

377.5

K-11-2

1-101

溶接製缶品の製作設計支援のための
設計対象モデルに関する研究



九州工業大学附属図書館



0010471654

章 志華

**A DESIGN OBJECT MODEL FOR
MANUFACTURING DESIGN OF
WELDING VESSELS**

Zhihua Zhang

**Department of Mechanical Systems,
Faculty of Computer Science and System Engineering,
Kyushu Institute of Technology, Japan**

— 目次 —

第 1 章	序論	1
1.1	研究の背景	1
1.2	研究の目的及び方針	3
1.3	関連研究	5
1.4	論文の概要と構成	9
第 2 章	溶接製品設計の概要	12
2.1	溶接製品について	12
2.2	製作設計の位置	13
2.3	製作設計の現状	15
2.4	第 2 章のまとめ	17
第 3 章	設計対象モデル	18
3.1	設計対象モデルの要件	18
3.2	組立構造	20
3.3	組立構造のモジュール化	24
3.4	組立構造の操作	26
3.5	第 3 章のまとめ	34
第 4 章	溶接製品のモデル化	36
4.1	組立手順の表現	36
4.2	現作業のモデル化	38
4.3	溶接継手の表現	45
4.5	第 4 章のまとめ	51
第 5 章	組立構造を用いた製作設計の流れ	52
5.1	製作設計の概要	52

5.2	製作設計の例	53
5.2.1	組立構造の詳細化	54
5.2.2	組立手順の計画	57
5.2.3	調整代の設計	59
5.3	設計知識を用いた組立構造の詳細化	60
5.4	第5章のまとめ	68
第6章	製作設計支援システムの試作	69
6.1	試作システムの概要	69
6.2	設計対象モデルの編集	73
6.3	設計実験	80
6.3	第6章のまとめ	87
第7章	設計対象モデルの応用	88
7.1	溶接製缶品設計の一貫支援に向けて	88
7.2	見積り積算	90
7.3	製作指示図書の生成	93
7.4	三次元モデルによる評価	97
7.5	第7章のまとめ	99
第8章	結論	100
8.1	研究のまとめ	100
8.2	今後の研究課題	102
謝辞		103
関連論文		104
参考文献		106
附録		112
附録A		112
附録B		117
附録C		121
附録D		129
附録E		134

List of Figures

1.1	属性モデリングに基づく設計対象モデルの考え方	8
2.1	溶接製品例	12
2.2	溶接製品の設計手順	14
2.3	製作図面の例	15
3.1	組立構造の例	23
3.2	突き合わせ溶接モジュールの詳細化	25
3.3	胴体端面加工における組立構造の操作の例	28
3.4	胴体端面の切断加工を行なう手続き	28
3.5	V形開先突き合わせ溶接継手の詳細化手続き	30
3.6	組立構造の段階的詳細化における設計操作の例	32
3.7	マクロな設計操作を行なう手続き	33
4.1	組立手順の表現	38
4.2	現合の属性間関係	40
4.3	調整部品の決定	42
4.4	組立手順	43
4.5	現合作業における誤差と調整代	44
4.6	溶接継手の種類	46
4.7	溶接継手の例	46
4.8	開先形状の例	48
4.9	開先形状と詳細寸法の例	48

4.10	突き合わせ溶接継手の表現	49
4.11	ノズル継手の表現	50
5.1	製作設計の流れ	52
5.2	ノズル付き胴体 bodyA の例	53
5.3	ノズル付き胴体 bodyA の組立構造	54
5.4	組立構造詳細化の結果	55
5.5	モジュールによるノズル継手の表現	56
5.6	組立手順の決定	58
5.7	板割設計の例	62
5.8	D S P の操作環境	63
5.9	開先寸法の決定	66
5.10	公的設計知識支援ツール P E D の環境	67
6.1	支援システムの構成	70
6.2	試作システムの操作環境	72
6.3	オブジェクト操作タブによる属性の編集	74
6.4	ツリーペーンによる組立構造の表現	75
6.5	モジュールの詳細化	76
6.6	端面加工の設計操作	77
6.7	C タイプ水冷却器の例	80
6.8	ヘッド部の記述結果	81
6.9	胴体ユニット部の記述結果	82
6.10	水室部の記述結果	84
7.1	設計対象モデルの応用	89
7.2	溶接工数と加工工数見積り積算の例	91
7.3	溶接費と加工費の見積り積算を行なう手続き	92
7.4	溶接施工要領書の例	94
7.5	製作指示図書の支援	96

7.6	三次元モデルの図形操作の例.....	98
7.7	三次元モデルの図形の差分演算を行なう手続き.....	98

List of Tables

3.1	組立構造の構成要素の例	21
3.2	依存関係の例	22
3.3	組立構造の基本操作	27
4.1	調整方法のモデル化の例	39
5.1	調整部品と調整代	59
5.2	溶接開先形状と寸法の例	64
5.3	手溶接開先の寸法の例	65
6.1	製作設計における組立構造の基本操作の例	79
6.2	ヘッド部の構成一覧	81
6.3	胴体ユニット部の構成一覧	83
6.4	水室部の構成一覧	85
6.5	記述実験の結果	86

第1章 序論

この論文の主題は、溶接製缶品の製作設計支援のための設計対象モデルである。本章では、研究の背景と研究の目的を述べると共に、関連研究や本研究の接近法について述べる。最後に本論文の概要と構成を述べる。

1.1 研究の背景

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。このような製品は、設置場所や使用目的により必要な性能や安全基準が異なることから、一品受注による生産がその大半を占めている。このため製品毎に設計作業が必要である。ここでの設計作業は、過去の設計実績から基本的な構造が同一のものを選び、決まった設計手順に従い細部を設計する方法で行なう。一般にこのような設計方法は定型設計と呼ばれる。これまでに定型設計が多い領域では、設計の生産性が求められることから、機器メーカーでは分業や標準化を進め、設計を自動化するシステムも開発し、導入してきた。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や環境問題に配慮したプラント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、定型設計だけを支援する従来のシステムでは充分とは言えない。

その一方で、経済活動のグローバル化により製造業の国際的な分業が進み、設計技術や生産技術を適切に移転することも必要になってきている。移転すべき技術の整理や移転先の状況に応じた技術者教育の手法を確立する必要がある。

このような問題を解決するためには、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、概ね次のような研究課題が必要である^{1)~5)}。

- (1) 設計業務毎にその特性を把握した設計対象モデルに関する研究。
- (2) 知識ベースの構築に用いる知識表現言語の考案とそのプログラミング手法に関する研究。
- (3) 知識ベースを構築し、それを管理運用するための支援環境に関する研究。
- (4) 製品固有の知識を体系的に整理した知識ベースの構築に関する研究。
- (5) 設計支援システムの構築に関する研究。
- (6) 設計支援システムを用いた設計業務のモデルにする研究。

本研究の位置付けは(1)に相当する。

また、知的設計支援システムを実現するための一般的な研究開発体制について、長澤らにより「知的 CAD 研究開発への提言」⁴⁾としてまとめられている。この提言では、知的 CAD システムの研究開発には、領域専門家(設計者)、領域工学者、知識工学者、そして計算機科学者とが密接な協力体制が重要であると指摘されている。本研究においても同様の研究体制を確立する。ここでの著者の立場は、知識工学者であり、設計対象に関するモデル化や設計作業に関する知識を取り扱うための枠組みの研究役割を担う。

1.2 研究の目的及び方針

本論文では、溶接製品的设计流れのうち、「詳細設計」、「組立手順の計画」、「調整設計」を「製作設計」として総称し、これを焦点に当てて、本研究は溶接製品の製作設計支援システムの構築を目標とし、その製作設計支援に必要な設計対象モデルを提案する。

溶接製品の製作設計では、業種形態が多様である。たとえば、発電プラント用の熱交換器、化学プラントの蒸留器、また食品貯蔵器などがある。本研究の対象は発電プラントに用いられる熱交換器や冷却器のような圧力機器である。それぞれの業種形態に合わせた支援システムを開発するには多くの時間と労力を必要である。また、設計業務現場においても、さまざまな問題点を直面している。ここでは、これら問題点を設計業務の生産性、設計品質の向上、設計者教育の3つの視点から次のように概述できる³⁹⁾。

(1) 設計業務の生産性 図面を描くような観察可能で理解できるような人工作業の支援が中心である。このため設計業務の流れの一部を取り出して個別的に支援するシステムが多く、設計業務全体を一貫して支援するには不十分である。また、これらのシステムは一般に操作が容易でなく、たとえば、製図用 CAD は訓練されたオペレータが必要とする。また各システム間の連続性が悪く、データの移し換え作業も生じさせている。一度導入したシステムが設計業務の生産性を落とすと判明しても、生産設備などの関係から、元の業務形態に戻すことができない。また、効率化を追求する問題向き設計システムは、製品毎に支援できるが、製品モデルが変わるたびに図面の修正が必要となるため、もはや設計自動化になっていないし、設計の実績さえ管理できない。設計業務の生産性の向上には十分な貢献したとは言えない。

(2) 設計品質の向上 設計現場では、設計者の個人差による設計品質のばら

¹ 溶接製品の設計手順については、第2章で詳述する。

つきが存在する。また、図面データの移し変え作業は設計ミスを生じさせる原因の一つであり、設計の品質を低下させる。一方では、問題向き設計システムを利用する場合、システム内で用いられている知識の信頼性の検証が難しく、結果的に設計品質を落す場合がある。

(3) 設計者教育 溶接製缶業界もほかの多くの製造業と同じく、熟練技術者の高齢化や新しい人材の確保が難しいという社会背景により、技術者の不足が問題となっている。当初技術移転を容易にする手段としても考え、導入した問題向き設計システムは、FORTRANのような汎用言語を用いて開発されたため、設計業務に関する知識がプログラム内に隠蔽化され、設計知識の保守管理を困難にしている。このため、設計者教育には役に立たない。

このような問題を克服するには、適切な知識処理技術を基に、溶接製缶品の設計業務を体系的整理し、設計の生産性と品質を高めると同時に、設計技術移転も容易にすることは重要である。特に、設計対象の一元的モデルを用いて設計業務の流れ全体を一貫して支援できなければならない。

設計情報を一元的に管理する方法として属性モデリングパラダイムが考え出されている⁹⁾。このパラダイムの基本的な考え方は、設計対象を設計作業の性質に適した属性の有限集合で表現し、必要な場合に応じて、これらの属性から他の情報を生成できる機構をつき加えた設計対象のモデリング方法である。このパラダイムは従来の形状中心とした設計対象を表現する方法と異なり、形状の操作というより、設計作業の性質に適した設計属性に焦点を与えている。この考え方は、属性操作をベースにした溶接製缶品の設計支援には有意義である。本研究はこのような考え方をもとに、溶接製缶品の製作設計を分析、整理したうえで、設計作業に必要な属性を洗練した設計対象モデルを提案する。とくに、製作設計の上流から下流までにおいて、設計者が行なう各種の設計作業により段階的に詳細化された設計情報を統合的に管理できる枠組みとしての設計対象モデルが不可欠である。

そこで、本研究では、形状情報のみならず、設計上の意味処理や機能との関連

付けを行った設計者が操作する基本単位である機能要素(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. 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.

研究の目的を達成するために, 前節で述べた研究体制のもとに, 次のような方針に従って研究を進める.

- (1) 設計者がほしい支援システムの開発を念頭に, 設計者の振る舞いと特質を十分に考慮し, 設計者との密接な関係のもとに研究を進めていく.
- (2) 着目した設計業務の全体を統一的にモデル化し, 設計業務の上流から下流まで一貫して支援できる必要がある.
- (3) 設計業務に必要な設計資料, 基準や規格などの設計知識は, 本モデルを通じて, 利用できる必要がある. 知識処理を行なう際に, D S P^{33), 34)}や P E Dなどの現存設計知識処理のツールを利用する.
- (4) 設計業務の生産性と設計品質の改善とともに, 設計者の設計(思考)過程を陽に支援できることは重要である. また, 設計者の高齢化に伴う設計知識や技術の継承など問題を重視しなければならない. このため, 本設計対象モデルの実用性と設計教育に役に立つことを配慮する.

1.3 関連研究

ここでは, 本研究に関連すると思われる研究について述べる.

これまでに, 設計対象モデルに関する研究は, 設計対象の実体を表現する実体モデルや対象実体の機能評価, 物理的な現象として解析するための振る舞いモデルのように分類されている¹⁰⁾. また, 現在企業現場の CAD システムの中核となっている汎用の三次元形状モデルに基づくものも多用されている. 特に, 最近 IT

技術とコンピュータ性能の日新月移の進歩によって、高い普及率を持つ。しかし、形状モデルは幾何学的な情報の表現を主体となっているため、属性操作を中心とした設計作業への支援という立場から見ると、現場導入の効果と問題点が存在する。これを可視化効果、統合的な支援、図面化、データ管理、知識管理の側面からまとめると以下のようなになる¹⁴⁾。

可視化効果 3次元 CAD 上の全部品が生産できる詳細モデルであり、納入する状態での可視化と確認が可能になっている。可視化の効果は大きく、サプライヤーと顧客、ベテランと若手、設計と製造部門などの間において、素早く、正確に情報伝達ができ、情報の共有化に有益である。

統合的な支援 配管設計と機械設計のように同一環境で行なえる。組立性が設計の段階で十分に検討ができるようになり、現場での試行錯誤がなくなり、組立作業も容易になった。

図面化 3次元 CAD には、形状モデルから図面を作成する機能がある。三次元情報とプロパティを引き継ぐことができ、転記する作業は軽減できる。しかし、寸法に関しては、寸法の追いを修正したり、寸法線の配置を修正したりする必要がある。

データ管理 3次元ソリッドモデルを基点に業務の流れに沿って独自に開発したツールで作業支援する必要がある。

知識管理 設計業務を整理し、専用ツールを用いて開発することが可能だが、そのツールの保守管理をどうすればよいかは課題である。

上述のように、レイアウトの検証や組立性の検証などのように可視化による効果を期待できる部分については、3次元 CAD が有効に機能する。しかしながら、3次元 CAD では、設計対象の機能そのものを取り扱えないこと、設計者が試行錯誤する過程を取り扱えないこと、設計解の探索ができないことなどがある。特に、本研究の対象である溶接製缶品の製作設計で求める上位属性として、形状的なものが中心ではなく、機能や構造上の設計操作の意味が重要であるため、汎用の3次元 CAD だけでは対応できない。

また、設計と製造分野を対象としたモデル化において、注目すべきフィーチャーベースモデル (Feature-based model) に関する研究がある。このフィーチャー (Feature) は、設計と製造分野において特定の形状特性を表わすために、共通の用語として使用されている。これまでに異なる研究者により特定の研究目的のために、いくつかの定義が与えられた。コンピュータ支援ソフトウェア CAM-I (1981) は、始めて形状フィーチャーを「ワークピースの表面、端あるいは角上で形成された特定の幾何学的な配置で、外観の修正かあるいは与えられた機能を達成することを支援するものである。」との定義を与えた¹²⁾。また、UCLA/NSF (1988) の設計と製造に関するワークショップでは、フィーチャーは「部品のある製造の重要性を備えた一部」、または「設計の機能的な必要条件として、製造工程あるいは物理的性質と関係し、コンピュータが表現可能なデータである。」と表現している¹³⁾。さらに、加工や組立を表現するフィーチャーに関する研究では、形状フィーチャーの定義を拡張し、操作性が向上するほか、加工性と組立性などの情報も表現できるようになるとの主張もある^{14)~16), 25), 26)}。これらの研究により、詳細設計における形状の表現、特に機械加工に係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^{17), 18)} 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により、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充分には取り扱えない問題がある。またフィーチャーベースモデリングの研究におけるフィーチャーは、やはり形状モデルをベースにした考え方のもとに、形状特徴に加工などの意味を加えたものである。このため、製造におけるおのおのの詳細形状を表現したものが多いが、基本的に下流の CAM システムにおける形状操作の利用を前提としており、形状パターンに含まれる設計上の意味を処理するものはない。従って、本研究における設計者が操作する基本単位である機能素の考え方との違いは明らかである。

本研究では、属性モデリングパラダイムに基づいて、設計作業を支援することを前提に、設計者が扱う設計意味上の基本要素を表現し、それを組み合わせることにより、設計対象の組立構造を表現している。図 1.1 はその考え方を示す。設計対象モデルは設計作業の性質に適した属性の集合として、設計流れに沿って段階的に詳細化される。詳細化した設計情報が設計対象モデルをもとに、一元的に管理される。また設計対象モデルをもとに、必要に応じて形状を生成したり、加工フィーチャーを生成したりすることができる。

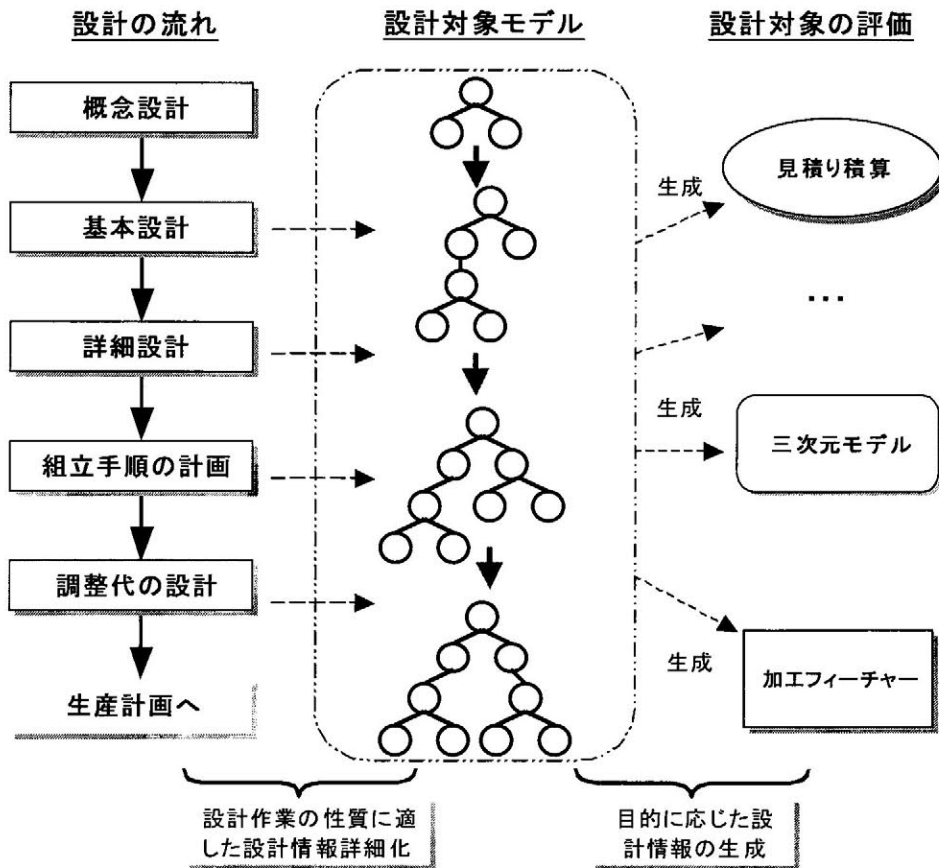


図 1.1 属性モデリングに基づく設計対象モデルの考え方

Figure 1.1 The design object model based on attribute-oriented methodology.

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¹⁹⁾や建築物の統合化設計支援システム²¹⁾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充分に対応できないことが多い。

1.4 論文の概要と構成

本論文では、溶接製缶品の設計の流れのうち、製作設計に着目し、その支援に必要な設計対象モデルの提案した。本設計対象モデルでは、溶接製缶品は板材や型加工した鋼材を使用し、板曲げ、切断、溶接などの作業により製作されることから、機能素を、代表的な形状を持つ主要部材を表す主要形状、主要形状に加工を施した際に出現する部位を表す主要形状の部位、溶接の開先加工などによりできた部位を表す追加工、そして溶接に関わる部位を表す溶接部などに整理した。また機能素には、それを取り扱うために必要な基本操作や設計知識と連携することできる。たとえば、溶接の位置を決めるときに、溶接線を交差させないこと、穴の位置から強度に影響のないように距離を取ること、などの設計知識を分割や溶接に関わる機能素に連携できる。製作設計を行なう際に、製作設計者が主要形状に切断、穴あけ、溶接などの設計操作を用いて、設計対象モデルを編集しながら作業を進め、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、組立などに関わる設計情報を付加する。これにより、決定した設計情報が設計対象モデルを基に一元的に管理することができる。また決まったパターンの製品の製作設計には、自動化することも可能である。これまでの新規設計の対応に柔軟性が欠く従来の問題向き支援システムに対し、本研究の手法により、設計対象モデルを設計者自らが編集し、操作できることから、新規設計に対応可能と考える。また、本設計対象モデルが一元的に管理された設計情報を基に、溶接製缶品設計の一貫支援に向けて、加工工数や溶接工数などの見積り積算、取り合い詳細図や

製作指示書の設計図書の自動生成，また，製品形状の確認や計測器の干渉チェックなどに必要な三次元モデルの生成も可能と考えられる。

本論文は8章から構成される。本章以外の各章の内容は以下に概要する。

第2章では，本研究の対象とする溶接製缶品の製品製作における特徴および設計業務の流れについて概述をし，製作設計の位置付けを示した。

第3章では，提案する製作設計支援のための設計対象モデルの要件，そして，設計対象モデルの基本概念とその操作について述べた。本設計対象モデルでは，基本構成要素の機能素と機能素をもとに構成した部品や組立品を組立オブジェクトとして総称した。組立オブジェクト間における全体部分，寸法の追い，追加工，組み付けや取り付け優先順位などを依存関係として表現した。これにより設計対象の「組立構造」を表現する。組立構造の基本操作を用いて設計対象モデルを構築する。基本操作には，組立オブジェクトの生成，依存関係の編集，組立オブジェクトの属性の編集を行なう際に，内部のデータ構造における操作である。また，これらの基本操作の組み合わせにより，製作設計における端面加工，穴あけ，溶接継手などの作業が行なえる。また，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して定義した。設計対象をモデル化する際に，機能素と同様に取り扱える。この概念により，設計の段階的詳細化が表現できた。

第4章では，設計対象モデルを基に，溶接製缶品のモデル化を行なった。組立オブジェクト間の依存関係により，製作設計に必要な組立手順を表現した。これをもとに，調整のための寸法を表現し，製作現場に必要な現合作業のモデル化を行った。また，溶接製缶品の主要な接合法である溶接継手の表現について論じた。

第5章では，モデルの表現能力を確認するために，本設計対象モデルを用いて，溶接製缶品の設計手順を詳細化し，整理した。それに従い，設計实例のモデル記述を行った。これにより，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．また，設計対象の組立構造を詳細化する際にして，設計知識の取り扱いおよび設計知識を用いた操作について述べた．

第6章では，試作システムの概要について述べた．また，試作システムを用いて，設計実験を行い，提案した設計対象モデルの基本概念や表現手法の有効性と表現力について確認した．

第7章では，溶接製缶品設計の一貫支援に向けて本設計対象モデルの応用について考察した．例として，溶接製缶品設計の支援において重要な役割を果たす，見積り積算，製作指示図書の自動生成，三次元モデルによる評価の3つを取り上げて論じた．

第8章は結論であり，本研究の主な成果をまとめ，今後に残された課題について述べる．

第2章 溶接製缶品の設計の概要

本章では、溶接製缶品の製品製作における特徴および設計業務の流れについて概述をし、製作設計の位置付けを示す。

2.1 溶接製缶品について

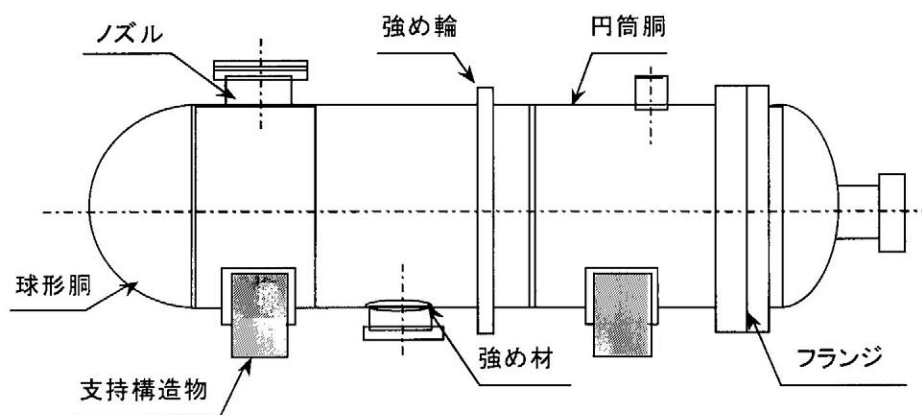


図 2.1 溶接製缶品の例

Figure 2.1 An example of welding vessel object.

図 2.1 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²²⁾。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、円筒形を中心とした単純なものになり、作り方の種類は曲げ、切断、溶接のように数が限られている。また、加工対象が大きいこと、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、調整しながら組立を行なう。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、予め寸法に余裕(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 2.2 に示す²。

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³。

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なう。

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、組立の容易性や現合作業に配慮して、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。

²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 2.2 のように整理した。
³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。

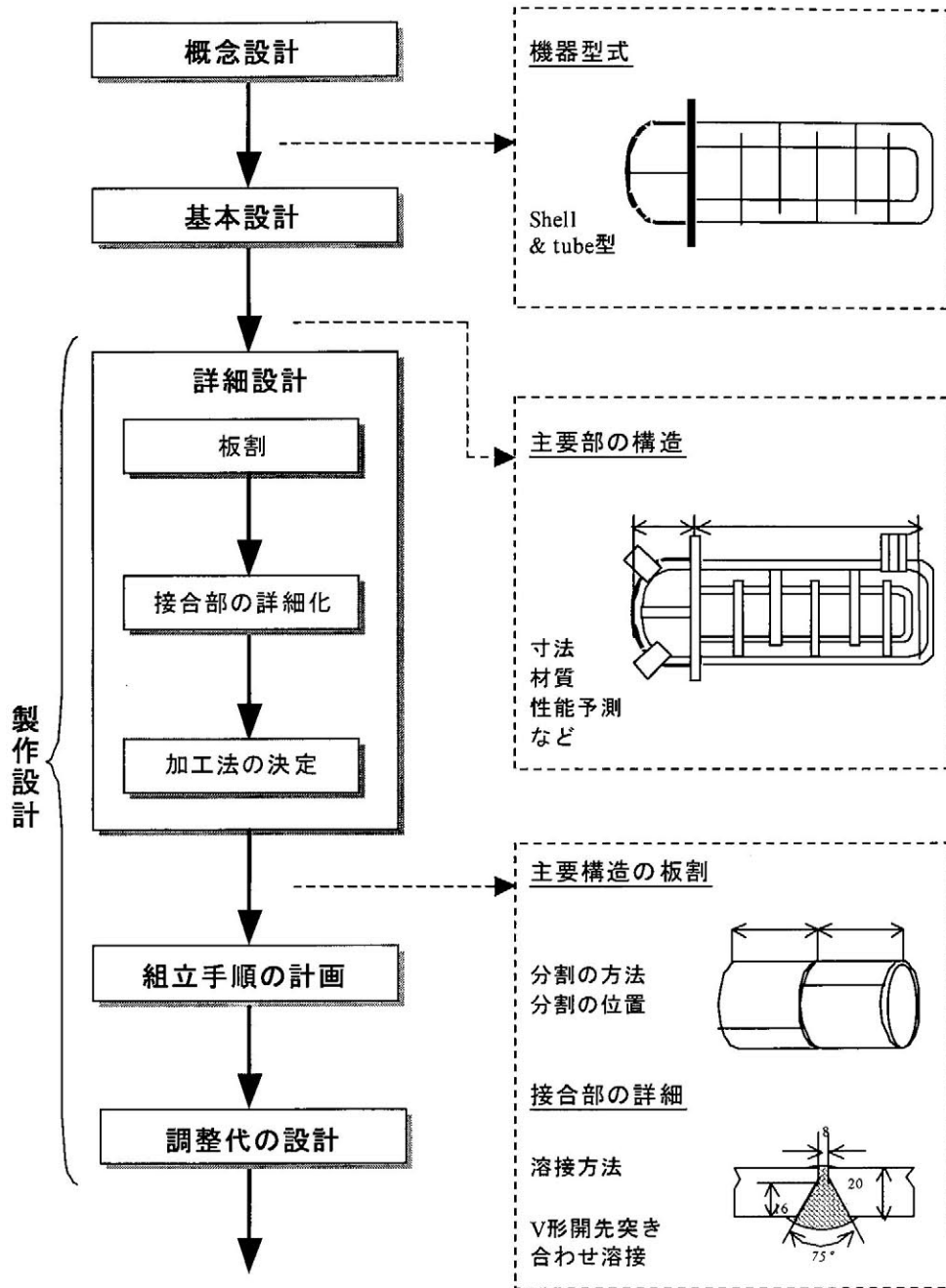


図 2.2 溶接製缶品の設計手順

Figure 2.2 Design flow of welding vessel object.

