



オブジェクト指向に基づく工作機械の知的設計支援に関する研究

布引, 雅之

(Degree)

博士 (工学)

(Date of Degree)

1992-03-31

(Date of Publication)

2008-03-18

(Resource Type)

doctoral thesis

(Report Number)

甲1095

(JaLCD0I)

<https://doi.org/10.11501/2964530>

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/D1001095>

※ 当コンテンツは神戸大学の学術成果です。無断複製・不正使用等を禁じます。著作権法で認められている範囲内で、適切にご利用ください。



博士論文

オブジェクト指向に基づく工作機械の
知的設計支援に関する研究

平成4年1月

神戸大学大学院自然科学研究科

布 引 雅 之

目 次

第1章 緒 論	1
1.1 工作機械の設計に対する合理化の要求	1
1.2 工作機械の設計に対する設計支援の現状	2
1.3 本研究の内容	5
第2章 工作機械の設計プロセスモデルの構築	10
2.1 緒 言	10
2.2 工作機械の設計過程の分析	12
2.2.1 工作機械設計の定義	12
2.2.2 設計における情報操作	15
2.3 オブジェクト指向に基づく設計プロセスモデル	17
2.3.1 設計オブジェクトの定義	17
2.3.2 オブジェクト指向に基づく情報操作の定義	20
2.3.3 設計オブジェクトによる設計空間	23
2.4 工作機械設計に用いられる知識	25
2.4.1 設計知識の分類	25
2.4.2 設計知識の内容	28
2.5 結 言	31
第3章 工作機械設計における設計オブジェクトの構築	34
3.1 緒 言	34
3.2 設計オブジェクトにおける知識表現法	34
3.3 設計オブジェクトのスキーマ	36
3.4 設計オブジェクトにおけるメソッドおよびデーモンの実行	44
3.4.1 設計項目の決定	46
3.4.2 設計対象の特化	50

3.4.3	設計対象の分割	53
3.4.4	設計オブジェクトを用いた設計過程	55
3.5	結 言	57
第4章	オブジェクト指向に基づく設計対象記述に関する考察	59
4.1	結 言	59
4.2	設計の進行にともなう設計対象の変更	59
4.3	マシニングセンタおよびその構成部分	61
4.3.1	マシニングセンタ	62
4.3.2	送りユニット	65
4.3.3	構造体ユニット	70
4.3.4	自動工具交換装置	73
4.4	マシニングセンタの構造表現	74
4.4.1	マシニングセンタのモジュール構成	74
4.4.2	構造記述のためのデータ構造	77
4.5	結 言	79
第5章	オブジェクト指向に基づく知的設計支援システムの開発	81
5.1	結 言	81
5.2	設計オブジェクトに基づく設計支援システム	81
5.2.1	設計支援システムの基本構成	81
5.2.2	設計オブジェクトベース	83
5.2.3	推論エンジン	85
5.3	PROLOGを用いた設計支援システムの構築	87
5.3.1	PROLOGによる設計オブジェクトの記述	89
5.3.2	PROLOGによるメッセージ伝達メカニズムの構築	92

5.3.3 PROLOGによる推論エンジンの構築	93
5.4 実行例	95
5.5 結 言	100
第6章 結 論	102

第 1 章 緒 論

1. 1 工作機械の設計に対する合理化の要求

機械工業の分野において、生産システムの自動化あるいは省力化が進められ、フレキシブル生産システム（FMS）やフレキシブル生産セル（FMC）の開発、実用化が広範囲に行われている[1.1]。その主な構成要素である工作機械に対しても自動化、省力化に適した形態が求められるようになってきており[1.2]、NC工作機械をはじめとする工作機械に対して種々の性能の向上を目的とした研究がなされ、次々と新しい工作機械が開発、実用化されてきている。また、新しい工作機械技術の開発に加えて、工業製品の高品質化、多様化、ライフサイクルの短縮化が進んできており、工作機械の開発サイクルを短縮し、コストを低減するとともに、短時間で設計、製作する必要にも迫られている。事実、7、8年前までは2年程度であった設計、製作期間が、最近では1年以下に短縮されている（工作機械の設計、製作期間の内容は開発に3カ月、基本設計に3～6カ月、試作、製作に3～6カ月といわれている）。しかも、現在もなお、製作期間は短縮される傾向にあり、設計段階および試作段階を合理化することが望まれている。

しかしながら、工作機械の設計は、きわめて複雑な知的作業を行うものであり、未だ多大な労力と時間を必要としている。その理由として以下の2点が挙げられる。まず、工作機械を設計するには様々な設計基準を考慮に入れた複雑な処理を行わなければならないことである。例えば、NC工作機械を設計するにあたっては、生産性、精度、静的剛性、動的剛性および熱的安定性など様々な要因を設計基準としなければならない。次に、設計における判断では、設計者の「経験」、「センス」および「勘」のような不確定な知識が大きな役割を果たしているが、これらの有益な設計知識は、熟練設計者にのみ備わっているものであり、簡単に文書化できるような情報ではないことが挙げられる。

このように、工作機械設計の知的作業を合理化するためには、経験的知識やノウハウの活用が不可欠であること、さらに将来、工作機械の設計に従事する熟練

設計者の数が減少することが予想されていることから、設計者個人に依存する高度に洗練された設計知識を設計者全員の共有財産として活用するために、設計知識を獲得し体系化すること、および、それらの設計知識を用いた知的設計支援システムを開発することが望まれている。

1. 2 工作機械の設計に対する設計支援の現状

工作機械の設計を支援する方法としては、大別して次の2つが考えられる。1つは、従来からあるコンピュータシミュレーション技術を、設計段階においても積極的に活用し、実際に工作機械を製作する以前に、工作機械の各種特性を解析し、評価した結果を設計に反映させる方法である。今1つは、近年研究が進められている人工知能（AI）技術を利用し、熟練設計技術者の洗練された設計知識を有効に活用するという試みである。

従来のコンピュータによる設計支援（CAD）は、主に、部品設計など設計の下流過程における手続き的処理の自動化であり、設計計算および部品図・組立図などの製図作業の効率化が進められてきた[1.3]。それ以外に設計解析システムなども考えられてきたが、有限要素解析など特定の用途に限定された解析専用システムに過ぎないものが多い。しかも、それらは多数の部品からなる製品ではなく、部品単体を対象にしているものがほとんどであった。このように従来のCADは、設計過程の最終段階での、単純かつ繰り返し処理を行う部分の自動化を目指していた。設計の上流過程において設計対象の特性解析を行うためには、まず設計段階における設計対象を適切に表現することのできる製品モデルを構築することが必要である。加えて、理論と実験に裏付けされた各種解析技術を総合化することも必要になると考えられる。

また、概念設計や基本設計などの設計の上流過程においては、知識処理に対する支援を行うことも重要である。すなわち、知的な設計作業を人間に代わってコンピュータに行わせる必要がある。一般に工作機械の設計においては、理論的な解決より経験的な解決のほうが有用であることが多く、かつ豊富な専門的知識を

必要とする。それゆえに、熟練設計者が行う設計過程を明らかにし、「センス」、「発想」、「勘」などの設計者独自の経験に基づく判断基準や経験的知識などを客観的に分析し、整理する必要がある。

このような従来の解析技術と経験的知識を取り扱える設計支援システムを実現するためには、以下のことを検討する必要がある。

1) 熟練設計者の行う知的処理の支援

近年、コンピュータを用いた設計過程における知的処理支援に対して、人工知能（AI）技術の適用が試みられつつある。これは、熟練設計技術者の持つノウハウ・経験的知識に基づいて、様々な推論や判断を行い、設計過程の支援を実現する試みである。現在考えられる設計支援システムにおいて、中核となるものはエキスパートシステムである。エキスパートシステムとは、人工知能あるいは知識工学の重要な応用分野の1つであり、専門的問題の解決における意思決定の一部を、専門的知識を活用することによってコンピュータで支援するシステム、すなわち一種の知的プログラムである[1.4]といえる。しかし、設計において取り扱われる情報の量は莫大であり、しかも、それぞれが有機的に関連しているために、設計者の頭の中でこうした情報がどのように処理されているかを明らかにする必要がある。従って、実際に工作機械の設計に携わっている設計者にインタビューを行い、設計者の持つ設計知識を整理するとともに、それらの設計知識を、コンピュータ処理に適し、かつ人間にとっても理解し易い表現法で記述する必要がある。さらに、取り扱う大量の設計知識の管理と保守を容易に行うため、知識の構造化を行う必要がある。

2) 設計対象モデルの開発

設計の上流過程においては、設計対象の詳細な形状、寸法などは決まっていない。そのため、設計対象全体の形状が未確定であったとしても、それらをモデル化することができ、さらに設計の段階が進むにつれて、随時詳細化を行っていきけるような設計対象モデルを開発する必要がある。

従来のCADで取り扱われている設計対象モデルは、形状モデルと同義と言って良いものが多く、それらは設計対象の具体的な形状あるいは寸法、精度などが確定した状態でのみ使用し得ると考えられる。すなわち、従来のCADは「詳細設計が終了した段階」での設計対象の形状モデルを作ることを目的としており、その設計対象モデルは設計対象の図面をコンピュータにおけるモデルに置き換えたものに過ぎない。

設計において求められている設計対象モデルは、以下のような特性を持つ必要がある。まず、設計対象の記述において、設計対象の幾何形状のほかに、機能、品質、材質情報、技術情報（公差、加工法など）という属性情報を持つ必要があり、加えて設計の履歴を示す属性も持つ必要がある。次に、設計対象モデルは修正と変換が容易に、かつ矛盾なく行えるデータ構造を持つ必要がある。また、1つの設計対象モデルをいくつかの構成部分のモデルに分割して表現できるデータ構造である必要がある。さらに、各種の解析技術による解析、評価に必要とする情報を持つ必要がある。

工作機械の設計を支援するためには、設計知識や設計対象モデルの表現に加えて、設計過程を解明することも重要な課題である。現在までに、工作機械の設計を体系的に取り扱うことを目的とした様々な研究が行われている。例えば、工作物形状から形状創成運動を解析的に求めることによって、機械構造を決定する方法[1.2][1.5][1.6]、与えられた工作機械の運動機能から、有向グラフと構造モジュールを用いて工作機械の全体構造を創成する方法[1.7]-[1.10]が挙げられる。これらは工作機械の形状創成運動を実現する機械構造を提案するが、構造決定において重要となる精度、製作の容易性などの情報は取り扱っていない。

また、一般の機械製品の設計を支援するシステムとして、設計項目の値の決定において、設計項目間の依存関係を判断し、試行錯誤過程を柔軟に支援するシステム[1.11][1.12]や、まず全体構造の具体化を行い、その後に構成部分の設計を行う設計支援システム[1.13][1.14]などが提案されている。しかし、設計過程全般を完全に支援できるシステムは未だ実現されていない[1.15]。

工作機械の設計では設計対象を段階的に具体化するが、同時に多種類の要求を満足させなければならない上に、設計問題自身が悪構造問題[1.16]と言われ、定めるべき設計項目すら予め設定することができない。そのため、実際の工作機械の設計においては、多様な設計要求を同時に満足する設計解を設計者が試行錯誤的に求めている。このように、設計支援システムを確立するためには、設計における情報および処理の流れを明らかにしなければならず、工作機械を対象とする設計プロセスモデルを、設計の初期段階、つまり基本設計段階で確立することが必要である。現在までに、設計プロセスモデルとして、様々なモデルが提案されている[1.17][1.18]が、いずれも概念的な段階にとどまっており、工作機械の設計にそのまま適用することは困難である。

1. 3 本研究の内容

本研究では、オブジェクト指向の概念[1.19]を導入し、工作機械の設計過程の分析、およびモデル化を行う。また同時に、設計知識の体系化を図り、設計における意思決定処理にAI技術を導入した設計支援システムの開発を行う。そのために、ある特定の設計対象に対して、設計項目を決定する手続き、形態を具体化する手続き、およびこれらの手続きに必要な各種の情報をカプセル化したものを設計オブジェクトと考える。そして、各オブジェクト内でのデータ処理とオブジェクト間のメッセージ伝達によって設計を行う設計プロセスモデルを提案する。加えて、各設計オブジェクトに独自の基準で次の設計オブジェクトを決定する処理機能を持たせることで、試行錯誤的な設計処理過程にも対処できるようにする。また、実際にマシニングセンタの基本設計過程を分析した結果に基づき、各設計オブジェクトの構築と構造化を行い、PROLOGを用いてオブジェクト指向に基づく知的設計支援システムの開発を行う。

本論文の構成を以下に示す。

第2章では、工作機械の設計支援システムを実現するための基礎解析として、現状の工作機械の設計過程を分析し、そのモデル化を行う。すなわち、機械シス

テムの設計論の分析ならびに熟練設計者へのインタビューを通して、工作機械の基本設計における処理プロセスを分析、整理する。そして、設計過程が工作機械の基本形態により異なること、各基本形態は全体として階層構造を構成し、設計の進展に伴って抽象的な形態が順次具体的な形態に変化していくこと、および基本形態が決定されれば比較的単純なプロセスで設計が進行することを明らかにする。

この分析結果に基づいて、各基本形態ごとにその設計項目を決定し、基本形態を具体化するソフトウェアモジュールを提案し、これを設計オブジェクトと定義する。さらに、この設計オブジェクトに基づく設計プロセスモデルを定義するとともに、設計支援を実現する方法論を提案する。

第3章では、設計オブジェクトの内容と設計オブジェクト間の関係について検討する。設計オブジェクトの内容については、設計知識の表現とそのデータ構造について考察し、設計対象の基本形態および設計項目をデータとし、設計項目の決定基準および設計対象を具体化するための判断基準をメソッドとする基本構成を提案する。また、工作機械の設計を行うために必要となる情報と経験的知識の表現法について検討する。設計オブジェクト間の関係としては、抽象-具体関係（IS_A関係）および全体-部分関係（PART_OF関係）を検討する。そして、これらの設計オブジェクトの持つデータおよび設計オブジェクト間の関係に基づいて、設計を行う場合に必要となる処理を各設計オブジェクトにメソッドとして与える手法を提案する。

第4章では、各設計オブジェクトで取り扱う設計対象のモデル化手法を検討する。すなわち、工作機械の基本構成要素である主軸、送り機構、ATC（工具交換装置）、テーブル、ハウジングなどの機能、品質、形状および寸法を記述し、モデル化する手法をオブジェクト指向の概念に従って提案する。また、これらの設計対象間の関係、例えば、支持関係、相對運動関係、構成要素の共有関係などのモデル化手法も提案する。

さらに、これらの設計対象モデルを操作して、設計項目の決定、設計対象の具体化を行いながら設計を進めるために、各設計オブジェクトが持つべき知的処理

機能を明確にし、これらの機能をメソッドとして記述する方法を検討する。

第5章では、第2章から4章で提案した方法論に基づく工作機械の知的設計支援プロトタイプシステムを開発し、ケーススタディにより、本方法論の有効性を検証する。このシステムは、PROLOG言語を用いて開発し、5つのサブシステムからなる。すなわち、工作機械設計に関する設計オブジェクトベース、設計対象であるインスタンスの管理を行うオブジェクトマネージャ、設計オブジェクトにおける知的処理を実現するための推論エンジンと手続きベース、および設計者とシステムとのインタフェースである。

以上、本研究は、工作機械設計プロセスの知的支援システムの開発を目的として、設計オブジェクトとそれらの関係に基づく設計支援の方法論を提案するものである。

参考文献

- [1.1] 岩田一明,杉村延広,彭羅生:加工用機械構造の基本設計に関する研究(単一加工面に対する創成運動機能の解析),日本機械学会論文集(C編), Vol.54, No.503, (1988) 1614
- [1.2] 岩田一明,大場史憲,杉村延広:工作機械の設計に対する解析的アプローチ(第2報、曲面形状の創成過程の分析),日本機械学会論文集(C編), Vol.51, No.467, (1985) 1638
- [1.3] 伊東誼:最近の工作機械技術,マシニスト, (1980)
- [1.4] 上野晴樹:知識工学入門(改訂2版),オーム社, (1989)
- [1.5] 岩田一明,杉村延広,彭羅生:加工用機械構造の基本設計に関する研究(第2報、複数加工面に対する創成運動機能の解析),日本機械学会論文集(C編), Vol.55, No.510, (1989) 470
- [1.6] E.Salje, W.Redeker: Design of Machine Tools (Cutting Machines) by Means of Computer Aided Design, Proceedings of the 4th International Conference on Production Engineering, Tokyo (1980) 386

