N2 を取り付けたものである。同図は基本設計の結果である。図 12 の組立構造は図 13 のようになる。なお、簡単のために、部品の基準に依存する寸法の追い、および各種の属性は省略する。

6.2.1 組立構造の詳細化

組立構造を製作できるように詳細化する。

①板割 設計者は、強度の保証や製造の容易さを考慮し、分割数や分割位置を決定する。bodyA を長手方向<sup>18)</sup>に均等に 2 分割すれば、図 8 と同様な操作により、組立構造は図 14 のように詳細化できる。ここで、bodyA の詳細化は段階的に行われるが、図中その結果を直接 bodyA の中に記述している。

②接合部の詳細化 接合する部品の板厚や接合の強度要求等の情報を考慮しながら、接合部を詳細化する。たとえば、図 14 中 bodyA1 と bodyA2 の接合部であるモジュール jointA1A2 を詳細化する。jointA1A2 の接合法を V 形開先突合せ溶接継手とすれば、その詳細構造は図 8 の⑦のようになる。同様に、jointAN1 と jointAN2 をそれぞれノズル継手と決定すれば、その詳細構造は、図 15 のようになる。図中、機能素 weld1 は溶接部を表す。機能素 round\_groove1 は開先の詳細形状を規定する。なお、図 14 のモジュール jointAN1 の内部構造は、(nozzle\_joint) のように略記した。jointAN2, jointA1A2 も同様である。接合法を変更するときには、モジュール jointA1A2 等の詳細構造を変更すればよい。

③加工法の決定 各々の部品の加工法、加工精度、そして追加加工による詳細形状を決定する。これらの情

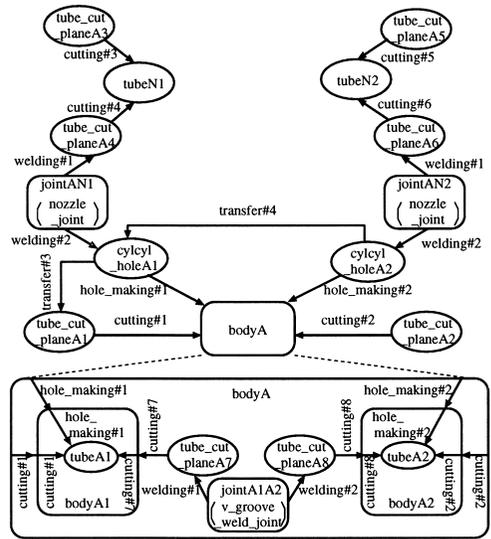


図 14 組立構造詳細化の結果

Fig. 14 Result of assembly structure refinement of bodyA.

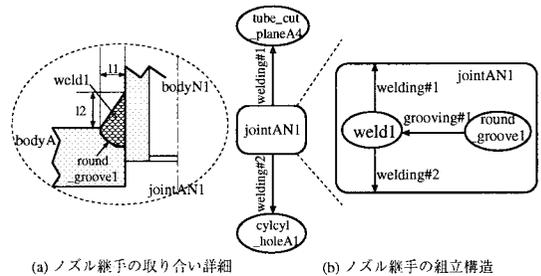


図 15 モジュールによるノズル継手の表現

Fig. 15 Representation of nozzle-joint using assembly structure module.

報は、組立オブジェクトに属性を追加すればよい。たとえば、bodyA1 と bodyA2 の切断加工を「ガス切断」と決定すれば、加工法名「ガス切断」を切断端面の tube\_cut\_planeA1, tube\_cut\_planeA2, tube\_cut\_planeA7, tube\_cut\_planeA8 等の属性に追加する。また、丸みつけ等の追加もここで決定する。

6.2.2 組立手順の計画

5.1 節に示した手法より組立手順を決定する。

④部品間取り付け関係の決定 部品の重さや組立での容易さ等を考慮しながら、接続する部品どうしの取り付け関係を決定する。取り付け順序を表す属性をモジュールに追加する。たとえば、bodyA1, bodyA2, tubeN1, tubeN2 に対して、小型軽量で、位置決めの容易なノズルを胴体に取り付けると決定すれば、取り付け関係は図 16 のようになる。