2.3 製作設計の現状

溶接製品物の製作設計の現状では、図 2.3 に示すような図面に頼って行なうのが一般的である。設計部門の設計結果を紙ベースの図面や製作指示図書として工場側の製作現場に渡し、製作作業者は図面や製作指示書などを参照しながら加工や溶接作業を行なう。

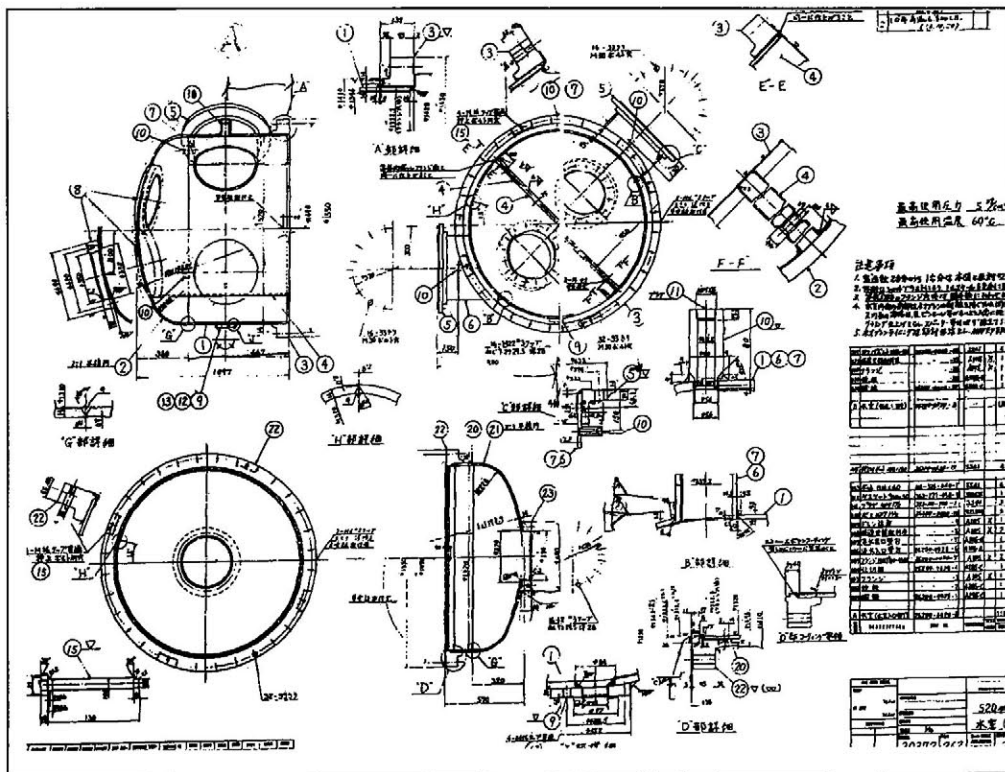


図 2.3 製作図面の例

Figure 2.3 An example of manufacturing drawing.

このように、設計対象の製作に係わる各部位の詳細寸法、材質、加工や追加工に関する製作情報、また、部品と部品を溶接するための取り合い詳細情報や製品

の組立などに関する設計情報のすべては紙ベースの図面に散在する。また、設計で使われる設計資料や設計知識も散在する。これらにより、設計情報を一元的に管理することが困難であり、また製品モデルが変わるたびに、図面を書き直す作業が必要となり、製作設計の知的生産性が低いと考えられる。

また、製作設計の固有知識として、製作現場に用いる現合作業の方法は熟練者が暗黙に持つ経験に頼り、明確的に整理されておらず、その表現手法も確立されていない。また、調整作業に必要な組立手順の表現方法も確立する必要がある。さらに、溶接製缶の製作に主な接合手段として使われている溶接作業において、溶接継手のように部品同士の取り合い詳細情報は、接合する部品を決定した後からきめられるものであり、それを計算機上で取り扱うための表現方法も確立する必要がある。提案する設計対象モデルでは、これらの問題点を配慮する必要がある。

2.4 第2章のまとめ

第2章では、溶接製缶品の特徴およびその設計の概要について述べた。また設計流れの説明により製作設計の位置付けをした。以下に要約する。

- (1) 溶接製缶品は、一般に大型の体積を持ち、円筒胴や球形胴のような単純な回転体の胴体を持つ構造物である。製作には大型の工作機器が必要とする。また、製品は板材や型加工した鋼材を使用し、板曲げ、切断、溶接などにより加工される。
- (2) 製品は一品受注生産を行なう場合が多い。このため、生産性の高い設計作業が求められると同時に、安全基準に基づいた製品の信頼性も要求される。
- (3) 製作の際に、精度よく組み立てできるために、計測、調整しながら、現場合わせ作業を行なう必要がある。このことを設計の段階で配慮し、調整設計という手順で対処する。
- (4) 設計作業は与えられた設計要求に対して、その機能を有する対象物の像である設計案を導出する行為であり、一般に概念設計、基本設計、詳細設計、生産設計というように分けられるが、本論文では、溶接製缶品の設計の概念設計、基本設計、詳細設計、組立構造の計画、調整設計という流れのうち、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んだ。
- (5) 現状の溶接製缶品の製作設計では、製品製作に係わる詳細寸法、加工法、部品同士の取り合い詳細や製品の組立に関する設計情報のすべては紙ベースの図面に散在する。これらにより設計情報を一元的に管理することが困難であり、製品モデルが変わるたびに図面を書き直す作業が必要などの問題がある。

第3章 設計対象モデル

本章では，提案する溶接製缶品の製作設計支援のための設計対象モデルに必要な要件，そして，設計対象モデルの基本概念およびその操作について述べる．

3.1 設計対象モデルの要件

序論で述べたように，現状のシステムは設計支援能力や一貫した設計対象モデルが欠乏し，設計知識の共有や保守性の困難などの問題点がある．また現状の溶接製缶品のような大型製品の製作は，人工作業の製作図面に依存しているため，設計対象を表現するためのモデル化手法が確立されていない．また，製作現場に用いられる現合作業の表現手法の確立や組立手順の表現が必要であり，さらに，溶接継手のように部品同士の取り合い詳細情報は，計算機を用いた取り扱い方法も確立しなければならない．これらの問題点から，本論文は製作設計の支援に必要な設計対象の一元的モデルの提案として，組み立てられた構造を表現することのほか，組立手順，現合作業などの製作に必要な設計情報を統合的に表現できなければならない．

以下，溶接製缶品の製作設計の支援に必要な設計対象モデルの要件を示す．

(1) 設計対象の表現範囲

溶接製品品の製作設計に係わる寸法、材質、組立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、寸法の調整と調整部品との関係等の現合作業に係わる設計情報の取り扱いにも配慮する。

(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が、提案した設計対象モデルを用いて一元的に管理できる必要がある。

(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対象の詳細が決まる。このため、段階的に設計対象モデルを詳細化できる能力を持つ必要がある。

(4) 組立手順の表現

大型製品であるため、積み上げ方式による組立作業が利用されることは一般的である。精度よく組み立てできるために、計測、調整しながら、現合作業を行なう必要がある。このことを設計の段階で配慮し、調整部品を設けることで対処する。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。

(5) 取り合い詳細情報の表現

溶接製品品の組み立てられた構造を表現するには、溶接部のような取り合い詳細の組立構造の扱い方法の確立が必要である。提案する設計対象モデルはこの取り合い詳細情報の表現を明確にする必要がある。

3.2 組立構造⁴

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。機能素は設計者が設計対象を操作する基本単位であるため、これを組立構造の構成要素とする。機能素の選び方は、一般に設計作業の性質や設計支援の目的毎に異なる。溶接製缶品の製作設計において、設計者が操作する基本単位が主に製品胴体などの主要部の形状や胴体の端面や穴の製作にかかわる部位、また追加工や溶接作業に関する部位などに関連する。

本論文では、溶接製缶品の製作設計にもちいる機能素を表1のように整理した。表中、モジュールに関しては、3.3節で詳述する。ここで、主要形状は、設計者が入手可能なフランジ等の半完成品、あるいは鋼板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、溶接に関わる部位を表す。

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 3.1 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⁵)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。

⁴ 本論文では、既報 6), 7) 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。

⁵ 既報 6), 7) では、特に製品の性能や精度、評価など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。本論文では、これを属性間の一般的な関係として捉える。

表 3.1 組立構造の構成要素の例

Table 3.1 Examples 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) tube_section(円筒殻) flange(フランジ)	配置座標系, 追い寸の値, 外径, 板厚, 材質等 配置座標系, 追い寸の値, 外径, 板厚, 材質等 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) tube_cut_plane(円筒端面)	配置座標系, 追い寸の値, 直径, 深さ等 配置座標系, 追い寸の値, 直径, 板厚等
	追加工	v_groove(V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) fillet_weld_joint(すみ肉溶接継手) 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 配置座標系, 追い寸の値, 板厚, 溶接線長さ, 溶接方向等 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) sphere_body(球形胴)	配置座標系, 追い寸の値, 材質, 長さ, 重さ, 体積, 圧力等 配置座標系, 追い寸の値, 内径, 高さ, 板厚等

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 3.2 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

表 3.2 依存関係の例

Table 3.2 Examples of dependencies between assembly objects.

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 穴あけ加工 突合せの開先加工
組み付け関係	welding screwing inserting	溶接組み付け ねじ締め 挿入組み付け
取り付け優先順位	precedence	取り付けの優先順位の規定

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(4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 に対して依存関係 R を持つことを $a \xrightarrow{R} b$ と表す。

たとえば、図 3.1(a)に示す穴付き円筒を組立構造で表現すると図 3.1(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 $tubeA$ 、円形穴を表す二つの機能素 $cylyl_holeA1$, $cylyl_holeA2$ 、および、円筒端面を表す二つの機能素 $tube_cut_planeA1$, $tube_cut_planeA2$ から構成される。また、属性 $c0$, ..., $c4$ は各機能素の位置と姿勢を規定する配置座標系を、属性 $t1$, ..., $t4$ は各機能素の追い寸の値をそれぞれ表す。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。

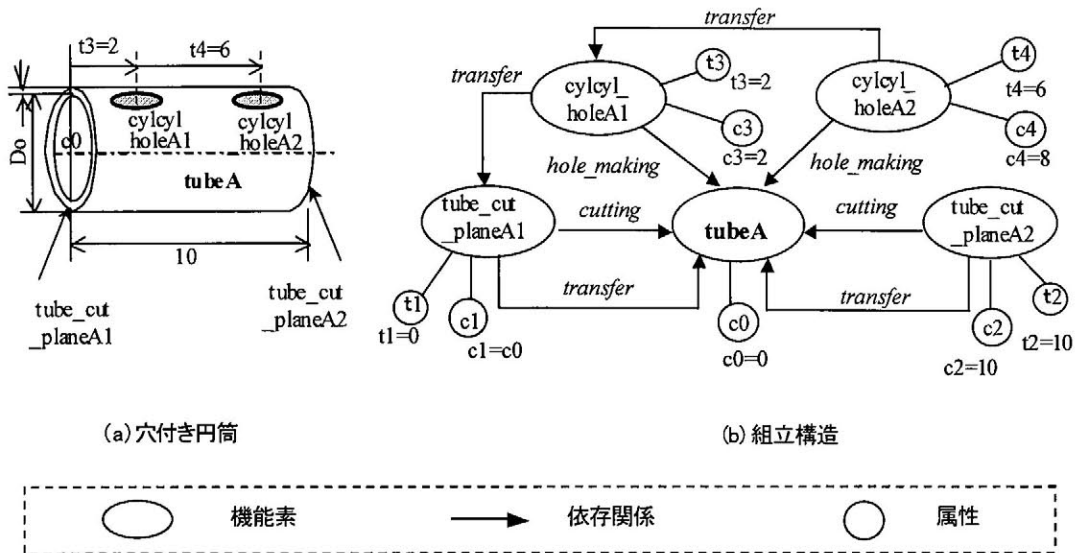


図 3.1 組立構造の例

Figure 3.1 An example of assembly structure.

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、 $\text{cylcyl_holeA2} \xrightarrow{\text{transfer}} \text{cylcyl_holeA1}$ 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。 $\text{tube_cut_planeA1} \xrightarrow{\text{cutting}} \text{tubeA}$ は、 tubeA に端面を切断加工することを表す。同様に、 $\text{cylcyl_holeA1} \xrightarrow{\text{hole_making}} \text{tubeA}$ は、 tubeA に cylcyl_holeA1 の穴加工することを表す。

3.3 組立構造のモジュール化

簡単のために、図 3.2(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時には、図 3.2(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 3.2(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 3.1 に示した。表中、溶接継手は、突き合わせ溶接やすみ肉溶接²³⁾を表す⁶。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時には、モジュールの生成時に予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 3.2(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 3.2(e)のように、X 形開先を選択した場合には図 3.2(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²³⁾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 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。

⁶ 溶接継手の表現について、第 5 章の第 4 節で詳述する。

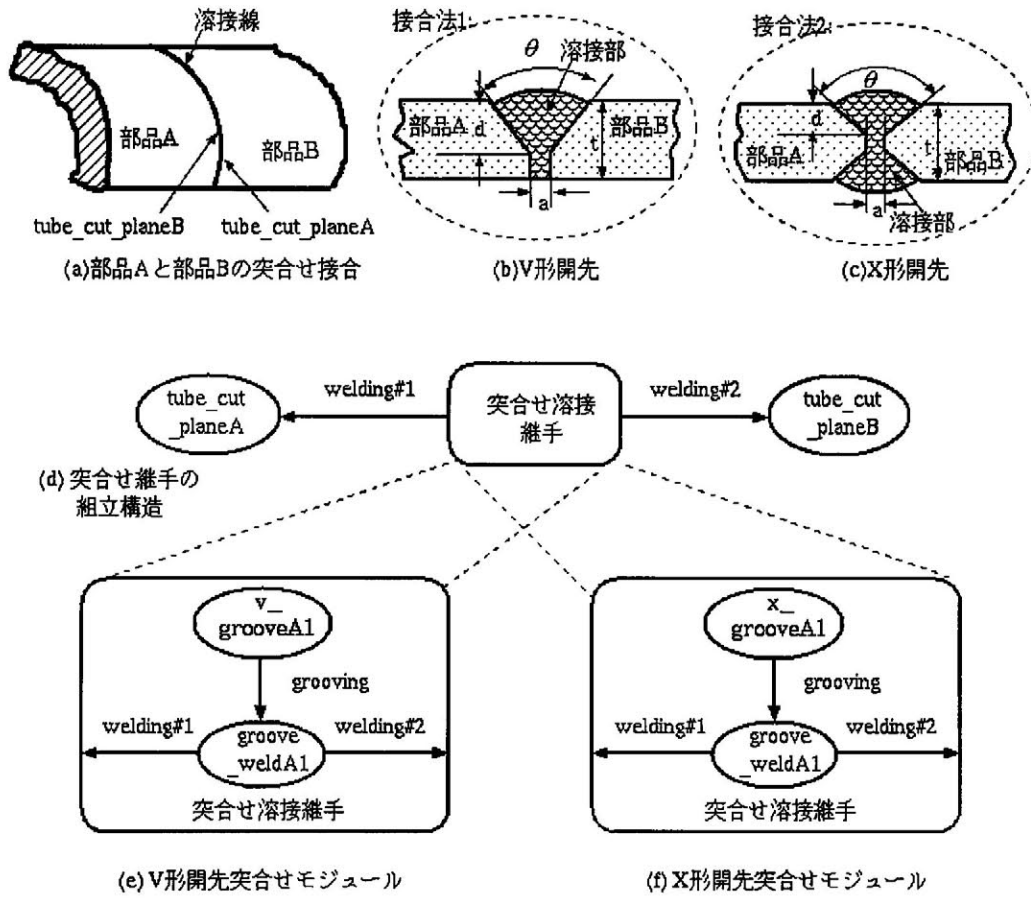


図 3.2 突き合わせ溶接モジュールの詳細化

Figure 3.2 Refinement of the assembly structure of grooving weld joint module.

3.4 組立構造の操作

組立構造の構築は、表 3.3 に示す基本操作を用いて行なう。基本操作は、組立オブジェクトの生成、依存関係の編集、組立オブジェクトの属性の編集など、設計対象モデルのシステム内部におけるデータ構造を構築する際に必要な内部操作である。たとえば、端面加工や穴あけのように、製作設計作業における組立構造の操作がある。これらの操作は基本操作の組み合わせにより行なうことができる。ここでは、図 3.3 に示した円筒胴 `bodyA` の端面を切断加工する例、および図 3.2(e) に示す突き合わせ溶接継手を詳細化する例を用いて、組立構造のための基本操作について説明する。

まず、図 3.3 の(a)に示す円筒胴 `bodyA` に対して、`bodyA` の基準位置 `c0` から `t1` の長さに離れたの位置 `c1` に円筒端面 `tube_cut_planeA` の切断加工を行なうと、組立構造は図 3.3 の(b)ようになる。この製作設計における切断加工の基本操作 `cut_by_plane` は、図 3.4 に示す手続きを用いて実現する。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、`::`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 3.3 の(b)中の円筒端面 `A=tube_cut_planeA` を生成する。ここで、`::`はメソッド呼び出しを行なう述語である。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 `R1=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 `R2=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。

表 3.3 組立構造の基本操作

Table 3.3 Examples of the 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(a(v₁), ..., a(v_n)))</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(RI, R)</code>	<i>R</i> に属する依存関係 <i>RI</i> を生成する.
依存関係の取り付け	<code>add_relation(R, O1, O2)</code>	組立オブジェクト <i>O1</i> , <i>O2</i> 間に $O1 \xrightarrow{R} O2$ となる依存関係を付与する.
依存関係の削除	<code>del_relation(RI, O1, O2)</code>	組立オブジェクト <i>O1</i> と <i>O2</i> 間の依存関係 <i>RI</i> を削除する.
依存関係の収集	<code>get_relation(O, R, RI)</code>	組立オブジェクト <i>O</i> の依存関係 <i>R</i> を集め, <i>RI</i> に返す.
依存関係の参照	<i>O!R</i>	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	<i>O!inv(R)</i>	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	<i>O!a</i>	組立オブジェクト <i>O</i> の属性 <i>a</i> の値を参照する.

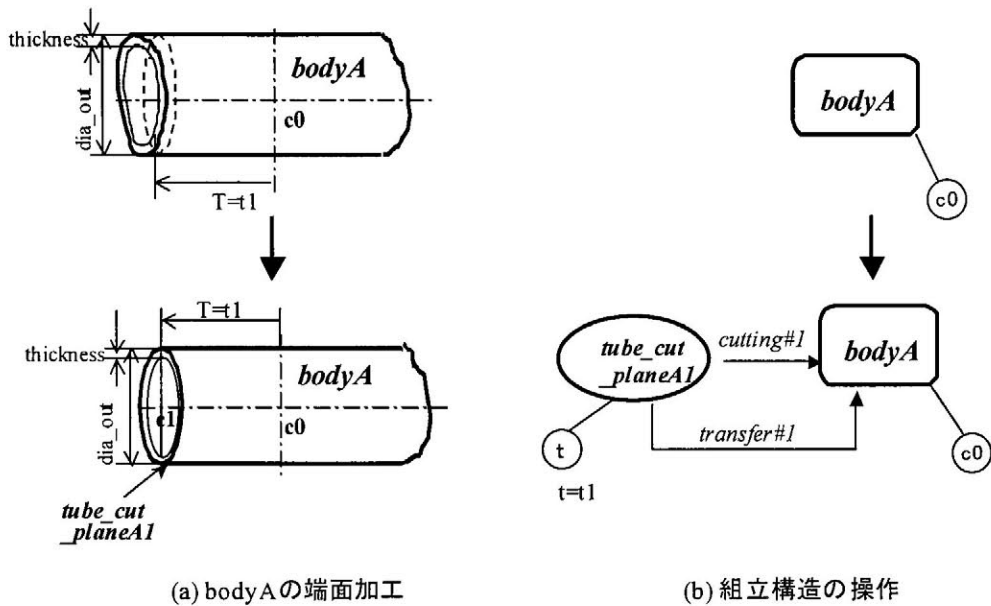


図 3.3 胴体端面加工における組立構造の操作の例

Figure 3.3 An example of assembly structure operation in the end-cut design of a body.

```

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 3.4 胴体端面の切断加工を行なう手続き

Figure 3.4 A method for the end-cut of a body.

図 3.2(e)は突き合わせ溶接継手モジュールを V 形開先の突き合わせ溶接継手に詳細化する設計の例である。この操作は `make_v_groove` を用いて実現できる。図 3.5 にその手続きを示す。

ここでは、突き合わ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 3.2 の(e)中の突き合わせ溶接部 `W1 = groove_weldA1` を生成し、(2)で V 形開先 `V1=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 3.3 に示した基本操作と図 3.4、図 3.5 に示した操作手続きを用いて、一連の設計操作をマクロ的に行なうことができる。ここでは、図 3.6 を例に、一連の設計操作が可能であることを示す。

```

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 3.5 V 形開先突き合わせ溶接継手の詳細化手続き

Figure 3.5 A method for refining of a grooving weld joint as a v-groove.

図 3.6 は円筒胴の組立構造を段階的詳細化する例である⁷。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`、…、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)⁸。(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、二分割する(⑥)。(5)で手続き `make_v_groove` を用いて、突き合わせ溶接継手 `jointA1A2` を V 形開先突き合わ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)。ここでは、(1)、(2)、(3)、(4)、(5)、(6)の一連操作は、図 3.7 に示すマクロ操作手続き `make_2divCH_jointv` でまとめることができる。

⁷ ここでは、簡単のため、部品の基準に依存する寸法の追いは省略する。

⁸ 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。

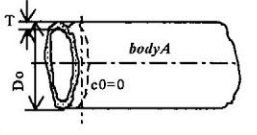
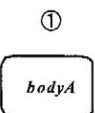
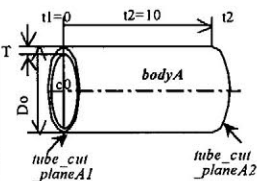
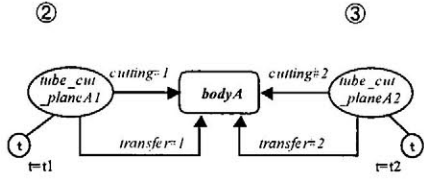
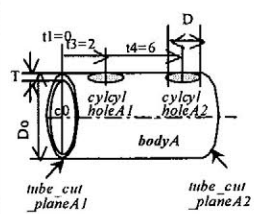
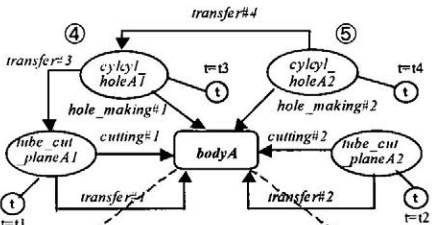
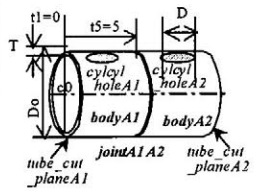
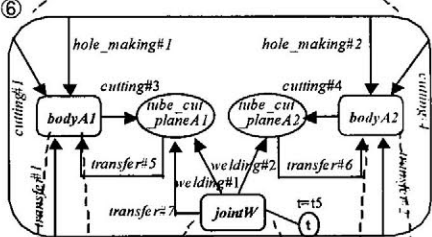
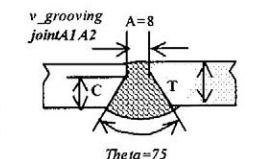
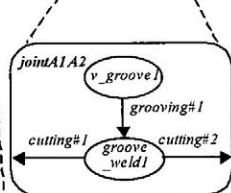
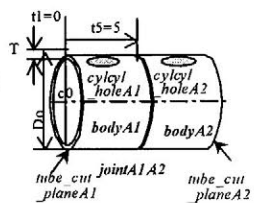
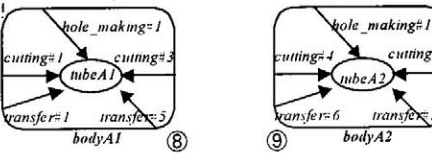
編集操作	図解	組立構造の詳細化
(1) 円筒胴bodyAを生成する ① make_instance(A,body, attributes(coord(C0), diameter_out(D0), ..., thickness(T)))		
(2) 円筒胴bodyAの端面を切断する ② ::cut_by_plane(bodyA, A1, T1) ③ ::cut_by_plane(bodyA, A2, T2)		
(3) 円筒胴bodyAに穴を開ける ④ ::make_hole(bodyA, A1, H1, T3, D) ⑤ ::make_hole(bodyA, A2, H2, T4, D)		
(4) 円筒胴bodyAを分割する ⑥ ::divide_by_2(bodyA, T5)		
(5) jointA1A2をV開先突合せ溶接継ぎ手に詳細化する ⑦ ::make_v_groove(jointA1A2A, Theta, D, A, W, N)		
(6) 円筒胴bodyA1, bodyA2をtubeA1, tubeA2に詳細化する ⑧ ::refine_by_tube(bodyA1) ⑨ ::refine_by_tube(bodyA2)		

図 3.6 組立構造の段階的詳細化における設計操作の例

Figure 3.6 An example of design operations in stepwise refinement of assembly structure.


```

body::make_2divCH_jointv (Self, AtrList, Tc1, Tc2, Th1, Th2, Dh1,
                        Dh2, T2, Theta, D, A, TW, N) : -
    make_instance(Bd, body, AtrList), .....①
    ::cut_by_plane(Bd, A1, Tc1), .....②
    ::cut_by_plane(Bd, A2, Tc2), .....③
    ::make_hole(Bd, A1, H1, Th1, Dh1), .....④
    ::make_hole(Bd, H1, H2, Th2, Dh2), .....⑤
    ::divide_by_2(Bd, T2), .....⑥
    ::make_v_groove(joint, Theta, D, A, TW, N), .....⑦
    get_objname(Bd, Bd1, Bd2),
    ::refine_by_tube(Bd1), .....⑧
    ::refine_by_tube(Bd2). .....⑨

```

図 3.7 マクロな設計操作を行なう手続き

Figure 3.7 A method for macro design operation of body.

3.5 第3章のまとめ

第3章では、溶接製品製作設計支援のための設計対象モデルの基本概念を提案した。以下に要約する。

- (1) 溶接製品の製作設計における設計対象は「組立構造」で表現する。組立構造は組立オブジェクトとその間の依存関係によって構成される。組立オブジェクトは、製作設計者が操作する基本単位である機能素および機能素をもとに構成した部品や組立品の総称である。依存関係は組立オブジェクト間における全体部分、寸法の追い、追加工、組み付けや取り付け優先順位などの関係を表す。また溶接製品の製作設計に使用する機能素を、製作設計者の設計作業の性質や目的をもとに整理した。これらを基に、設計対象の組立構造を陽に表現した。
- (2) 組立オブジェクトは、その配置位置と姿勢を規定する座標系や形状を規定する外形、板厚などの属性を持つ。これらの属性間には、上位と下位の依存関係が存在する。上位属性は、その各々の下位属性に依存して計算できる。
- (3) 製作設計では、基本設計で与えられた結果を基に、設計対象を段階的に詳細化を行なう。これを支援するために、本設計対象モデルは、組立構造のモジュールの概念を提案した。モジュールは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である。設計対象をモデル化する際に、機能素と同様に取り扱える。これにより、設計対象を抽象化表現したり、詳細化表現したり行なうことができる。たとえば、溶接継手のように製作設計上重要な操作単位である接合部の構造や設計情報を容易に扱うことができる。

- (4) 設計対象モデルの構築には，組立構造の基本操作を用いて行なう．基本操作には，組立オブジェクトの生成，依存関係の編集，組立オブジェクトの属性の編集を行なう際に，内部のデータ構造における操作である．これにより，端面加工や穴あけのように，製作設計における基本的な操作を行なうことができる．またある目的にした一連の設計作業を連続に完成する際に，必要な基本操作の有機的な集まりとして，マクロ的に実現することができる．

第4章 溶接製缶品のモデル化

溶接製缶品は巨大であるため、主な構造に関しては、既に存在するものや規格品をもとに作られている。そのため製作行為が、ある部品に対する加工作業や組立作業によって成り立っている。そこで、製作設計では、部品のばらつき、製作現場の現合や調整作業、それに調整作業に必要な組立手順などの情報を考えなければならない。本論文では、これらの情報を製作設計のための固有知識として扱う。これらの固有知識は前章の設計対象モデルをもとに、表現する必要がある。本章では、製品の組立手順の表現、現合のための調整の表現、溶接継手の表現を中心に述べる。また、知識ベースについて概要を述べる。

4.1 組立手順の表現

組立構造では、組立オブジェクト間の依存関係を用いて、溶接製缶品の組立手順を表現する。ここでは、その表現方法を示す。

組立手順を表現するために表 3.2 に示した依存関係に、以下に示す三つの依存関係を新たに追加する。

[1] 部品間の取り付け関係

2つの部品の接合部は、突き合わ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⁹。そこで接合部を表すモジュールとその依存関係をひとまとめにして、一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 4.1 に示すモジュール jointAB, jointAC, jointBD である。

[2] 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時、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 4.1(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。

[3] 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の容易さ等を考慮して、組立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 4.1(a)に示す例の場合、部品 A 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 を優先する時、図 4.1(b)に示すように組立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。

⁹ たとえば、2つの部品を接合する時、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。

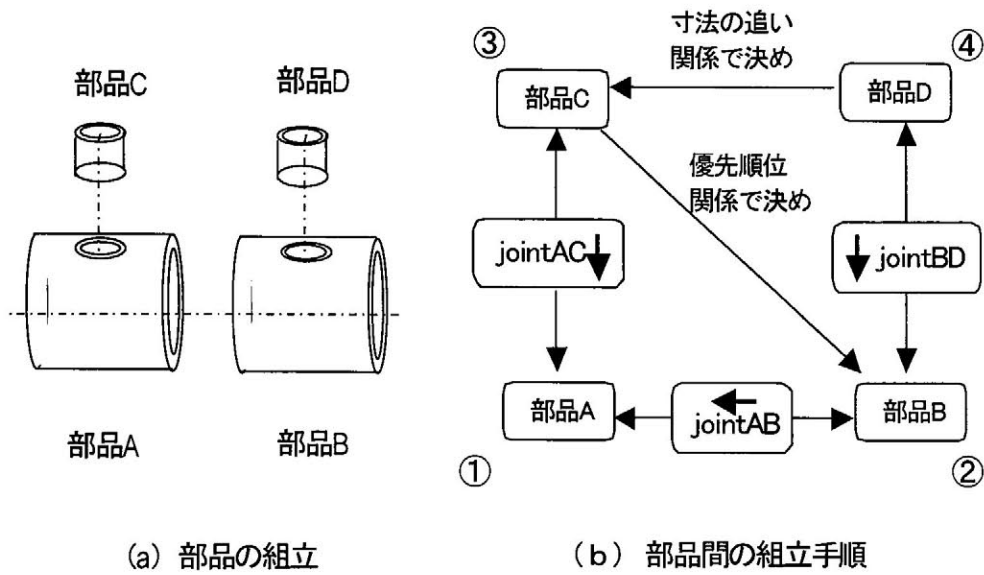


図 4.1 組立手順の表現

Figure 4.1 Representation of assembly sequence.

4.2 現合作業のモデル化

2章で述べたように、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時には現合作業を行なう。この現合作業を行なうためには、設計の段階で、現場での調整方法を検討する必要がある。一般に調整方法は、現場製作者の誤差に対する捕らえ方や経験に依存して決められている。そこで本節では、製作現場の調整方法や現合のための寸法などのモデル化について述べる。

調整対象や目的の違いによりさまざまであるが、溶接製缶品の現合作業に使われる代表てきな調整方法とモデル化に際しての取り扱い方を、表 4.1 に示す。調整の種類は表中示すように6種類があり、その典型的な例を付録 D に示す。

表 4.1 調整方法のモデル化の例

Table 4.1 Examples of the adjustment method and its modeling.