- [1.7] 新野秀憲,伊東誼:工作機械の構造創成方法(第1報,バリエーション・デザイン方式による創成),日本機械学会論文集(C編),Vol.50,No.449,(1984) 213
- [1.8] 新野秀憲,伊東誼:工作機械の構造創成方法(第2報,フリー・デザイン方式による創成),日本機械学会論文集(C編),Vol.50,No.459,(1984) 2192
- [1.9] 新野秀憲,伊東誼:工作機械の構造創成方法(第3報,結合パターンを用いたバリエーション・デザイン方式による創成),日本機械学会論文集(C編), Vol.52,No.474,(1986) 788
- [1.10] 朴來卿,横山正明,新野秀憲:機械構造の自動生成に関する基礎的研究(第4報,記号演算による運動伝達系の機能構造の生成法),日本機械学会論文集(C編),Vol.55,No.514,(1989) 1556
- [1.11] 赤城新介,藤田喜久雄:オブジェクト指向に基づく設計エキスパートシステムの研究,日本機械学会論文集(C編),Vol.54,No.500,(1988) 1017
- [1.12] 赤城新介,藤田喜久雄:ネットワークモデルによる設計過程の支援—エキスパートCADシステムにおける設計処理の機能—,日本機械学会論文集(C編),Vol.54,No.505,(1988) 2300
- [1.13] 伊藤郁男,本谷浩:エキスパートシステムによるはん用設計ツールの作成,日本機械学会論文集(C編),Vol.53,No.489,(1987) 1123
- [1.14] 伊藤郁男,原田英郎:全設計工程用・はん用ICADツールの開発(概念設計から三面図まで),日本機械学会論文集(C編),Vol.55,No.512,(1989) 1137
- [1.15] 赤城新介,田中敏幸,窪西英俊,島本幸次郎,榎本隆一:AI技術を応用した船用動力プラントのエキスパートCADシステムの研究,日本機械学会論文集(C編),Vol.53,No.486,(1987) 512
- [1.16] J.R.Dixon,M.K.Simon:ASME,Computers in Mech.Eng.,2-1(1983) 10
- [1.17] B.T.David:Multi-Expert Systems for CAD,Intelligent CAD Systems 1, Springer-Verlag,(1987) 57
- [1.18] J.F.Coegel:A Theoretical Model for Intelligent CAD,Intelligent CAD

Systems 1, Springer-Verlag, (1987) 206

[1.19] 大須賀節雄: 知識ベース入門, オーム社, (1986)

第2章 工作機械の設計プロセス モデルの構築

2.1 緒言

設計はその問題の性質から合成型意思決定問題と言われる。この合成型意思決定問題は、与えられた要求を満たす適切な設計仕様あるいは設計対象モデルを、構成要素を合成することによって生成する問題である。一方、医療診断や故障診断は分析型意思決定問題と言われ、与えられたデータの分析に基づいて、想定される仮説の中から最も可能性の高いものを選択するという問題である[2.1]。設計のような合成型意思決定問題では、予め解の候補を設定しておくことは困難である。よって、極端な場合には問題を解決するために無限に近い解空間を探索しなければならず、問題空間が非常に大きくなって推論モデルの設定が困難になる[2.2]。

知識工学的手法を用いて知的な設計支援システムを構築するには、まず、設計者の設計行為を分析し、理解し、コンピュータによる処理に適した設計過程のモデルを構築することが必要になる[2.3]。そのため設計支援システムの開発を目的として、設計過程をモデル化する試みがいくつか行われてきている。

設計過程は、設計対象ごとに固有の設計方法論が存在し、一般的な議論は容易ではない。その中で一般性のある理論として、Mitchel[2.4]による提案者・検証者モデルや吉川ら[2.5]による一般設計学が提案されている。これらは設計問題とは何であるのかを理解するためには有効であるが、実際にそれらを用いて具体的な設計支援システムを実現するには至っていない。

長澤ら[2.3]は、設計問題によって差異はあるが、設計過程はおおよそ図2.1のように表現することができると考えている。この設計過程における入力の前段階からの設計仕様と設計案であり、それぞれ設計解が持たなければならない機能仕様と満足しなければならない拘束条件、および設計の部分的な解を示している。

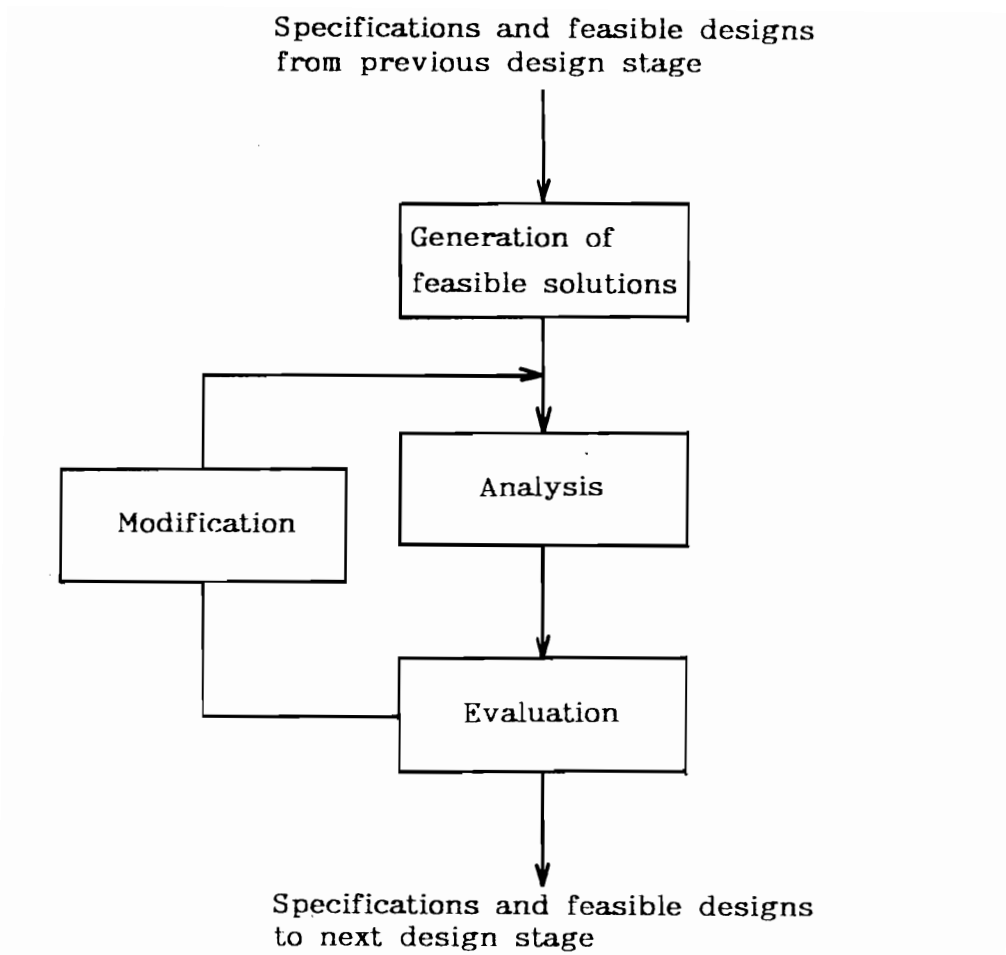


図2.1 設計過程

本研究では設計問題の対象として、工作機械、特にマシニングセンタ、を考えている。マシニングセンタは、「自動工具交換装置（ATC）を有し、工作物の取付け替えなしに2面以上について、フライス加工、ドリル加工などの多種類の加工を施し得る工作機械」である。工作機械の設計は、取り扱う設計対象が非常に複雑であるために悪構造問題の典型的な例であり、その設計アルゴリズムも未だ確立されていない。すなわち、工作機械の設計に必要な全ての設計項目を予め決めておくことができないために、工作機械の構造を徐々に限定しながら、試行錯誤的に設計を進めざるをえない。

設計支援システムの中核となるものはエキスパートシステムである。しかし、エキスパートシステムは問題が限定されている場合には有効であるが、工作機械の設計のように非常に多くの設計項目が存在し、しかも、それらの設計項目をどのように設計するのかが定まっていない問題に対しては、エキスパートシステムを単純に適用することができないと言われている。Davidら[2.6]は、このような複雑なシステムを設計する問題に対しては、問題を小問題に分割し、各小問題を取り扱う小さなエキスパートシステムを連合させたマルチエキスパートシステムによるアプローチが有効であると提案している。本研究では、実際に工作機械の設計を行っている熟練設計者に対してインタビューを行い、現状の工作機械の設計過程を分析している。本章においては、工作機械の設計過程を分析した結果に基づいて、試行錯誤的な設計者の思考プロセスを設計オブジェクトという概念を用いて表現する設計プロセスモデルを提案する。

2. 2 工作機械の設計過程の分析

2. 2. 1 工作機械設計の定義

設計とは、一般に、設計対象の持つべき機能情報を設計対象の構造情報に変換していくこと、すなわち、設計対象を表現する情報の変換であると考えられる。設計の初期における設計対象は、断片的な情報しか持たない場合が多い。さらに、それらの情報は設計対象の持つべき機能を、抽象的な表現（例えば「自由曲面加工ができる」など）あるいは定性的な表現（例えば「大型機械である」など）で記述している場合がほとんどである。よって、設計作業の進行にともなって、このような抽象的、定性的な機能情報を具体的な工作機械の構造情報に変換することが必要になる。

工作機械を対象とした設計の流れは、一般的に、図2. 2に示すような概念設計、基本設計、詳細設計の3段階に大別できる。以下において、これら概念設計、基本設計、詳細設計の内容を説明する。

1) 概念設計

概念設計では、工作機械が備えるべき加工能力を明らかにする。工作機械は機械をつくるための機械「マザーマシン」であり、与えられた素材を、要求される精度を持つ製品へと加工する機能を備えている機械である。本研究では、切削加工を行う工作機械の基本的な機能を、工具を工作物に対して相対運動させ、工具に干渉する部分を除去することであると考える。したがって、工作機械の概念設計は、与えられた加工を実現するために必要な工作機械の運動機能や位置決め機能の性能、および精度などを明らかにすることであると考える。

2) 基本設計

基本設計では、与えられた各種の制約条件の下で、工具と工作物の間に相対運動を与える運動機能および位置決め機能を実現するための基本構造を求める。工

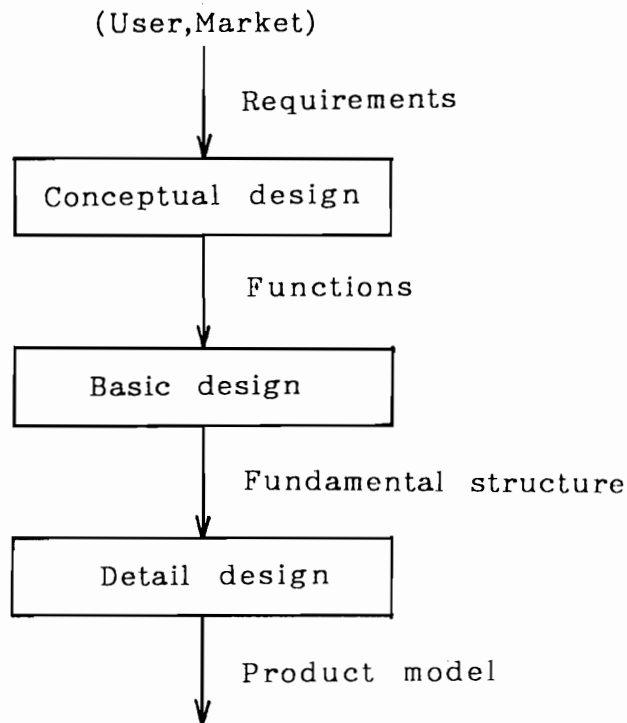


図2.2 製品設計プロセス

作機械の基本構造は、運動機能および位置決め機能を実現する構造体と送り機構の組合せによりほぼ定まる。工作機械の基本構造を表現する主要な要素である構造体としては、テーブル、スピンドルヘッド、コラム、ベースなどのように剛体として運動するユニットを考え、構造体の相対運動を実現させる送り機構としてはユニット間を接続する案内面を考える。また、これらの構造体および案内面の組合せ方を工作機械の形態と呼ぶ。

3) 詳細設計

詳細設計では、基本設計で得た工作機械の形態を実現するために、細部にわたるユニットや部品の形状、寸法、公差、加工法、使用材料などの情報を決定する[2.7]。

本研究では、工作機械設計における基本設計までを研究の対象とする。工作機械のような複雑な構造物の基本設計過程では、複数の設計段階を設定することが必要となる。これらの各設計段階では図2.1に示す処理を行っている。まず工作機械の構造として何らかの形態を仮定し、次にその諸元を定めることにより仮定した形態の適否を検証する。ここで適切であると判断できれば、次の段階に移り同じプロセスを繰り返す。また設計の各段階では、吉川らの生成モデル[2.5]のように、設計仕様と設計解を指定するそれぞれの属性間に数学的依存関係、あるいは生成規則が存在すると考える。本研究では、上記のように、工作機械の構造が設計の進展にしたがって抽象的な形態から順次具体的な形態に変化すること、また、機械の形態が決定されれば比較的簡単なプロセスで設計を進めることができることに着目して設計過程をモデル化する。

また、設計問題を限定するために、工作機械を基本的にモジュラー型階層構造[2.8]を持つものとする。すなわち、設計対象である工作機械の構成ユニットや部品は、基本的に設計カタログなどで与えられ、各構成部分は比較的少数の候補の中から選択でき、これらの組合せにより工作機械の構造を構成することができる。さらに、長澤ら[2.9]の提案している拘束条件解法理論のように、

「モジュラー型工作機械の設計問題は近似的に分解可能な問題として取り扱える」という立場をとる。すなわち、工作機械の設計問題は、設計解の構造を仮定することによって、あるいくつかの部分問題に分解することができ、部分問題間の関係はパラメータおよびパラメータ間の拘束関係によって陽に記述できると仮定する。そして、工作機械の設計問題を、設計解の構造と構造の持つパラメータを決定することであるとする。

2. 2. 2 設計における情報操作

工作機械の設計において操作される情報は、工作機械の機能、品質、形状、寸法、材質などの属性を表す項目である。本研究では、これらを工作機械の属性項目と名付ける。また、この属性項目は仕様項目と設計項目に分けることができる。

仕様項目：工作機械全体またはその構成部分を設計する際に外部から与えられ、設計過程において拘束条件となる属性項目

設計項目：設計過程において、仕様項目に基づいて決定すべき属性項目

工作機械の設計における情報の操作方法を、基本的に、形態を表現する属性項目を新たに追加する、あるいは属性項目を定量化する、という2つの種類に分類する。

1) 属性項目の追加

新しい属性項目（例えば各構成部分間の関係を示す項目、幾何形状を示す項目、その他の属性項目）を断片的に徐々に追加する。すなわち、設計すべき工作機械の属性項目を追加することによって、工作機械がどのような構成部分からなり、それらの部分構造間にどのような関係があるのかを部分的に明らかにしていく。ただし、概念設計や基本設計ではこれらの項目の初期値は定性的な値、あるいは文字列やリストであることが多い。属性項目の追加処理は、既存の少数の曖昧な情報を変換し、多くの詳しい情報に置換することであり、属性項目の数は設計が

進むにつれて増加する。

2) 属性項目の定量化

工作機械の特徴を表す属性項目の値を定量化する。具体的には、工作機械の属性項目に記述された情報が曖昧である（例えば定性的な値を持つ、抽象的表現である、複数の解が考えられる、デフォルト値を用いている）場合、その情報を定量化、あるいは値を限定する。ただし、この処理では、属性項目の数は増加しない。

ここでは、設計におけるこれらの情報操作の内、主に工作機械を表現する情報を追加することによる具体化に着目して設計過程を考える。工作機械に要求される機能から機械構造への変換は、実際には一度に行われるのではなく、図 2. 3 のように何段階かの工作機械の形態の具体化を経て実行されると考えられる。このように工作機械を表現する情報に着目して設計過程を整理すると、設計の各場面において、工作機械の形態を限定することによって、定めるべき設計項目をある程度明らかにすることができる。したがって、各具体化の過程を2つの過程、すなわち「問題の設定」と「問題の解決」から成るものと考え、以下のように定義する。

問題の設定：工作機械のより具体的な形態を決定し、値を決定すべき設計項目を定める。

問題の解決：設定されたそれぞれの設計項目に対して、具体的な値（数値、名称）を決定する。

すなわち、工作機械の具体化は、図 2. 3 に示すように、問題の設定段階において工作機械の形態を選択することにより設計項目を定め、次に、問題の解決において各設計項目に具体的な値を与えることである。