たとえば、溶接線が十字型にならないように配慮したり、溶接線を穴の位置から一定の距離を取るよう配置する。強度は一般に業界基準や JIS 規格に規定されている。

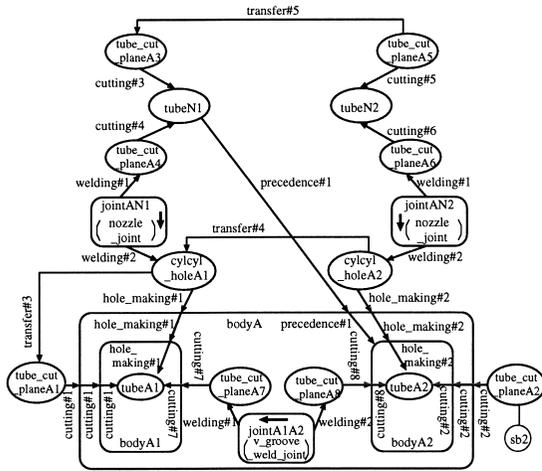


図 16 組立手順の決定  
Fig. 16 The decision of assembly sequence.

⑤部品間の寸法の追いの決定 部品間の寸法の追いかたを決定する。tubeN2の高さとtubeN1の高さの間には、± 5 mmの公差が指定されている。今、tubeN2の高さがtubeN1の高さを基準にして決めるとき、依存関係 tube\_cut\_planeA5  $\xrightarrow{transfer\#5}$  tube\_cut\_planeA3 を付与する。これにより、tubeN1がtubeN2より先に組み立てられることになる。

⑥取り付けの優先順位の決定 組立手順が全順序に決定できないとき、部品間に取り付けの優先順位を指定する。たとえば、bodyA1に対して、tubeN1とbodyA2の取り付け順序は未決定である。今、体積の大きい胴体bodyA2は、ノズルtubeN1より優先と指定すれば、図16のように、依存関係 tubeN1  $\xrightarrow{precedence\#1}$  bodyA2 を取り付ければよい。決定した関係を決めると、組立手順がbodyA1, bodyA2, tubeN1, tubeN2の順に一意に決まる。

6.2.3 調整代の設計

部品製作時の切断加工や溶接作業によりできる寸法の誤差を積算し、調整部品を決め、適切な調整代を設ける。

⑦調整部品の決定 一般に、組立ては積み上げ方式により行うため、後から組み立てられる部品が、調整部品となる。たとえば、図16に示すように、胴体は、bodyA1, bodyA2の順に組み立てられる。bodyA2を調整部品とし、調整代を表す属性sb2をtube\_cut\_planeA2に追加する。またtubeN1とtubeN2を組み立てる際に、寸法の追いかたによりtubeN2が調整部品と決まる。

⑧調整代の決定 5.2節で述べたように調整代を決める。今、③の加工法の決定により、部品の切断法は

表 4 調整部品と調整代

Table 4 Adjustable parts and adjusting dimensions.

部品名	切断加工	溶接法	調整加工	調整代
bodyA2	ガス切断 ± 5 mm	アーク溶接 ± 3.5 mm	旋盤加工 ± 1 mm	9.5 mm
tubeN2	ガス切断 ± 5 mm	ノズル溶接 ± 3 mm	旋盤加工 ± 1 mm	4 mm

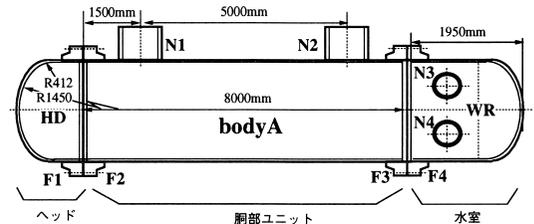


図 17 製作設計の例  
Fig. 17 An example of manufacturing design.

表 5 記述実験の結果

Table 5 Experiment results of vessel design problem.

設計対象名	モジュール数	接合部数	機能素数	依存関係数	調整箇所数
ヘッド	2	1	6 (5)	10 (3)	1
胴部	8	5	25 (8)	56 (5)	2
水室	6	4	20 (9)	43 (5)	2

ガス切断とし、旋盤加工で調整作業をすれば、調整代は表4に示す結果となる。ここでは、tubeN2の調整代は切断、溶接、旋盤加工の誤差と寸法の追いかた許容差 ± 5 mm( 図9 参照)により計算した。なお、bodyA2の曲げ加工による径方向の誤差は無視できるものとした。

7. 記述実験

提案した設計対象モデルの表現能力と有効性を検証するために、溶接製缶品の一般的な設計例を選び、記述実験を行った。図17に発電設備の一部であるCタイプ冷却器の実例を示す。この機器はヘッド部、胴部、そして水室の3つのコンポーネントから構成される。なお、胴部は基本的に6.2節の例と同じである。表5に組立構造の記述結果を示す。表中、機能素を数える際に、接合部を表すモジュールを1つの機能素とした。なお、機能素や依存関係において、()内の値は出現する機能素や依存関係の種類を表す。