手法の種類	説明	モデル化に際しての取り扱い方法
カットによる調整	要求された寸法を満たすために、長さ調整用カットを施し、製作時に累積誤差を調整する。	余裕量を予め付与することによって部品の寸法を計画する。これにより、製作時の累積誤差を吸収する。
開先による調整	周溶接の欠陥を防ぐために、突き合わせ端面を合せるように径方向のばらつきを調整する。	微小調整のために、現場で用いる調整手法である。設計時には、この方法はあまり考慮しない。
向きによる調整	接合端面を相性の良い向きに合せることで誤差を調整する。	微小調整のために、現場で用いる調整手法である。
間隙による調整	部品間の間隙距離の調整によって若干の長さを調整する。	接合する端面の精度を想定し、予め治具の位置決め精度に計画する。
治具による調整	部品間の間隙距離の治具による誤差を利用する方法。	治具による誤差を位置決めとして読みかえ調整量を求める。
熱歪の積極的利用	変形量を予め想定して、逆変形を与えた逆歪法により溶接を行なう。	変形量を想定し、予め寸法に付与することにより、ばらつきを制御する。

これらの調整方法を用いて、本設計対象モデルで取り扱うための方法を整理すればよい。ここでは、代表的な例として、カットによる調整を行なう現合作業のモデル化について述べる¹⁰。カットによる調整作業は寸法の計画による調整代の設計として、製作現場によく利用される。設計では組立手順より現合作業を保証するための調整部品と調整代を決定する。

¹⁰ 他の調整方法の本設計対象モデルでの取り扱いは、今後の課題としてさらに研究する必要がある。

• 現合のための寸法の表現

カットによる調整では、調整部品に調整代を設けるで寸法を計画する。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 4.2 の(1)に示す目標寸法 100 ± 0.5 ¹¹の板 A を図 4.2 の(2)に示す板 A1 と板 A2 とを溶接して作るとする。

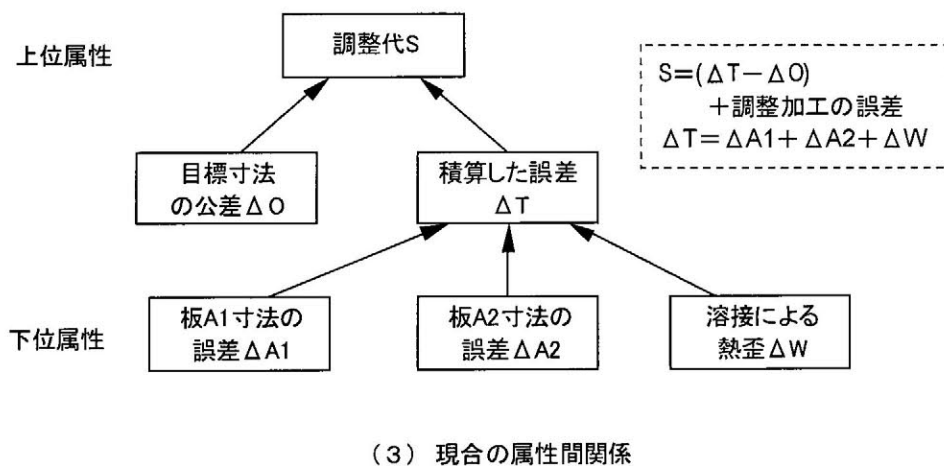
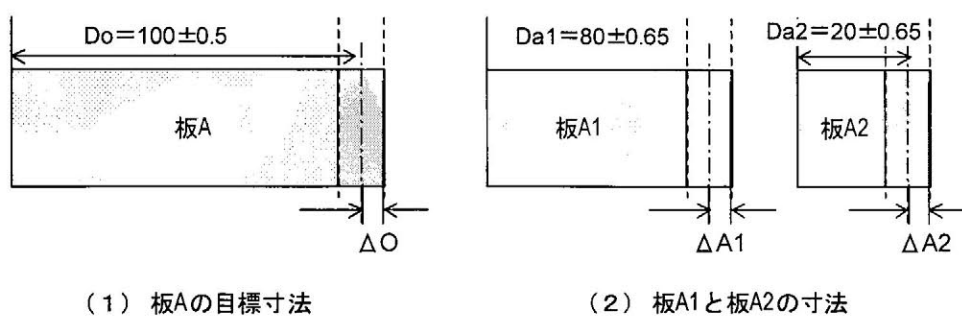


図 4.2 現合の属性間関係

Figure 4.2 Relationships between attributes for adjusting dimensions.

¹¹ 部品の寸法は 100 ± 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 は称呼値、-0.5 は最小許容差、+0.5 は最大許容差と呼ばれる。

今、板の加工精度から板 A1 の寸法が 80 ± 0.65 、板 A2 の寸法が 20 ± 0.65 、溶接による熱歪みが ± 0.4 の範囲で発生するとする。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、 100 ± 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。図 4.2 に示す例の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わかる。ここで調整作業を溶接後に行い、その加工誤差を ± 0.55 とすれば、調整代 S に 1.75 必要であることがわかる。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係わる属性間の関係は図 4.2 の(3)のようになる。

• 調整部品の決定

ここでは、設計者が、どの目標寸法に対する調整なのかを考え、調整部品を決定する。調整部品の決定方法は、設計者が誤差に関する捕らえ方や目的により異なる。たとえば、調整作業に関わる工数や作業時間を減らすために、一般に設計者は、調整箇所を少なくするように考える。このため、組立手順を用いて寸法の誤差を積算し、その結果から調整量をどの部品に取れば他の制約条件を満たすかを考慮し、できるだけ一箇所でも多く吸収できるように調整部品を決定する。

たとえば、図 4.3 に示す三つの部品から目標寸法 H_0 である胴体を作成する場合、図 4.3 の (a) に示す組立手順 1 と図 4.3 の (b) に示す組立手順 2 で行なうことができる。組立手順 1 が胴 B1 に胴 B2 を取り付けた後、胴 B3 を取り付ける。組立手順 2 が胴 B2 に胴 B3 を取り付け、最後に胴 B1 を取り付ける。どちらの組立手順でも誤差積算が最後まで積算結果を $\Delta B1 + \Delta B2 + \Delta B3$ とする。このとき、組立手順 1 では、胴 B1 が調整代を持つとすると、現合作業により吸収できる誤差は $\Delta B1$ である。また、胴 B2 が調整代を持つ時に吸収できる誤差は $\Delta B1 + \Delta B2$ 、同様に胴 B3 が調整代を持つ時に吸収できる誤差は $\Delta B1 + \Delta B2 + \Delta B3$ である。従って、調整部品としては、胴 B3 が最適であるといえる。

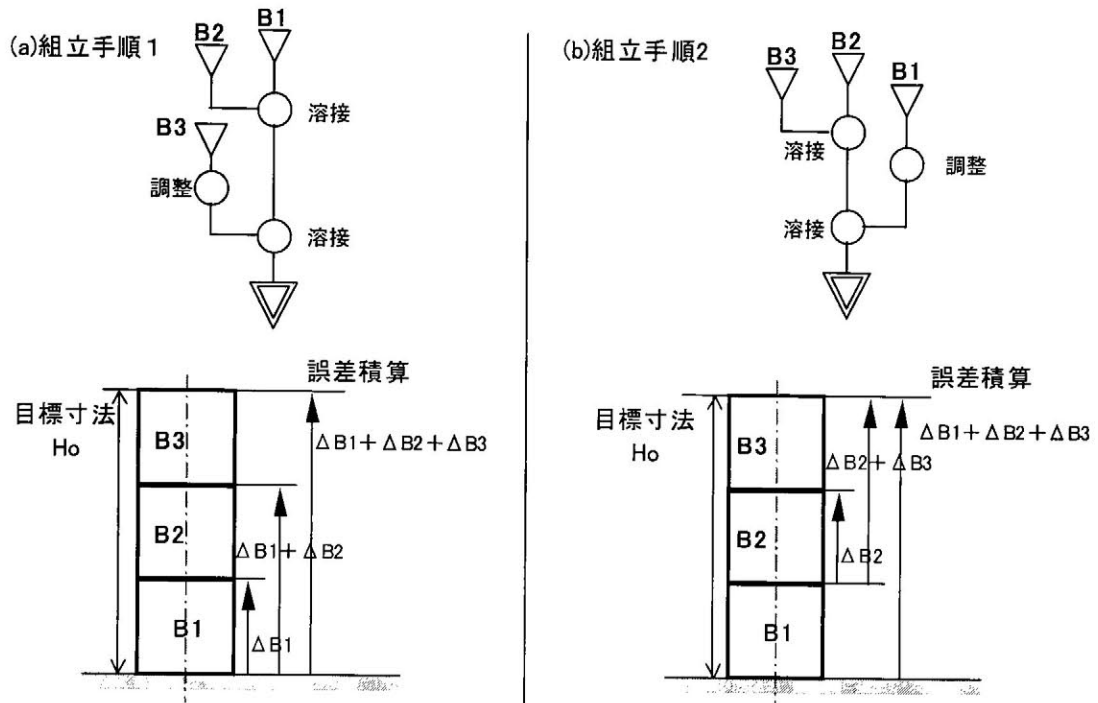


図 4.3 調整部品の決定

Figure 4.3 Decision of the adjusting part.

また組立手順2では、胴 B1 が調整代を持つとすると吸収できる誤差は $\Delta B1 + \Delta B2 + \Delta B3$ である。胴 B2 が調整代を持つ時に吸収できる誤差は $\Delta B2$ 、同様に胴 B3 が調整代を持つ時に吸収できる誤差は $\Delta B2 + \Delta B3$ である。この時は、調整部品として胴 B1 が最適である。このように、組立手順から調整部品を決定している。

● 現合作業における調整代の決定

ここでは、カットによる調整を現合作業のモデルを説明する。今、図 4.5 に示すように、3つの部品 X, Y, Z から目標寸法 H_0 である組立品 A を作ることを考える。組立手順は、部品 X に対して部品 Y を取り付け、その後に部品 Y に対

して、部品Zを取り付けると決定する。また部品Zを調整部品とし、溶接前に調整作業を行なうとすると、調整は以下のような組立手順に従う。

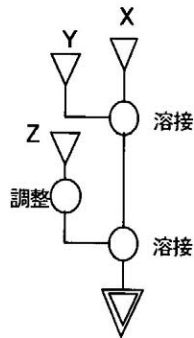


図 4.4 組立手順

Figure 4.4 The assembly sequence.

設計者は部品Zの持つ調整代を設計する際に、図 4.5 の②に示すように、XとYの組立までに生じた誤差を積算し、その誤差をZの調整作業によって吸収するように考える。ここで、部品Xの称呼値を X 、加工による誤差を ΔM_x 、配置による誤差を ΔH_x 、同様に部品Yに対しても Y 、 ΔM_y 、 ΔH_y を考え、部品Xと部品Yの溶接による誤差を ΔW_{xy} とする。この時の積算寸法は

$$\{X+Y, \pm(\Delta M_x + \Delta H_x + \Delta M_y + \Delta H_y + \Delta W_{xy})\}$$

となる。ここで $\Delta M_x + \Delta H_x + \Delta M_y + \Delta H_y + \Delta W_{xy}$ は積算後の最大許容差である。以下 $\Delta \Sigma_{xy}$ で表す。

積算寸法に対して現合作業によるカッティングによる調整を考え、現合作業時のカット作業のための加工代を α とする。実際の現合作業では、全体の目標寸法から、X、Yによる組立品の実測寸法を引いてカッティング量を計算している。しかし、設計段階では、実測寸法が、求められない。そこで、現合作業が失敗しないために積算寸法に対して最悪積算を行い、その結果により調整代を決定する(図 4.5 の③, ④)。ここでは、調整部品Zの持つ調整代を算出する。今、部品Z

も加工誤差 ΔM_z , 配置誤差 ΔH_z , 溶接誤差 ΔW_{yz} を考え, 現合作業により部品 Z までの積算寸法は,

$$\{X+Y+Z, \pm(\Delta \Sigma_{xy} + \Delta M_z + \Delta H_z + \Delta W_{yz})\}$$

と表される. 従って, 調整部品 Z が持つべき調整代 S は

$$S = (\Delta \Sigma_{xy} + \Delta M_z + \Delta H_z + \Delta W_{yz} - \Delta o) + \alpha$$

となる (図 4.5 の⑤). 本設計対象モデルでは, 寸法属性の操作で現合のための調整を対応できる.

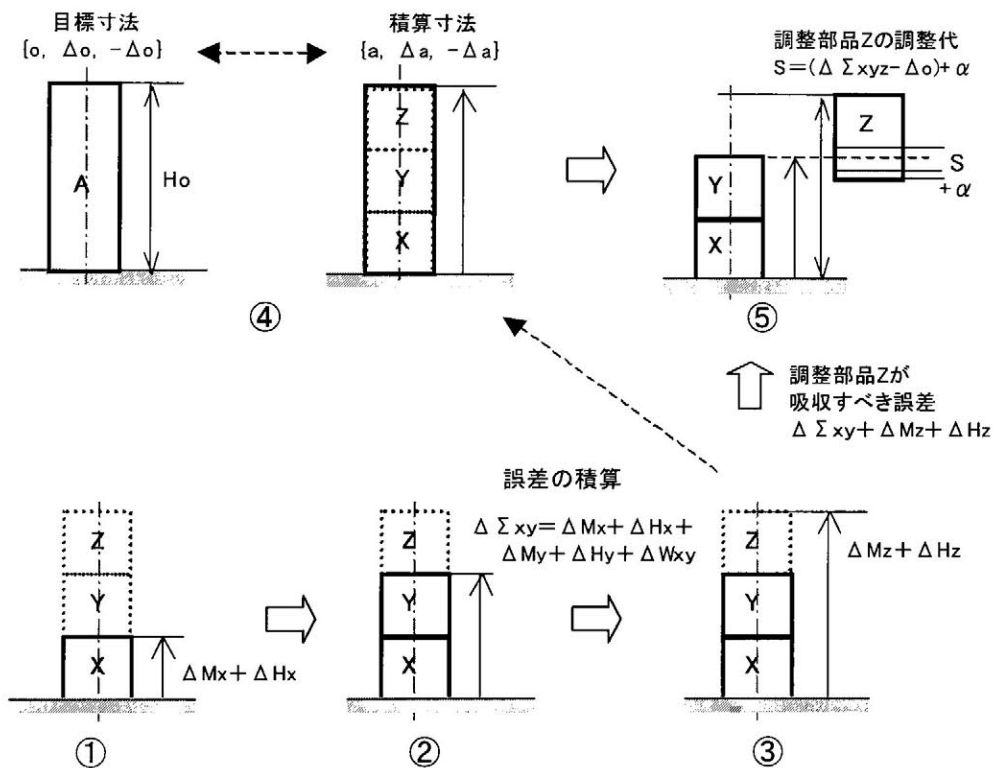


図 4.5 現合作業における誤差と調整代

Figure 4.5 Tolerance estimate and adjustment fee for on-site adjustment operation.

4.3 溶接継手の表現

溶接は、建築、橋梁、造船、道路、車両などの溶接構造物の主な接合法である。本研究の対象である溶接製品も該当する。一般に溶接する部材同士の繋ぎ合わせる部分は溶接継手という。この溶接継手は、ねじや歯車などと同様に、構造物を構成する重要な要素であり、設計では、基本的な設計要素として扱う。特に、大型の溶接構造物の場合、溶接設計の不良は重大な事故につながる危険があるため、これを設計するには、JIS 規格や社内標準を参照し、要求された安全基準や法規に満たさなければならない。本設計対象モデルでは、この溶接継手を設計者が操作する基本単位として定義し、組立オブジェクトのモジュール化により表現する。以下、溶接継手の表現について詳述する。

(1) 溶接継手の種類

溶接継手は、繋ぐ方式、強度や接続部品同士の構造により、一般に突き合わせ溶接継手、すみ肉溶接継手、ノズル溶接継手、T 溶接継手などに分類される。また、取り合い詳細の違いにより、図 4.6 示すように、それぞれさらに分類できる。たとえば、突き合わせ溶接の場合、必要な開先形状により、U 形、V 形、X 形開先継手などがある。図 4.7 に典型的な溶接継手の例を示す。

溶接製品のような圧力容器の場合、接続部材の溶接部は、開先加工が必要となり、切断のままの状態で行なうことはすくないため、主に突き合わせ溶接継手、ノズル溶接継手などが使用される。

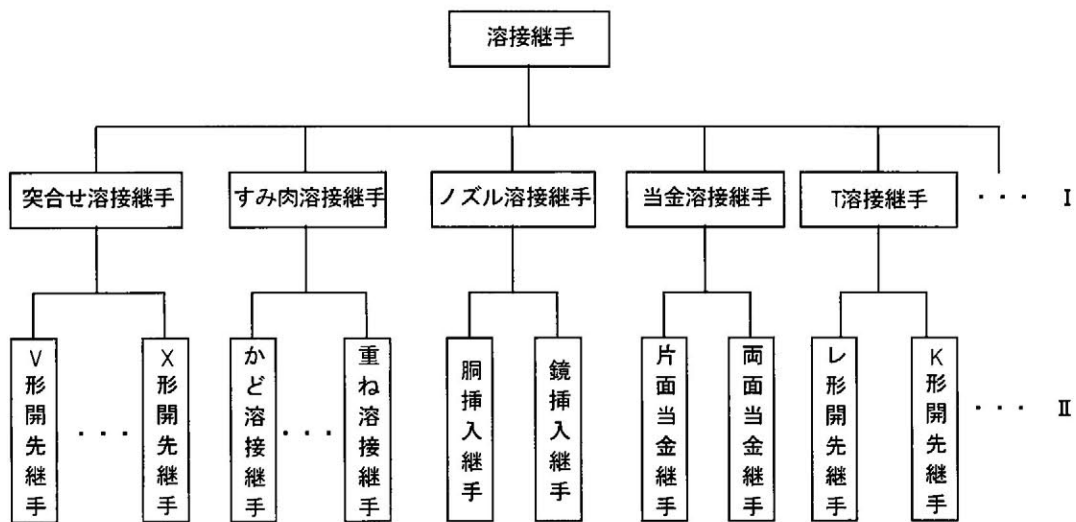


図 4.6 溶接継手の種類

Figure 4.6 Kinds of welding joint.

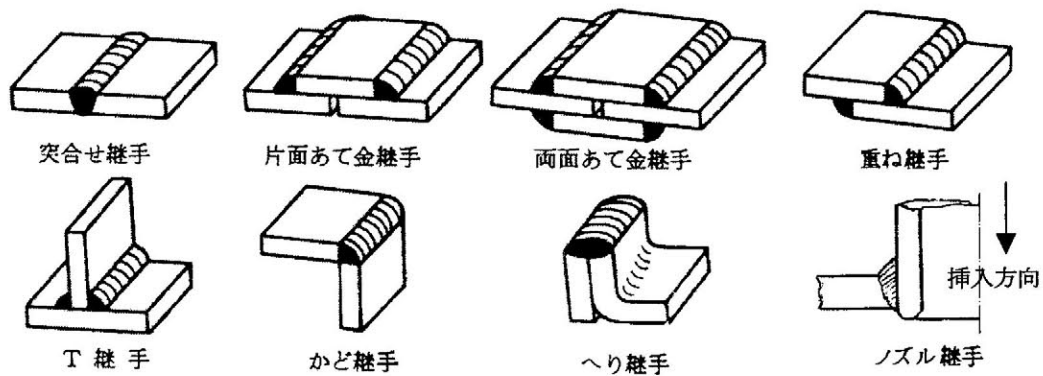


図 4.7 溶接継手の例

Figure 4.7 Examples of welding joint.

本研究では、このような設計者が扱う基本単位に従い、溶接継手をモジュールとしてモデル化した。たとえば、図 4.6 に示す第 I レベルに示すものを組立構造のモジュールのクラスとして定義する。また、図 4.6 に示す第 II レベルの具体的な構造を持つ継手は、追加工としての機能素と溶接部によりモデル化した。設計操作では、第 I レベルのモジュールを、第 II レベルの構造を選ぶことで、溶接継手の設計情報を詳細化する。次に、突き合わせ溶接継手やノズル溶接継手を代表に、その表現方法を詳述する。

(2) 突き合わせ溶接継手の表現

突き合わせ溶接とは、同一平面にある二つの部材を向かい合せて端面同士を溶接する継手である。部材の継ぎ合せ部を完全に溶接するためには、母材の板厚により、適切な開先加工が施される。図 4.8 は典型的な開先形状の例を示す。溶接製品は、特に両面から施工できる場合は裏はつりを行って欠陥をのこさないようにしなければならない。また、開先の切断端面の精度が溶接に及ぼす影響があるため、製作設計では、その形状、寸法、加工法の詳細情報を決めなければならない。このため本設計対象モデルでは、この開先加工の詳細情報を格納できる機能素を設けた。また、開先は溶接部品の切断端面への追加工を行なうために必要なものとして扱い、開先形状の違いにより、本設計対象モデルでは、表 3.1 に示すように、追加工の機能素として分類した。ここでは、簡単のために U 形開先溶接継手の表現を例に説明する。

図 4.9 は、U 形開先の形状とその詳細寸法を示す。図中、点線楕円で示した部分は開先の形状を決める。これを機能素 `u_groove` としてクラスに定義し、開先角度、開先深さ、ルート面間隔、ルート面大きさ、ベベル角度などの詳細寸法は機能素の属性として扱う。また溶接部の溶金材（図中 W 部）に関する詳細情報は、突き合わせ溶接部の機能素 `groove_weld` としてクラスに定義する。この機能素は、溶接材料、溶接方式、溶接条件などの属性を持つ。ここでは、`u_groove` と `groove_weld` のクラス記述は付録 C の (3) と (4) に示す。

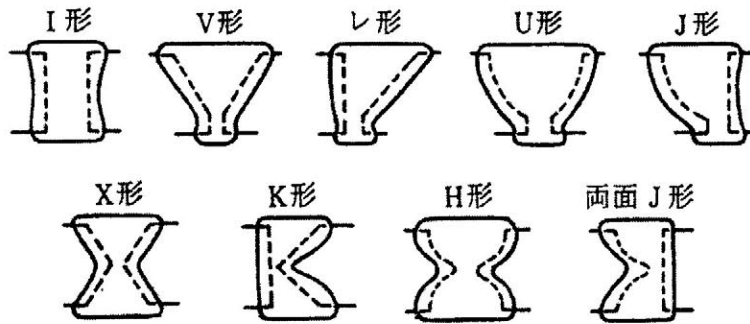
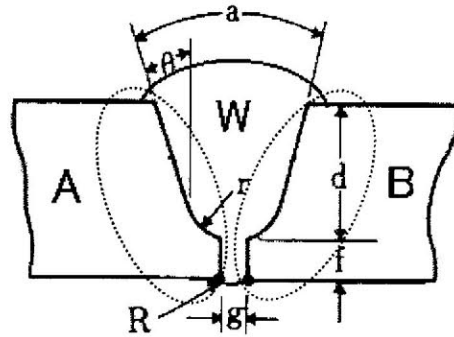


図 4.8 開先形状の例

Figure 4.8 Examples of grooving type.



a: 開先角度 d: 開先深さ
 θ : ベベル角度 f: ルート面
g: ルート間隔 r: ルート半径

図 4.9 開先の形状と詳細寸法の例

Figure 4.9 Examples of grooving shape and its detailed dimensions.

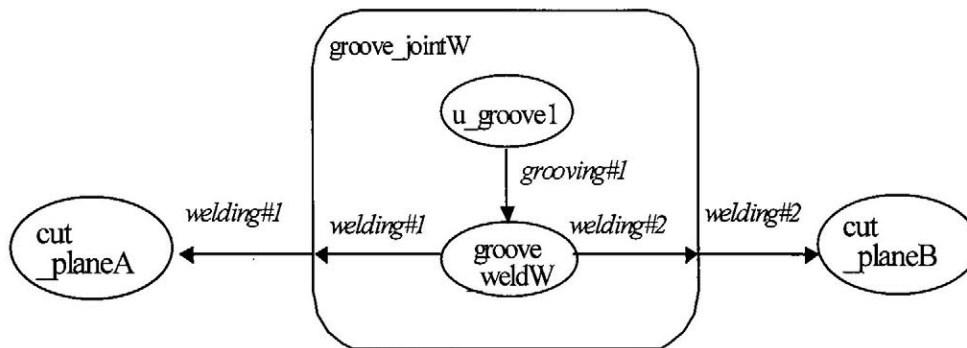


図 4.10 突き合わせ溶接継手の表現

Figure 4.10 Representation of grooving weld joint by assembly structure module.

図 4.9 に示す突き合わせ U 形開先継手は組立構造で表現すると、図 4.10 に示すモジュール groove_weldW のようになる。この例では、開先は接続端面の両側が同じ形状を持つため、追加工機能素 u_groove1 で表現し、依存関係 grooving#1 により規定する。接続端面の両側が異なる形状の開先が必要なとき、それぞれの開先に対応した追加工の機能素を用意すればよい。ここでは、実際に開先加工を施す場所は、接続部品 A や部品 B の端面である。端面の開先加工の情報を求めるとき、依存関係を逆辿りにより参照することができる。たとえば、cut_planeA の開先加工の情報は依存関係 welding#1 と grooving#1 との矢印を逆方向に辿り、開先 u_grooveA1 の属性を参照すればよい。同様に、ほかの溶接継手も表現できる。

(3) ノズル溶接継手の表現

ノズル溶接継手は胴体とノズルを接合するときに使用される代表的な溶接継手である。胴体にノズルを深く挿入し、圧力の安全性などで、開先は特別な形状を呈現することが多い。

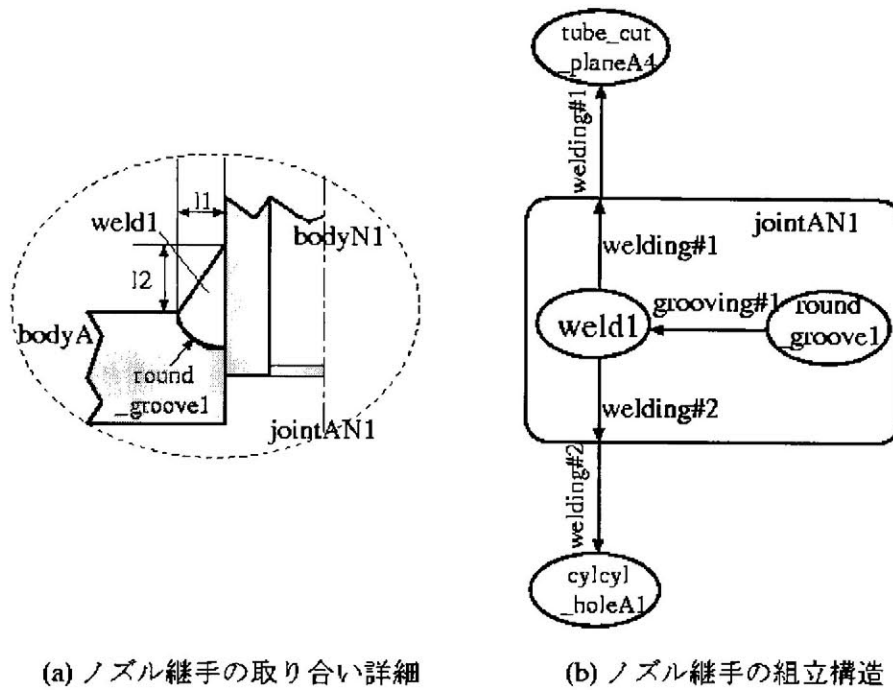


図 4.11 ノズル継手の表現

Figure 4.11 Representation of nozzle-joint by assembly structure module.

たとえば、図 4.11(a)は胴体 bodyA にノズル bodyN1 が挿入するとき、接合部の断面図を示す。このとき、すみ肉溶接と丸みつき開先溶接の両方の性質をもつ。ここでは、溶接部 weld1、丸みつき開先 round_groove1 などの構造、形状、サイズ等情報を表現できなければならない。このノズル挿入溶接継手もひとつの固まりとして、図 4.11(b)に示す組立構造モジュールの jointAN1 のように表現する。ノズル継手も複数のタイプが存在する。それぞれの詳細構造は異なるクラスとして定義すればよい。接合法の変更が必要なとき、モジュール jointAN1 の内部構造を必要なタイプに選択することにより簡単に設計変更を行なえる。

4.5 第4章のまとめ

第4章では、設計対象モデルを基に、溶接製品品の製作設計の表現について考察した。以下に要約する。

- (1) 組立手順は組立オブジェクト間の依存関係を用いて表現した。ここでは、部品間取り付け関係、部品間の寸法の追い関係、そして部品取り付けの優先順位などの依存関係により、複数の部品から構成された組立品の全順序の組立手順を規定した。
- (2) 製品を精度よく組み立てるための現合作業を支援するために、製品の寸法をモデル化した。製作時要求された寸法を目標寸法、溶接による熱歪や加工精度などの誤差を配慮し、最悪状態で積算した寸法は積算寸法と呼ぶ。目標寸法と積算寸法の比較により、調整代を算出する。組立構造では、これら寸法や誤差を属性で表す。
- (3) 調整代を算出するには、組立手順や調整部品の指定とを密接な関係がある。これを現合作業のためのモデル化として表現した。
- (4) 溶接は生産技術の一つであるが、あらかじめ設計段階で考慮すべき問題が多いので、必要な項目を詳細設計の一環として扱う。特に、溶接継手のように接合する部品を決定した後から決められるものがあり、その取り合い詳細を決定する必要がある。本対象モデルではモジュールとして扱うことで表現した。

第5章 組立構造を用いた製作設計の流れ

本章では，提案した設計対象モデルの記述能力を確認するために，溶接製缶品の製作設計の流れに沿って，設計实例のモデル記述を行なう。

5.1 製作設計の概要

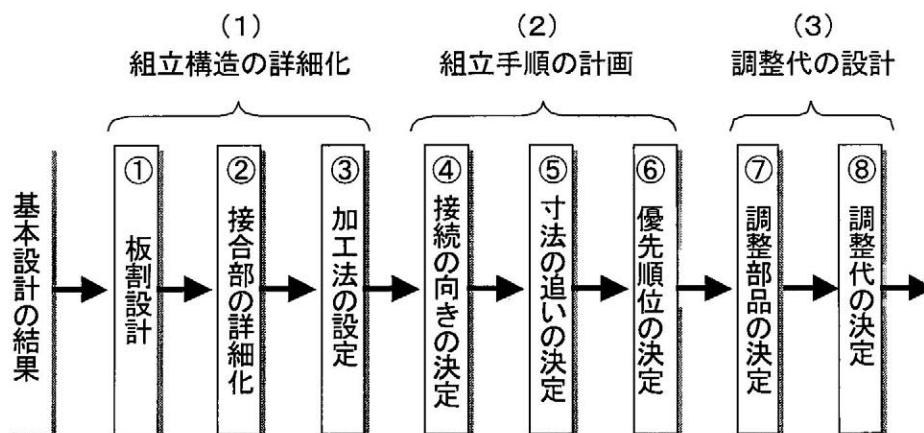


図 5.1 製作設計の流れ

Figure 5.1 Manufacturing design flow of welding vessel object.