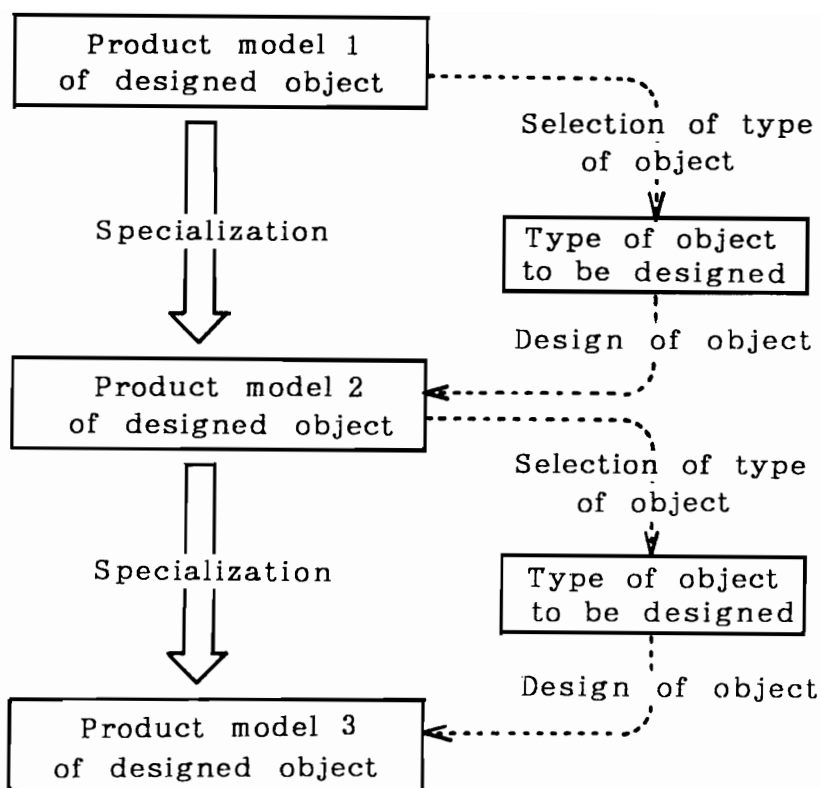


図2. 3 設計過程の定義

2. 3 オブジェクト指向に基づく設計プロセスモデル

2. 3. 1 設計オブジェクトの定義

本研究では、工作機械の設計過程を、工作機械の形態を具体化する過程と、工作機械の形態に対してその設計項目を決定する過程に分けて考えている。そこで、設計対象である工作機械の各形態について、設計事例を生成し設計項目の決定を行い、さらにその設計事例の形態を具体化するソフトウェアモジュールを提案し、これを設計オブジェクトと呼ぶ。

図2. 4は設計オブジェクトを用いた設計プロセスモデルを示したものである。図における木の○で示す節は設計オブジェクトを、□で示す節は設計オブジェク

トにより作成される設計事例を表している。図では、まず、マシニングセンタという形態を持つ工作機械の設計項目が決定され、設計事例1が作成されている。同様に、設計事例1という結果に基づいて、マシニングセンタの具体的な形態を立形マシニングセンタと設定し、設計事例2が作成されている。

設計オブジェクトは、オブジェクト指向[2.10]におけるクラスに相当し、工作機械の形態、この形態に関する設計項目、およびその項目の設計手続きを記述している。これらの各クラスは抽象-具体関係に基づく階層を構成する。この図で

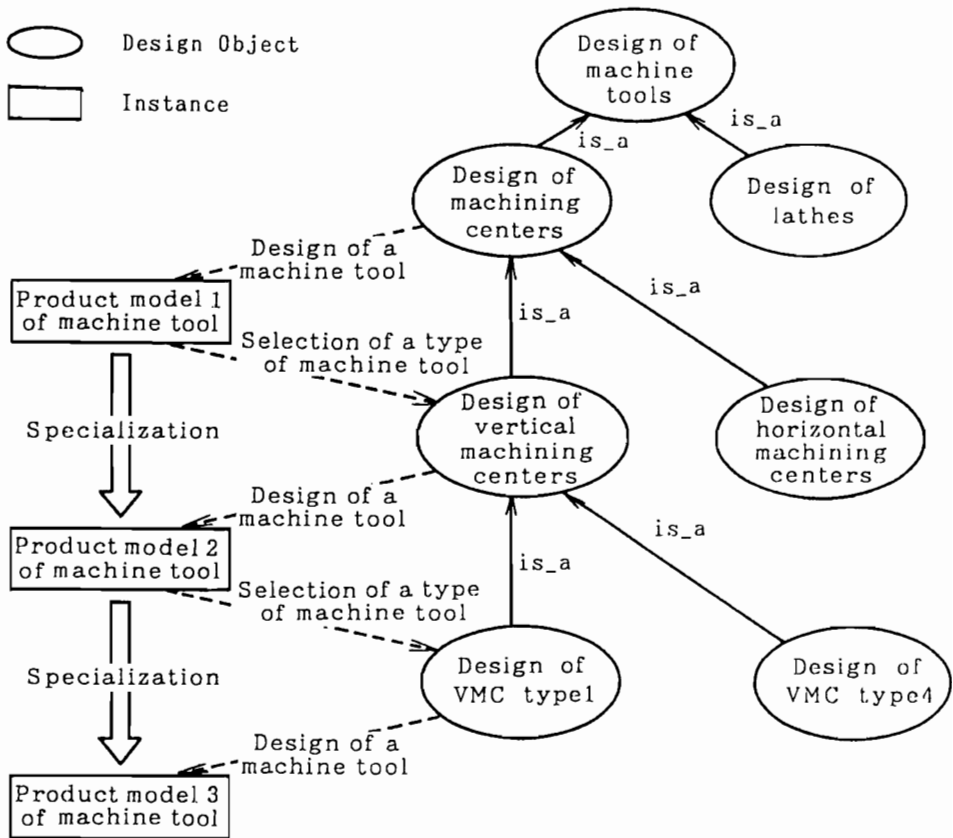


図2. 4 設計オブジェクトを用いた設計プロセスモデル

は、マシニングセンタの具体的な形態として立形マシニングセンタと横形マシニングセンタがあることを示している。ここで、上位のクラスは下位のクラスに共通する特徴を抜きだして構成した概念であり、下位のクラスは上位のクラスの特徴を継承することができる。また、設計事例とは設計オブジェクトから作り出される実体、すなわち設計項目という変数にそれぞれ値を入れたものであり、オブジェクト指向におけるインスタンスに相当する。

このように、設計オブジェクトを、ある特定の形態を持つ工作機械の設計項目を設計し、工作機械の設計事例を作成するものであると考えると、問題の設定は設計オブジェクトを選択することに相当し、問題の解決は設計オブジェクトが設計事例すなわちインスタンスを作成することに相当する。

設計オブジェクトは、自分の処理において用いるデータ及びメソッドを持っている。データとは、工作機械の特定の形態について、そこで取り扱うべき属性項目などの情報であり、メソッドは、設計において利用する各種の設計手続きを記述したものである。したがって、それぞれのメソッドを起動させることで、意思決定などの各設計処理を行う。この設計手続きには、ルールを用いた推論、数値計算、その他の処理アルゴリズムが考えられる。

各々のオブジェクトは他のオブジェクトとは独立に動作し、データとメソッドは他の設計オブジェクトから隠ぺいされている。すなわち、設計オブジェクトは、ある設計対象の属性項目および設計手続きをカプセル化[2.11]したものであり、この意味で設計オブジェクトは自律している。設計オブジェクトはメッセージ伝達によってのみ処理の依頼や情報の伝達を行うことができる。

設計オブジェクトは起動メッセージを受け取ると自身の持つ適切なメソッドを実行し、メッセージにより与えられる入力情報に基づき設計項目の値を決定し、設計事例を表すインスタンスを作成する。さらに、工作機械の形態の具体化を行い、次に処理すべき設計オブジェクトとその入力情報を決定する。すなわち、各設計オブジェクトはある形態の工作機械を創り出す型紙（テンプレート）を有しており、この型紙に基づいて工作機械のインスタンス、すなわち設計事例を作成する。

2. 3. 2 オブジェクト指向に基づく情報操作の定義

本節では、設計オブジェクトを用いて設計過程をモデル化し、2. 2. 2節で示した設計の情報処理がこのモデルの中でどのように実現されているかについて述べる。

本研究では、工作機械の設計過程を、「問題の設定」と「問題の解決」の2つの過程から成るものとする。そして、オブジェクト指向に基づく設計プロセスモデルにおいては、「問題の設定」とは、適切な設計オブジェクトを選択し、設計対象を具体化することであり、「問題の解決」は、選択された設計オブジェクトの設計手続きを起動させて、設計対象の設計項目の値を決定することに相当する。

さらに、「問題の設定」においては、「設計対象の特化」または「設計対象の分割」による設計オブジェクトの選択が考えられる。

1) 設計対象の特化による具体化

設計対象を特化するとは、工作機械の形態を限定することであり、具体的には図2. 4に示す設計オブジェクトの抽象-具体木における下位の設計オブジェクトの中から適切な設計オブジェクトを選択することである。このように設計対象を特化することによって、工作機械の構造を明らかにすることができ、決定すべき設計項目を明確にすることができる。設計対象の特化を行う場合の設計過程を図2. 5に示す。まず、上位の設計オブジェクトにおいて設定された設計対象の形態に対して、必要な設計項目の値を決定した設計事例を作成する。次に、その結果を基に設計対象を特化する、つまり得られた設計項目の値を基に、設計対象のより具体的な形態を定め、新たな設計項目を設定する。さらに、その具体化された形態についても同様の操作を繰り返す。

このように設計オブジェクトの抽象-具体木の構造を利用し、設計対象の具体化を進める場合、上位の設計オブジェクトで決定された属性情報を保持させるために、それぞれの設計オブジェクトから作成される設計事例の間に図2. 6に示すインスタンス継承[2.12]を考えている研究があるが、本研究では、設計事例の

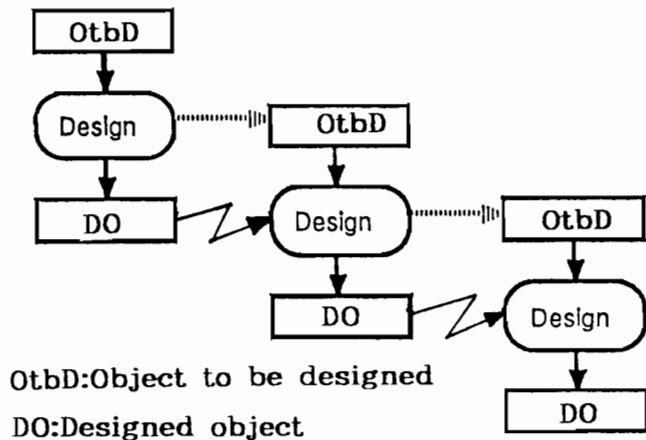
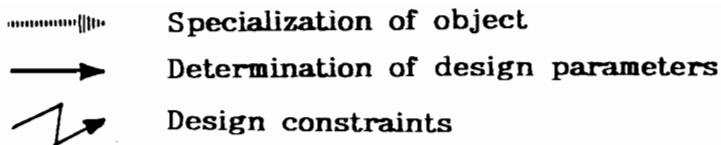
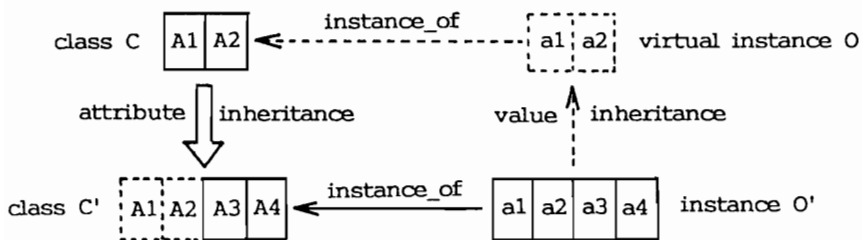
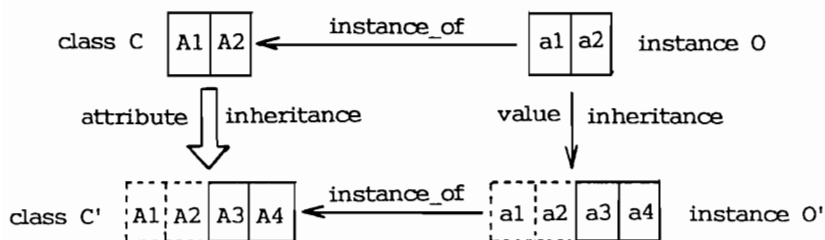


図2.5 形態の特化を行う場合の設計過程



a) Ordinary Inheritance Relation
downward inheritance of attributes
upward inheritance of values



b) Instance Inheritance Relation
top-down inheritance of
attributes and values

図2.6 インスタンス継承

所属する設計オブジェクトを変更することにより、それらの属性情報を保持させる。

2) 設計対象の分割による具体化

設計対象の特化において、可能な具体案は数多く存在するはずである。しかし、現実問題として、工作機械の抽象-具体木に用意できる設計オブジェクトの数は有限である。そのため、抽象-具体木では典型的な具体案のみを示すものとし、抽象-具体木に含まれる具体案を用いて設計が進められない場合には、工作機械の全体構造を構成部分に分割することで具体化を図るものとする。

図2.7に設計対象の分割に基づく設計過程を示す。設計対象の分割においては、設計事例を作成した後、設計対象がどのような部分構造から成り、それらの部分構造間にどのような関係があるのかを決定する。次に、工作機械全体の持つ設計項目を部分構造の仕様項目として各構成部分へ伝達し、以後は分割された各部分構造を取り扱う設計オブジェクトに委託することによって設計を進める。各構成部分は与えられた仕様項目を満たすように設計される。

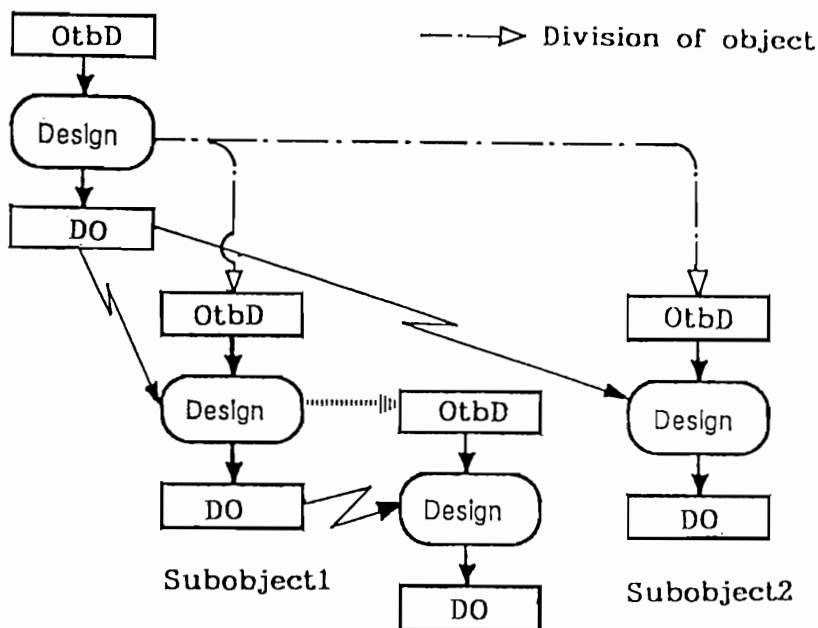


図2.7 部分構造への分割を行う場合の設計過程

2. 3. 3 設計オブジェクトによる設計空間

前節に示したように、工作機械の設計を進めていくために、図2. 4に示す工作機械の抽象-具体木を構成する設計オブジェクトのほかに、工作機械の構成部分それぞれに関して抽象-具体木を構成する設計オブジェクト群を考える必要がある。さらに、これらの抽象-具体木の間全体-部分関係を設定する必要がある。本研究では、設計オブジェクトを用いて工作機械の設計空間を図2. 8に示すネットワークとして表現する。工作機械の設計空間は、これら設計オブジェクトおよび各設計オブジェクト間の抽象-具体関係および全体-部分関係によって与えられる。これらの設計オブジェクトにより構成される設計空間、および設計オブジェクトによる設計プロセスモデルの特徴をまとめると以下ようになる。

- 1) 設計オブジェクト間の抽象-具体関係 (IS_A関係) は設計対象の特化という設計方向を指す。
- 2) 設計オブジェクトの抽象-具体関係による階層構造は、設計対象の形態による分類木になる。
- 3) 設計オブジェクトの全体-部分関係 (PART_OF関係) は、設計オブジェクトが作成した設計事例がどのような構成部分からなるのかを示している。ただし、全体-部分関係は抽象-具体関係に比べて明示的ではなく[2.13]、設計事例の設計項目を定義することで間接的に定義される。
- 4) 設計は、この設計空間内の1つの設計オブジェクトを指定するところから始まる。設計の始点となる設計オブジェクトは自由に設定できる。
- 5) 設計の進展は、「設計対象の特化」あるいは「設計対象の分割」のいずれかによる。

工作機械の設計において、ある設計事例を特化または分割により具体化する場合、設計オブジェクトは以下の処理を行う。すなわち、まず「設計対象の特化」手続きにより、抽象-具体木において自身の下位に存在する設計オブジェクトを探索し、適切な設計オブジェクトが存在する場合には、それに以後の設計を委託