記述実験の結果をまとめると次のようになる。溶接製缶品の製作設計に取り扱う設計対象物の組立構造を組立オブジェクトの組合せにより表現できた。また、設計の進行に応じて、設計対象モデルを段階的に詳細化することができた。しかしながら、ゴムの内ばりや

断熱のための保温材のような形状が不定の場合には、十分に記述ができないことが分かった。しかし、この問題は属性の操作と 3D モデルとを統合することによって解決できると認識している。

## 8. ま と め

溶接製品の製作設計に着目し、その設計支援に必要な設計対象モデルを提案した。本モデルは、設計者が操作する基本単位である機能素やモジュールを整理し、これらを用いて設計対象モデルを構築した。また、対象とした設計業務の特色である組立手順と現作業のモデル化が行えた。さらに、本モデルを用いて設計手順を整理し、この設計の流れに従って製作設計を行い、上流から下流までの設計情報を一元的に表現、管理できる可能性を示した。最後に、設計実例への適用により、本モデルの表現能力と有効性を検証した。その結果、3章で述べた一般的な溶接製品の製作設計の支援に必要な設計対象の組立構造、設計情報の一元管理、段階的詳細化等のモデルの諸要件を満たしたと考えている。

本研究の今後の課題は次のとおりである。

本設計対象モデルを実際の設計業務に適用し、製品品質の向上や業務効率の向上における実用性を検証する必要がある。このためには、設計者が実際に本モデルを用いて設計できるように、従来の設計作業と連続性がある操作性の良い利用者環境を持つ溶接製品の製作設計支援システムを構築する必要がある。また、設計者自らが切断や溶接等の加工に必要な設備や工作法にかかわる知識を体系的に整理し、知識ベースを構築できる環境を提供する必要がある。

## 参 考 文 献

- 1) 吉川弘之, 富山哲男(編): インテリジェント CAD, 朝倉書店 (1989).
- 2) 長澤 勲: 設計エキスパートシステム, 情報処理, Vol.28, No.2, pp.187-186 (1987).
- 3) 長澤 勲: 設計の諸相と知的 CAD, 精密工学会誌, JSPE-54-08, pp.29-34 (1988).
- 4) 長澤 勲, 鈴木宏正: 知的 CAD 研究・開発への提言, 精密工学会誌, Vol.60, No.4, pp.483-486 (1994).
- 5) 富山哲男: 知的 CAD の現状と未来, 人工知能学会誌, Vol.7, No.2, pp.187-196 (1992).
- 6) 望月雅光, 長澤 勲, 梅田政信, 樋口達治, 小島崇司: 公差解析のための知識表現言語とそのプログラミング手法, 情報処理学会論文誌, Vol.35, No.9, pp.1922-1935 (1994).
- 7) 小島崇司, 長澤 勲, 樋口達治, 望月雅光,

- 梅田政信, 章 志華: 機械系のばらつき設計を中心としたカメラの鏡枠ユニットの設計支援システム, 情報処理学会論文誌, Vol.38, No.1, pp.131-145 (1997).
- 8) Shah, J.J. and Rogers, M.T.: Assembly Modeling as an Extension of Feature-Based Design, *Research in Engineering Design (USA)*, Vol.5, pp.218-237 (1993).
- 9) Allada, V. and Anand, S.: Feature-based modelling approaches for integrated manufacturing: state-of-the-art survey and future research directions, *Int. J. Computer Integrated Manufacturing*, Vol.8, No.6 pp.411-440 (1995).
- 10) Martti, M. Dana, N. and Jami, S.: Challenges in Feature-Based Manufacturing Research, *Comm. ACM*, Vol.39, No.2, pp.77-85 (1996).
- 11) Yang, F.-C. and Wang, M.-T.: An Object-Oriented Feature-based Computer-aided Design System for Concurrent Engineering, *IEEE Cat. No.92TH0500-9*, 393-8, xvi+711 (1992).
- 12) 伊藤公俊: 設計対象物のメンタルモデル, 人工知能学会誌, Vol.7, No.2, pp.203-211 (1992).
- 13) Ito, M. and Kono, M.: CONMOTO A Machine Part Description System Based on Designers' Mental Processes, *Proc. IFIP W.G. 5.2. Working Conference* (1985).
- 14) 藤田喜久雄, 赤木新介: 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, 日本機械学会論文集, Vol.57, No.535, pp.1058-1065 (1991-3).
- 15) 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, 情報処理学会論文誌, Vol.30, No.8, pp.1058-1067 (1989).
- 16) JIS 圧力容器編集委員会: JIS 圧力容器 解釈と計算例, 日本規格協会 (1981).
- 17) 日本規格協会: JIS ハンドブック 溶接 (1992).
- 18) 日本規格協会: JIS ハンドブック 鉄鋼 (1993).
- 19) Lin, A.C., Lin, S.-Y. and Cheng, S.-B.: Extraction of manufacturing features from a feature-based design model, *Int. J. Prod. Res.*, Vol.35, No.12, pp.3249-3288 (1997).
- 20) Wang, M.-T., Chamberlain, M.A., Joneja, A. and Chang, T.-C.: Manufacturing feature extraction and machined volume decomposition in a computer-integrated feature-based design and manufacturing planning environment, *Computers in Industry*, 23, pp.75-86 (1993).
- 21) 吉岡真治, 富山哲男: 設計支援のための統合モデリング環境の研究, 人工知能学会誌, Vol.13, No.2, pp.312-318 (1998).
- 22) 長澤 勲, 伊藤公俊: 属性モデリング, シミュレーション, Vol.10, No.2, pp.110-118 (1991).
- 23) 章 志華, 長澤 勲, 山口秀行, 望月雅光,