3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 5.1 に示す。大きく (1) 組立構造の詳細化，(2) 組立手順の計画，(3)

調整代の設計の三つの段階で行なわれる¹²。(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などを考慮し、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決める。(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、製作現場の現合作業を考慮し、部品に調整代を設ける。

5.2 製作設計の例

図 5.2 に示す例を用いて製作設計を行なう。本例は図 3.6 に示した円筒胴 bodyA にノズル N1 とノズル N2 を取り付けただけのものである。同図は基本設計の結果である。図 5.2 の組立構造は図 5.3 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。

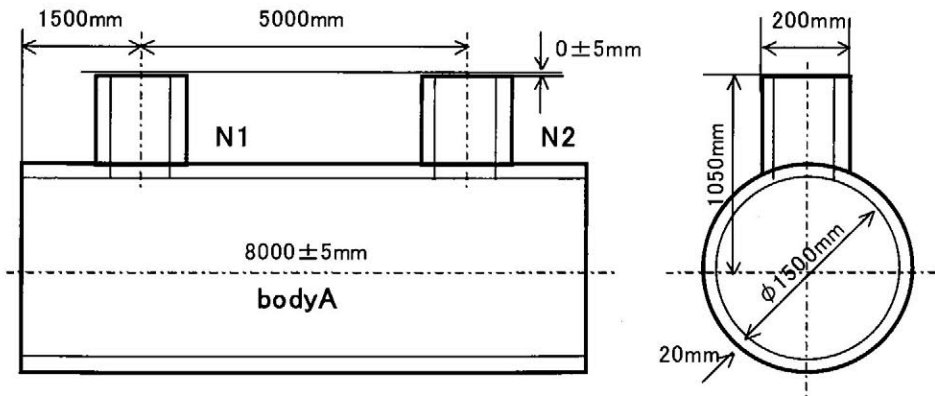


図 5.2 ノズル付き胴体 bodyA の例

Figure 5.2 Example of bodyA with nozzles.

¹² 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。

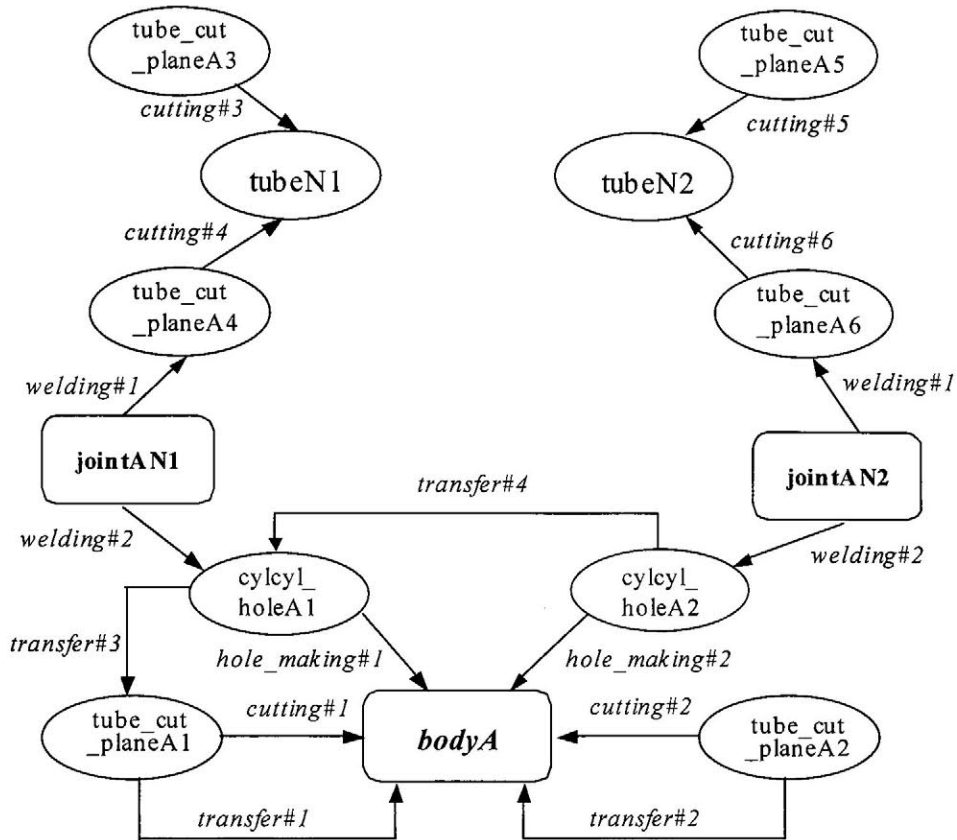


図 5.3 ノズル付き bodyA の組立構造

Figure 5.3 Assembly structure of bodyA with nozzles.

5.2.1 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

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。たとえば、溶接線が十字型にならないように配慮し、また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。bodyA を長手方向²²⁾に均等に 2 分割すれば、図 3.6 と同様な操作により、

組立構造は図 5.4 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。

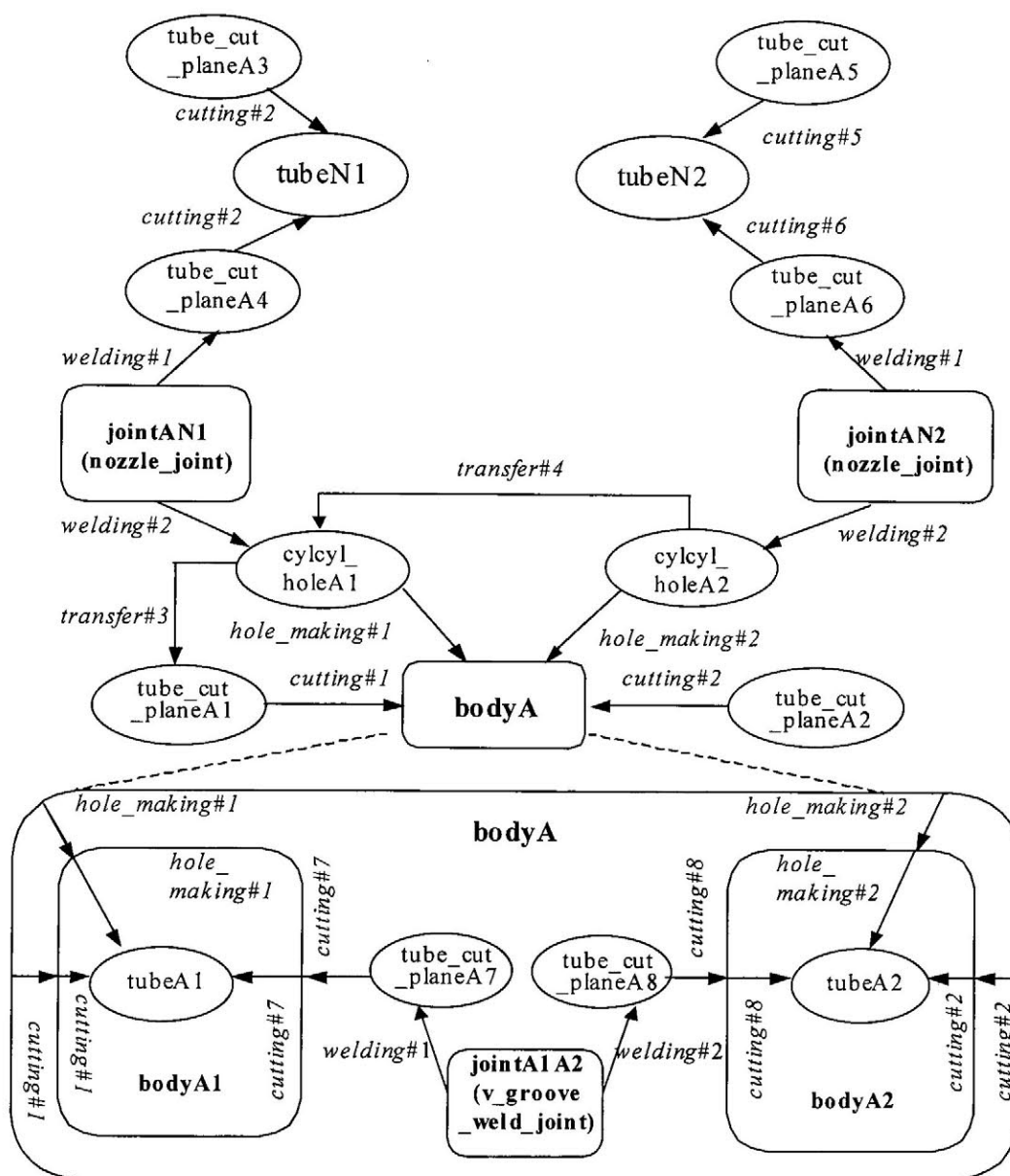


図 5.4 組立構造詳細化の結果

Figure 5.4 Result of assembly structure refinement of bodyA.

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 5.4 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 形開先突き合わせ溶接継手とすれば、その詳細構造は図 3.6 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 5.5 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 5.4 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。接合法を変更する時には、モジュール jointA1A2 等の詳細構造を変更すればよい。

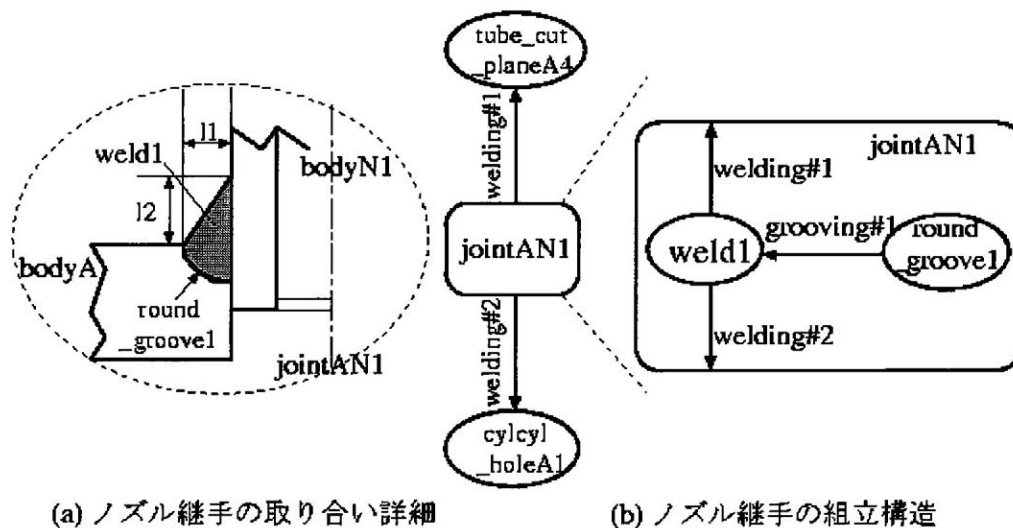


図 5.5 モジュールによるノズル継手の表現

Figure 5.5 Representation of nozzle-joint using assembly structure module.

③加工法の決定

各々の部品の加工法，加工精度，そして追加工による詳細形状を決定する．これらの情報は，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，丸みつけ等の追加工もここで決定する．

5.2.2 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

部品の重さや組立の容易さ等を考慮しながら，接続する部品同士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，位置決めが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 5.6 のようになる．

⑤部品間の寸法の迫いの決定

部品間の寸法の迫い関係を決定する．tubeN2 の高さ と tubeN1 の高さとの間には，±5mm 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 $\xrightarrow{\text{transfer}\#5}$ 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時，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 5.6

のように、依存関係 $\text{tubeN1} \xrightarrow{\text{precedence\#1}} \text{bodyA2}$ 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。

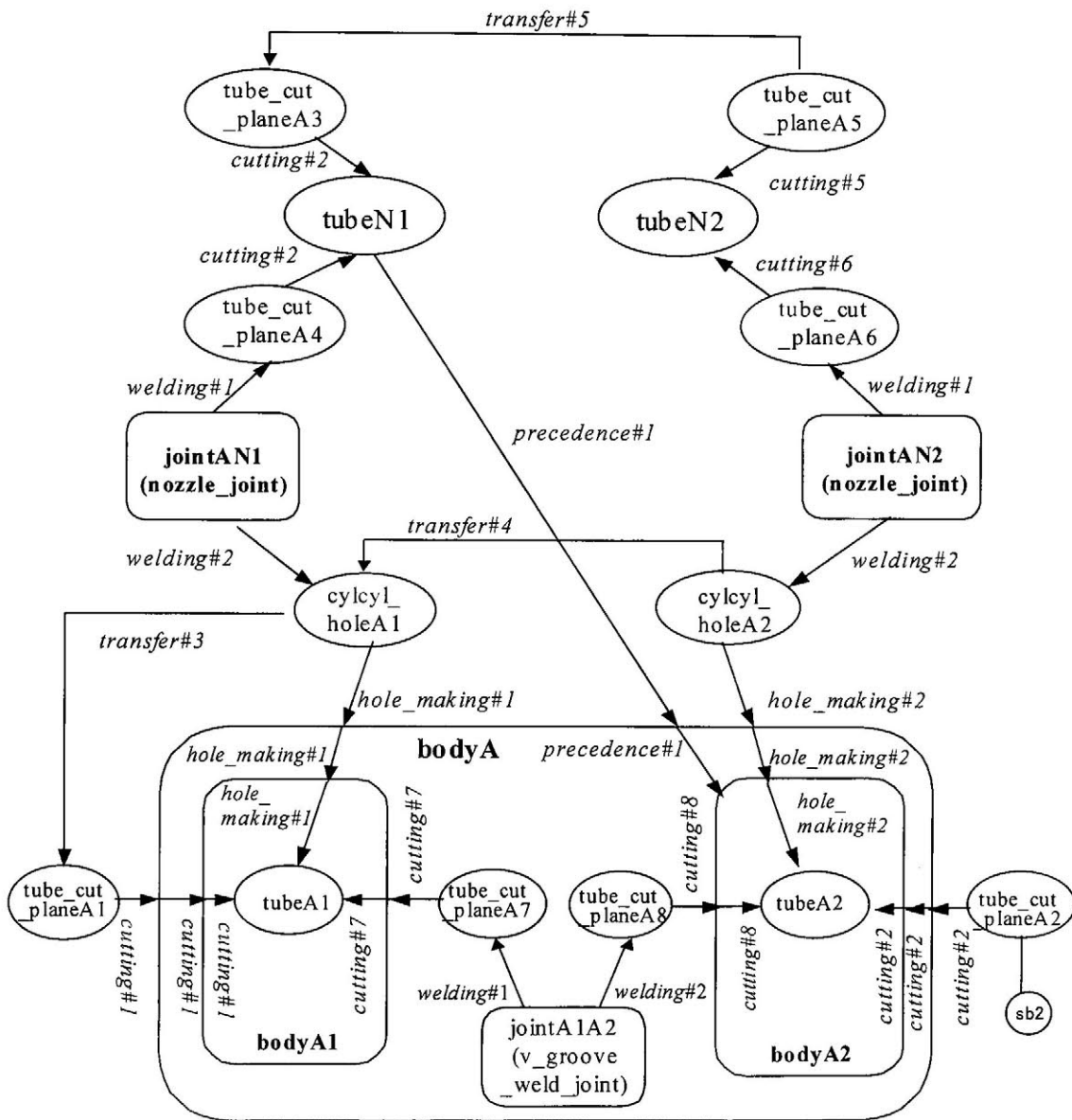


図 5.6 組立手順の決定

Figure 5.6 The decision of assembly sequence.

5.2.3 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，組立は積み上げ方式により行なうため，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 5.6 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，寸法の追い関係により 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，部品の切断法はガス切断とし，旋盤加工で調整作業をすれば，調整代は表 5.1 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許容差 $\pm 5\text{mm}$ (図 12 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．

表 5.1 調整部品と調整代

Table 5.1 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 $\pm 5\text{mm}$	アーク溶接 $\pm 3.5\text{mm}$	旋盤加工 $\pm 1\text{mm}$	9.5mm
tubeN2	ガス切断 $\pm 5\text{mm}$	ノズル溶接 $\pm 3\text{mm}$	旋盤加工 $\pm 1\text{mm}$	4mm

5.3 設計知識を用いた組立構造の詳細化

溶接製品の製作設計の流れにおいて、組立構造を詳細化する段階では、設計知識を用いることにより、効率的に主要構造の詳細化を行なうことができる。ここで主に取り扱う設計知識として、板割設計のための知識や溶接継手の詳細を決定するための知識がある。たとえば、板割設計では、溶接線の位置決めを行なう設計案を探索するために、板材や製品強度の制限を配慮した設計知識、また、溶接継手の詳細情報を決定する際に、JIS 規格や社内基準による公的知識が用いられる。本節では、設計対象の組立構造の詳細化を行なう際にして、設計知識の処理について述べる。

(1) 板割設計における設計知識の処理

板割設計では、設計者が、製品の主要構造の部材を製作しやすくするために、基本設計で決めた主要部材の分割案を決定する。この設計によって、主要部材の分割数や分割位置（溶接線の位置）が決定される。設計者は溶接部位に必要な強度、板材の規格による制限、製造の容易性などを熟考し、適切な分割案を得る必要がある。そのために、板割における設計ノウハウや知識を使用して設計案を生成し、最もよい解法を選ぶ。たとえば、溶接線を表す分割位置は交差型にならないように、またノズル穴の位置は溶接線の位置と一定の距離を取るようにして、製品の強度を保証する。また、製作時に使用できる市販の規格系列の材板や製作現場の条件や工作機器の加工能力からの制限なども配慮しなければならない。

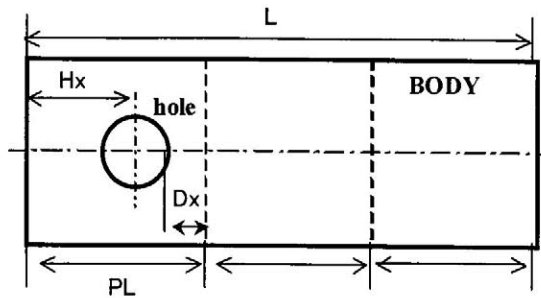
ここでは、簡単な設計知識の処理の例を用いて説明する。図 5.7 は規格系列の板材のサイズとノズル穴の強度の制限を満たすために、Body の分割案を探索する問題である。図 5.7 (a) 中、 L は Body の長さ、 PL は入手可能な板材のサイズを表す。また、 Hx はノズル穴の位置を、 Dx は分割線（溶接線）と穴間の距離の制限値をそれぞれ表す。簡単のために、ここでは Body の長手方向だけの分割を行な

うとする(同様に、周方向の分割にも適応できる)。すべて可能な設計案を生成するために、制約条件を配慮したシステムによる設計計算を行い、設計解を系統的に探索する必要がある。このような設計知識は、特定の問題解決手法を基に、手続き化することができる。図 5.7 (b) は生成検証法¹³を用いた場合、データの流れを示したデータフロー図である。図中、①が使用する鋼板の規格系列から板のサイズを仮定生成する。②は胴体の分割数を仮定する。③は穴の位置制限の値を計算し、④は分割の平均長さを計算する。⑤、⑥、⑦はそれぞれの設計条件の検証を行なう。

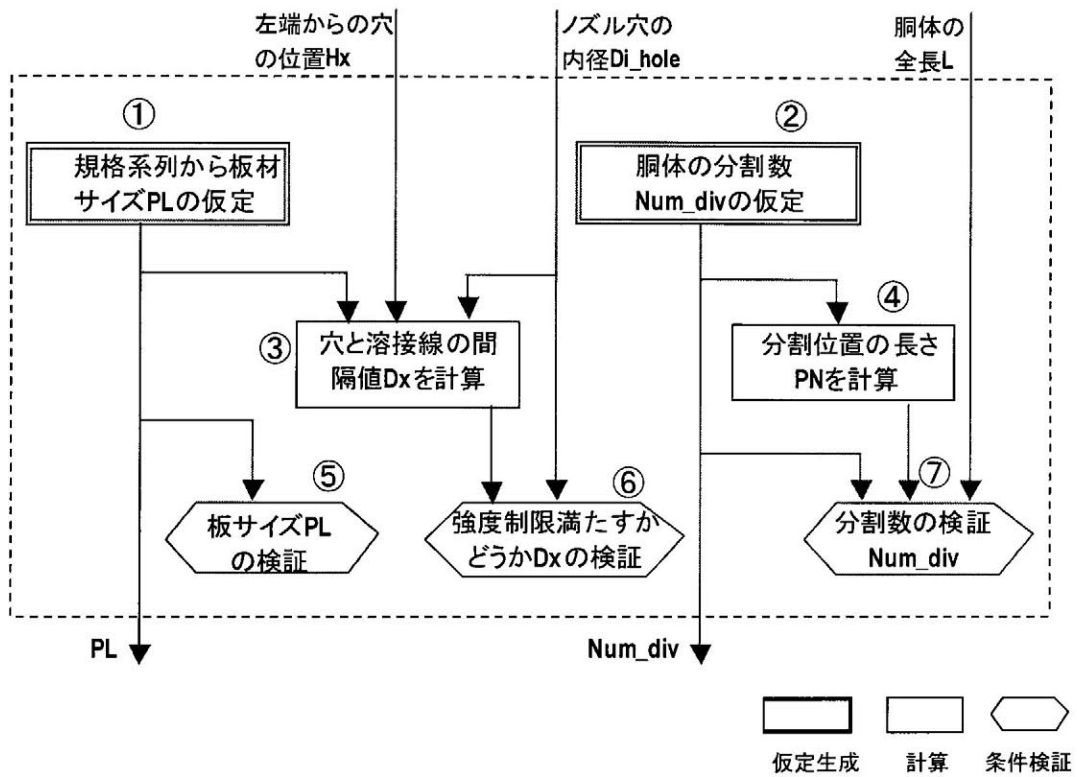
このような手続き化可能な設計知識は、本研究では構造化された設計知識として知識ベース化し、設計対象モデルの設計操作により呼び出し、必要な設計解を選ぶことで扱う。従来、構造化した設計知識が、汎用的な手続き型のプログラム言語を用いて処理する機会が多い。しかし、設計知識がシステム開発者によってプログラム内に隠蔽化されることになり、序論で述べたように、設計知識のメンテナンスに対処すべき便利性と新規設計を支援する柔軟性が欠けるなどの問題が生じる。つまり、設計知識の処理には、設計者自身の手で整理、記述し、自らの保守、管理ができることは設計支援システムにとって不可欠なものである。このため、洗練された知識処理環境や知識ベース構築するためのプログラミング手法が必要である。

本研究では、長澤研究室により開発し、上述のような意図をした設計知識を処理するための記述言語および処理環境である DSP を用いることにした。DSP は設計者に理解しやすい記述言語を提供し、データフローの概念と生成検証法などの設計解探索モデルに基づく環境であり、設計者自身が設計知識やノウハウを知識ベース化し、保守、管理することを可能にした。

¹³ 生成検証法の基本概念とデータフローについて付録 B の (1) に示す。



(a) 長手方向の分割設計



(b) 長手方向の分割設計

図 5.7 板割設計の例

Figure 5.7 An example of plate division design.

図 5.8 は DSP のシステム操作環境を示す。ここで、①は、設計者自身が構造化された設計知識を編集するための言語環境および設計計算を実行する画面である。②は、実行結果である設計解の詳細を表示するツールである。③は、設計属性間の関係によって設計解のディストリビューションを表示し、設計者が視覚的に意思決定をサポートするためのグラフ・ツールである。なお、図 5.7 に示す例を DSP で記述したデータフローと詳細手続きは付録 B の (2) に示す。

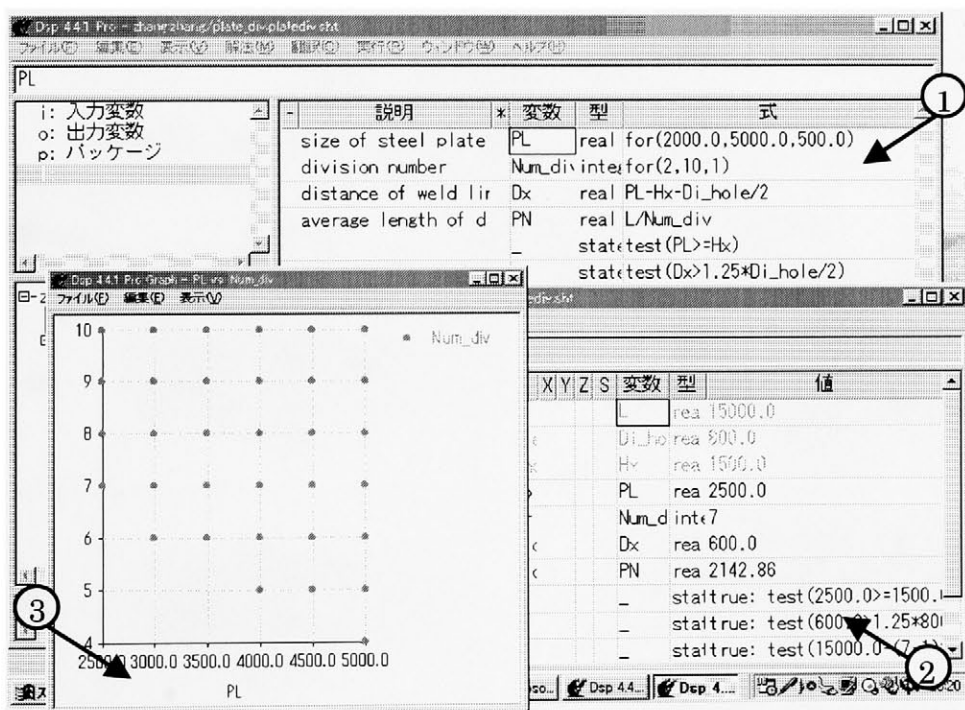


図 5.8 DSP の操作環境

Figure 5.8 The operation environments of DSP.

(2) 設計基準や規格など公的設計知識の処理

溶接継手の詳細設計では、溶接継手の表現で述べたように、設計者が、溶接する部品の板厚や接合部分の強度などを配慮し、接合部の詳細構造、たとえば開先の形状および詳細寸法などを決定しなければならない。たとえば、突き合わせ溶接継手で溶接する場合、開先形状を表 5.2 に示すように、溶接する部品の板厚の違いによって、V形開先かまたはX形開先かなどを決定する必要があり、また開先の深さ、ルート間隔、開先角度、ルート面などの属性の値を詳細に決めなければならない。

表 5.2 溶接開先形状寸法の例

Table 5.2 Examples of plate thickness grooving type and dimensions

板厚mm	開先形状	板厚mm	開先形状
10		25	
16		30	
20		35	

表 5.3 手溶接開先の寸法の例

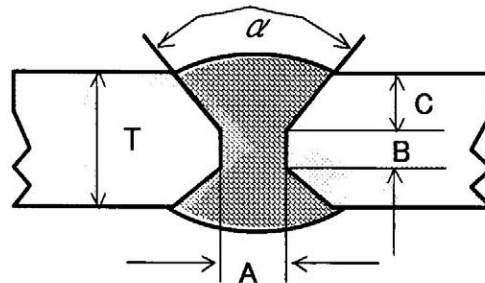
Table 5.3 Example of grooving dimensions for manual welding.

Type	T	α	A	B	C	R
V	3.0~16	60~90	1~3	1~3	-	-
U	12~38	12~45	1~3	2~4	-	6
H	19<	12~45	1~3	2~4	0.6~0.7t	6
X	19<	60~90	1~3	0~3	0.5~0.7t	-
J	12<	45~60	2<	0~3	-	6

V形、X形、U形などのような溶接継手開先の構造や詳細寸法などを決定するために必要な設計知識として、JIS規格で決められた公的基準、あるいは社内標準、過去の実績データなどがよく利用されている。このような公的設計知識は、構造化した設計知識と違って、手続きとの分離ができ、知識ベース化して利用することができる。

ここでは、溶接部の構造と寸法を設計する際にして、JIS規格に基づく公的知識の扱いの例を用いて説明する。表 5.3 は圧力容器の製作において、手動溶接（突き合わせ溶接）を行なう場合、板厚をもとに、接合部の構造と開先角度や開先深さなどの属性の詳細を決める標準を示す²²⁾。表中、Tは溶接する部品の板厚、 α は開先角、Aはルートギャップ、Bはルート面、Cは開先深さ、Rは開先半径をそれぞれ表す。本研究では、このような設計基準を知識ベース化し、設計操作で使用する。たとえば、板厚をもとに、生成検証法による開先の詳細寸法を決定する場合、その手続きのデータフローを図 5.9 示すようになる。図中、①が使用する鋼板の規格系列から板厚を仮定する。②は整理した表 5.3 示す公的設計知識から開先の詳細属性値を検索する。③は決められた設計条件の検証を行なう。

(a) 溶接継手



(b) 開先詳細寸法の決定

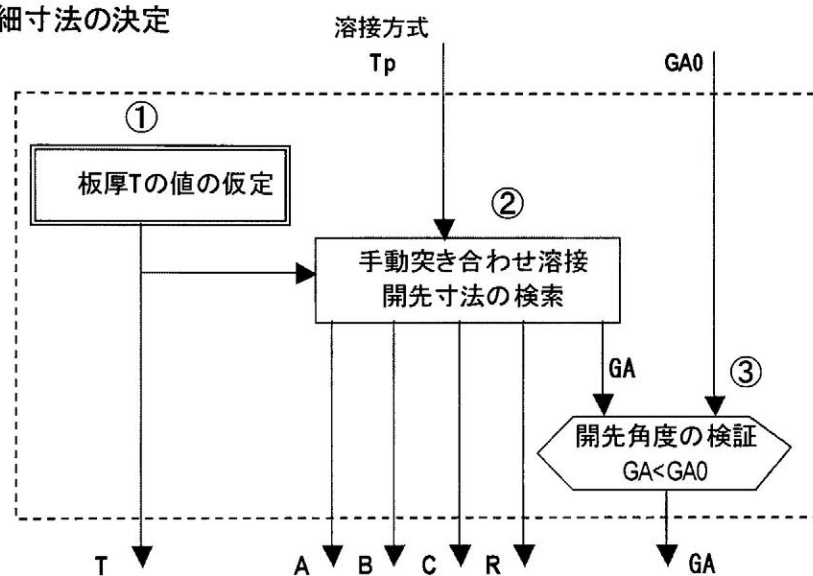


図 5.9 開先寸法の決定

Figure 5.9 Determination of groove dimensions.