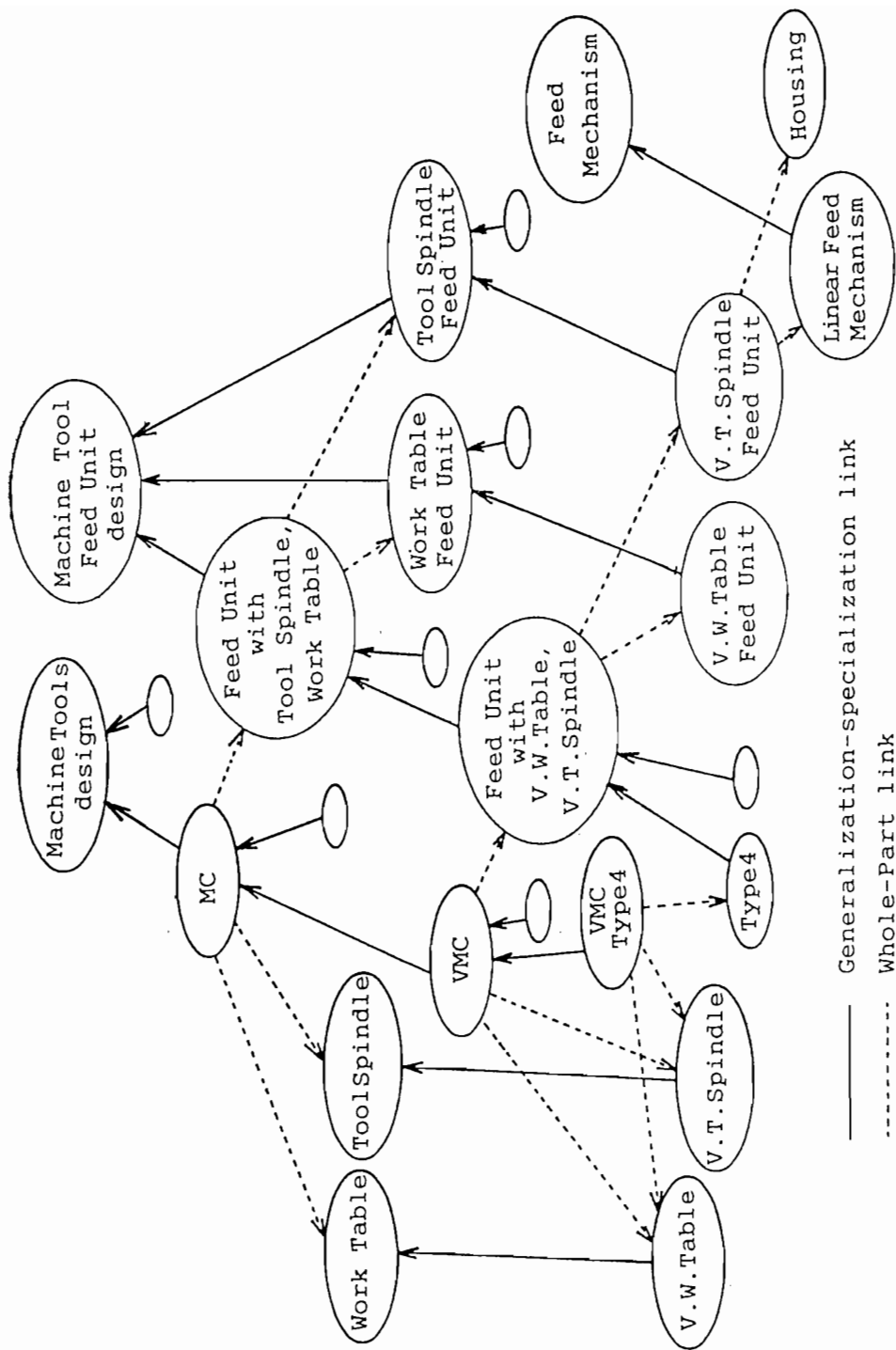


図2.8 マシニングセンタの設計における設計空間

する。もし、この中に適切な具体化の案が存在しない場合、設計オブジェクトの持つ「設計対象の分解」手続きを行うことで、構成部分およびそれらのつながりを決定し、以後の設計は各構成部分に対応する設計オブジェクトに委託する。

このように、工作機械、および各構成部分ごとに設計オブジェクトを準備し、上記のような設計プロセスモデルを定義することによって、段階的かつ試行錯誤的な設計過程を表現することができる。また、各設計オブジェクトにおける設計項目の決定は、シーケンシャルに行うことができるため、悪構造問題を部分的に良構造問題に置き換えることが可能になる。

2. 4 工作機械設計に用いられる知識

工作機械の設計過程は、多数の処理からなるが、そこで行う全ての処理が創造的、知的作業であるのではなく、それらの処理内容は多種多様であり、次の3種類に大別することができる。

- 1) 創造的処理
- 2) 経験的知識に頼っている処理
- 3) 処理の内容および手順が定まっている手続き的処理

実際の工作機械の設計においては、全く新しい工作機械を設計することは少なく、既存の工作機械の設計案を部分変更することの方が多いたが、現状である。したがって、本研究では2)と3)の処理を中心に設計過程を考察する。本節では、これらの設計処理において重要な役割を果たす設計知識を分析し、それらの知識をどのように表現し、設計オブジェクトの枠組みで構造化するのかについて述べる。

2. 4. 1 設計知識の分類

人工知能システムにおいて利用する知識は、一般に対象世界についての知識、

法則・経験則、メタ知識に分類できるといわれている[2.14]。本研究が対象としている工作機械の設計においては、設計知識は、表2. 1に示すように設計対象に関する知識、設計処理に関する知識および設計制御知識[2.3]という3つの知識に大別できる。

1) 設計対象に関する知識

設計の対象となる工作機械、その構成要素であるユニット、および部品に関する知識である。それぞれの設計対象に関する知識は1つにまとめられ、その設計対象を表す設計オブジェクトに記述する。この知識には、設計対象自身に関する知識と設計対象間の関係に関する知識がある。

・設計対象自身に関する知識

設計対象は一般にいくつかの属性項目によって表現でき、その属性値によって特徴づけられる。これらの属性項目は、それぞれ設計対象の形態的特徴、材料的特徴、機能的特徴、振舞いなどを表す。例えば“鋼”に関しては、“金属の一種である”、“比重は約7.8である”、“ヤング率は $2.1 \times 10^4 \text{ Kg/mm}^2$ である”、と記述することができる。

・設計対象間の関係に関する知識

対象間の関係に関する知識とは、2つまたはそれ以上の対象の間に成立している関係の記述である。例えば“立形マシニングセンタType 4”に関しては、“主軸方向とテーブル方向は対向している”、“コラムはベースに固定されている”、などが挙げられる。

2) 設計処理に関する知識

設計対象の設計項目について、その値を決定するための知識である。具体的には、設計対象の特化あるいは分割によって設定された設計問題において、仕様項目の値に基づいて設計項目の値を決定するために必要となる数学的依存関係、生成規則および手続きに関する知識であり、法則や経験則である。設計処理に関する

る知識の形式としては以下のものが考えられる。

- ・ルール

仕様項目と設計項目の間関係を定式化できないが、仕様項目と設計項目の間に経験的に定性的あるいは定量的な関係が成立していると考えられる場合、仕様項目に対する「条件」と設計項目を定める「処理」をペアとして、ルールの形式で表現する。

- ・計算式

仕様項目と設計項目がそれぞれ数値で表現され、前者の属性値と後者の属性値との間に数学的依存関係が成立する場合には、それを計算式の形式で表現する。

- ・手続き

仕様項目から設計項目を決定する一連のアルゴリズムが存在する場合には、これらのアルゴリズムとその実行手順を手続きとして表現する。例えば、表検索におけるソート処理などが挙げられる。

3) 設計制御知識

設計における問題解決では、設計者は個別の知識に加えて、問題解決のための様々な戦略、すなわち個々の知識をどのような順序で利用するか、また、どのような方法で利用するかに関する判断基準を持っており、これによって知識を適用する処理の流れを制御している。このような”知識自身に関する知識”や”知識の適用に関する知識”を設計制御知識とする。この設計制御知識は問題が複雑になるにしたがって、問題解決において重要な役割を果たすことになる。

本研究においては、設計において設計対象の具体化の方向を決定する、つまり問題の設定において設計対象を特化するのかあるいは設計対象を分割するのかを決定し、さらに以後の設計処理を委託する適切な設計オブジェクトを決定するために用いる知識を設計制御知識とする。

表 2. 1 設計知識の分類

Category	Contents
Knowledge concerning the objects to be designed	Attributes of the object to be designed Behavior of the object to be designed
Knowledge concerning the design criteria	Knowledge for determination of design parameters : [rules, formulas, procedures]
Knowledge concerning the design process	Knowledge for selection of design object

2. 4. 2 設計知識の内容

本研究で提案している設計オブジェクトは、2種類の階層を構成する。すなわち、工作機械の抽象的な形態から具体的な形態に至る抽象-具体関係と、特定の形態を持つ工作機械とその構成ユニットや部品との関係を表す全体-部分関係である。これらの階層関係は、工作機械の概念設計および基本設計を行う上で最も重要な知識であり、設計制御知識の一部である。

工作機械の階層構造にしたがって設計を進めるには、各形態の工作機械およびその構成部分の設計項目を決定するための知識が必要となるが、それらは工作機械および構成部分ごとにモジュール化[2.15]して、知識ベースを構築するのが適当である。したがって、本研究では、設計処理に関する知識は、設計対象に関する知識と密接に結び付けて[2.1]、各設計オブジェクトごとに整理する。以下に、本研究で整理した設計知識の内容例を示す。

(a) 工作機械に関する設計知識

- ・設計対象は市場性が良くなくてはならない。
- ・設計対象は自社の設備、技術力で実現可能でなくてはならない。
- ・設計対象は各種の規格、規制を満足しなくてはいけない。
- ・設計対象は製作性が良くなくてはならない。

(b) マシニングセンタに関する設計知識

- ・設計対象は切削加工を行う工作機械の一種である。
- ・設計対象は、一般に、工作物の取付け替えなしに2面以上の加工ができる。
- ・設計対象はフライス加工やドリル加工などの多種類の加工を施し得るための自動工具交換装置（ATC）を有している。
- ・設計対象は工具主軸を有している。
- ・設計対象は工作物テーブルを有している。
- ・設計対象を記述する設計項目には以下のようなものが挙げられる。
[機械クラス、主軸特性、送り軸の組合せ、テーブル可載寸法・・・]
- ・機械クラスとATC工具本数の間には、標準的に表2.2のような関係がある。

表2.2 機械クラスとATC工具本数との対応関係

Machine class	300	400	500	600	800	1000	1250
Tool magazine capacity	8	8	24	24	24	40	40

- ・設計対象は具体的な形態として立形マシニングセンタと横形マシニングセンタがある。

(c) 立形マシニングセンタに関する設計知識

- ・設計対象はマシニングセンタの一種である。
- ・設計対象は鉛直下向きの工具主軸を有する。
- ・設計対象は鉛直上向きのプレーンテーブルを有する。
- ・設計対象を記述する設計項目には以下のようなものが挙げられる。
[Y軸ストローク、X軸ストローク、Z軸ストローク、早送り速度、主軸ターボ、主軸モータ出力、ATC工具本数、ATC時間・・・]
- ・設計対象を設計する場合、Y軸ストロークから決定する。
- ・X軸ストロークとY軸ストロークには次のような経験的な関係がある。

$$X_{st} = a \times Y_{st} \quad (a = 1.5 \sim 2.0)$$

- ・ Z軸ストロークとY軸ストロークには次のような経験的な関係がある。

$$Z_{st} = a + Y_{st} \quad (a = 0 \sim 100)$$

- ・ もし切削能力として重切削が必要であるならば、主軸テーパは#50にする。
- ・ もし安全性を重視するならば、全体カバーを装備する。

(d) 立形主軸ヘッドに関する設計知識

- ・ 設計対象は主軸および主軸モータを保持する。
- ・ 設計対象は一般に案内面を介してコラムに保持される。
- ・ 設計対象は一般に図2.9のような形状をしている。

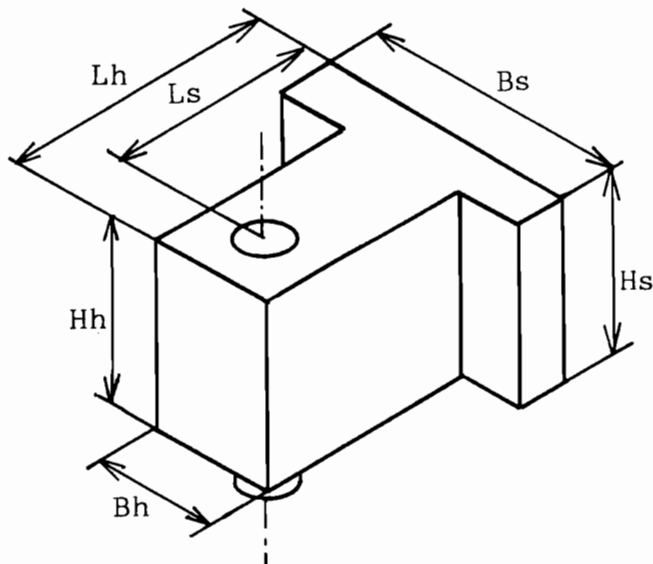


図2.9 立形主軸ヘッド形状

- ・ 設計対象の代表寸法は

主軸中心とコラム前面との距離: L_s

摺動面幅 : B_s

摺動面長さ : H_s

ハウジング奥行き : L_h

ハウジング幅 : B_h

ハウジング高さ : H_h

・設計対象の代表寸法間には次の関係がある。

$$B_s = L_s \times 0.64 \quad (\text{内抱案内面})$$

$$B_s = L_s \times 0.75 \quad (\text{外抱案内面})$$

以上の知識を、各設計オブジェクトに与えることにより、次のような利点を得られる。

- 1) 設計オブジェクトごとに知識を準備できるため、知識のモジュール化が可能であり、知識の管理が容易になる。また、知識の収集および整理を行う際に、対象を限定することができるために、設計知識の獲得が容易になる。
- 2) 設計オブジェクト間の抽象-具体関係を用いて、上位の設計オブジェクトの知識を下位の設計オブジェクトが継承できる。これにより、知識の冗長性および重複を防ぐことができる。

2.5 結言

本章においては、工作機械の設計支援システムを実現するための基礎となる工作機械の設計プロセスモデルについて考察した。まず、熟練設計技術者に対するインタビューに基づいて現状の工作機械の設計過程を分析した。次に、その結果に基づいて、試行錯誤的な設計者の思考プロセスを設計オブジェクトという概念を用いて表現する設計プロセスモデルを提案した。さらに、工作機械の設計過程で用いられる様々な設計知識を整理した。その内容を以下にまとめる。

- 1) 工作機械の設計を、工作機械の持つべき加工機能を工作機械の構造に変換していくプロセスと捉えた。さらに、設計において、工作機械の構造は段階的に具体化されると考え、具体化の過程を「問題の設定」と「問題の解決」という2つの過程により整理した。

- 2) 設計の進展にしたがって工作機械の構造が抽象的な形態から順次具体的な形態に変化する過程において、工作機械の構造の形態が決定されればその設計項目の決定は比較的単純なプロセスで処理できることを明らかにした。この結果に基づき、各形態ごとにその設計項目を決定し、さらに形態を具体化するソフトウェアモジュールを提案し、これを設計オブジェクトと定義した。
- 3) 設計オブジェクトを用いて工作機械に関する設計空間をモデル化し、「問題の設定」として「設計対象の特化」、「設計対象の分割」の2つの方法により設計を進展させる設計プロセスモデルを提案した。
- 4) 実際に工作機械の設計過程に用いられる設計知識を分析した。ここでは、設計知識を設計対象の特徴に関する知識、設計処理に用いる知識、設計処理の制御に用いる知識の3つに分類し、設計オブジェクトに格納した。

参考文献

- [2.1] 上野晴樹:知識工学入門(改訂2版),オーム社,(1989)
- [2.2] 上野晴樹:エキスパートシステム概論,情報処理,Vol.28,No.2,(1987) 147
- [2.3] 長澤勳:設計エキスパートシステム,情報処理,Vol.28,No.2,(1987) 187
- [2.4] Mitchel,W.:Computer Aided Architectural Design, Van Nostrand Reinhold (1977)
- [2.5] 吉川弘之:一般設計学序説,精密機械,Vol.45,No.8,(1979) 906
- [2.6] B.T.David:Multi-Expert Systems for CAD, Intelligent CAD System 1, Springer-Verlag,(1987) 57
- [2.7] 機械生産システム用語辞典,養賢堂,(1978)
- [2.8] 新野秀憲,伊東誼:工作機械の構造創成方法(第1報 バリエーション方式による創成),日本機械学会論文集(C編),Vol.50,No.449,(1984) 213
- [2.9] 長澤勳,古川由美子:拘束条件リダクション法を用いた機械設計支援システム,情報処理学会論文誌,Vol27,No.1,(1986) 112