梅田政信：溶接製缶物の製作設計支援のための知識表現，第16回設計シンポジウム講演論文集，pp.40-47 (1998).

- 24) Hauser, M. and Scherer, R.J.: Application of Intelligent CAD paradigms to preliminary structural design, *Artificial Intelligence Engineering*, 11, pp.217-229 (1997).
- 25) 山口秀行，長澤 勲，梅田政信，桜井尚子：発電プラント向け熱交換器設計知識の整理と体系化，第12回設計シンポジウム講演論文集，pp.19-34 (1994).
- 26) 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，Vol.25, No.4, pp.606-613 (1984).
- 27) 山口秀行，長澤 勲，梅田政信，章 志華：プラント機器の基本設計支援のための知識表現，第16回設計シンポジウム講演論文集，pp.33-39 (1998).

## 付 録

### A.1 胴体を穴開けを行う手続き

図 A.1 に胴体を穴開け操作を行う手続きを示す。

図中，(1) で円形穴 H1 を `make_instance` を用いて生成する．次に，(2) で寸法の追い関係から R1 を生成し，(3) で円形穴 H1 を寸法の追い基準となる組立オブジェクト A1 に依存させる．同様に，(4)，(5) において，依存関係 `hole_making` から R2 を生成し，円形穴 H1 を胴体 Self に依存させる．

### A.2 胴体を 2 分割する手続き

図 A.2 に胴体を T の位置で切断し，2 分割する操作を行う手続きを示す。

図中，(1)，(2) で `make_instance` を用いて，円筒胴 A1，円筒胴 A2 をそれぞれ生成する．次に，(3) で Self が持つ依存関係 `hole_making` の集合を取得し，(4)～(6) で Self と生成された円筒胴 A1，円筒胴 A2 とに付与する．ここで，(4) の `splitRsh` は溶接の位置 T に対して，穴の中心位置を調べて，分割した左右の胴体のいずれに所属するかを判定する手続きである．(5)，(6) の `add_relations` は Self と A1，A2 間に依存関係 RA1，RA2 をそれぞれ付与する手続きである．同様に，(7) で Self が持つ依存関係 `cutting` の集合を取得し，(8)～(10) で Self と円筒胴 A1，円筒胴 A2 とに付与する．ここで，(7) の `splitRsc` は切断加工関係を左右に分類する手続きである．また，(11)，(12) で手続き `cut_by_plane` を用いて円筒端面 P1，P2 を生成し，それぞれ円筒胴 A1，円筒胴 A2 に依存させる．(13) で溶接の位置を表す突合せ溶接継手 A3 を生成し，(14)～(19) で必要な依存関係を生成し，突合せ溶接継手

```
body::make_hole(Self, A1, H1, T, D):-
  make_instance(H1, cylcyl_hole,
    attributes(transfer_dist(T),
      dia_hole(D),
      height_hole(Self!thickness),
      cood_ref(A1!cood))), .....(1)
  make_relation(R1, transfer), .....(2)
  add_relation(R1, H1, A1), .....(3)
  make_relation(R2, hole_making), .....(4)
  add_relation(R2, H1, Self). .....(5)
```