本研究では、このような公的設計知識の処理には、DSP と連携した既存ツール PED を用いて行なった。PED は、設計技術情報、製品カタログ、JIS 規格のような公的設計知識および社内基準などを処理するためのツールである。

図 5.10 は、ツール PED および DSP のオペレーション環境を示す。ここで、①は定義されたスキーマによって、公的設計知識を編集し、管理するための PED ツ

ールの処理環境である。②は DSP の編集画面で、設計者が公的設計知識の操作を支援するインターフェースである。必要に応じて PED ツールを呼びかけ、保存された公の知識を参照する。③は設計解を示すツールである。なお、表 5.2 に示す開先の構造およびその詳細寸法を扱うための DSP プログラムは、付録 B の (3) に示す。

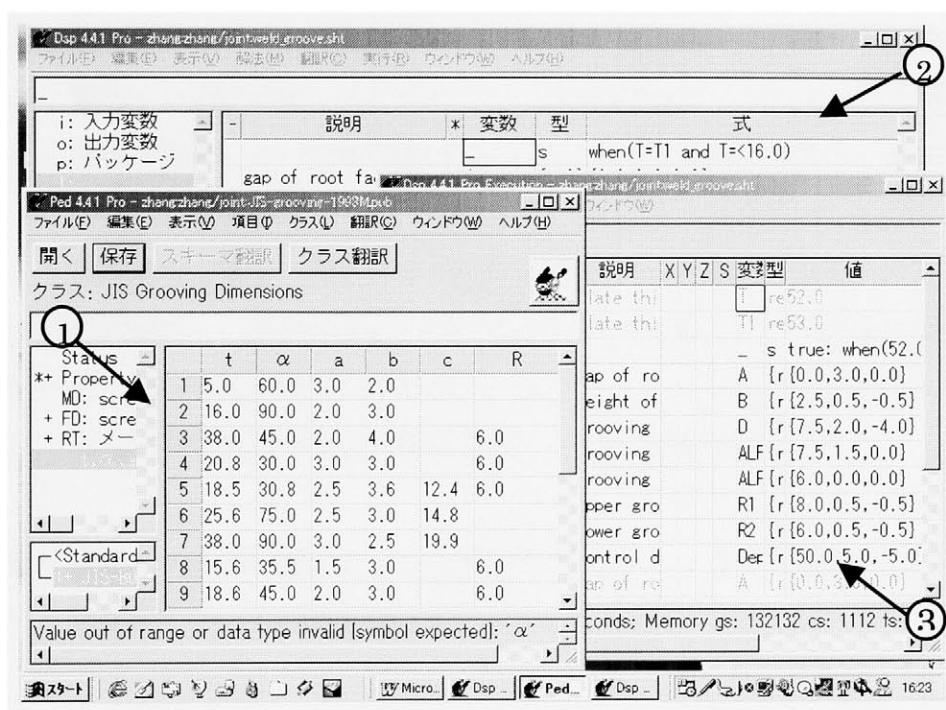


図 5.10 公的設計知識を処理するツール PED 環境

Figure 5.10 Processing the public design standards with PED.

5.4 第5章のまとめ

第5章では、溶接製缶品の製作設計の詳細な流れを整理し、提案した設計対象モデルの記述能力を検証した。以下に要約する。

- (1) 知的設計支援システムの実現には、設計業務毎にその特徴に適合した設計対象のモデル化と設計手順の合理化が必要である。今章では、まず、提案した設計対象モデルを用いて、溶接製缶品の製作設計の詳細な設計手順を整理した。製作設計の流れは大きく組立構造の詳細化、組立手順の計画、調整代設計の三つの段階で行なわれる。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などを考慮し、製作できるように詳細化し、部品の接合方法を決め、部品の加工法や加工精度等を決める。また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。さらに製作現場の現合作業を考慮し、部品に調整代を設ける。
- (2) 整理した設計手順に沿って、設計実例を用いて、本設計対象モデルの記述能力について検証を行った。
- (3) モデル記述を行なうことにより、製作設計における上流から下流までの設計作業により作られた製品の構造、加工、組立などに関する設計情報を本設計対象モデルの基に一元的に表現し、管理できること確認できた。
- (4) 製作設計で使われる設計式や法規、設計規格などの設計知識を知識ベース化により管理し、本設計対象モデルに対する詳細化操作を行なう際に、必要に応じて利用する。たとえば、板割設計時に構造分割知識や溶接継手の詳細寸法を決める設計作業の際に決められた規格知識を利用し、その詳細属性を決める。

第6章 製作設計支援システムの試作

本章では、前章まで考案した設計対象モデルの基本概念と有効性を実証するために試作した設計支援システムについてを述べる。また試作システムを用いて設計実験を行なう。

6.1 試作システムの概要

図 6.1 に試作の製作設計支援システムの構成を示す。本システムは、知識ベース、モデルベース、データベース、製作設計の設計手順に合せた4つの支援ツールおよび利用者インターフェースから構成される。

①知識ベース

板割設計に用いられる設計知識や製品にかかわる法規、設計規格、設計標準などの公的設計知識を格納する。これらの設計知識は、知識表現言語で記述され、組立構造の詳細化の支援ツール⑤を通じて利用される。

②モデルベース

溶接製品等の製作設計支援に必要な機能素やモジュールなど設計対象モデルの構成要素のクラス群とそれぞれのメソッド群を格納する。これらのクラスは、設計操作に応じた組立オブジェクトのインスタンスの生成、また必要に応じた設計知識の呼び出しを行なう際に利用される。

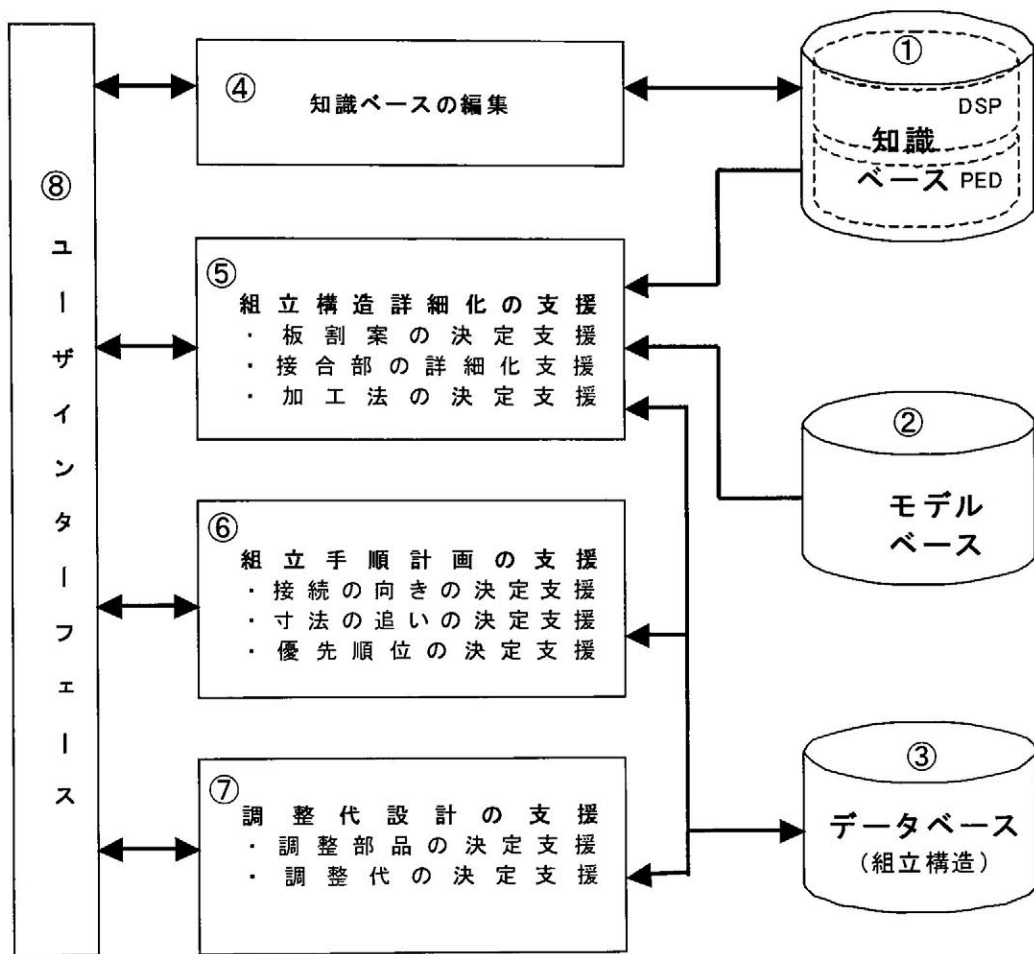


図 6.1 支援システムの構成

Figure 6.1 An overview of system structure.

③データベース

本設計対象モデルの表現手法をもとに、設計者の設計操作により作られた具体的な設計対象の組立構造を格納する。組立オブジェクトは、支援ツール⑤～⑦を通じて知識ベースやモデルベースを利用する。

④知識ベース編集

組立構造の詳細化設計の段階に必要な設計知識の整理と記述を行なうためのツールである。編集の結果を①の知識ベースに格納する。

⑤組立構造の詳細化設計支援

詳細設計に必要となる板割設計、接合部の詳細化、加工法の決定などの支援ツールを含む。設計知識を用いた詳細化の場合、板割支援ツールを用いて分割案を系統的に生成し、その中から適切と思われる分割案を使用する。また、接合部の詳細化設計支援ツールを用いて、接合する部品同士の接合法や接合部の詳細構造を決める。また、加工法の決定支援ツールを用いて、部品の加工方法、詳細寸法、加工誤差、そして、部品組立のための位置決め方法などを決める。

⑥組立手順の決定支援

部品の接続向きや部品間の寸法の追い、そして組立の優先順位の情報を決定することにより、設計対象の組立手順の情報を決定するための支援ツールである。

⑦調整代の設計支援

調整部品の決定支援ツール、調整代の計算ツールを含む。調整部品の決定支援ツールは、組立手順の情報を利用し、調整部品の指定や属性の編集に用いる。調整代の計算ツールは、寸法ばらつきの積算やばらつきを吸収する調整代の計算に用いる。

⑧利用者インターフェース

設計対象モデルの操作や組立オブジェクト属性の編集操作や各ツールを統合的に使用するための利用者環境を提供する。

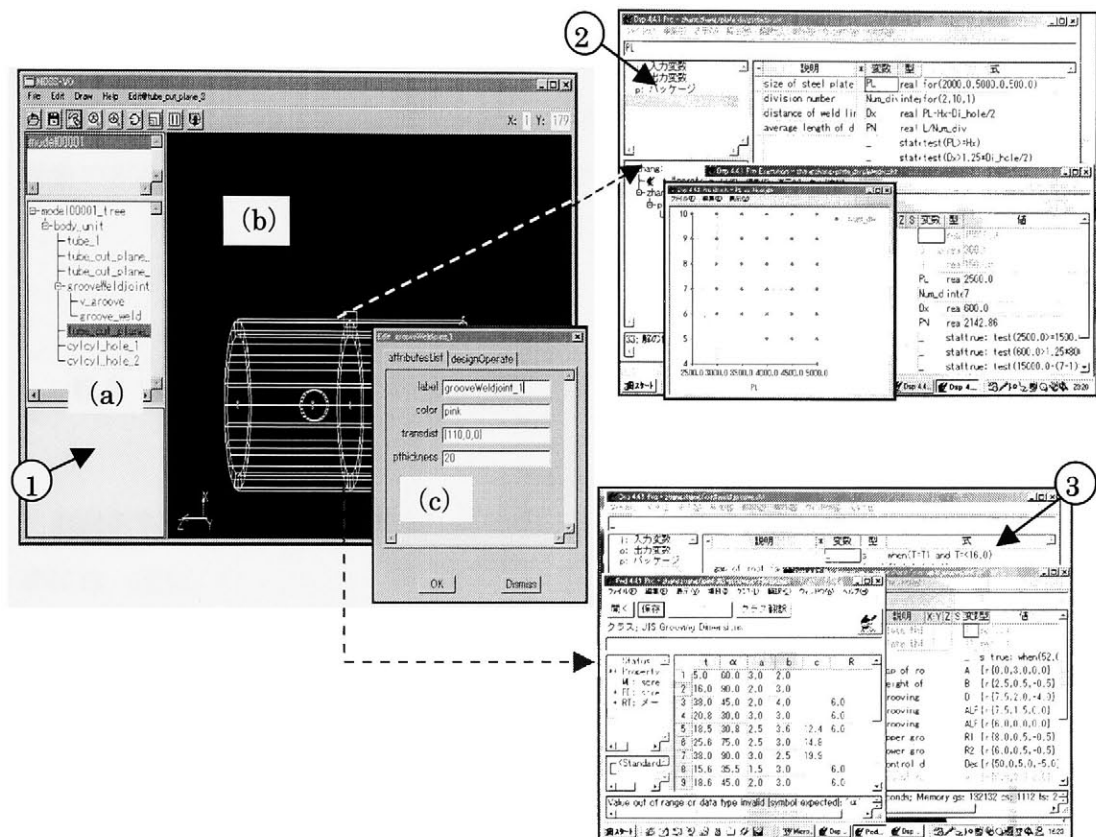


図 6.2 試作システムの操作環境

Figure 6.2 An operation environment of the prototype system.

図 6.2 に試作システムが用いた統合的な利用環境を示す. 利用環境は主に①の設計対象を操作するための GUI, ②の設計知識を処理するため支援システム DSP, そして, ③の設計規格や標準などの公的設計知識を処理するための支援ツール PED から構成される. ここでは, ①の GUI は利用者インターフェース, および各種ツールの統合のための環境として使用する. ②の DSP と ③の PED は設計にひおける知識ベースの作成や設計知識の処理に使用する.

②と③について5章で述べた。ここでは、①の利用者の操作環境と本モデルの関係について述べる。①の利用者の操作環境は、本設計対象モデルの基本概念に基づき、設計対象の組立構造を表示したり、組立オブジェクトを編集したりを行なうためのツリーペーン、そして従来の設計作業との連続性を保ちながら、設計対象の形状を表示するグラフィックペーンの二つの環境から構成されている。

6.2 設計対象モデルの編集

本設計対象モデルの基本概念に基づき、設計対象の組立構造の編集を行なうためには、主に、

- 組立オブジェクトとその属性の編集
- 組立オブジェクト間の依存関係の編集
- モジュール化ための編集
- 設計操作の編集
- 寸法の追いの編集

などの編集作業を行なうことが必要である。これらの作業に対して、今回の試作システムにおいて、以下のように対応した。

(1) 組立オブジェクトの属性の編集

利用者環境の画面では、図 6.2 の (a) に示すように、ツリーペーンには設計対象の構成要素である組立オブジェクトが陽に表示される。これのもとに設計者が設計対象をグローバル的にコントロールすることや局所に対する編集を行なうことができる。

組立オブジェクトの詳細属性を編集するには、今回の試作システムは、組立オブジェクトの操作タブを用いて対応した。組立オブジェクトの操作タブは設計対象の組立構造に基づいて、構成要素の詳細属性および構成要素に対する編集操作、組立オブジェクトの可能な設計操作リストが、組立オブジェクト毎に整理されており、ツリーペーン上で組立オブジェクトを選ぶと、その組立オブジェクトを構成する属性リストを表示する。これにより、必要な属性編集の作業を行なう。図 6.3 は編集画面の様子を示す。組立オブジェクトの属性リストの値を変更すると、対象組立オブジェクトの属性値が自動的に変更される。

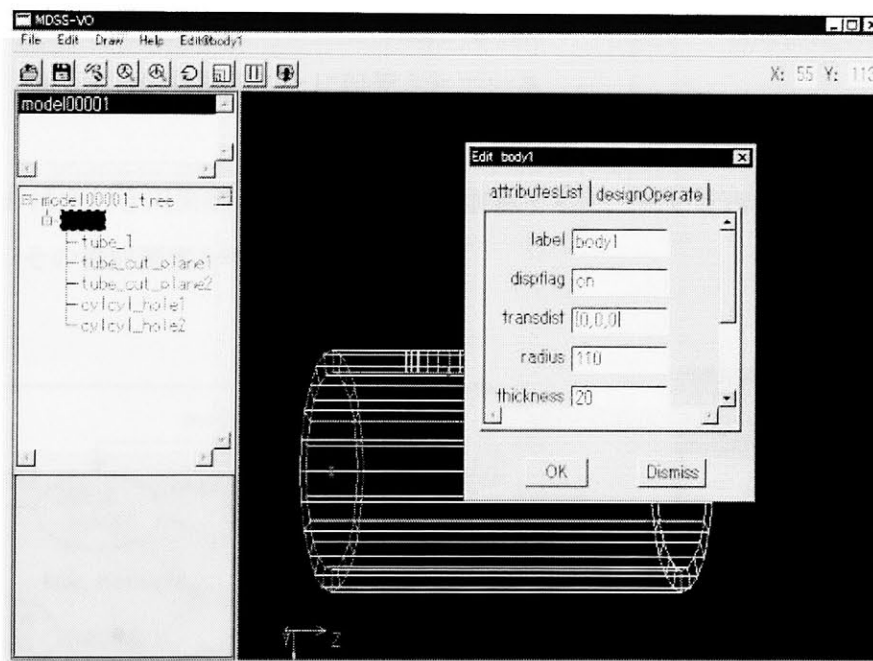


図 6.3 オブジェクト操作タブによる属性の編集

Figure 6.3 Editing attributes from object operating tab.

(2) 依存関係の編集

ツリーペーン上に、明示的に表現した設計対象の構成要素のツリー構造は、本設計対象モデルの依存関係の表現にある全体部分関係の表現に対応した。特定の組立オブジェクトに部品を追加するには、今回の試作システムでは、そのオブジェクトを選択し、操作メニューから、新規部品要素を選択することで行なう。このとき、親オブジェクトやその他の兄弟オブジェクトとを発生する依存関係は、新規組立オブジェクトの操作タブにより編集する。また、新規組立オブジェクトの性質を基に、属性を編集し、依存先の組立オブジェクト名を指定することにより、自動的に関連付けられる。依存関係は、システム内部で、組立オブジェクトのプラグ (plugs) とソケット (sockets) リストにより管理する。プラグ (plugs) とソケット (sockets) リストには、関連する組立オブジェクト名と依存関係名のペアで、発生する依存関係ごとに保管されている。

図 6.4 は穴付き円筒胴の組立構造の詳細表現を示す。利用者画面のツリーペーンには、その構成要素を明示的に表現する。

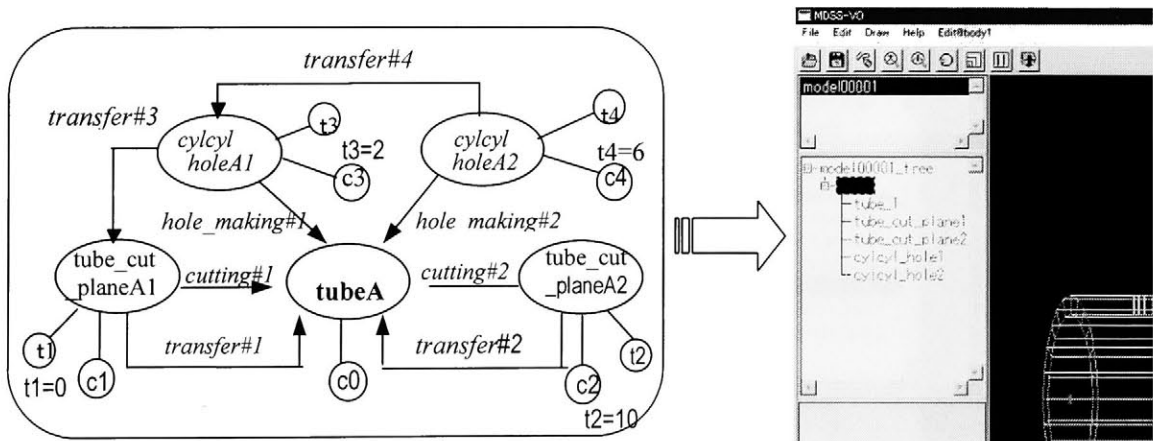


図 6.4 ツリーペーンによる組立構造の表現

Figure 6.4 The representation of assembly structure on tree-pane.

(3) モジュールの編集

溶接継手の設計情報を扱うように、設計操作では、組立構造のモジュールを抽象化したり、詳細化したりすることが必要である。抽象化の場合、構造を持たない組立オブジェクトを用意する。詳細化の場合、モジュール毎に用意した詳細化操作のリストから必要な操作を選べばよい。たとえば、突き合わせ溶接継手モジュールには、詳細構造を X 形開先の突き合わせ溶接継手、U 形開先の突き合わせ溶接継手にするための詳細化操作を用意している。今回の試作システムには、実験例モジュールだけの詳細化設計操作をあらかじめ整理し、メソッドとして、クラスに用意した。実際の製作設計支援システムの作成には、モジュールごとに、必要な詳細化の設計操作を体系的に整理する必要がある。図 6.4 は、突き合わせ溶接継手を V 形開先に詳細化する前後、組立構造のツリーペーンにおける変化を示す。

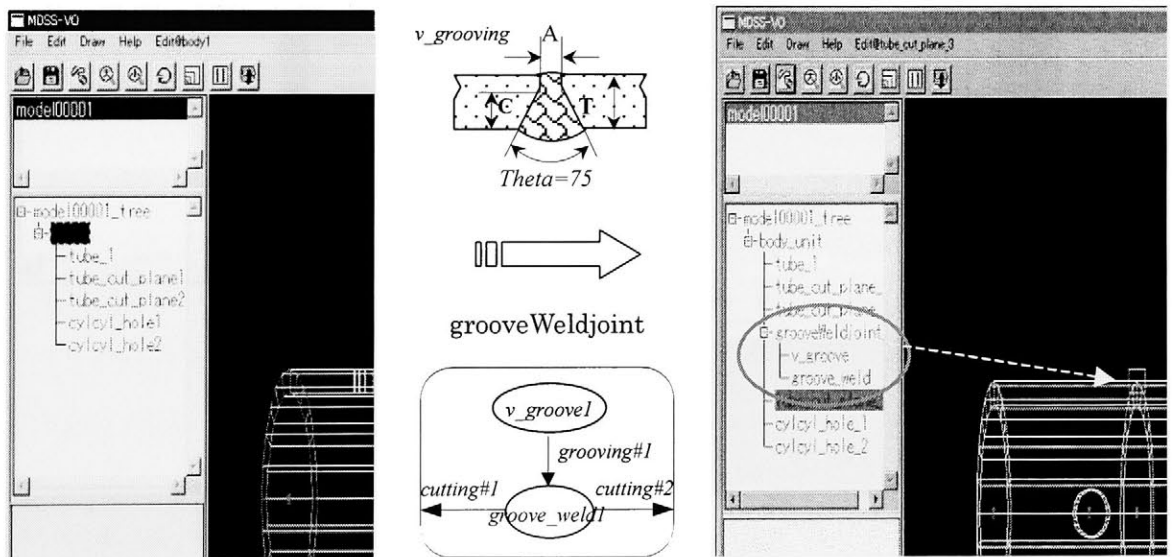


図 6.5 モジュールの詳細化

Figure 6.5 The operation of detailing assembly structure module.

(4) 設計操作の編集

端面の切断加工や穴あけ加工など製作設計の操作は、対象となる組立オブジェクトの操作タブの操作リストから選ぶことにより行なう。これらの操作は組立オブジェクトに所属するクラス毎に整理されている。ツリーペーン上で表示した組立オブジェクトを選ぶと、その組立オブジェクトに可能な設計操作リストを表示することができる。設計者は、必要な操作名を選べばよい。このとき、操作に必要な情報がシステムから要求され、必要な情報を入力すると、システムは組立構造における変更を自動的行なう。

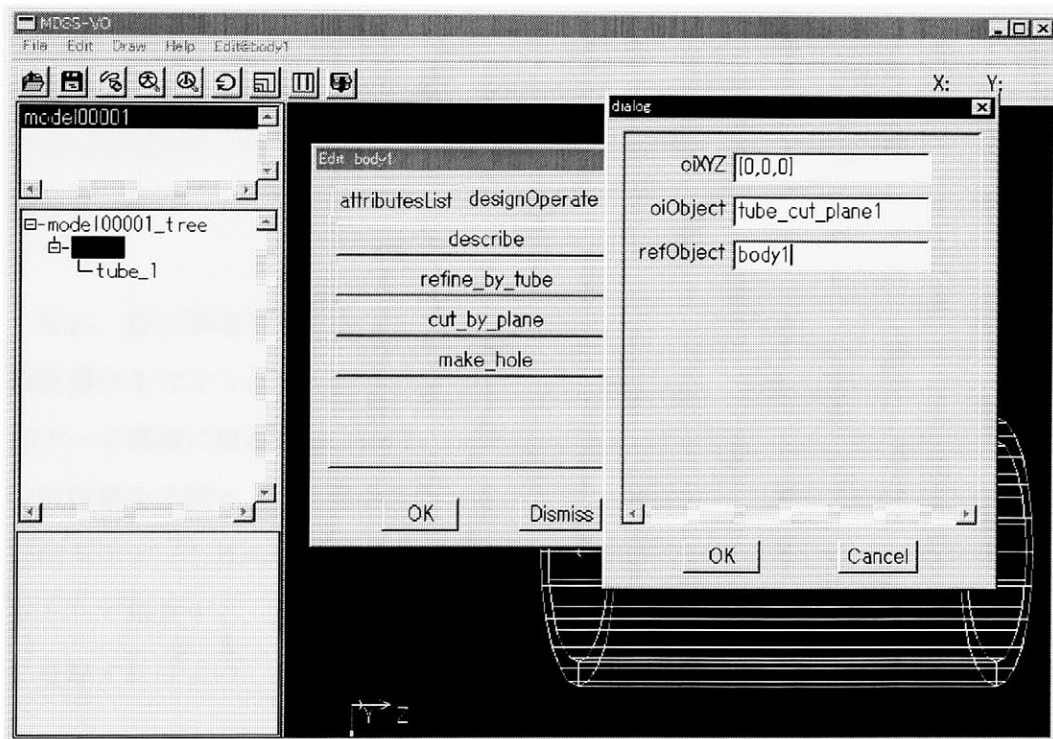


図 6.6 端面加工の設計操作

Figure 6.6 The design operation of end-cutting.

図 6.6 は、body1 の端面切断加工を行なう設計操作を示す。ツリーペーンから、組立オブジェクト body1 をクリックし、操作タブの設計操作リストから「cut_by_plane」操作を選ぶ。このとき、切断端面の位置を決めるための参照基準となる組立オブジェクト refObject と追い寸の情報 oiXYZ を入力し、切断断面の名前を oiObject ラベルに「tube_cut_plane1」と与えよ。この操作により、端面の切断加工を表す機能素クラス tube_cut_plane を基に、切断端面の tube_cut_plane1 が作られ、組立構造に組み込む。このとき、組立オブジェクト間の依存関係は、メソッド実行により自動的にリンク付けられる。

(5) 寸法の追いの編集

グラフィックペーン上では、設計の結果に基づく設計対象の形状情報を画面上に表示し、設計者が設計結果の目視確認を行なうための支援ができる。また、設計者は必要に応じた寸法の追いの編集は、組立オブジェクトの操作タブを通じて編集を行なう。

なお、組立構造の編集操作リストの作成において、製作設計における基本的な設計操作を行なうためのプログラミングが必要である。設計者が対象モデルの内部データ構造に煩われないように、システムでは、製作設計操作の意味を固まった設計作業を手続きとしてまとめた。たとえば、表 6.1 はこのような操作の代表的な例を示す。これらの操作は、関連する組立オブジェクトクラスのメソッドリストとして用意する。用意した設計操作は対応の組立オブジェクトの操作リストに登録すればよい。

表 6.1 製作設計における組立構造の基本操作の例

Table 6.1 The example of the basic operation of the assembling structure in manufacturing design

操作の種類	操作名	意味
加工、追加工 操作	cut_by_plane(B, C, T) make_round(O, Or, R) make_hole(B, A, H, T, D)	胴体 B に T の位置で端面 C の切断加工を行なう。 参照オブジェクト Or の位置参照し, O に半径 R の丸み付け加工を行なう。 胴体 B に A を基準に T の位置で直径 D の穴 H の穴あけ加工を行なう。
溶接継手の詳細化操作	make_v_groove(WJ, T, D, A, TW, N) make_x_groove(WJ, T, D, A, TW, N)	溶接継手 WJ を指定したパラメータで V 形開先の溶接継手に詳細化を行なう。 溶接継手 WJ を指定したパラメータで X 形開先の溶接継手に詳細化を行なう。
胴体の詳細化操作	divide_by_2(B, T) refine_by_tube(B) refine_by_mirror(B, H)	胴体 B を T の位置で 2 分割の詳細化を行なう 胴体 B を tube に詳細化する。 胴体 B を高さ H の鏡胴に詳細化する。

6.3 設計実験

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、前節での述べた試作システムを用いて、溶接製品品の一般的な設計例を選び、記述実験を行った。図 6.7 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、そして水室の三つのコンポーネントから構成される。

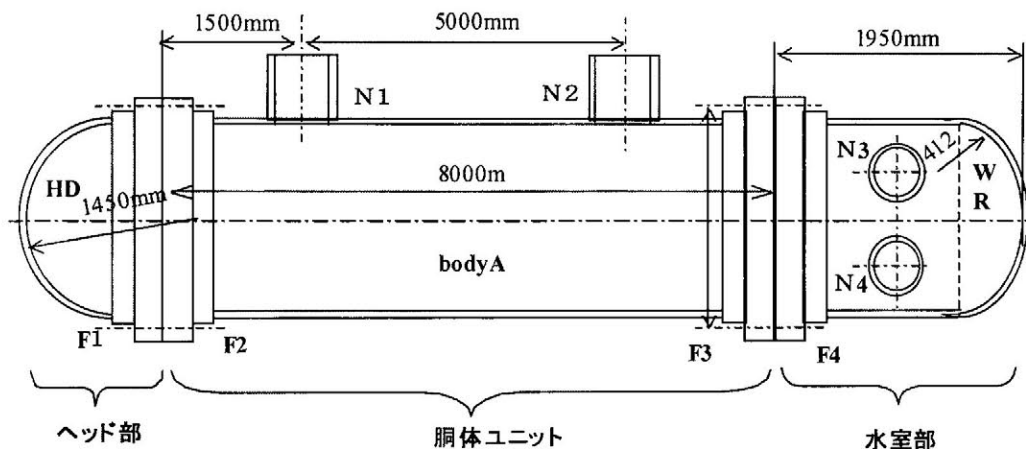


図 6.7 C タイプ水冷却器の例

Figure 6.7 An example of C-type water cooler.