- [2.10]大須賀節雄:知識ベース入門,オーム社,(1986)
- [2.11]大須賀節雄:知識情報処理,オーム社,(1986)
- [2.12]Wolfgang Wilkes:Instance Inheritance Mechanisms for Object Oriented Database,in Proc. 2nd International Workshop on Object-Oriented Database Systems (Lecture Note in Computer Science 334), (1988) 274
- [2.13]上谷晃弘:統合化プログラミング環境Smalltalk-80とInterlisp-D,丸善,(1987)
- [2.14]辻三郎:知識表現と推論制御,情報処理,Vol.26,No.12,(1985) 1475
- [2.15]大須賀節雄,佐伯胖:知識の獲得と学習,知識工学講座3,オーム社,(1987)

第3章 工作機械設計における設計 オブジェクトの構築

3.1 緒言

本研究では、設計オブジェクトという概念を用いて設計過程をモデル化している。設計オブジェクトはある特定の形態を持つ設計対象の設計項目を設計し、設計事例を作成するソフトウェアモジュールである。したがって、設計オブジェクトは、設計対象の形態の持つ設計項目に関する知識、設計項目の値を決定するための知識、および設計処理プロセスの制御を行う設計制御知識を持っている。本章では各設計オブジェクト内において、それぞれの設計知識の具体的な表現方法について検討する。

3.2 設計オブジェクトにおける知識表現法

従来から提案されている代表的な知識表現手法としては、以下の4つが挙げられる。

1) 述語論理[3.1]

知識を述語論理の形式で表現する。述語論理を用いた推論では前提が正しければ結論が正しいことが保障されている。また、宣言的知識と手続き的知識を同一の形式で表すことができるためにモジュール性に優れている。しかし、実用化を図る上では、知識の内容に矛盾が許されない、あいまいな表現ができないなどの制約がある。

2) プロダクションシステム[3.2][3.3]

人間の認知モデルとして提案されたもので、人間に理解しやすいIF-THEN形のルールの集合で知識を表現する。知識のモジュール性が高く、宣言的知識と手続き的知識の双方を記述できる。短所としては、大規模なシステムでは、誤った挙

動を示す可能性がある。

3) 意味ネットワーク[3.4][3.5]

宣言的知識の記述に優れており、対象の事実や概念をそれぞれ、ノードとリンクによって表現するネットワークである。概念の階層化により性質の継承が行われる構造的知識表現である。大規模になると、知識の管理が困難になる。

4) フレーム[3.6][3.7]

静的な知識を典型的な枠組みにより表現するデータ記述構造である。概念の階層化に基づいた属性の継承が可能である。宣言型知識と手続き型知識の両方を記述することができ、ルールと合わせた知識表現が可能である。ただし、推論の制御記述に問題がある。

本研究で提案している設計オブジェクトは、工作機械およびその構成部分を表現するための属性項目、これらの属性項目を決定するための設計手続き、および設計処理プロセスの制御に関する情報を持っている。また、設計オブジェクト間には、抽象-具体関係および全体-部分関係が存在する。これらの設計オブジェクトの内容および関係も工作機械の設計における知識である。本研究では設計オブジェクトを、フレームモデルを一部変更したものとし、実行制御をメッセージ伝達のみによって行う知識モジュールとする。

従来のフレームモデルでは、多様な付加手続きを許す反面、システム挙動をモニタする機能もまた付加手続きごとに考える必要がある[3.8]。しかし、設計オブジェクト間の実行制御をメッセージ伝達のみ限定すれば、メッセージのシーケンスをモニタすることによりシステム挙動のモニタリングを行うことができる。

本研究で提案する設計オブジェクトの内部では、知識情報、すなわち属性項目、属性項目を決定するための設計手続き、および設計処理プロセスの制御に関する情報を図3.1のフレーム構造[3.9]で表現する。

具体的には、1つの設計オブジェクトを、オブジェクト名と複数のスロットから構成する。オブジェクト名は設計オブジェクトの名称であり、工作機械の名称または構成部分の名称を表す。ただし、この名称は、他の設計オブジェクトと重

ObjectName		
Slot1	Facet11	Value11
	Facet12	Value12
	:	:
	Facet1N	Value1N
Slot2	Facet21	Value21
	Facet22	Value22
	:	:
	Facet2N	Value2N
:		

図 3. 1 知識のデータ構造

複することは許されない。各スロットは、設計オブジェクトの属性項目、設計手続き、および設計制御のための手続きを表すもので、スロット名と複数のファセットの組合せで表現される。スロット名は属性項目または手続きの名称を表す。個々のファセットは、属性値に対する制約や参考情報などを与える。例えば、スロットが属性項目の場合には、その中に含まれる情報が、属性値そのものを表すのか、属性値に対する制約を表すのか、などを指定する。また、スロットが手続きの場合には、手続きの処理手順を表すのか、処理で用いるプロダクションルールを表すのか、処理で用いる計算式を表すのか、などを指定する。値の部分には、属性項目の値、属性項目への制約、プロダクションルール、あるいは表などが記述される。

3. 3 設計オブジェクトのスキーマ

設計オブジェクトはオブジェクト指向におけるクラス概念[3.10]に相当し、設計事例などの実体を表すオブジェクトはインスタンス[3.10]に相当する。クラスとは、インスタンスをつくる型紙すなわちテンプレートであり、インスタンスをつくりだすために必要な属性および処理手続きを持っている。それぞれの設計オブジェクトについて設計知識を表現するために、図 3. 2 のような設計オブジ

エクトのスキーマを提案する。

設計オブジェクトのスキーマは、図3.2に示すように、基本的にID記述部、属性記述部、およびメソッド記述部からなる。ここで、ID記述部には、設計オブジェクトの名称や他の設計オブジェクトとの関係を記述する。属性記述部には、この設計オブジェクトの属性項目および属性項目に関する参考情報を記述する。また、メソッド記述部には、このオブジェクトが他のオブジェクトから処理を依頼された場合に実行すべき設計手続きを記述する。

ただし、設計オブジェクトに含まれる知識において、設計手続きに関する知識の内、属性項目に固有の手続きは属性記述部に与え、これをデモン[3.11]と呼ぶ。これに対して、設計手続きに関する知識の内、他のオブジェクトからの依頼

ID Section
Name of Design Object : *** Type of Object : class Super Class : ***
Data Section : <[AttributeName, Facet, Value]>
Attributes : [Attribute1, value, ***] [Attribute2, range, ***] [Attribute2, default, ***] : [AttributeN, value, ***]
Method Section : <[MethodName, Facet, Data]>
Method for determination of design parameters Method for selection of design object Method for specialization of design object Method for division of design object [Method1, method, ***] [Method1, rule, ***] [Method1, table, ***]

図3.2 設計オブジェクトの定義スキーマ

により実行すべき手続きおよび設計処理の制御知識に関する手続きは、メソッド記述部に与え、これをメソッド[3.12]と呼ぶ。

本研究の提案する設計オブジェクトのスキーマの詳細な内容について以下に示す。

a. ID記述部

1) 設計オブジェクト名:

設計オブジェクト名はオブジェクトの識別子であり、全てのオブジェクトについてユニークな値を持つ。

2) オブジェクトタイプ:

このオブジェクトがクラスに相当するのかインスタンスに相当するのかを記述している。設計オブジェクトはすべてクラスであり、設計オブジェクトから作成される各設計事例はインスタンスである。

3) 上位設計オブジェクト名:

抽象-具体関係における上位の設計オブジェクトを示す。

b. 属性記述部

設計事例を作成する場合に必要となる全ての属性項目を記述している。これらの属性項目が示す情報は、設計オブジェクトが表す対象の特徴を示している。個々の属性情報は「属性項目、ファセット、値」というタプルで表現する。ファセットは、個々の属性情報が属性値に対する制約条件を与えているのか、属性値に対するデモンを与えているのかを示している。属性値に対する制約を表すファセットとして次の種類を考える。

value 属性値を示す。このvalueファセットで指定された属性値は、この設計オブジェクトより生成される全ての設計事例が共有するものである。

type 属性値のデータ型を記述する。データ型として次の3つを考える。

- ・連続数値データ
- ・離散数値データ（数値リスト）
- ・文字型データ

range 属性値として取りうる範囲を示す。rangeには属性値のタイプによって次の二つの形式が考えられる。

- ・選択枝 : 文字型データ、離散数値データ
- ・上限、下限 : 連続数値データ

default 属性値のデフォルト値であり、矛盾がなければ暗黙のうちに仮定する値を示す。したがって、valueと異なり、インスタンスによって例外もあり得る。

上記のファセットを持つ属性項目は、例えば以下のようなになる。

立形マシニングセンタType 4

スロット名	ファセット	値
crosstravel	type	numeral
crosstravel	range	[600,1000]
crosstravel	default	800

上記のように、1つの属性項目が複数のファセットを持つ場合もある。valueファセットしか持たない属性項目は、オブジェクト指向におけるクラス変数である。逆に、valueファセットを持たない属性項目、すなわち設計項目はオブジェクト指向におけるインスタンス変数である。

1) クラス変数

このクラスの下に作られる全てのインスタンスに共通する特徴を示す属性項目であり、これらの属性値によって、他の設計オブジェクト、すなわち他のクラスとの差異が示されている。

2) インスタンス変数

このクラス内の設計処理で値を決定すべき項目である。これは、各インスタンスを特徴付ける項目であり、各インスタンスの差異がそれぞれの値によって示される。設計項目はこれに相当する。

属性項目の内valueファセットによって値を指定していない設計項目を持つデーモンとしては、次の3種類がある。

if_needed.....設計項目の値が必要なときに実行するデーモン
if_added.....設計項目の値が決定されたときに実行するデーモン
if_removed.....設計項目の値が削除されたときに実行するデーモン

デーモンの詳細、すなわち、設計項目の値を決定するための実行手順は値の部分に記述されている。デーモンが指定されている属性項目のスロットの内容は、以下のようになる。

立形マシニングセンタType 4

スロット名	ファセット	値
crosstravel	if_needed	process1
crosstravel	rule	[rule1,rule2]
long.travel	if_added	process2
long.travel	formula	a+b
vert.travel	if_removed	process3
vert.travel	table	table1

ここで、ファセットの部分にif_needed、if_added、またはif_removedとある属性情報は、属性項目がアクセスされた場合に行われる処理の手順を記述している。ファセットの部分にrule、formula、またはtableとある属性情報は、上記

の処理で用いられる知識情報を与える。これらのファセット名は、どのような形式の知識を参照するかを指定しており、以下の3種類の指定ができる。

rule : ルールを用いて属性項目の設計を行う場合。

formula : 数式を用いて属性項目の設計を行う場合。

table : 表を用いて属性項目の設計を行う場合。

ルール、数式および表の内容は、各ファセットの値の部分に記述される。

c. メソッド記述部

オブジェクト指向においては、オブジェクトにアクセスする唯一の方法がメッセージ伝達による処理の依頼である。メソッドは、オブジェクトに送られてきたメッセージに対応して起動する手続きである。すなわち、メソッドは、オブジェクトに依頼できる仕事の内容を示し、オブジェクトの動作や働きについての記述である。メソッドは、普通の手続き型言語でいうサブルーチンや関数に相当するものであるが、多義性[3.13]を持つ点で大きく異なる。これは「同一のメッセージを送っても、それを受け取るオブジェクトによって異なる動作を引き起こす」ことを示している。各メソッドはメッセージセクタ、すなわち識別子を持っている。そして、オブジェクトは送られてきたメッセージをメソッドのメッセージセクタとマッチングさせ、一致したメソッドを実行する[3.14]。このメッセージセクタはオブジェクトが実行できる設計処理メソッドの名称に相当する。各メソッドは[メソッド名、ファセット、データ]という形で記述される。ここで、メソッド名、ファセット、データは、それぞれ、図3.1におけるスロット名、ファセット、値に対応している。

それぞれのメソッドが行う設計処理手続きは、ルールを用いた推論、数値計算、表検索などである。デーモンの場合と同様に、各メソッドにおけるファセットは、メソッドが持つ知識情報の種類、すなわちルール、数値計算式または表を指定しており、データ部には、それらの知識の内容が与えられる。

これらのメソッドは、各設計オブジェクトに記述されている。ただし、実際の設計処理は各設計事例ごとに行うものであり、メソッドの実行は各設計事例の中で行われる。オブジェクト指向において、メソッドにはクラスメソッドとインスタンスメソッドがあり、それぞれ以下のように定義される。

クラスメソッド : クラスに送られたメッセージによって起動されるメソッドである。例えば、インスタンスを生成する手続き 'new' がある。

インスタンスメソッド : インスタンスに送られたメッセージによって起動されるメソッドであり、インスタンスごとに行う処理を表す。

設計処理メソッドは、インスタンスメソッドであり、設計事例はこれらの起動メッセージを受け取ると、図3.3に示すように、まず自身の属する設計オブジェクトのメソッドを探索し、メソッドが保持されていればそのメソッドを実行す

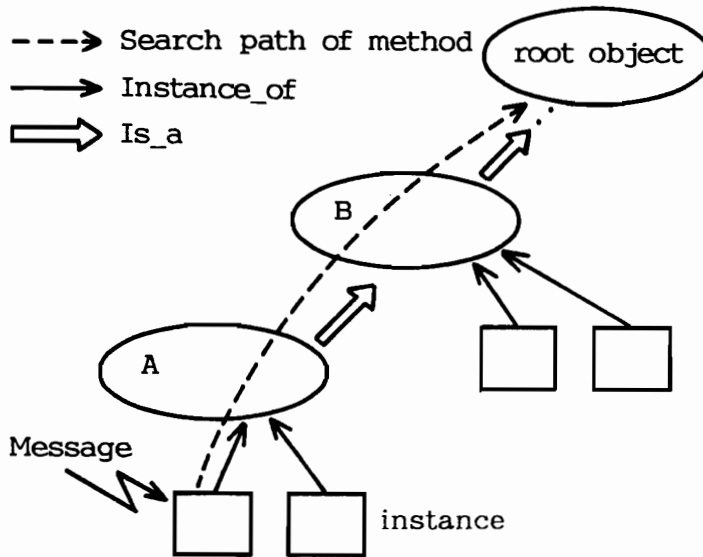


図3.3 メッセージ伝達

る。もし、その設計オブジェクト中に実行メソッドが存在しない場合、さらに上位の設計オブジェクトを探索する。最終的にルートオブジェクトまで探索しても実行メソッドが存在しない場合には、メッセージ伝達は失敗する。

設計オブジェクトが持つべき設計処理メソッドとして、次のようなメソッドが必要になる。以下に各メソッドのセレクタと処理内容を示す。

- determination.....設計項目の決定を行うためのメソッドであり、設計事例を定義するために必要な全ての設計項目についてその値を決定する。
- specialization.....設計対象を特化するためのメソッドである。以下のspecialize、makeIsARelationメソッドを順に起動させる。
- specialize.....設計事例の形態を具体化し、具体化された設計オブジェクト名を返す。
- makeIsARelation(***)....設計事例を引数で示した設計オブジェクトの設計事例と定義する。
- division.....設計対象を分割するためのメソッドである。以下のdivide、makeComponents、constrainメソッドを順に起動させる。
- divide.....設計事例を構成する部分構造を決定し、各構成部分がどの設計オブジェクトのインスタンスに相当するのかを明らかにし、各構成部分とその設計オブジェクト名を返す。
- makeComponents.....設計事例の構成要素となる構成部分インスタンスを生成し、全体-部分関係を生成する。
- constrain.....設計事例の持つ属性項目の中で、構成部分インスタンスの仕様項目になるものを制約条件として送る。

3. 4 設計オブジェクトにおけるメソッドおよびデーモンの実行

各オブジェクトは、メッセージを受け取ると、自身あるいは上位設計オブジェクトの持つ適切なメソッドを実行する。また、各設計項目に与えられているデーモンは、メソッドにより起動される。設計オブジェクトの持つ基本的なメソッドには、設計項目の設計を行う "determination" メソッド、設計対象の特化を行う "specialization" メソッド、および、設計対象の分割を行う "division" メソッドがある。図3. 4に、設計オブジェクトにおけるメソッドとデーモンの実行例を示す。設計事例 "プロトタイプ" にメッセージ "determination" を送った場合、設計オブジェクト "立形マシニングセンタ" の "determination" メソッドが起動される。このメソッドは、設計オブジェクトに記述されている設計項