図 A.1 胴体を穴開けを行う手続き

Fig. A.1 A method for opening hole in body.

```
body::divide_by_2(Self, T):-
  make_instance(A1, body,
    attributes(diameter_out(Self!dia_out),
      thickness(Self!thickness))), .....(1)
  make_instance(A2, body,
    attributes(diameter_out(Self!dia_out),
      thickness(Self!thickness))), .....(2)
  get_relation(Self, hole_making, R1s), .....(3)
  splitRsh(R1s, T, RA1, RA2), .....(4)
  add_relations(RA1, Self, A1), .....(5)
  add_relations(RA2, Self, A2), .....(6)
  get_relation(Self, cutting, R2s), .....(7)
  splitRsc(R2s, RL, RR), .....(8)
  add_relations(RL, Self, A1), .....(9)
  add_relations(RR, Self, A2), .....(10)
  ::cut_by_plane(A1, P1, T), .....(11)
  ::cut_by_plane(A2, P2, T), .....(12)
  make_instance(A3, groove_weld_joint,
    attributes(transfer_dist(T),
      cood_ref(A1!cood))), .....(13)
  make_relation(R5, transfer), .....(14)
  add_relation(R5, A3, A1), .....(15)
  make_relation(R6, welding), .....(16)
  add_relation(R6, A3, P1), .....(17)
  make_relation(R7, welding), .....(18)
  add_relation(R7, A3, P2). .....(19)
```

図 A.2 胴体を 2 分割する手続き

Fig. A.2 A method for dividing body into two parts.

```
body::refine_by_tube(Self):-
  make_instance(A1, tube,
    attributes(diameter_out(Self!dia_out),
      thickness(Self!thickness)), .....(1)
  get_relation(Self, transfer, R1s), .....(2)
  get_relation(Self, cutting, R2s), .....(3)
  get_relation(Self, hole_making, R3s), .....(4)
  add_relations(R1s, Self, A1), .....(5)
  add_relations(R2s, Self, A1), .....(6)
  add_relations(R3s, Self, A1), .....(7)
```

図 A.3 胴体をチューブに詳細化する手続き

Fig. A.3 A method for body refining by tube.

A3を関連する組立オブジェクトに依存させる。

### A.3 胴体をチューブに詳細化する手続き

図 A.3 に穴付胴体は特に加工することなく、そのまま tube に詳細化する手続きを示す。

図中、(1) make\_instance を用いて、円筒 A1 を生成する。次に、(2)~(4) で円筒胴 Self が持つ依存関係 transfer, cutting, hole\_making の集合をそれぞれ取得し、(5)~(7) で Self と生成された円筒 A1 に付与する。

(平成 11 年 5 月 17 日受付)

(平成 11 年 11 月 4 日採録)



### 章 志華 (正会員)

1964 年生。1987 年中国合肥工業大学コンピュータ応用専攻卒業。1990 年同大学院修士課程修了。同年、安徽対外貿易計算機センター入社。1998 年山陽女子短期大学講師。現在、九州工業大学大学院情報工学研究科博士後期課程在学中。知識表現、設計支援システムに関する研究に従事。人工知能学会会員。



### 長澤 勲 (正会員)

1944 年生。1967 年九州大学工学部電子工学科卒業。1972 年同大学院工学研究科博士課程単位取得退学。1972 年九州大学中央計数施設講師。現在、九州工業大学情報工学部教授 (機械システム工学科)。工学博士。知識情報処理の立場から CAD/CAM、ロボット、医療システム等の研究開発に従事。人工知能学会、日本建築学会、精密工学会、電子情報通信学会、日本機械学会、日本設計工学会、日本ロボット学会各会員。



### 望月 雅光 (正会員)

1968 年生。1991 年近畿大学九州工学部経営工学科卒業。1996 年九州工業大学大学院情報工学研究科博士課程修了。博士 (情報工学)。現在、九州工業大学情報科学センター助手。知識情報処理の立場から設計支援システムの研究に従事。人工知能学会、日本経営工学会各会員。



### 山口 秀行

昭和 34 年生。昭和 57 年長崎総合科学大学工学部機械工学科卒業。同年長菱設計株式会社入社、原子力発電プラントの機器設計に従事。現在、九州工業大学大学院情報工学研究科博士後期課程在学中。知識表現、設計支援システムに関する研究に従事。



### 梅田 政信 (正会員)

1959 年生。1982 年九州大学理学部物理学科卒業。1984 年同大学院工学研究科修士課程修了。1984 年富士通株式会社。1989 年長崎県北工業技術センタ。現在、九州工業大学情報工学部助手 (機械システム工学科)。知識処理の立場から設計支援システム等の研究開発に従事。精密工学会会員。