[1] ヘッド部

図 6.8 はヘッド部の記述実験の様子を示す。水室の構成部品および主な機能素の一覧は表 6.2 に示す。なお、簡単のために、表中、部品間の接合部の説明は省略した。

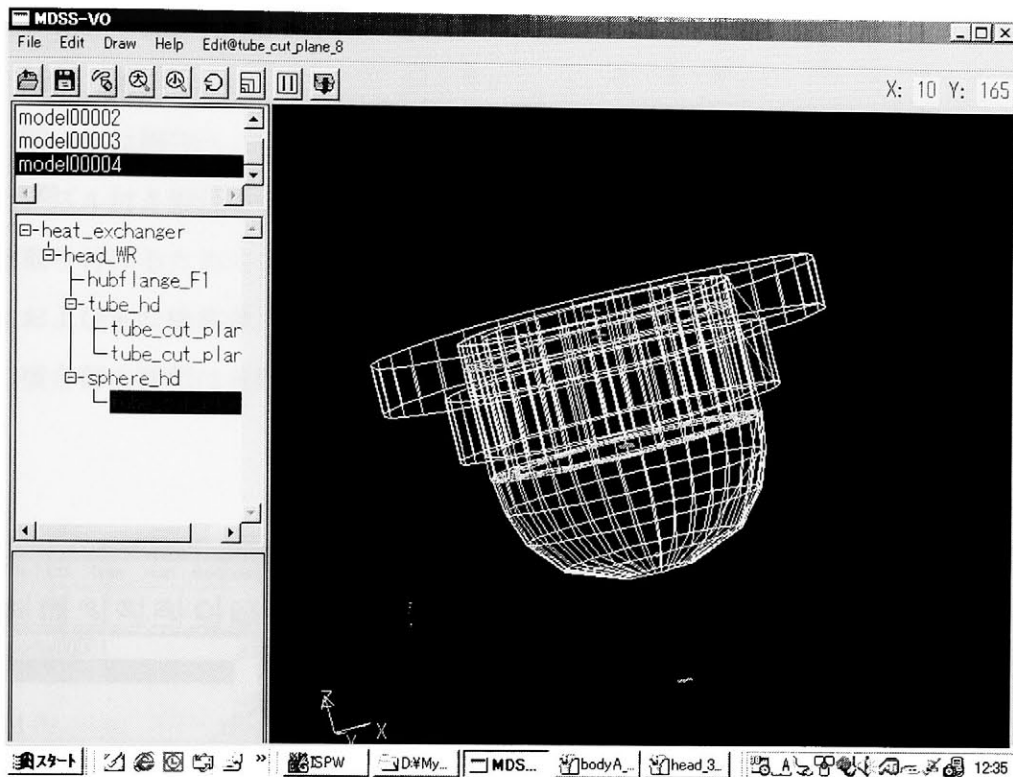


図 6.8 ヘッド部の記述結果

Figure 6.8 Result of the description of head component.

表 6.2 ヘッド部の構成一覧

Table 6.2 The composition list of the head part

製品名	構成部品		
	部品名	表示名	主な機能素
C タイプ冷却器 ヘッド部	ハブフランジF 1	hubflange_F1	tube_cut_planeF11
			flange_bodyF1
	鏡フランジ	tube_hd	tube_cut_plane_hd1
			tube_cut_plane_hd2
	鏡	sphere_hd	sphere_cut_plane
			sphere_body_hd

[2] 胴体ユニット部

図 6.9 は胴体ユニットの記述結果を示す。胴体ユニットの構成は第 6 章で述べたノズル付き胴体とヘッド部とを取り付けるためのバブフランジ F 2、水室部とを取り付けるためのハブフランジ F 3 から構成される。胴体ユニット部の構成部品および主な機能素の一覧は表 6.3 に示す。なお、簡単のために、表中、部品間の接合部の説明は省略した。

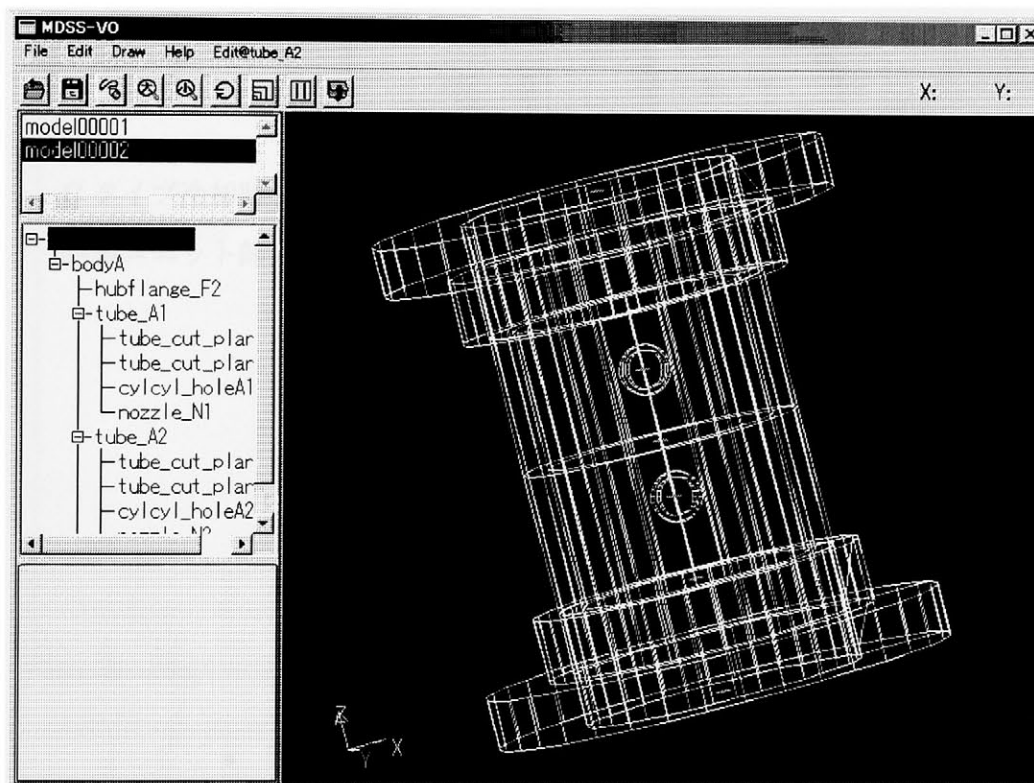


図 6.9 胴体ユニット部の記述結果

Figure 6.9 Result of the description of body-unit component.

表 6.3 胴体ユニット部の構成一覧

Table 6.3 The composition list of the body-unit part

製品名	構成部品				
Cタイプ冷却器 胴体ユニット部	部品名	表示名	主な機能素		
	ハブフランジ F2	hubflange_F2	tube_cut_planeF21	flange_bodyF2	
	胴体	tube_A1	tube_cut_plane_A1	tube_cut_plane_A7	
			cylcyl_holeA1	tube_cut_plane_A2	
			tube_A2	tube_cut_plane_A8	cylcyl_holeA2
		胴体ノズル N1		nozzle_N1	tube_cut_planeA3
		tube_cut_planeA4			胴体ノズル N2
		tube_cut_planeA6	ハブフランジ F3	hubflange_F3	tube_cut_planeF31
	flange_bodyF3				

[3] 水室部

図 6.10 は水室部の記述実験の結果を示す。水室部は水室鏡、水室胴、水室ノズル N 3 と N 4，そしてハブフランジ F4 から構成される。表 6.4 は水室部の構成部品および主な機能素の一覧を示す。

なお、簡単のために、表中、接合部の説明は省略した。

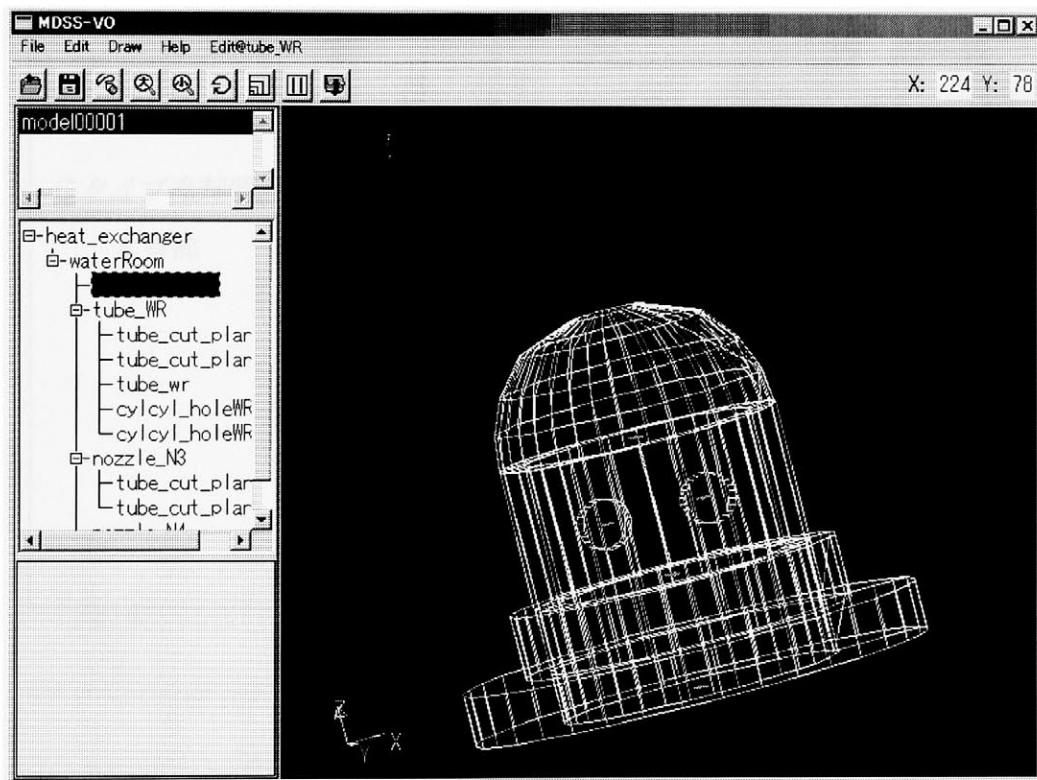


図 6.10 水室部の記述結果

Figure 6.10 Result of the description of water room component.

表 6.4 水室部の構成一覧

Table 6.4 The composition list of the water-room part

製品名	構成部品			
Cタイプ冷却器 水室部	部品名	表示名	主な機能素	
	ハブフランジ F4	hubflange_F4	tube_cut_planeF41	flange_bodyF4
	水室胴部	tube_WR	tube_cut_planeWR1	tube_cut_planeWR2
			cylcyl_holeWRN3	cylcyl_holeWRN4
	水室ノズル N 3	nozzle_N3	tube_cut_planeN31	tube_cut_planeN32
	水室ノズル N 3	nozzle_N4	tube_cut_planeN41	tube_cut_planeN42
	水室鏡	sphere_WR	sphere_cut_planeWR	sphere_body_wr

本設計対象の記述実験結果を表 6.5 に示す。表中、機能素を数える際に、接合部を表すモジュールを一つの機能素とした。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。

表 6.5 記述実験の結果

Table 6.5 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

記述実験の結果をまとめると次のようになる。溶接製品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み合わ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わかった。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。

6.3 第6章のまとめ

第6章では、製作設計支援のためのシステムを試作し、設計実験を用いて、提案した設計対象モデルの基本概念と有効性を検証した。以下に要約する。

- (1) 試作したシステムは、利用者インターフェースと設計知識を格納する知識ベース、設計対象モデルを格納するモデルベース、設計対象の組立構造を格納するデータベース、そして設計の流れに対応した支援ツールなどから構成される。その中、設計知識の処理は既存のツール DSP と PED を用いた。
- (2) 本設計対象モデルの基本概念に基づき、組立構造の編集において、主に組立オブジェクトとその属性の編集、組立オブジェクト間の依存関係の編集、モジュール化ための編集、設計操作の編集、そして寸法の追いの編集などが必要である。本試作システムにおいてそれぞれ対応した。
- (3) 設計実験の例として、発電プラントに使用する C タイプ冷却器を用いた。設計実験により、提案した設計対象モデルの基本概念や表現手法の有効性と表現能力について確認できた。また、構造形状に依存する設計情報の操作はできないことも判明した。一貫した支援を徹底するために、三次元モデルとの統合や他への応用について、第7章で考察する。

第7章 設計対象モデルの応用

6章までに、組立構造を用いて溶接製缶品の製作設計をモデル化した。本章では、溶接製缶品設計の一貫支援に向けて組立構造の応用について考察する。ここでは、溶接製缶品設計の支援において、重要な役割を果たす、見積り積算、三次元モデル、製作指示図書の3つを取り上げる。

7.1 溶接製缶品設計の一貫支援に向けて

図7.1は見積り積算、三次元モデル、製作指示図書の3つが溶接製缶品設計の流れに沿って、組立構造を用いた支援について示したものである。ここで、見積り積算とは、過去の実績や図面から製作する前に必要な工数や材料費用などを計算することである。見積り積算は設計の各段階で行なわれ、コストの面から設計を評価する。このとき設計者は必要に応じて、コスト削減のための設計変更を行なう。たとえば、詳細設計の段階では、製作工数がほぼ9割決められ、あとの変更が少ないため、この段階での製作コストの見積りを把握することは重要である。製作コストが高くなった場合、板割の方法の変更などで調整することができる。三次元モデルは、ビジュアル性のよい特徴を活用し、設計結果の目視確認や部品間の干渉チェックをしたり、設備の保守作業や関連企業との間での意見交換が容易に行なえる。これにより、設計ミスや判断ミスが少なくなる。たとえば、詳細設計の段階では、圧力や温度測定などの計器を検査の見やすい場所や他に影響のない場所に設置することが重要なので、三次元モデルで確認できる必要がある。

また、製作指示図書は、製作図、製作指示書、そして組立指示書のように、製作現場の作業員への支援にとって不可欠なドキュメントである。たとえば、製作指示書の作成でも設計の結果と作業現場の状況資料を把握し、製作機器の要求や治工具の要求を詳細に書く必要がある。

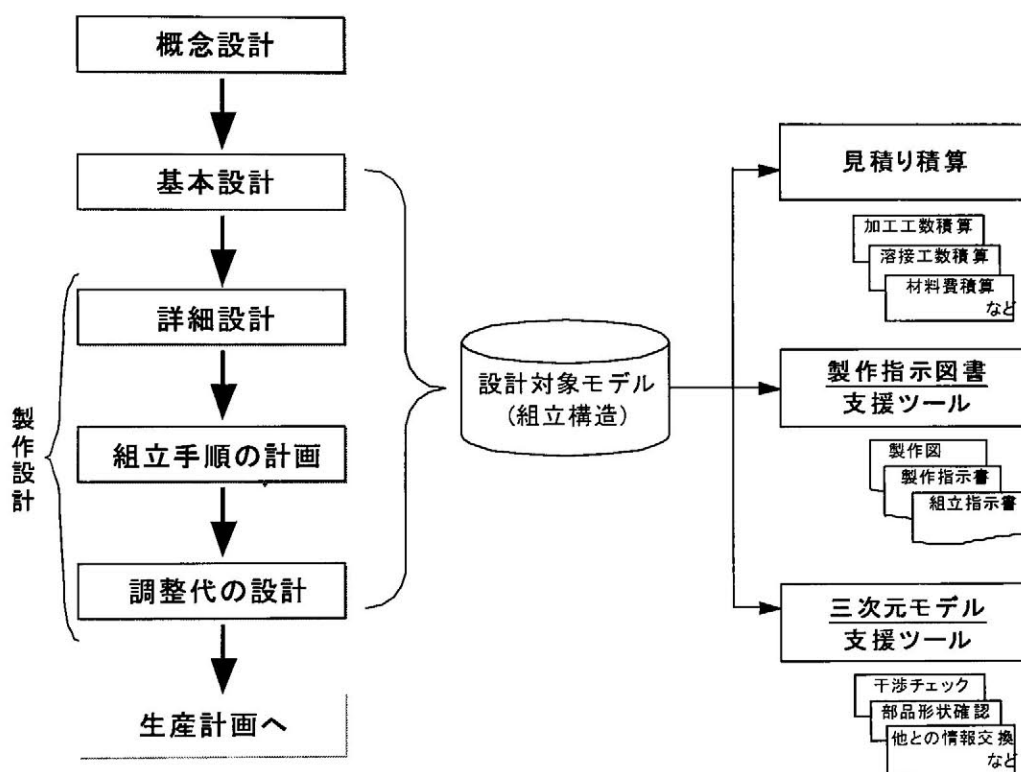


図 7.1 設計対象モデルの応用

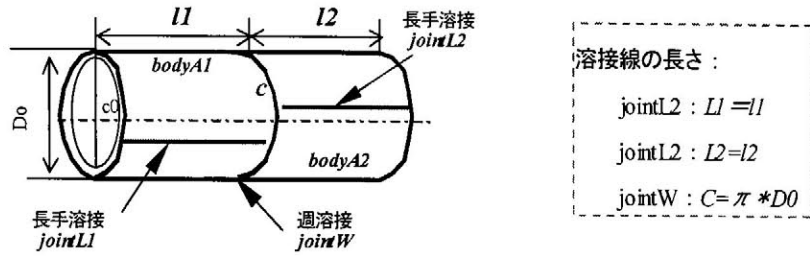
Figure 7.1 The applications of the Design Object Model.

7.2 見積り積算

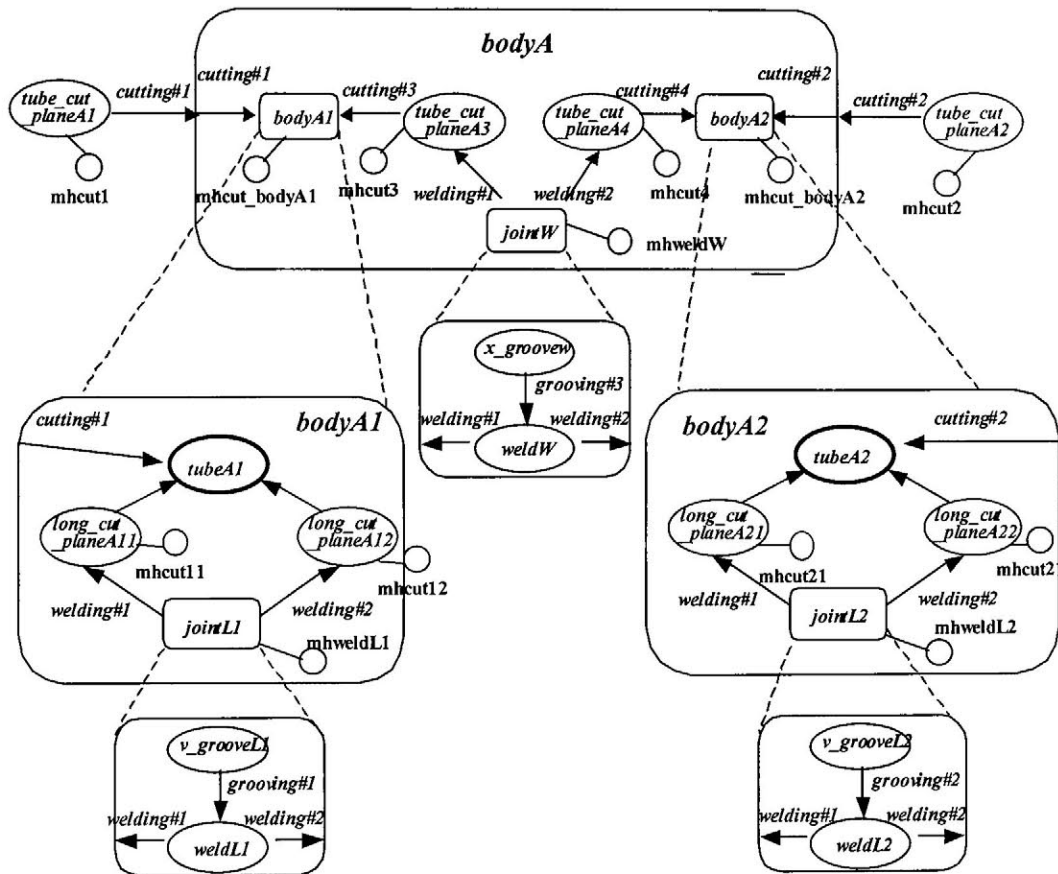
製作設計の見積り積算では、製品全体の加工工数の積算、溶接作業に必要な工数の積算、製作コストや材料費などの積算を行なう。特に、大型の溶接製品の場合には、部品点数や加工個所が多いため、見積り積算を行なうのに、多くの時間がかかる。このため設計者は、過去の実績や経験から類推して見積りを行なうことが多い。そこで多くの設計現場では、経験の少ない設計者でも見積り積算ができるように、過去の実績や製品工程の内容や概観の類似性を整理し、それを図表化している。図表化する方法は業種や部門ごとに異なるが、その一つの例として、製品重量と製品費の関係をグラフ化したものがある³⁷⁾(付録 E の(1) 参照)。しかしながら、このような方法を用いると、素早く見積れるが、技術革新等により、製品構成が変化した場合には、正確な見積りを出すことができない。このような問題を解決するためには、本設計対象モデルを用いて、製品製作における切断加工、開先加工などの加工工数や溶接作業に関わる溶接工数などの情報を組立オブジェクトの属性として設計対象モデル内に管理すればよい。

以下、図 7.2 (a) に示す円筒胴の例を用いて工数の見積り積算の方法を説明する。この例では、2 枚の板から曲げ加工し、それぞれ長手溶接により円筒胴 bodyA1 と bodyA2 を作成したあと、周溶接により円筒胴 bodyA を製作する。bodyA の組立構造を図 7.2 (b) に示す。この組立構造では、各組立オブジェクトの内に、加工工数や溶接工数を表す属性を持つ¹⁴⁾。溶接作業は bodyA1 の長手溶接 jointL1、bodyA2 の長手溶接 jointL2、そして組立の周溶接 jointW の三つがある。また、切断加工は bodyA1 に示すように、両端面の切断端面 tube_cut_planeA1、tube_cut_planeA3 がある。製品製作に必要な加工工数と溶接工数の見積り積算を行なうには、これらの組立オブジェクトを辿り、工数属性の値を積算すればよい。一般に、工数を求めば、製作工場の都合により、製作コストの見積り積算が容易に行なえる。

¹⁴⁾ ここでは、簡単のために、製作コストを切断加工、開先加工と溶接作業に限定する。



(a) 円筒胴bodyAの溶接



(b) 簡単化した組立構造

図 7.2 溶接工数と加工工数の見積り積算の例

Figure 7.2 An example of the estimate for man-hours of the welding and cutting process.

```

weldingObj::get_manufacturing_cost(Self, WageCut, WageWeld, MCost):—
    ::get_objs(Self, Ms),
    ::get_manhour(Ms, MhCutting, MhWelding),
    Mcost is MhCutting*WageCut + MhWelding*WageWeld.
................................................................(1)

weldingObj::get_manhour([], 0, 0).
................................................................(2)

weldingObj::get_manhour([Obj| Ms], MhCutting, MhWelding):—
    ::get_manhour_obj(Obj, MhcutObj, MhWeldObj),
    ::get_manhour(Ms, MhCutMs, MhWeldMs),
    MhCutting is MhcutObj + MhCutMs,
    MhWelding is WeldObj + MhWeldMs.
................................................................(3)

```

図 7.3 溶接費と加工費の見積り積算を行う手続き

Figure 7.3 The method of estimate of welding cost.

図 7.3 は、一般的な製缶品 weldingObj の製作コストの見積り積算を行なう続きを示す。図中、(1) は製缶品 weldingObj の加工作業と溶接作業に関わる費用を計算する。ここで、WageCut と WageWeld はそれぞれ加工作業と溶接作業の時間当たりの工賃を表す。(2) と (3) は製缶品 weldingObj の構成部品の加工工数と溶接工数を再帰的に積算を行なう。

なお、加工工数や溶接工数の計算には、設計対象の構造の複雑さや大きさ、切断加工や溶接の方法などの要因と密接に関係するので、体系的に整理された製作の工数に関する設計知識を使用する。付録 E の (2) に、ガス切断加工（開先加工を含む）と突き合わせ溶接を取る場合、単位ごとの工数計算の一例を示す。

7.3 製作指示図書の生成

製作現場の作業者にとって、製作図、製作指示書、また組立指示書などの設計資料は不可欠なドキュメントである。

製作図には、組立図、部品図、取り合い詳細図などがある。その中、取り合い詳細図に関しては、本設計対象モデルの接合部モジュールの属性操作を行なうことにより生成するように対応できる。組立図や部品図の処理について、今後の課題として、適切な方法を提案する必要がある。

また、製作指示書は、現場作業者に対する製作要求、たとえば加工機器や製造のための治工具の要求、製品納期、部品を外注するか内製するか、そして製作時に必要な特別な注意事項などを明記する必要がある。本設計対象モデルにおいて、製作に関わる機能素にこれらの項目を用意し、適切な形式で生成することにより製作指示書に対応できる。

また、大型製品であるため、現場の組立作業においても、設計で決定した組立手順の情報のほか、組立部品の位置決めや固定するために必要な器具の使用などに書かれた組立手順指示書が必要である。本設計対象モデルが部品間の依存関係により表現した組立手順の情報に基づいて、部品ごとに組立時の指示項目を表す属性付け、適切な形式で組立手順指示書を生成することが可能である。

一例として、溶接施工要領書の作成への応用について詳述する。適切な施工条件を与える溶接材料、溶接方法、溶接姿勢、熱処理、溶接電流、電圧、溶接姿勢や速度などの諸条件を明確に記述した溶接施工要領書も生産現場にとって不可欠である。溶接施工要領書の作成には、多くの法規や規格、溶接に関する専門知識が必要のため、本研究の範囲を超えているが、溶接に関する法規、JIS規格や社内基準などを知識ベース化し、溶接設計の支援ツールとを連携することにより適応することが可能である。たとえば、溶接継手モジュールを選択することにより、

必要な属性項目を整理し、開先形状の取り合い詳細図と合成すれば、図 7.4 に示すような溶接施工要領書が生成できる。図 7.4 は、板厚 30mm で、突き合わせ V 形開先溶接を取る場合の溶接施工要領書を示した例である。

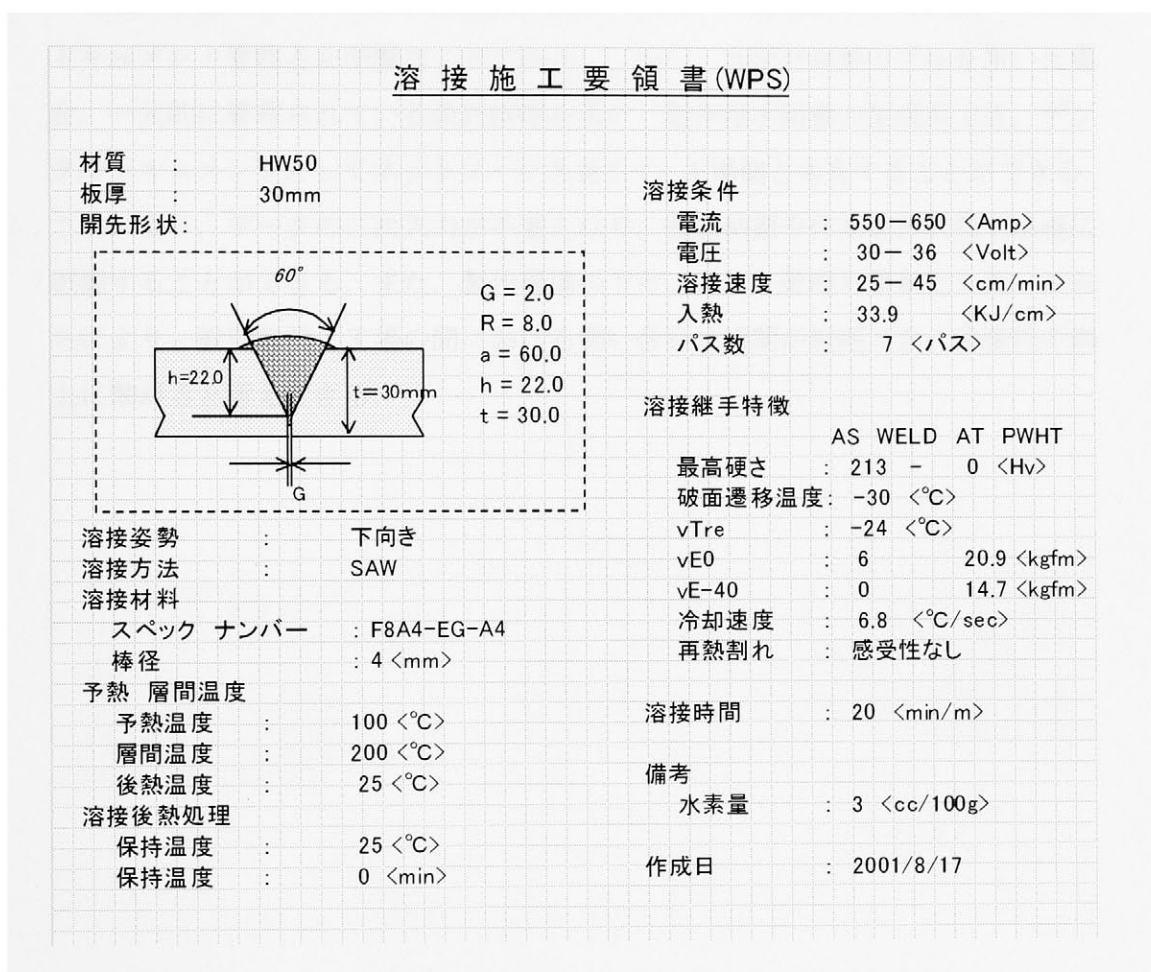


図 7.4 溶接施工要領書の例 [40]