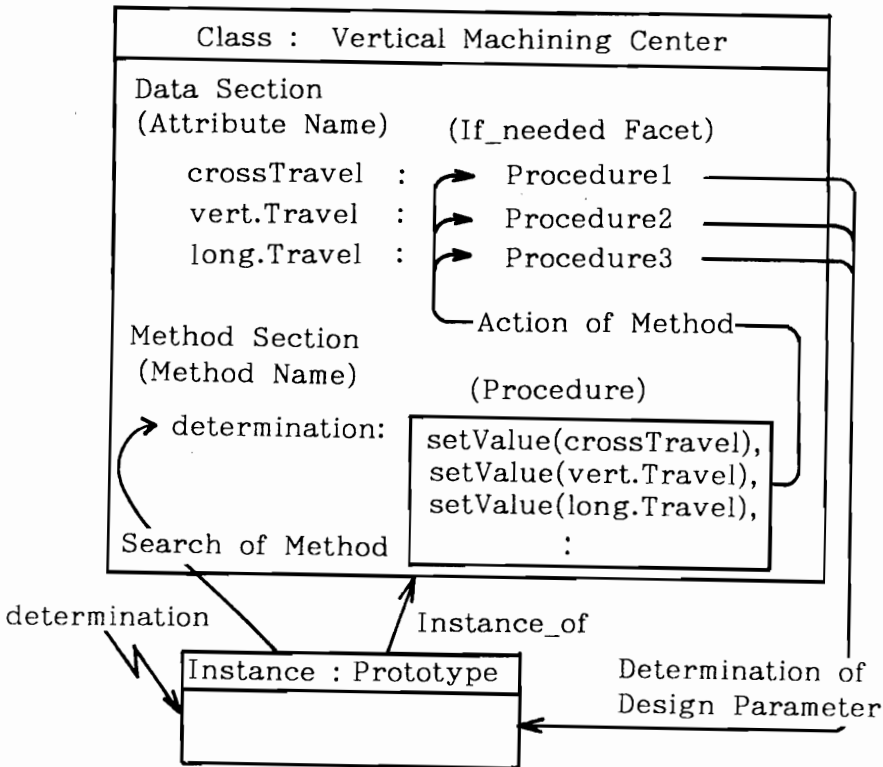


図3. 4 設計オブジェクトのメソッドとデーモンの実行

目のIf_neededデーモンを順次起動する。各デーモンは各設計項目の属性値を決定し、その値を設計事例に書き込む処理を行っている。

ここで、1つの設計事例に対して行う設計処理の基本的な流れを示すと図3.5のようになる。まず、メッセージにより与えられる入力情報に基づいて、設計項目の値を決定する。次に、その結果に基づいて、さらに設計事例の具体化が必要な場合、以後の設計処理を委託すべき設計オブジェクトを決定する。その場合、以下のいずれかの方針を選択する。

- 1) 設計事例の形態を限定し、設計事例を特化する。
- 2) 設計事例の構成部分を明らかにし、設計事例をいくつかの構成部分に分割する。

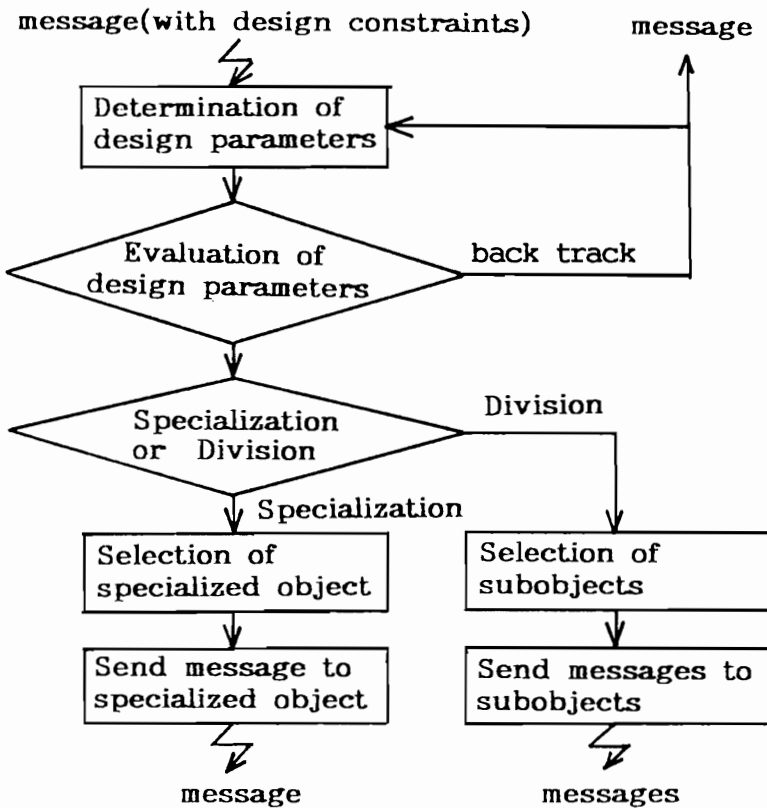


図3.5 設計オブジェクト内の設計処理

具体的には、最初に、設計事例の特化を考え、抽象－具体木を探索し、設計事例の形態を具体化できる適切な設計オブジェクトが存在すれば、以後の設計処理をそれに委託する。もし、適切な設計オブジェクトが存在しない場合、設計事例の分割を実行し、設計事例の構成部分を明らかにして、各構成部分の設計を担当する各設計オブジェクトに以後の設計処理を委託する。最後に、設計事例自身あるいは分割された構成部分に仕様項目などの必要な情報を引き渡す処理を行う。ただし、問題の解決が成功しない場合、以前の設計オブジェクトにバックトラックすることも考えられる。つまり、設計過程の1つ前の状態に戻り、設計対象の具体化をやり直すこともある。本節では、各設計オブジェクトが行う設計処理において中心的な役割を果たす設計項目の決定、設計対象の特化、および設計対象の分割について、設計事例がこれらの起動メッセージを受け取った場合のメソッドの実行手順を説明する。

3. 4. 1 設計項目の決定

設計事例を定義するのに必要な設計項目の値を決定するために、それぞれの設計項目の値を決定するデーモンを順に起動させる。この処理手順を図3. 6に示す。まず、設計オブジェクトに含まれる全ての設計項目を参照し、設計事例を定義するために必要な全ての設計項目のリストを作成する。次に、作成された設計項目リストの全ての設計項目について、属性値の参照を行い、属性値が与えられていない設計項目に対しては、それぞれのif_neededファセットに記述されているデーモンを起動させて属性値を決定する。最終的に設計オブジェクトから作られる設計事例は、設計オブジェクトで指定している設計項目それぞれについて属性値を持つ。

ただし、設計項目リストの作成においては、図3. 7に示すように、その時点における設計事例の状態によって作成されるリストは異なる。すなわち、以下の2つのケースがある。

1) 設計事例の特化によって設計オブジェクトが起動された場合、所属する設計

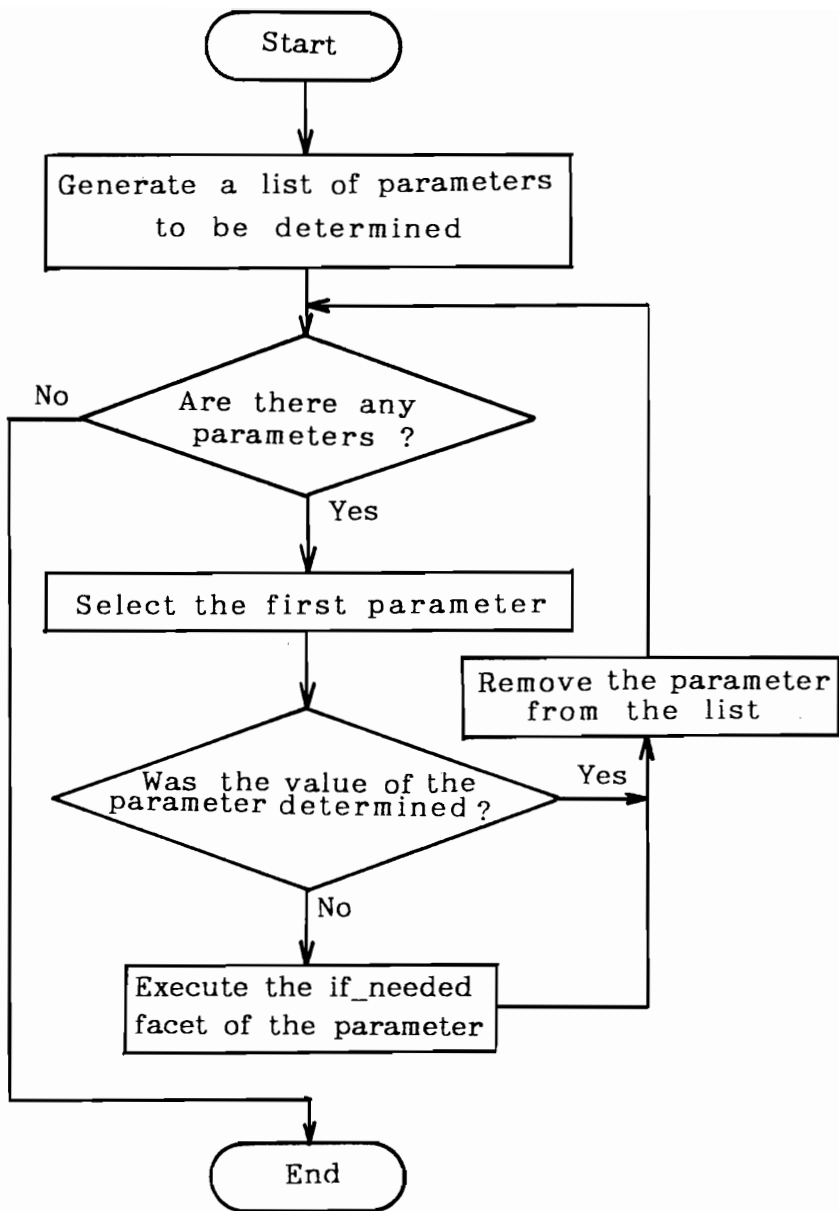


図3.6 設計項目の決定処理手順

オブジェクトの持つ設計項目だけを設計項目のリストに含める。
 2) それ以外の場合、所属する設計オブジェクトの上位の設計オブジェクトの設計項目を全て検索して、設計項目のリストを作成する。

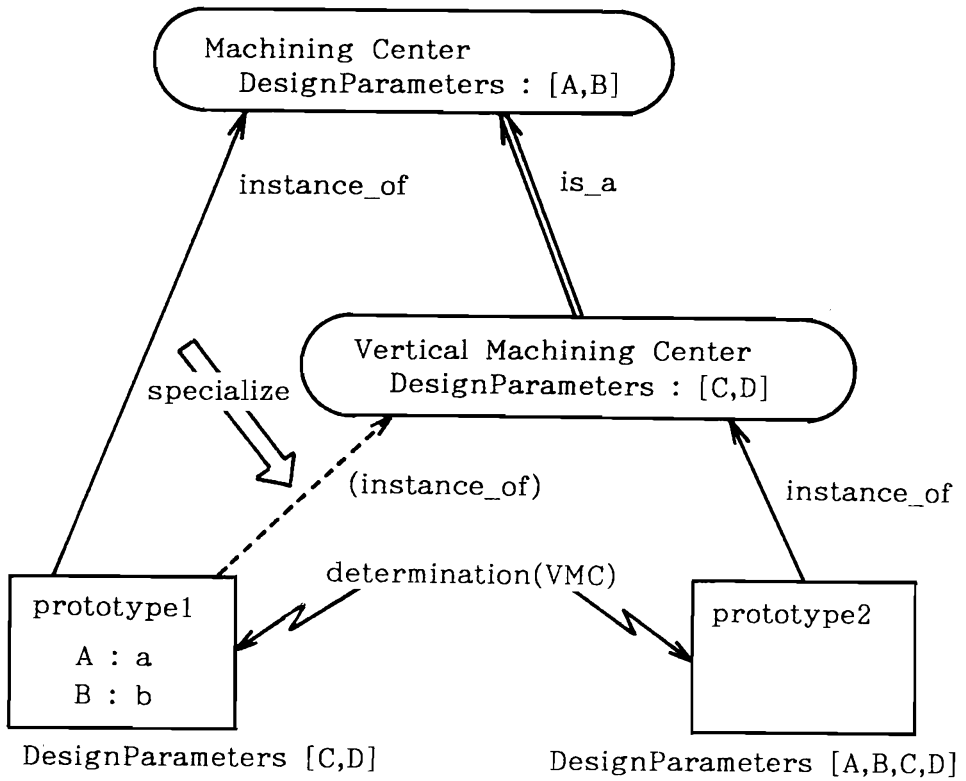


図3. 7 設計項目リストの作成

設計オブジェクトの持つ設計項目を設計オブジェクト “マシニングセンタ” と “立形マシニングセンタ” を例に挙げて説明する。表3. 1は、マシニングセンタという設計事例を設計する場合に必要な設計項目を示している。ただし、表3. 1の上部に示した属性項目はマシニングセンタを設計する際に設計者に与えられる要求を示す仕様項目である。表3. 1の下部はマシニングセンタが送りユニット、工具主轴ユニット、工作物テーブルユニット、ATCユニットから構成されており、これらの属性値が設計項目を決定する処理で設計されることを示している。表3. 2は立形マシニングセンタに固有の設計項目を示している。したがって、属性項目の継承の観点からすれば、立形マシニングセンタを定義するには、表3. 1の設計項目も、表3. 2の設計項目と合わせて考える必要がある。

表3. 1 マシニングセンタの持つ設計項目

Category	Items
Requirements	Machine class Work shape Type of machining process Work material Tolerance Productivity Cutting performance Accuracy Capacity in work size Load capacity Space saving of machine Adaptability to manufacturing system Operability Ease of maintenance Reliability
Feed unit	Direction of spindle Direction of table Feed axes Feed rate Feed accuracy
Tool spindle	Maximum speed of spindle Maximum torque of spindle
Work table	Table type
ATC	Tool Magazine capacity Tool change time

表3. 2 立形マシニングセンタの持つ設計項目

Category	Items
Feed unit	Height of table face Distance between spindle and table Distance between spindle and column Cross travel Longitude travel Vertical travel Rapid traverse rate Positioning accuracy
Tool spindle	Spindle taper Power of spindle motor Driving mechanism
Work table	Table size
ATC	—

3. 4. 2 設計対象の特化

設計対象の特化では、設計事例の具体案、すなわち具体的な形態をどうすれば良いかを決定する。具体的には、設計オブジェクトが持つ具体案候補の中から、設計事例が持つ属性値に対して、適切な具体案が存在すればそれを選択する。ここで述べている具体案候補とは、抽象-具体木における下位の設計オブジェクト群のことである。設計対象の特化においては、問題に制約条件を追加するだけであり、設計事例の構造の決定は、下位の設計オブジェクトにおいて処理することになる。

適切な設計オブジェクトを選択するためには、各設計オブジェクトは、自分の下位に存在する設計オブジェクトを知っている必要があり、さらに、下位の設計オブジェクトがどんな特徴を持っているのか知っている必要がある。

設計対象の特化の処理手順は、基本的に図3. 8のようになる。まず、候補となる形態、すなわち設計オブジェクトのリストを作成する。次に、与えられた制約条件を満足する設計オブジェクトだけを抽出する。ここで、もし制約条件を満足する設計オブジェクトが存在しない場合、この処理は失敗する。さらに、これらの設計オブジェクトの中から、それぞれの特徴を考慮して適切と考えられる設計オブジェクトを選択する。最後に設計事例を、選択された設計オブジェクトのインスタンスであると定義し直す処理を行う。ただし、制約条件を満足する候補の抽出および候補の設計オブジェクトの特徴に基づく最適な設計オブジェクトの選択において、どのような制約条件を与えるのか、どのような特徴に基づいて形態を選択するのかが設計オブジェクトごとに異なる。例えば、設計オブジェクト“立形マシニングセンタ”において、設計対象を特化する場合に用いる設計基準を表3. 3および表3. 4に示す。表3. 3は立形マシニングセンタの具体化の候補となる6種類の形態に対して、機械クラスと、送り運動軸の組み合わせに関する制約条件を示している。機械クラスは加工できる工作物の寸法容量を表す属性項目であり、マシニングセンタを設計する上で、マシニングセンタの加工空間のみならず、他の加工能力に対しても基準となる。一般に、マシニングセンタの機械クラスは[300, 400, 500, 600, 800, 1000, 1250]の7段階に分けられる。機械クラ

スの単位はmmである。また、機械クラスは、立形マシニングセンタに関してはY軸方向送りストローク、横型マシニングセンタにおいてはパレットサイズの寸法を与えるものである。例えば立形マシニングセンタType4は、機械クラスとしては600mmから1000mmの範囲が適切であり、工具主軸と工作物テーブルの送り運動軸の組み合わせは、Table-X-Y-Base-Z-Spindleであることを示している。表3.4は立形マシニングセンタの各形態の得失を10段階で表示している。ただし、1つの特徴項目に対する各形態の評価の差異は同一の機械クラスであるマシニングセンタを比較した場合のものである。