Figure 7.4 Example of welding procedure specification. [40]

このように、本設計対象モデルを基に、製作指示図書の自動生成を支援することにより、設計部門と製作現場の間におけるさまざまな問題の解決や生産性の向上に貢献できると考えられる。

現状の設計部門と製作部門（工場）において、製作指示図書は図 7.5 の(a)に示す状況のように、紙ベースのやり取りで生産支援を行っている。このため、製作情報の重複入力、データ移しによるミスの発生、それに製品納期や作業進捗状況が迅速に把握できないなどの問題点がある。また、工場側にとって、紙ベースのドキュメント管理さえ困難なことである。しかし、本設計対象モデルを用いた場合、一元的に管理されている設計情報を基に、製作指示図書の生成ができ、デジタルドキュメントとしてネットワークを通じて、工場側と共有することができる。これにより、データの二次入力が不要となり、製品納期や作業進捗状況も迅速に把握することができる。また、製作現場のドキュメント管理も簡単化した。これらにより、設計部門と工場の間における問い合わせ時間が短縮でき、生産性の向上に繋がると考えられる。

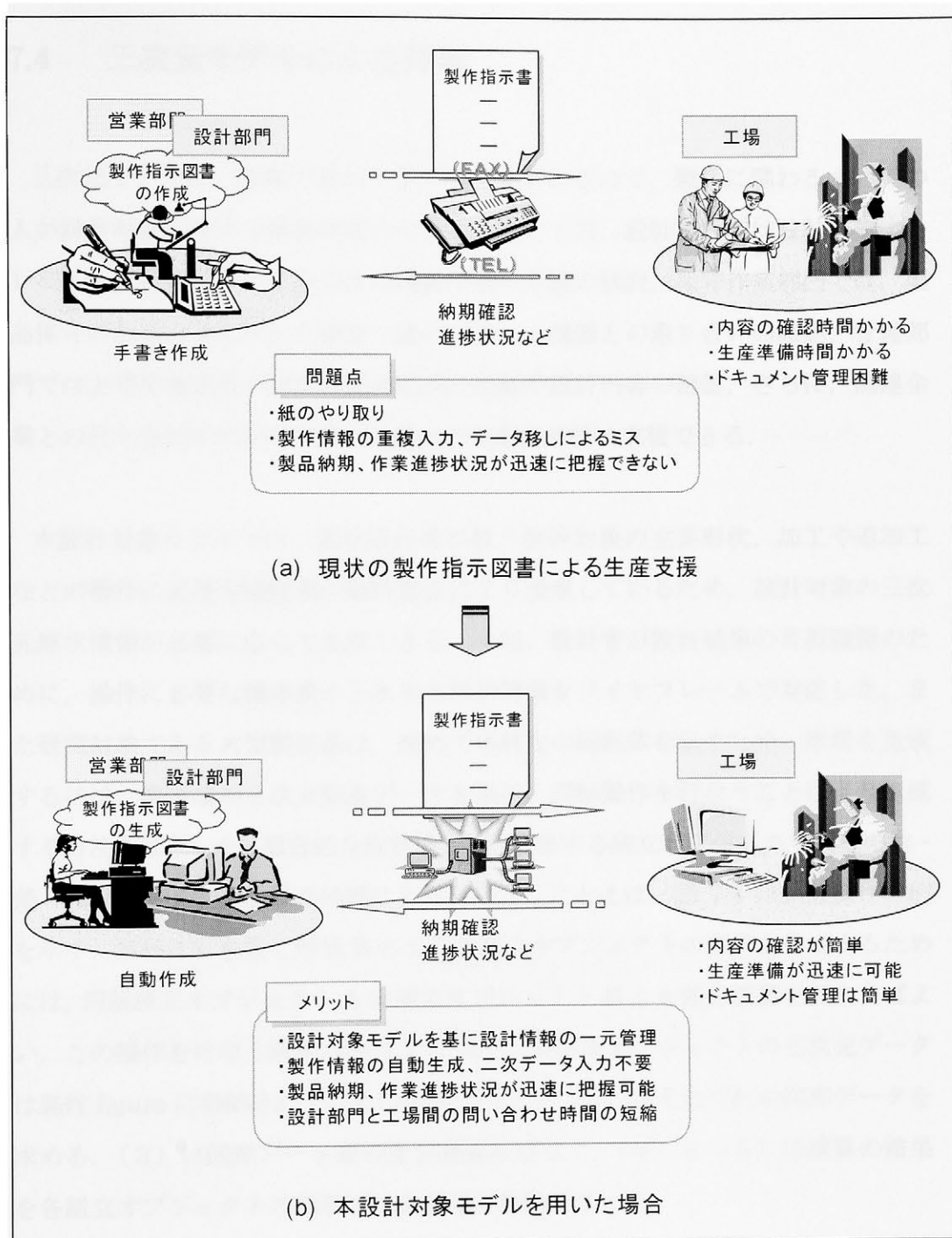


図 7.5 製作指示図書の支援

Figure 7.5 Support for manufacturing process specification.

7.4 三次元モデルによる評価

三次元モデルは、直観で分かりやすい特質があるので、製品に関わるすべての人が設計対象に対する情報共有ができる。たとえば、設計部門では設計に対するレビュー、製造部門では組立性の確認や組立手順の検討、保守作業部門では、製品保守のための部品形状の確認や他のプラント機器との取り合いの確認、管理部門では上司や管理者が設計の進捗状況の把握や設計内容の確認、さらに、関連企業との打ち合わせや作業内容の確認などの業務活動に支援できる。

本設計対象モデルでは、製作設計者が扱う設計対象の主要形状、加工や追加工などの操作に必要な機能素は属性集合により表現しているため、設計対象の三次元形状情報が必要に応じて生成できる。今回、設計者が設計結果の目視確認のために、操作に必要な機能素の三次元の形状情報をワイヤフレームで対応した。また研究対象である大型製品は、極めて単純な回転体を呈するため、形状を生成するには、機能素の2次元断面データを基に、回転操作を行なうことにより生成する方法を採用した。複合的な形状操作は、関係する組立オブジェクト同士の和・差・積のブーリアン演算の処理により行なう。たとえば、図 7.4 は差分操作の例を示す。円板に穴を空く形状 B のような組立オブジェクトの形状を生成するためには、円板組立オブジェクト A を組立オブジェクト H とを差分演算を行なえばよい。この操作を行なう続きは図 7.5 に示す。各組立オブジェクトの三次元データは属性 **figure** に格納されている。図中、(1) と (2) はそれぞれの図形データを求める。(3) は図形データ間の差分演算を行なう。(4) と (5) は演算の結果を各組立オブジェクトの図形データ属性に格納する。

特に溶接製品の製作設計では、対象構造物の形状に依存するものの設計情報を操作しなければならない。たとえば、断熱のための保温材、内張りゴム、防食食材や塗装用材などがある。これらの形状依存するものに対して、本設計対象モデルにおける属性の操作を三次元モデルとを統合することにより適用ができる。

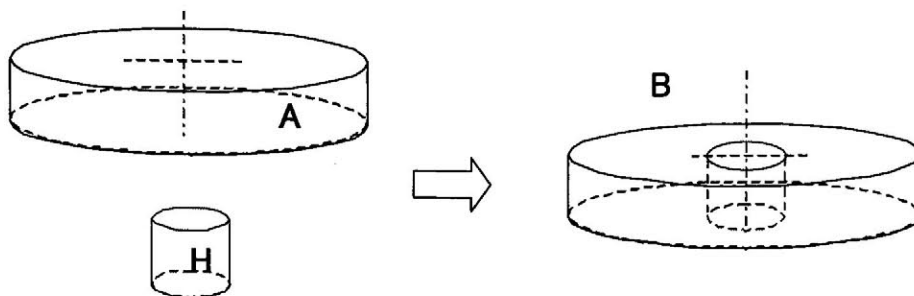


図 7.6 三次元モデルの図形操作の例

Figure 7.6 An example of the operation for three-dimensional model.

```

::set_operation(Self, difference, H):-
    ::figure(Self, Ps), .....(1)
    ::figure(H, Hs), .....(2)
    set_difference(Ps, Hs, Ps1, Hs1), .....(3)
    ::set_value(Self, figure, Ps1), .....(4)
    ::set_value(H, figure, Hs1). .....(5)

```

図 7.7 三次元モデルの図形の差分演算を行なう手続き

Figure 7.7 The method of the difference operation of three-dimensional model.

また、圧力タンクのように、内部の圧力や温度を測るための計測器が必要とされるとき、その位置確認や干渉チェックなどを行なうにも三次元モデルが必要である。さらに、海外で製品製造を行なう場合、作業員の製作図面を読む能力がそれほど訓練されていないため、生産現場の対応には、三次元モデルが期待される。

上記の業務活動への支援を可能にするためには、本設計対象モデルを三次元モデルとの統合をさらに強化する必要がある。

7.5 第7章のまとめ

第7章では、本設計対象モデルの適応について考察した。製作設計を一貫支援するには、本論文に述べた内容以外に、適応できることを以下に要約する。

- (1) 溶接製缶の製作設計を一貫支援するには、7章まで述べた支援以外にも、組立構造を用いて、見積り積算、三次元モデルの操作、製作指示図書の生成などへ支援が必要である。
- (2) 設計の早い段階で、コストのから設計案を評価したり、製品製作の前に必要な工数や材料費を把握し、製品のコストを調整したりすることが必要であるため、見積り積算を行なう。本設計対象モデルに基づき、加工や溶接に関する組立オブジェクトの属性から部品の工数積算を行なうことが可能であるが、加工工数や溶接工数の計算には、加工対象の構造の複雑さ、大きさ、溶接の方法などの要因を考慮した製作工数に関する知識が必要である。
- (3) 本設計対象モデルは、製作現場のために、部品の取り合い詳細、組立など明記した製作図、治工具要求、注意事項、製品納期などを記述した製作指示書、また製品組立のための組立手順などを明記した組立指示書のようなドキュメントの生成へ適応できる。これにより、設計部門と製作現場間の問い合わせ時間を短縮できる。
- (4) 三次元モデルは、設計対象の形状情報を分かりやすく表現するので、製品の設計、製造、そして保守などに関わるすべての人員にとって、部品確認、情報交換に役に立つ。特に、溶接製缶品の場合、製品構造の形状に依存する保温材、内張りゴム、計測器などの設計情報を操作するのに不可欠である。このため、本設計対象モデルを三次元モデルとの統合が必要である。

第8章 結論

8.1 研究のまとめ

本論文では，溶接製缶品の設計のうち製作設計を焦点に，その支援に必要な設計対象モデルを提案した．

本設計対象モデルは，製作設計者が操作する基本単位である機能素の組み合わせにより，溶接製缶品の製作設計における設計対象の組立構造を表現した．これをもとに溶接製缶品の製作設計に使用する機能素を，製作設計者の設計作業の性質や目的をもとに整理した．また，設計作業の段階的に詳細化を対応するために，本設計対象モデルでは，組立構造のモジュールの概念を提案した．モジュールは設計対象をモデル化する際に，機能素と同様に取り扱える．この概念により，設計者が，設計操作における抽象化をしたり，詳細化をしたりすることができ，設計作業の段階的詳細化を容易に表現することができた．また，設計対象モデルを構築するには，組立構造の基本操作を用いる．基本操作には，設計対象モデルの構築する際に，組立オブジェクトの生成，依存関係の編集，組立オブジェクトの属性の編集を行なうとき，内部のデータ構造の編集を行なう．基本操作の組み合わせにより，端面加工や穴あけのように，製作設計の設計操作も構築できた．

また，本設計対象モデルをベースに，溶接製缶の製作設計に関わる組立手順，現合のための寸法，溶接継手などの溶接製缶品の領域表現を行った．組立オブジ

エクト間の依存関係により、製作設計に必要な組立手順を表現し、これをもとに、調整のための寸法を表現し、製作現場に必要な現合作業をモデル化ができた。

また、本設計対象モデルを用いて、溶接製缶品の製作設計の業務特徴に適合した詳細な設計手順を体系的に整理した。この設計手順に沿って、設計実例を用いて記述実験を行い、本対象モデルの記述能力を確認できた。またこの記述により、溶接製缶品の製作設計上流から下流までの設計情報を、本設計対象モデルを基に、一元的に表現、管理できることを示した。これらの結果のもとに、本設計対象モデルの基本概念と表現手法の有効性を確認するために、設計支援システムを試作した。また試作システムを用いて、C 冷却器の設計実例を例に、設計実験を行なった。その結果、溶接製缶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、段階的詳細化等の設計対象モデルの諸要件を満たしたと考えている。

最後に、溶接製缶の見積り積算、製作指示図書の生成、そして三次元モデルによる評価への応用を取り上げ、本設計対象モデルの適用性と発展性について考察した。

8.2 今後の研究課題

本研究の今後の課題として、次の四つの方面からまとめられる。

(1) 実用性の検証

本設計対象モデルを実際の設計業務に適応し、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。

(2) システム環境の整備

設計者が実際に本設計対象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などの加工に必要な設備や工作法に関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。また、設計者がモデルベースを構築できる環境の提供も必要である。

(3) 設計対象モデルの応用

本設計対象モデルの応用で考察した見積り積算、製作指示図書の生成および3次元モデルと統合など応用面への支援について、さらに研究する必要がある。また、本設計対象モデルは、今回の対象を単純形状を示す大型の溶接製品分野に限定したが、本モデルの表現手法を溶接製品と近似したドメインへの適応が可能と考えられる。これには、更なる考察が必要である。

(4) 実務における運用手法への確認

本設計対象モデルを用いた場合、設計教育、保守管理、また生産技術との関係や運用手法への確認が必要である。

謝辞

本研究を進める上でお世話になった次の方々に謝意を表す。

九州工業大学情報工学部・長澤勲教授には、指導教官として研究全般に渡り懇切な御指導を賜った。特に、本研究の構想、研究姿勢、研究方針と研究アプローチなどに関する御指導、ご鞭撻は大変貴重であった。

長菱設計株式会社・山口秀行氏には、実際の溶接製品品の設計業務ご指導いただき、また貴重な設計資料をご提供していただいた。

九州工業大学情報科学センター・望月雅光助手には、研究生活と研究全般に渡りいろいろ有益な助言をいただいた。

九州工業大学情報工学部・梅田政信助手には、ソフトウェア技術や知識処理に関して有益な助言をいただいた。

また、本論文をまとめるにあたり、副査として御指導いただいた、九州工業大学情報工学部・安部憲広教授、橋本正明教授、鈴木裕教授、高田修助教授の各先生は、それぞれの御専門から貴重な御意見を頂き、本論文および今後の研究について重要な指針となった。ここに深く感謝の意を表す。

また、長い間激励と支援を頂く日本語先生兼日本の友人の具島順子先生、牛島末津代先生、ならびに本研究を行なう上で御協力いただいた九州工業大学情報工学機械システム工学専攻長澤・高田研究室の皆様には深謝する。

最後に、筆者をさまざまな面に陰から支え続けてくれた妻常青、息子浩博、娘文佳に感謝する。

関連論文

- [1] 章 志華, 長澤 勲, 望月 雅光, 山口 秀行, 梅田 政信:溶接製缶品の製作設計支援のための設計対象モデル, 情報処理学会論文誌, Vol.41, No.1, pp.123-135(2000).

- [2] Zihua Zhang, Isao Nagasawa, Masamitsu Mochizuki, Hideyuki Yamaguchi, and Masanobu Umeda:A Design Support System for Manufacturing Design of Welding Vessel Object, The Proceedings of IFIP 16th World Computer Congress on Information Technology for Business Management , ITBM2000 , pp.658-666 (August, 2000).

- [3] Zihua Zhang, Isao Nagasawa, Hideyuki Yamaguchi, and Masanobu Umeda :A Design Support System for Basic Design of Heat-Exchanger, The Proceedings of International Conference on Manufacturing Automation , ICMA'97 , Vol.2, pp.691-696 (April, 1997).

- [4] 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).

- [5] 山口 秀行, 長澤 勲, 梅田 政信, 望月 雅光, 章 志華:プラント機器の基本設計支援のための知識表現モデル, 情報処理学会論文誌, Vol.41, No.11, pp.3180-3192 (2000).

- [6] 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).
- [7] Hideyuki Yamaguchi , Isao Nagasawa , Masanobu Umeda , Zhihua Zhang : Standardization of Design Sequences of Heat-exchanger for Power Plant , The Proceedings of International Conference on Manufacturing Automation, ICMA'97, Vol.1, pp.504-509 (April, 1997).
- [8] 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).

参考文献

- 1) 吉川弘之, 富山哲男編: インテリジェント CAD (上・下), 朝倉書店(1989).
- 2) 長澤勲: 設計エキスパートシステム, 情報処理学会誌 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 (1992/3).
- 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) 章 志華, 長澤 勲, 望月 雅光, 山口 秀行, 梅田 政信 : 溶接製品のための設計対象モデル, 情報処理学会論文誌, Vol. 41, No. 1, pp.123-135 (2000).
- 9) 長澤勲, 伊藤公俊 : 属性モデリング, シミュレーション, 第 10, 第 2 号, pp. 110-118 (1991).
- 1 0) 赤木新介, 藤田喜久雄 : [研究展望] 設計におけるコンピュータ利用とシンセシス, 日本機械学会論文集 C 編, Vol. 60, No. 579, pp. 3591-3601 (1994-11).
- 1 1) 梅田政信, 望月雅光, 長澤勲 : 産業と IT 革命, 精密工学会, Vol.66, No.6, (2000).
- 1 2) Feng-Chang Yang, and Ming-Tzong Wang : An Object Oriented Feature based Computer-aided Design System for Concurrent Engineering, IEEE Cat. No. 92 TH0500-9, 393-8, xvi+711 (1992).
- 1 3) UCLA/NSF Workshop on Features in Design and Manufacturing, UCLA, February 26-28, 1988.
- 1 4) Jami J. Shah and Mary T. Rogers : Assembly Modeling as a Feature-Based Design, Research in Engineering Design (USA), Vol.5, No.3-4, pp.218-237 (1993).
- 1 5) V. Allada and S. Anand : Feature-based Modeling 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).

- 1 6) M. Martti, N. Danaand, S. Jami : Challenges in Feature-Based Manufacturing Research, Communications of ACM, Vol.39, No.2, pp.77-85 (1996).
- 1 7) 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 (1992/3).
- 1 8) Ito, M. and Kono, M. : CONMOTO A Machine Part Description System Based on Designers' Mental Processes, Proc. Of IFIP W.G.5.2 Working Conference (1985).
- 1 9) 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).
- 2 0) Zhihua Zhang, Isao Nagasawa, Masamitsu Mochizuki, Hideyuki Yamaguchi, and Masanobu Umeda : A Design Support System for Manufacturing Design of Welding Vessel Object, The Proceedings of IFIP 16th World Computer Congress on Information Technology for Business Management, ITBM2000, pp.598-666, (August, 2000).
- 2 1) 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).
- 2 2) 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).
- 2 3) 日本規格協会 : JIS ハンドブック溶接 (1992).

- 2 4) 日本規格協会：JIS ハンドブック鉄鋼 (1993).
- 2 5) A. C. Lin, S. -Y. Lin and S. -B. Cheng: Extraction of manufacturing features from a feature-based design model, *Int. J. Prod. Res.*, Vol.35, No.12, pp.3249–3288 (1997).
- 2 6) Ming-Tzong Wang, M. A. Chamberlain, A. Joneja and Tien-Chien Chang : 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).
- 2 7) 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).
- 2 8) 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).
- 2 9) Zhihua Zhang, Isao Nagasawa, Hideyuki Yamaguchi, and Masanobu Umeda : A Design Support System for Basic Design of Heat-Exchanger, *The Proceedings of International Conference on Manufacturing Automation, ICMA'97*, April 25–28, 1997.
- 3 0) 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言語 ADL, *情報処理学会論文誌*, Vol.25, No.4, pp.606—613 (1984).

- 3 1) M. Hauser and R.J. Scherer : Application of Intelligent CAD paradigm stop reliminary structural design , Artificial Intelligence Engineering 11, pp.217-229 (1997).
- 3 2) 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).
- 3 3) 長澤勲, 梅田政信, 樋口達治 : 設計者のノウハウをデータベース化し, 設計の品質を高める設計言語 DSP (上) 一解説編, 機械設計, Vol.42, No.12, pp.59-71 (1998).
- 3 4) 樋口達治, 長澤勲, 梅田政信 : 設計者のノウハウをデータベース化し, 設計の品質を高める設計言語 DSP (下) 一解説編, 機械設計, Vol.42, No.13, pp.109-117 (1998).
- 3 5) 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).
- 3 6) 山口 秀行, 長澤 勲, 梅田 政信, 望月 雅光, 章 志華 : プラント機器の基本設計支援のための知識表現モデル, 情報処理学会論文誌, Vol.41, No.11, pp.3180-3192 (2000).
- 3 7) 畑村洋太郎, 中尾政之 : 設計者が欲しい設計支援システムの開発, 情報処理, Vol.41, No.7, (2000).
- 3 8) 土屋 哲 : 現場での機械工作見積り法, 日刊工業新聞出版 (1987).

- 3 9) 望月雅光, 学位論文: ばらつき解析のための知識表現と推論機構に関する研究.
- 4 0) Shuichi Fukuda, Hideki Morita, Yoshihisa Yamauchi, Isao Nagasawa, Shuji Tsuji : Expert System for Determining Welding Condition for a Pressure Vessel, ISIJ International, Vol.30, No.2, pp.150-154 (1990)
- 4 1) 福田収一, 神尾洋一 : OPS3 プログラミングテクニック, パーソナルメディア社 (1990).

附録

附録 A

A.1 胴体の穴開けを行なう手続き

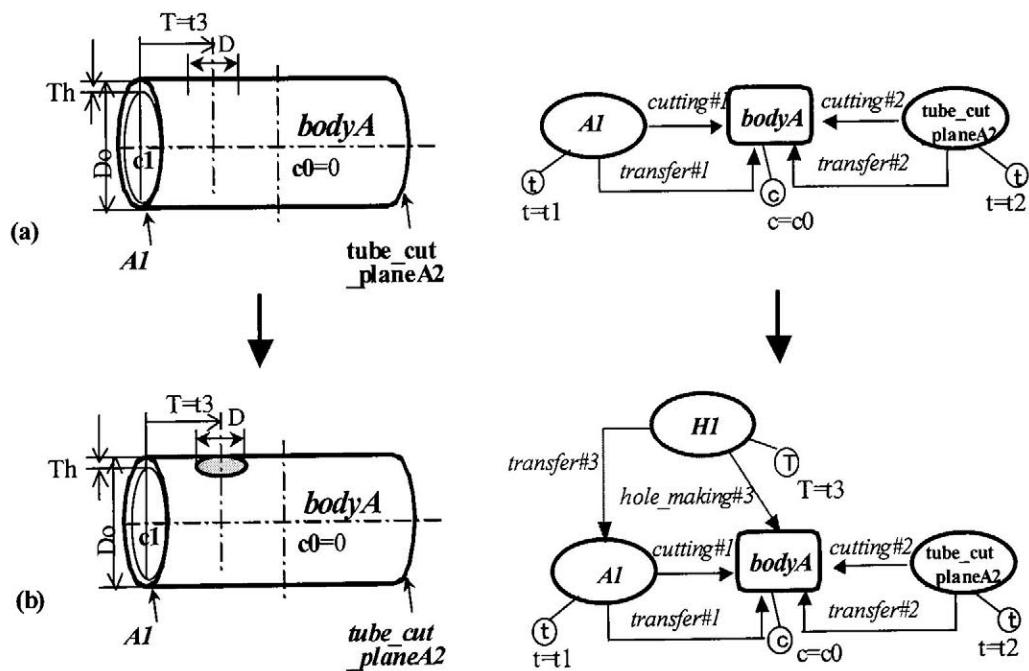


図 A. 1. 1 胴体の穴開け操作

Figure A.1.1 The operation of opening a hole in body.

図 A.1.1 は胴体 bodyA の端面 A1 を参照し，T の位置に，直径 D の穴 H1 を穴開け操作を行なう際の組立構造を示す．この操作を行なう手続きは図 A.1.2 に示す．

```

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.1.2 胴体に穴開けを行なう手続き
Figure A.1.2 A method for opening hole in body.

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，二分割する操作を行なう手続きを示す。

```
body::divide_by_2(Self, T) : -
  make_instance(A1, body,
                attributes(diameter_out(Self!dia_out),
                           thickness(Self!thickness))),
  transfer_dist(0),
  cood_ref(Self!cood),
  body_length(nil), .....(1)
  make_instance(A2, body,
                attributes(diameter_out(Self!dia_out),
                           thickness(Self!thickness))),
  transfer_dist(T),
  cood_ref(Self!cood),
  body_length(nil), .....(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

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

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こと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, (10), (11)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, 突き合わせ溶接継手 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 tubeA に詳細化する手続きを示す。

```
body::refine_by_tube(Self) : -  
    make_instance(A1, tube,  
        attributes(diameter_out(Self!dia_out),  
            thickness(Self!thickness))),  
        tube_length(Self!length)), .....(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

Figure A.3 Method for body refining by tube.

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。

附録 B

(1) 生成検証法とデータフローの基本概念

設計変数の仮定定義域上にある値の組み合わせに対して、条件に満足した設計解をすべて網羅する。図 B.1 は変数 X , Y の定義域が共に $\{1, 2, 3\}$ であるとき、 $X > Y^2$ となる X, Y の値の組み合わせをすべて求める問題の生成検証法の例を示す。

図 B.1(a) は計算の全体過程を表現したものであり、探索木と呼ぶ。図中、①と②はそれぞれ X と Y の値を非決定的に生成することを示す。③は計算式を用いて、変数 Z の値を計算した結果である。④はステップ①～③で計算した値が設計条件に満たすかどうかの検証結果である。また、○はステップの実行が成功、×は実行の失敗を示す。この例では、 X, Y の値の組み合わせは全部で 9 通りあり、そのうち解となるのは 2 通りであることがわかる。

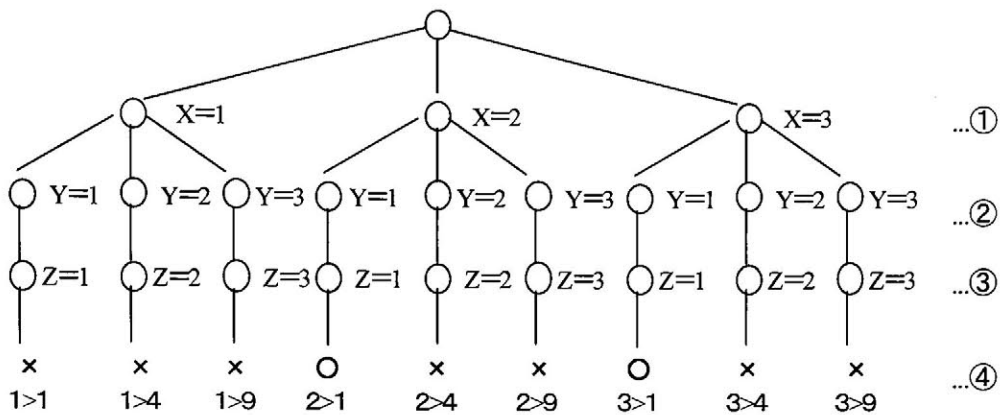
図 B.1(b) は生成検証法における設計変数間の関係を表したデータフロー図式である。図 B.1(a) に与えた計算手順はデータの流れを満足しさえすれば、

(1) ①, ②, ③, ④;

(2) ②, ①, ③, ④;

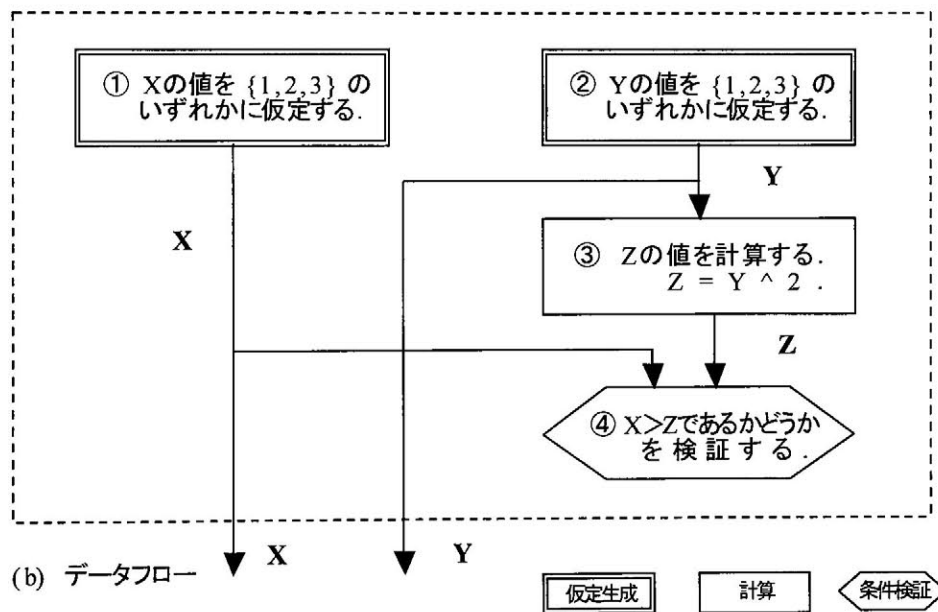
(3) ②, ③, ①, ④;

のようにステップの順序をどのように入れ換えても得られる解の集合は同じである。すなわち、一つのデータの流れに対して多数の制御の流れが考えられる。ステップの順序入れ換えると一般に探索木の形は変化するが、この方法は設計者がデータの流れと解集合だけ着目すればよい解法である。



(a) 探索木

○ 成功 × 失敗



(b) データフロー

図 B.1 生成検証法とデータフロー

Figure B.1 The generate-and-test method and data flow.

(2) 胴体分割設計の DSP 手続き

図 B.2 は、5.3 節で述べた設計知識処理の例において、胴体の分割設計を行なうための DSP 手続きを示す。

```
plate_div ( {L, Di_hole, Hx}, {Num_div, PL})  
  method  
    PL=for (2000.0, 5000.0, 500.0); .....(1)  
    Num_div= for (2, 10, 1); .....(2)  
    Dx=PL-Hx-Di_hole/2; .....(3)  
    PN=L/Num_div; .....(4)  
    test(PL>=Hx); .....(5)  
    test(Dx>1.24*Di_hole/2); .....(6)  
    test(L-(Num_div-1)*PL<50.0); .....(7)  
  end;
```

図 B.2 分割案を生成する DSP プログラム

Figure B.2 The DSP program for determining the division plans.

図中、L, Di_hole, Hx は入力変数で、分割数 Num_div と板の長さ PL は出力変数である。ここで、(1)、(2) は素材板のサイズと分割案を生成し、(3)、(4) は分割位置（溶接線の位置）と穴の中心位置距離と平均分割長さを計算する。また、(5)、(6)、(7) は必要な設計制約条件を検証する。知識ベースを構築する際に、このような構造化された設計知識は、設計者自らで体系的に整理し、設計案を生成するための支援として、支援システムの知識ベースに保存する。

(3) 突き合わせ溶接開先の詳細寸法を決定する手続き

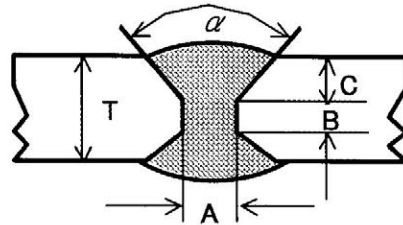


図 B.3 開先の詳細構造の例

Figure B.3 An example of detail structure of groove.

```
grooving_dimension_MW ( {Tp, GA0}, {T, GA, A, B, C, R})  
method  
T = for (2.0, 50.0, 0.5) .....(1)  
function(groove_dimension, {Tp,T}, {GA, A, B, C,R}); .....(2)  
test(GA0>GA); .....(3)  
end;
```

図 B.4 手動溶接開先寸法の決定プログラム

Figure B4 Knowledge processing for determining grooving dimensions.

図中, (1) は溶接する部品の板厚の値を仮定する. (2) は PED の指定したスキーマで整理した公的設計知識から開先の詳細寸法を検索する. (3) は決められた設計条件を検証する. これで適切な設計案をすべて生成される.

附録 C

ISPW 言語によるクラス記述

ここでは、ISPW 言語^註による設計対象モデルの構成要素のクラス記述を示す。

(1) 主要形状の機能素クラスの例

● クラス円筒胴 (tube)

```
class(tube,  
      super(io_primitive),  
      ivar(radius(reader(radius), writer(set_radius)),  
            height(reader(height), writer(set_height)),  
            thickness(reader(thickness), writer(set_thickness)),  
            material(reader(material), writer(set_material))),  
      fig)  
).  
  
tube::init(Self, Init):-  
    io_primitive::init(Self, Init).  
  
tube::dialog_items(Self, Lis):-  
    Lis=[(label, false, Label), (dispflag, false, Disp),  
         (color, false, Color), (transdist, false, Transdist),  
         (rotatedist, false, Rotatedist), (radius, false, Radius),  
         (height, false, Height), (thickness, false, Thickness),  
         (material, false, Material)].  
  
tube::method_items(Self, Lis):-  
    Lis=[describe, figure].
```

^註 ISPW は長澤研究室が開発した Prolog 言語にオブジェクト指向機能を取り入れた開発用言語である。

- クラス円筒殻 (tube_section)

```
class(tube_section,
      super(io_primitive),
      ivar(radius(reader(radius), writer(set_radius)),
            height(reader(height), writer(set_height)),
            thickness(reader(thickness), writer(set_thickness)),
            section_angle(reader(section_angle), writer(set_section_angle)),
            fig)
      ).
```

```
tube_section::init(Self, Init):-
    io_primitive::init(Self, Init).
```

```
tube_section::dialog_items(Self, Lis):-
    Lis=[(label, false, Label), (dispflag, false, Disp),
         (color, false, Color), (transdist, false, Transdist),
         (rotatedist, false, Rotatedist), (radius, false, Radius),
         (height, false, Height), (thickness, false, Thickness),
         (section_angle, false, SAngle)].
```

```
tube_section::method_items(Self, Lis):-
    Lis=[describe, figure].
```

(2) 主要形状の部位機能素クラスの例

- クラス円筒端面 (tube_cut_plane)

```
class(tube_cut_plane,
      super(io_primitive),
      ivar(radius(reader(radius), writer(set_radius)),
            thickness(reader(thickness), writer(set_thickness)),
            machineMtd(reader(machineMtd), writer(set_machineMtd)),
            fig)
      ).
```

```
tube_cut_plane::init(Self, Init):-
    io_primitive::init(Self, Init).
```

```
tube_cut_plane::dialog_items(Self, Lis):-
    Lis=[(label, false, Label), (dispflag, false, Disp),
         (color, false, Color), (transdist, false, Transdist),
         (rotatedist, false, Rotatedist), (radius, false, Radius),
         (thickness, false, Thickness), (machineMtd, false, MachineMtd)].
```

```
tube_cut_plane::method_items(Self, Lis):-
    Lis=[describe, figure].
```

● クラス円形穴 (cylcyl_hole)

```
class(cylcyl_hole,
      super(io_primitive),
      ivar(radius(reader(radius), writer(set_radius)),
           thickness(reader(thickness), writer(set_thickness)),
           machineMtd(reader(machineMtd), writer(set_machineMtd)),
      fig)
    ).
```

```
cylcyl_hole::init(Self, Init):-
    io_primitive::init(Self, Init).
```

```
cylcyl_hole::dialog_items(Self, Lis):-
    Lis=[(label, false, Label), (dispflag, false, Disp),
         (color, false, Color), (transdist, false, Transdist),
         (rotatedist, false, Rotatedist), (radius, false, Radius),
         (thickness, false, Thickness), (machineMtd, false, MachineMtd)].
```

```
cylcyl_hole::method_items(Self, Lis):-
    Lis=[describe, figure].
```

(3) 追加の機能素クラスの例

● クラス U 形開先 (u_groove)

```
class(u_groove,
      super(io_primitive),
      ivar(groove_angle(reader(groove_angle), writer(set_groove_angle)),
           bevel_angle(reader(bevel_angle), writer(bevel_angle)),
           root_gap(reader(root_gap), writer(set_root_gap)),
           root_face(reader(root_face), writer(set_root_face)),
           root_radius(reader(root_radius), writer(set_root_radius)),
           plate_th(reader(plate_th), writer(set_plate_th)),
      fig)
    ).
```

```
u_groove::init(Self, Init):-
    io_primitive::init(Self, Init).
```

```
u_groove::dialog_items(Self, Lis):-
    Lis=[(label, false, Label),      (dispflag, false, Disp),
         (color, false, Color),      (transdist, false, Transdist),
         (rotatedist, false, Rotatedist), (groove_angle, false, GA),
         (bevel_angle, false, Theta), (root_gap, false, G),
         (root_face, false, F),       (root_radius, false, Rtr),
         (plate_th, false, Pth)].
```

```
u_groove::method_items(Self, Lis):-
    Lis=[describe, figure].
```

● クラス V 形開先 (v_groove)

```
class(v_groove,
      super(io_primitive),
      ivar(groove_angle(reader(groove_angle), writer(set_groove_angle)),
           root_gap(reader(root_gap), writer(set_root_gap)),
           root_face(reader(root_face), writer(set_root_face)),
           plate_th(reader(plate_th), writer(set_plate_th)),
```

```
fig)
).
```

```
v_groove::init(Self, Init):-
    io_primitive::init(Self, Init).
```

```
v_groove::dialog_items(Self, Lis):-
    Lis=[(label, false, Label), (dispflag, false, Disp),
         (color, false, Color), (transdist, false, Transdist),
         (rotatedist, false, Rotatedist), (groove_angle, false, GA),
         (root_gap, false, G), (root_face, false, F),
         (plate_th, false, Pth)].
```

```
v_groove::method_items(Self, Lis):-
    Lis=[describe, figure].
```

(4) 溶接部の例

- クラス突き合わせ溶接部 (groove_weld)

```
class(groove_weld,
      super(io_primitive),
      ivar(groove_angle(reader(groove_angle), writer(set_groove_angle)),
           root_gap(reader(root_gap), writer(set_root_gap)),
           root_face(reader(root_face), writer(set_root_face)),
           weld_posture(reader(weld_posture), writer(set_weld_posture)),
           num_of_layer(reader(num_of_layer), writer(set_num_of_layer)),
           plate_th(reader(plate_th), writer(set_plate_th)),
           material(reader(material), writer(set_material)),
      fig)
).
```

```
groove_weld::init(Self, Init):-
    io_primitive::init(Self, Init).
```

```
groove_weld::dialog_items(Self, Lis):-
```

```
    Lis=[(label, false, Label),    (dispflag, false, Disp),
          (color, false, Color),    (transdist, false, Transdist),
          (rotatedist, false, Rotatedist),    (groove_angle, false, GA),
          (root_gap, false, RG),    (root_face, false, RF),
          (weld_posture, false, WP),    (num_of_layer, false, NoL),
          (plate_th, false, PT),    (material, false, Material)].
```

```
groove_weld::method_items(Self, Lis):-
```

```
    Lis=[describe, figure].
```

(5) 溶接継手のモジュールの例

- クラス突き合わせ溶接継手 (groove_weld_joint)

```
class(groove_weld_joint,
      super(io_primitive),
      ivar(pthickness(reader(pthickness),writer(set_pthickness)),
           material(reader(material),writer(set_material)),
           fig)
      ).
```

```
groove_weld_joint::init(Self, Init):-
```

```
    io_primitive::init(Self, Init).
```

```
groove_weld_joint::dialog_items(Self, Lis):-
```

```
    Lis=[(label, false, Label),    (color, false, Color),
          (transdist, false, Transdist),    (pthickness, false, PThickness)].
```

```
groove_weld_joint::method_items(Self, Lis):-
```

```
    Lis=[describe,
          make_v_groove,
          make_x_groove,
          joint_detail_drawing].
```

```

groove_weld_joint::make_v_groove(Self, Theta, A, B, WP, NoL):—
    ::pthickness(Self, Th),
    make_Olabel(OLabel2, vGroove),
    make_instance(v_groove, V1, [label(OLabel2),
                                groove_angle(Theta),
                                root_gap(A),
                                root_face(B),
                                plate_th(Th)]),
    ::initfig(V1), part_ofProcess(Self, V1),
    make_Olabel(OLabel1, grooveWeld),
    make_instance(groove_weld, W1, [label(OLabel1),
                                    groove_angle(Theta),
                                    root_gap(A),
                                    root_face(B),
                                    weld_posture(WP),
                                    num_of_layer(NoL),
                                    plate_th(Th),
                                    material('ssd3')]),
    ::initfig(W1),
    part_ofProcess(Self, W1),
    make_relation(R3, grooving),
    add_relation(R3, V1, W1),
    get_relation(Self, welding, [WR2, WR1]),
    add_relation(WR1, W1, Self),
    add_relation(WR2, W1, Self).

```

(6) 胴体モジュールの例

● 円筒胴 (body)

```
class(body,
      super(io_primitive),
      ivar(radius(reader(radius), writer(set_radius)),
            thickness(reader(thickness), writer(set_thickness)),
            length(reader(length), writer(set_length)),
            pressure(reader(pressure), writer(set_pressure)),
            material(reader(material), writer(set_material))),
      fig
    ).

body::init(Self, Init):-
    io_primitive::init(Self, Init).

body::dialog_items(Self, Lis):-
    Lis=[(label, false, Label),    (dispflag, false, Disp),
          (transdist, false, Transdist),    (radius, false, Radius),
          (thickness, false, Thickness),    (length, false, Length),
          (pressure, false, Pressure),    (material, false, Material)].

body::method_items(Self, Lis):-
    Lis=[describe,
          refine_by_tube,
          cut_by_plane,
          make_hole].

body::make_hole(Self, RefObj, Transdist, RotAngle, HD, OiObj):-
    付録A.1 参照.

body::refine_by_tube(Self):-
    付録A.3 参照.
```


附録 D

溶接製品製作における調整作業

調整作業は、その調整の対象や調整の目的により様々な方法が存在する。ここでは、溶接製品の現合作業に使われている代表的な調整作業の例とその特徴について説明する。

- カッティングによる調整

組立品の寸法を目標値に合わせるために予め特定の部品に調整代をとりその調整代を組立時に必要な分だけカッティングすることにより調整する。この調整代の取り方次第で大きな調整も実現できる。

部品間接合部

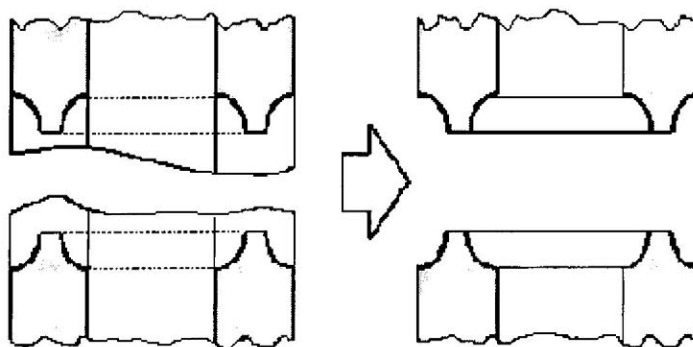


図 D.1 カッティングによる調整

Figure D.1 Adjustment by cutting operation.

表 D.1 調整作業の例
Table D.1 Examples of adjustment method.

調整作業の種類	特徴
カッティングによる調整	大きな調整量を扱う
穿合による調整	穴に対して大きな調整量を扱う
開先加工による調整	主に微調整を対象にしている
間隙による調整	主に微調整を対象にしている
向きによる調整	加工を行わず,配置作業によって調整する
シンニング加工による調整	接合する板厚に,差がある時に行なう

● 穿合による調整

ノズルに対する位置の制約等がある場合, そのノズルを取り付ける穴に対しても同様の制約が影響することがある. その様な場合, 穿合と呼ばれる作業により穴を加工する. 穴を加工する際に, 最初に目的の大きさの穴を開けるのではなく, 目的の大きさの穴より小さな穴を開け, ノズルとの接合や制約を満たす様にその穴を加工し, 調整する作業である.

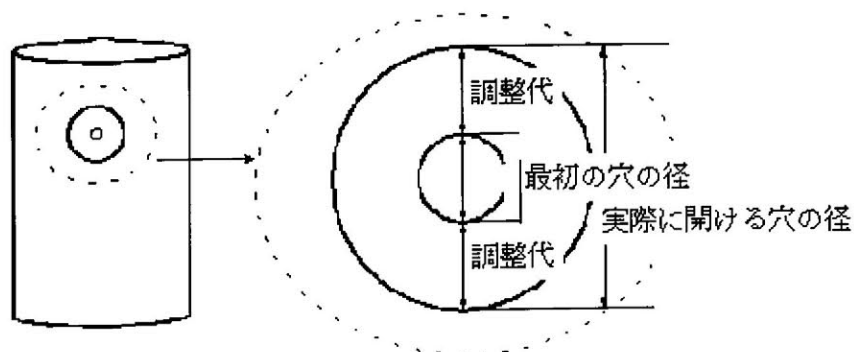


図 D.2 穿合による調整

Figure D.2 Hole-expanding adjustment.

- 開先加工による調整

円筒胴などは、鋼板を曲げ加工し、その端部を溶接し形成される。このため、ある程度偏平した形状になる。部品によるこの偏平度の違いによって溶接位置の食い違いが生じ、溶接不良を招く原因となる。そこで開先加工時に両接合面の中央線の midpoint を基準にする。これにより、真円度や同軸度に対する調整を行なう。

部品間接合部

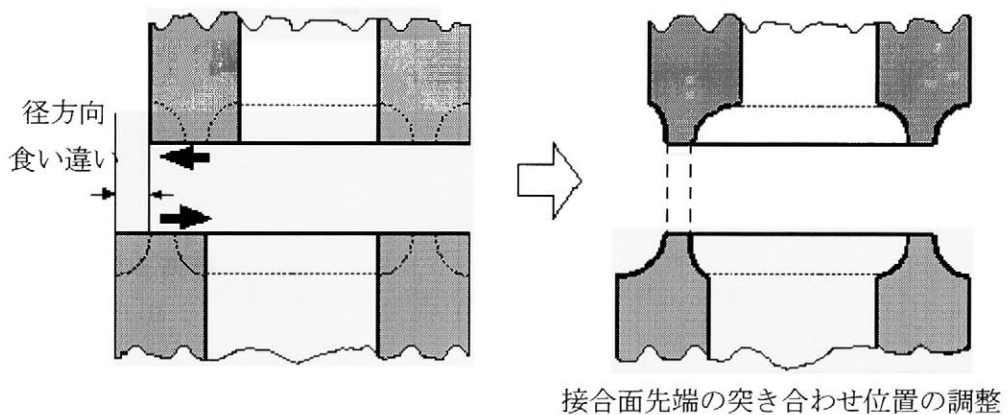


図 D.3 開先加工による調整

Figure D.3 Adjustment based on grooving operation.

- 間隙を利用した調整

溶接により部品を接合することを考える。溶接は、部品間にある程度のすき間が必ず必要である。そのため、この部品間の距離を調整することで組立品の寸法に対する調整を行っている。間隙を表す情報を溶金部に記述することでモデル化できる。

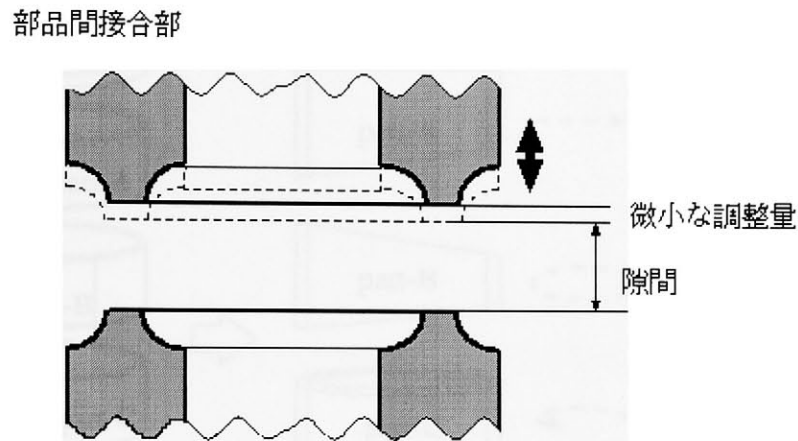


図 D.4 間隙による調整

Figure D.4 Adjustment based on welding gap.

- 向きによる調整

部品の向きによる制約がない場合に、接合しようとしている部品の端面を相性の良い向きに組み合わせ組立品の寸法を調整する。また、分割されている部品の位置に対する制約のない場合は、部品の位置を入れ換え調整する。

- シンニング加工

接合する部品同士の板厚に違いがあり過ぎる時、そのまま開先加工を行い溶接するならば、溶接による欠陥が生じやすくなる。そのため欠陥を起こさない様に板厚を薄くする加工を行なう。

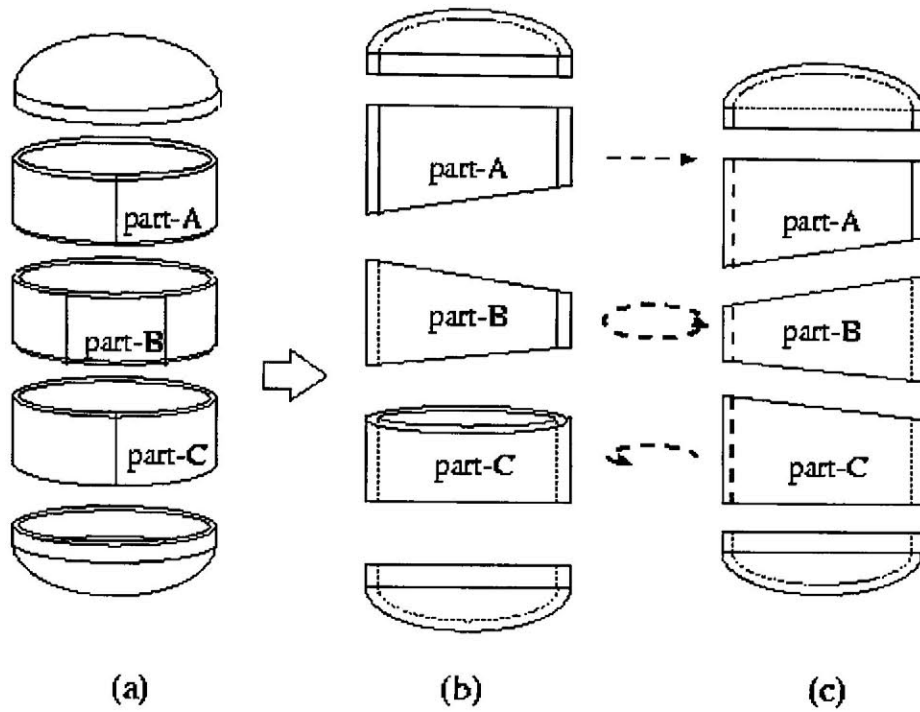


図 D.5 向きによる調整

Figure D.5 Adjustment based on the orientation of assembling parts.

部品間接合部

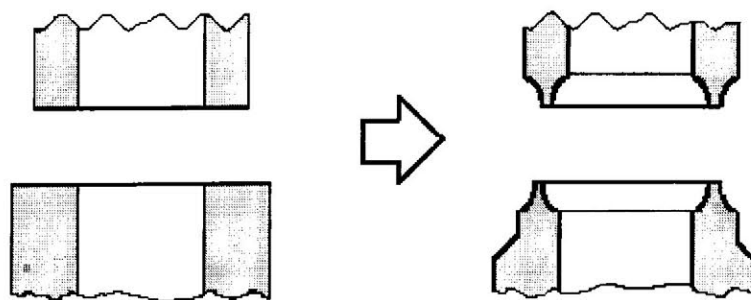


図 D.6 シンニング加工による調整

Figure D.6 Adjustment based on thinning processing.

附録 E

(1) 製缶簡易見積り法

これは過去の実績、製缶工程の内容や概観の類似性、加えて統計的な手法を用いて、製缶品のモデルパターンと製品重量関係をグラフ化することにより製缶費を求める方法である。たとえば、図 E.1 はロール作業のウェイトが高い製缶品パターンの重量と単価 (kg 当たり製缶費) をグラフ化した例を示す³⁷⁾。

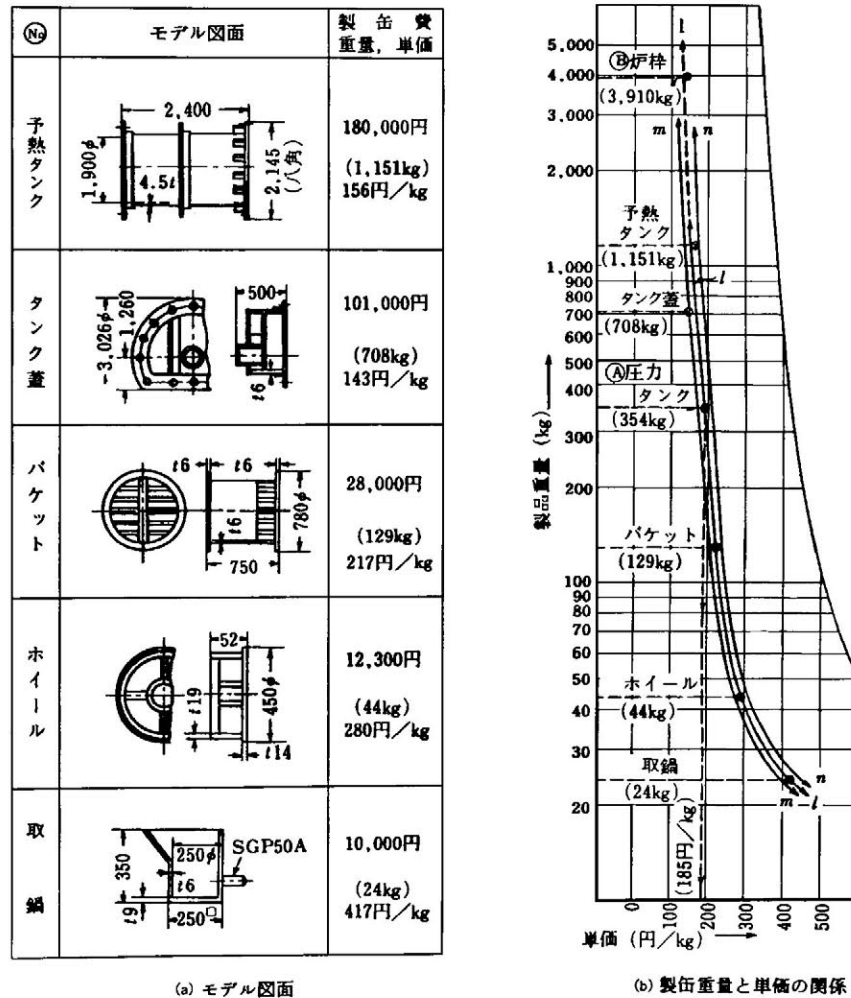


図 E.1 製缶品の簡易見積り法の例 (文献[37]より)

Figure E.1 An example of simple method for product cost estimating (Ref. [37]).

このグラフの逆引きにより、似る製品の見積りを計算する。今、重量 354kg の圧力タンクの見積りを行なうとき、図 E.1(b)のグラフ縦軸上で、354kg の点線を横に辿りグラフの交点から垂線を下ろし単価を約 185/kg と読むと、製缶費は $185 \text{ 円/kg} \times 354\text{kg} = 65490 \text{ 円}$ と求めることができる。

(2) 単位当たりの溶接と切断加工の工数計算の例

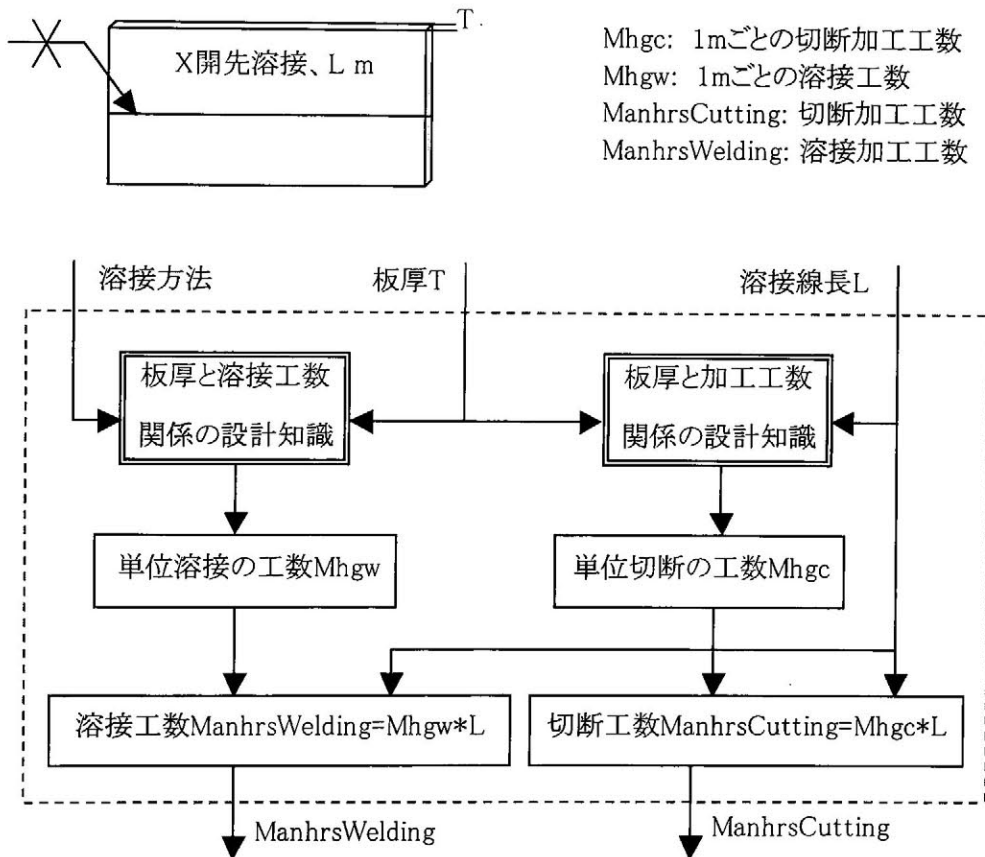


図 E.2 製作コストを計算する例

Figure E.2 An example of the estimate of manufacturing cost.

図 E.2 は、板厚 T、長さ L の 2 枚板を、ガス切断（開先を含む）加工し、X 形開先の突き合わせ溶接を行なう場合、必要な工数の見積り積算を行なう手続きのデータフローを示す。図中、板厚と溶接工数関係、板厚とガス切断加工工数関係の知識は、それぞれ表 E.1 と表 E.2 を参照する。ここでは、表 E.1 は溶接線長 1m 当たりの突き合わせ溶接の場合、板厚と必要な溶接工数関係を示す。表 E.2 は加工長さ 1m 当たりのガス切断（開先加工を含む）の場合、板厚と必要な溶接工数関係を示す。

表 E.1 突き合わせ溶接工数表

Table E.1 The man-hour of welding

板厚 (mm)	手溶接 (hr)	半自動 (hr)
1.6	0.20	90%
3.2	0.20	
4.5	0.22	
6.0	0.24	
9.0	0.31	85%
12	0.4	
16	0.57	
19	0.72	80%
22	0.9	
25	1.1	
32	1.65	
50	3.3	
60	4.5	
70	5.5	70%
90	8.0	
100	10.0	

表 E.2 ガス切断（開先工を含む）工数

Table E.2 The man-hour of gas cutting

板厚 (mm)	1000>	1000<
4.5~ 9.0	0.1	0.07
12~ 25	0.13	0.11
28~ 38	0.16	0.13
42~ 50	0.19	0.16
55~ 70	0.24	0.19
75~ 100	0.32	0.25
110~ 138	0.35~ 0.40	0.27~ 0.33

(Grooving included)