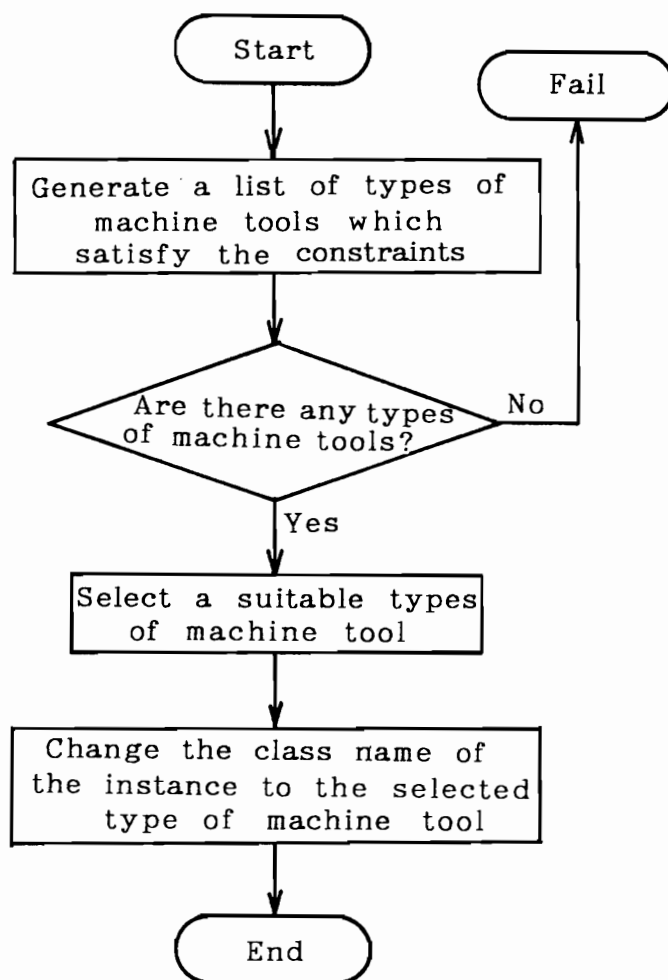


図3.8 設計対象の特化処理手順

表3. 3 立形マシニングセンタの各形態の特徴（その1）

Configuration	Item	
	Machine Class	Allocation of Feed Motions
VMCType1	[300,1000]	Table-Base-X-Y-Z-Spindle
VMCType2	[600,1250]	Table-X-Base-Y-Z-Spindle
VMCType3	[300,400]	Table-X-Y-Base-Z-Spindle
VMCType4	[600,1000]	Table-X-Y-Base-Z-Spindle
VMCType5	[600,1250]	Table-X-Base-Y-Z-Spindle
VMCType6	[1000,1250]	Table-X-Base-Z-Y-Spindle

表3. 4 立形マシニングセンタの各形態の特徴（その2）

Item Cofiguration	Cutting performance	Accuracy	Capacity in work size	Load capacity	Space saving of machine	Adaptability to machining system	Operability	Ease of maintenance	Reliability	Price
	VMC type1	6	5	6	9	6	9	9	6	6
VMC type2	7	6	7	8	7	8	8	8	7	6
VMC type3	4	6	6	6	8	5	7	7	7	8
VMC type4	8	7	6	6	8	5	7	7	7	8
VMC type5	5	7	6	7	5	6	6	6	6	6
VMC type6	6	6	8	7	5	5	6	6	6	5

3.4.3 設計対象の分割

設計対象の特化ができなかった場合、設計対象の分割を行う。設計対象の分割では、設計事例がどのような構成部分のインスタンスを持ち、それらの構成部分のインスタンス間にどのような関係があるのかを明らかにする。設計対象の分割を行うことによって、以後の設計は分割された各構成部分のインスタンスを取り扱うそれぞれの設計オブジェクトによって進めることができる。図3.9に示すように、設計対象の分割処理は基本的に、設計事例を構成する構成部分の決定、構成部分のインスタンスの生成、構成部分のインスタンスへの制約条件の伝達という3つからなる。以下にそれぞれの処理の詳細を示す。

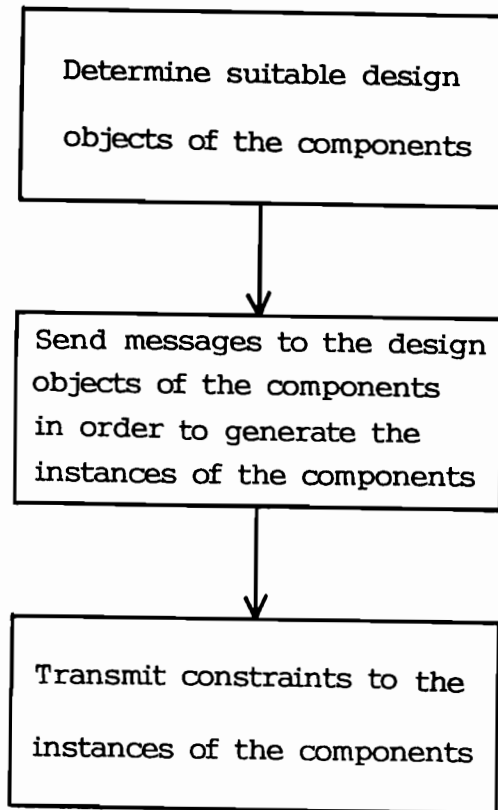


図3.9 設計対象の分割処理手順

1) 設計事例を構成する構成部分の決定

まず、設計事例（親）がいくつの構成部分（子）から構成されているかを決定する。また、それぞれの構成部分がどのような形態のものであるかを設計オブジェクトを指定することによって明らかにする。同時に、各構成部分に識別子として構成部分名を与える。その結果から、図3.10に示すように部分構造名とその形態を表す設計オブジェクト名のペアを要素とする構成部分のリストを設計事例（親）の構成部分スロットに記述する。

Instance : Prototype
is_a, vmcType4 :
(DesignObjectName) (ComponentName) consist_of, [[toolSpindle , compo1] [flatTable , compo2] [linearFeedMechanism, compo3] [linearFeedMechanism, compo4] : :

図3.10 構成部分リスト

2) 構成部分インスタンスの生成

図3.11に構成部分のインスタンスの生成プロセスを示す。構成部分のリストの要素を1つずつ抽出し、それぞれについて、各要素に記述されている構成部分の設計オブジェクトに対して、構成部分名を持つインスタンスを生成させるためのメッセージ "new" を送る。さらに、生成した構成部分のインスタンス（子）に対して、自身（親）との全体-部分関係を生成させるメッセージ "mkWPLink" を送る。

3) 制約条件の伝達

設計事例が持つ属性情報の内、構成部分のインスタンスに対して仕様項目となるものを制約条件としてメッセージと一緒に送る。

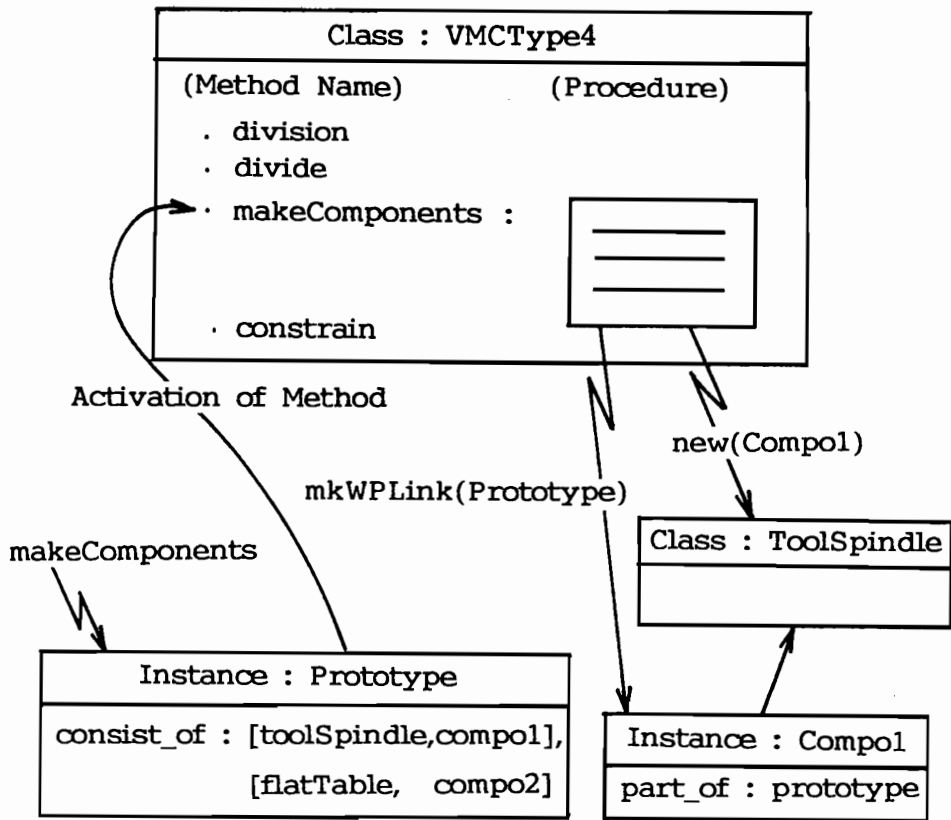


図3. 11 構成部分インスタンスの生成

3. 4. 4 設計オブジェクトを用いた設計過程

設計対象の設計過程は、工作機械およびその構成部分に関する設計オブジェクトに基づいて、それらの間の明示的な抽象-具体リンクまたは暗示的な全体-部分リンクに沿った一連の設計オブジェクトにより表現できる。

図3. 12は「マシニングセンタを設計せよ」という命令を受けて設計が開始された場合の設計過程の一例を示している。まず、設計オブジェクト「マシニングセンタ」が設計事例を生成し、その設計事例に対して「設計項目の決定」メソッドを起動させ、マシニングセンタとして定義するために必要な全ての設計項目の値を決定する。次に、この設計事例に対して、「設計対象の特化」メソッドを起動させ、設計事例の持つ属性情報に基づいて具体化を行い、設計事例の形態を

立形マシニングセンタに特化している。さらに、設計事例の属する設計オブジェクトを立形マシニングセンタに変更している。以上の設計項目の値の決定と形態の具体化を繰り返した結果、最終的に設計事例はVMCtype1という形態になっている

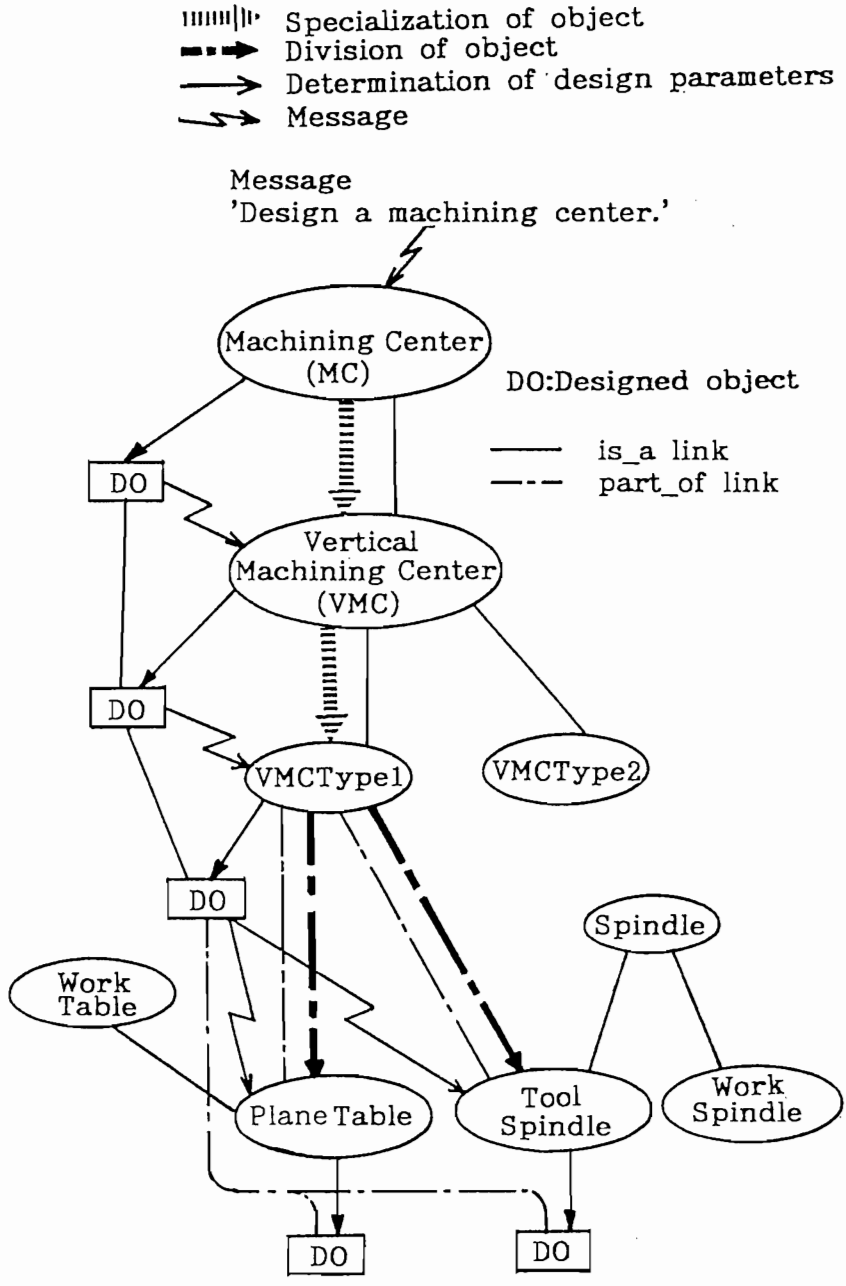


図 3. 1 2 工作機械の設計プロセス

る。さらに、設計事例の具体化を行うために、「設計対象の分割」メソッドを実行させた結果、設計事例を構成するツールスピンドル、プレーンテーブルなどの構成部分を明かにし、各部分構造を表す設計事例を生成している。次に、各構成部分に制約条件を送り、以後の設計は各構成部分ごとに行う。

3. 5 結言

本章においては、オブジェクト指向の設計プロセスモデルにおいて中核となる設計オブジェクトのデータ構造、設計オブジェクトが持つ知識情報の表現方法およびその内容を明らかにした。本章の内容を以下にまとめる。

- 1) 設計オブジェクトは、基本的なデータ記述構造としてフレームを採用し、設計オブジェクトの持つ個々の知識情報を [スロット、ファセット、値] の組により表現している。さらに、処理依頼の方法をメッセージ伝達に統一することによってオブジェクトとしての自律性を保っている。
- 2) 設計オブジェクトは、ID記述部、属性記述部、メソッド記述部から構成される。ID記述部は、設計オブジェクトの名称や他の設計オブジェクトとの関係を記述している。属性記述部は、設計事例を作成する場合に必要な属性項目について記述している。個々の属性情報には、属性値に関する制約条件あるいは属性値に対するデーモンを付加している。メソッド記述部は、オブジェクトに送られてきたメッセージに対応して起動する手続き、すなわちメソッドを記述している。メソッドは、オブジェクトが実行できる仕事の内容を示し、オブジェクトの動作や働きについて記述している。
- 3) 設計オブジェクトにおける設計項目の決定、設計対象の特化、設計対象の分割について、メソッドおよびデーモンの処理プロセスを明らかにした。

参考文献

- [3.1] 中島秀之:論理に基づく知識の表現,情報処理,Vol.26,No.12,(1985) 1512
- [3.2] Newell,A.:Production Systems;Models of control structures,
"Visual Information Processing (ed. Chase,W.G.)",Academic Press,
(1973) 463
- [3.3] 小林重信:プロダクションシステム,情報処理,Vol.26,No.12,(1985) 1487
- [3.4] Quillian,M.R.:The Teachable Language Comprehender,Simulation
Program and Theory of Language,Communications of the ACM,
Vol.12,No.8,(1969) 459
- [3.5] 岡本敏雄:セマンティック・ネットワーク・システム,情報処理,Vol.28,
No.12,(1985) 1504
- [3.6] Minsky,M.:A Framework for Representating Knowledge,
in Winston,P.H.(Ed.),The Psychology of Computer Vision,
McGraw-Hill NewYork,(1975)
(白井、杉原訳:コンピュータビジョンの心理、産業図書)
- [3.7] 島健一:フレーム型知識表現における論理型推論メカニズムの検討,
情報処理学会論文誌,Vol.27,No.9,(1986) 860
- [3.8] 小山照夫:知識表現言語,情報処理,Vol.26,No.12,(1985) 1529
- [3.9] 新田克己:エキスパートシステムにおける知識表現と推論,情報処理,
Vol.28,No.2,(1987) 158
- [3.10] 館野昌一,及川一成,田制貴俊,川西真木:基礎からのSmalltalk-80
-オブジェクト指向のプログラミング-,工学社,(1987)
- [3.11] 大須賀節雄:知識情報処理,オーム社,(1986)
- [3.12] 上野晴樹:知識工学入門(改訂2版),オーム社,(1989)
- [3.13] 上谷晃弘:統合化プログラミング環境Smalltalk-80とInterlisp-D,丸善,
(1987)
- [3.14] 小嶋隆一:Smalltalk/V トレーニングマニュアル,JICC出版局,(1989)

第4章 オブジェクト指向に基づく設計対象記述に関する考察

4.1 緒言

本章では、各設計オブジェクトで作成する設計事例について、その属性の記述をどのように行うかを検討する。具体的には、マシニングセンタおよびその基本構成ユニットである送りユニット、ATC（自動工具交換装置）、テーブル、ハウジングに関する設計オブジェクトの抽象－具体木を整理する。さらに、設計の特化により、設計事例に機能、品質、形状および寸法に関する属性を追加する手法を提案する。また、これらの設計事例間の関係、すなわち、支持関係、相對運動関係、構成要素の共有などのモデル化手法についても検討する。以下では設計事例に記述される設計対象の属性情報を設計対象モデルと呼ぶ。さらに、設計対象モデルを操作して、設計項目の決定や設計対象の具体化を行いながら設計を進めるために、各設計オブジェクトが持つべき知的処理機能を明確にし、これらの機能をメソッドとして記述する方法を検討する。

4.2 設計の進行にともなう設計対象モデルの変更

マシニングセンタおよびマシニングセンタの構成部分について、それぞれを単体とみなした場合、設計対象モデルは設計対象の特徴を表す属性情報の集合によって表現することができる。設計の進行にともなって、設計対象モデルはその内容が変更されていく。本研究では、設計対象の特化および設計対象の分割の2通りの方法を用いて設計を進めていく。これらの処理により、設計対象モデルが変更され、具体化されていく。

1) 設計対象の特化による設計対象モデルの変更

設計対象の特化は、設計オブジェクトの抽象－具体木に基づいて行われる。設

設計オブジェクトには、設計対象の機能、品質、形状、寸法などの特徴を記述するための属性項目が準備されており、下位の設計オブジェクトほど、設計対象のより詳細な属性項目が記述されている。設計事例は、設計オブジェクトに含まれる属性項目に具体的な属性値を与えて生成されるインスタンスオブジェクトである。

設計対象の特化においては、設計事例が所属する設計オブジェクトを、抽象-具体木における上位のオブジェクトから下位のオブジェクトに変更させることによって、設計事例の形態の具体化が行われる。また、形態の具体化にともなって、設計事例の特徴を記述する属性項目は増加し、詳細化される。すなわち、設計対象の特化による設計対象モデルの変更は、図4. 1に示すような設計対象モデルの属性項目とその属性値が増加することに等しい。

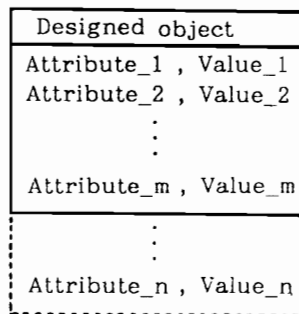


図4. 1 設計対象の特化による設計対象モデルの変更

2) 設計対象の分割による設計対象モデルの変更

設計対象を分割することにより、1つの設計事例はその構成部分を表す複数の設計事例に分割され、以後の設計は各構成部分ごとに進められる。図4. 2に示すように、設計対象の分割においては、まず、各構成部分を表す設計事例を生成する。次に、新たに生成された構成部分の設計事例ごとに、それぞれの特徴を表現する属性項目を記述する。また、全体を表す設計事例には、どのような構成部分を持つかという情報を与える。

設計対象の分割においては、親の設計事例と構成部分の設計事例の間の親子関

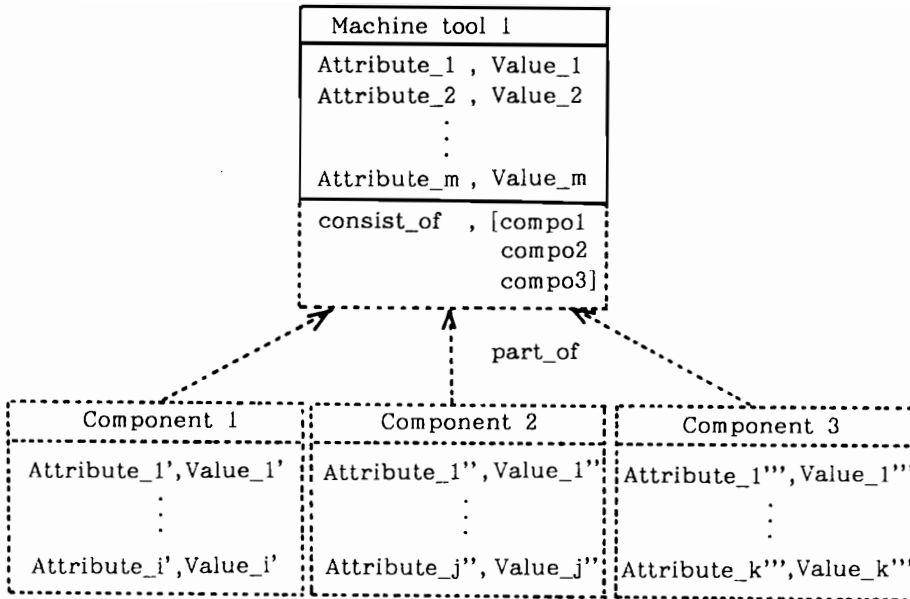


図4. 2 設計対象の分割プロセスにともなう設計対象の変更

係、および各構成部分の設計事例間の位置および接続関係を明らかにし、その結果を設計事例に記述する必要がある。具体的には、設計事例間の全体－部分関係を記述する属性スロット（consist_ofスロット、part_ofスロット）と構成要素間の関係を記述する属性スロット（relationsスロット）を持たせる必要がある。

4. 3 マシニングセンタおよびその構成部分

本節では、設計対象の特化を行う場合に、設計対象の特徴を記述する属性項目を整理する枠組みとなる設計オブジェクトの抽象－具体木について考察する。

設計オブジェクト間の抽象－具体階層を構築する場合、その階層構造の組み立て方には任意性がある。本研究では、マシニングセンタの設計において、マシニングセンタおよびその構成部分の形態が、どのように具体化されるかに基づいて設計オブジェクトの抽象－具体木を作成する。すなわち、マシニングセンタの形態を具体化していく手順に合致するように設計オブジェクトの抽象－具体木を作成する。

4. 3. 1 マシニングセンタ

既存のマシニングセンタの形態、およびマシニングセンタの設計過程を分析し整理すると、マシニングセンタに関する設計オブジェクトの抽象-具体木は、図4. 3のようになる。マシニングセンタは、一般に「自動工具交換装置 (ATC) を有し、工作物の取り付け替えなしに2面以上について、フライス加工、ドリル加工などの多種類の加工を施し得る工作機械」と定義されている。本研究では、この定義に加えて、マシニングセンタを1つの工具主軸ユニットと1つの工作物テーブルユニット、工具主軸と工作物テーブルを相対運動させる送りユニット、およびATCユニットから構成されているものとする。

マシニングセンタの設計を進めるにあたって、立形マシニングセンタであるか横形マシニングセンタであるかの選択が第1段階となるため、マシニングセンタを1段階具体化した形態として、立形マシニングセンタと横形マシニングセンタを考える。立形マシニングセンタの形態としての特徴は、工具主軸ユニットの主軸の方向が鉛直下向きであること、工作物テーブルユニットのテーブルの法線方向が鉛直上向きであること、および直行する3つの直線送り軸から成る工具主軸-工作物テーブル送りユニットを持つことである。横形マシニングセンタの特徴は、工具主軸ユニットの主軸の方向が水平方向であること、工作物テーブルユニットのテーブルの法線方向が鉛直上向きであること、および直行する3つの直線

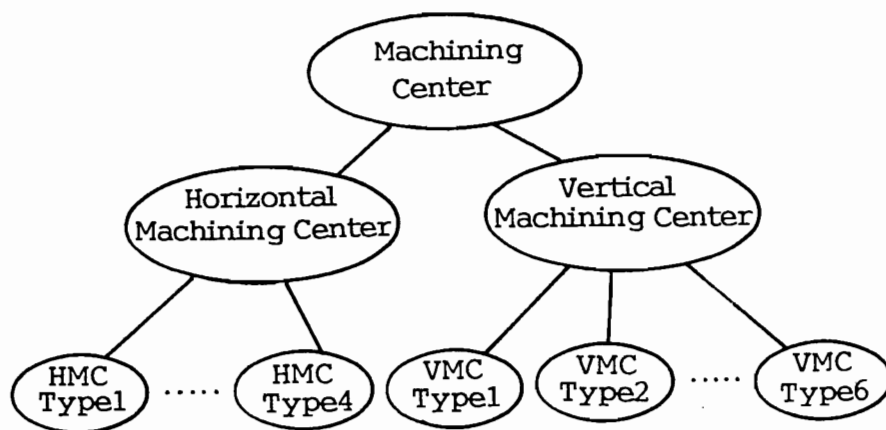
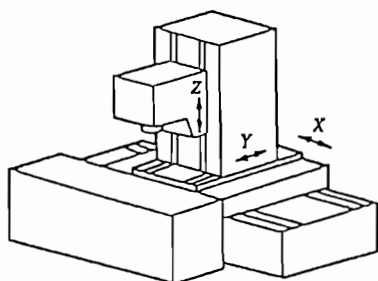


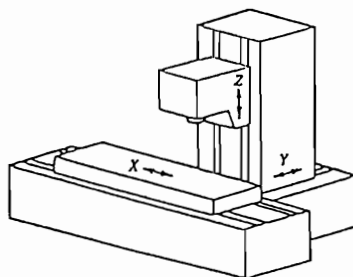
図4. 3 マシニングセンタに関する抽象-具体木

送り軸と工作物テーブルを回転させる回転送り軸から成る工具主軸-工作物テーブル送りユニットを持つことである。

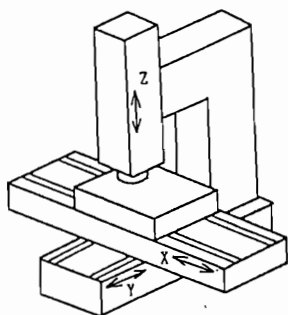
立形マシニングセンタのサブクラスとなる典型的な形態として、図4. 4に示すVMCtype1からVMCtype6までの形態を考える。それぞれ、送りユニットの持つ3



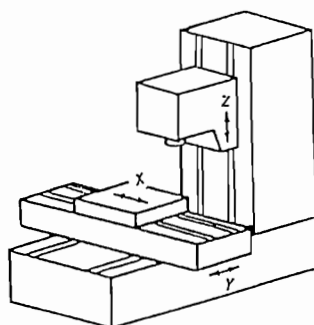
1) VMC Type1



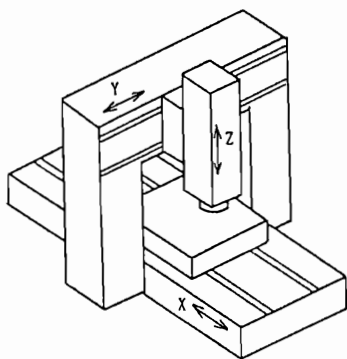
2) VMC Type2



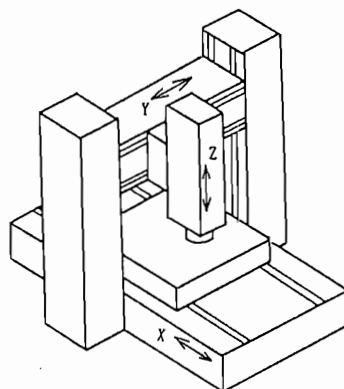
3) VMC Type3



4) VMC Type4



5) VMC Type5



6) VMC Type6

図4. 4 立形マシニングセンタの具体的な形態

つの直線送り軸の組合せの方法が異なっている。また、加工能力についてもそれぞれ特徴がある。各形態の特徴は第3章の表3.3および表3.4にまとめている。

横形マシニングセンタのサブクラスとして、図4.5に示すようなHMCtype1からHMCtype4までの形態を考える。

図4.4および図4.5に示すマシニングセンタはATCユニットを持つが、図には示していない。その理由は、マシニングセンタの設計過程において、設計対象の形態を、立形マシニングセンタあるいは横型マシニングセンタから、さらに1段階具体化する設計段階では、ATCの形態を決定しないからである。した

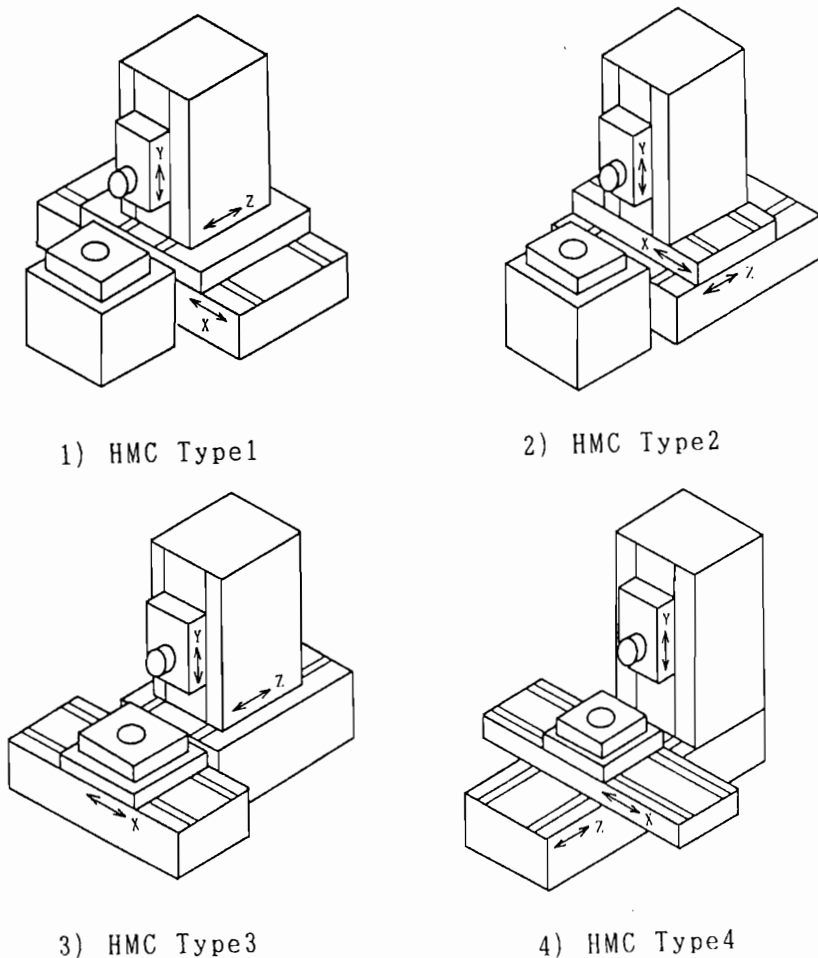


図4.5 横形マシニングセンタの具体的な形態

がって、この設計段階における設計オブジェクト、例えばVMctype1やHMctype1などには、ATCユニットの形状に関する情報は持たせておらず、ATCの機能や能力などの仕様項目に関する情報のみを持たせている。

4.3.2 送りユニット

送りユニットは、マシニングセンタの最も重要な機能である形状創成運動を実現する構成部分である。この送りユニットに関する設計オブジェクトの抽象-具体木は図4.6のようにまとめられる。マシニングセンタの送りユニットのサブクラスとして、工具主軸-工作物テーブル送りユニットが存在し、そのサブクラスとして、主軸の方向とテーブルの方向が異なる4種類の送りユニットが存在する。さらにそれぞれについて、送り軸の異なる複数のサブクラスがある。この抽象-具体木は、送りユニットの設計手順に基づいて作成されたものである。すなわち、工具主軸-工作物テーブル送りユニットの設計を行う場合、第一に、主軸の方向とテーブルの方向の組み合わせを決定し、次に、形状創成運動に必要な送り軸を決定し、最後に、それらの送り軸の重ね合せ順序および送りユニットの構造を決定する。

送りユニットの主要な機能は形状創成運動を行うことであり、送りユニットは複数の送り軸を有している。マシニングセンタの送りユニットに含まれる送り軸としては、図4.7に示すように、工具側の3つの直交する直線送り軸 (X_t, Y_t, Z_t)、工具側の2つの回転送り軸 (A_t, B_t)、工作物側の3つの直交する直線送り軸 (X_w, Y_w, Z_w)、および工作物側の3つの回転送り軸 (A_w, B_w, C_w) の合計11軸を考えることができる。しかし、現実にこれらの送り軸を全て必要とするマシニングセンタは存在しない。一般的なマシニングセンタでは、これらの送り軸の内、3つの直交する直線送り軸、および2軸以下の回転送り軸を持つものがほとんどである。すなわち、全てのマシニングセンタは、最小限工具側または工作物側にX軸、Y軸、Z軸方向の3軸の直線送りを持つ。しかし、最も運動自由度の大きいマシニングセンタでも、3軸の直線送り以外にはテーブルを回転させる1軸の回転送り、および主軸ユニットを回転させる1軸の回転送りを持つだけであ

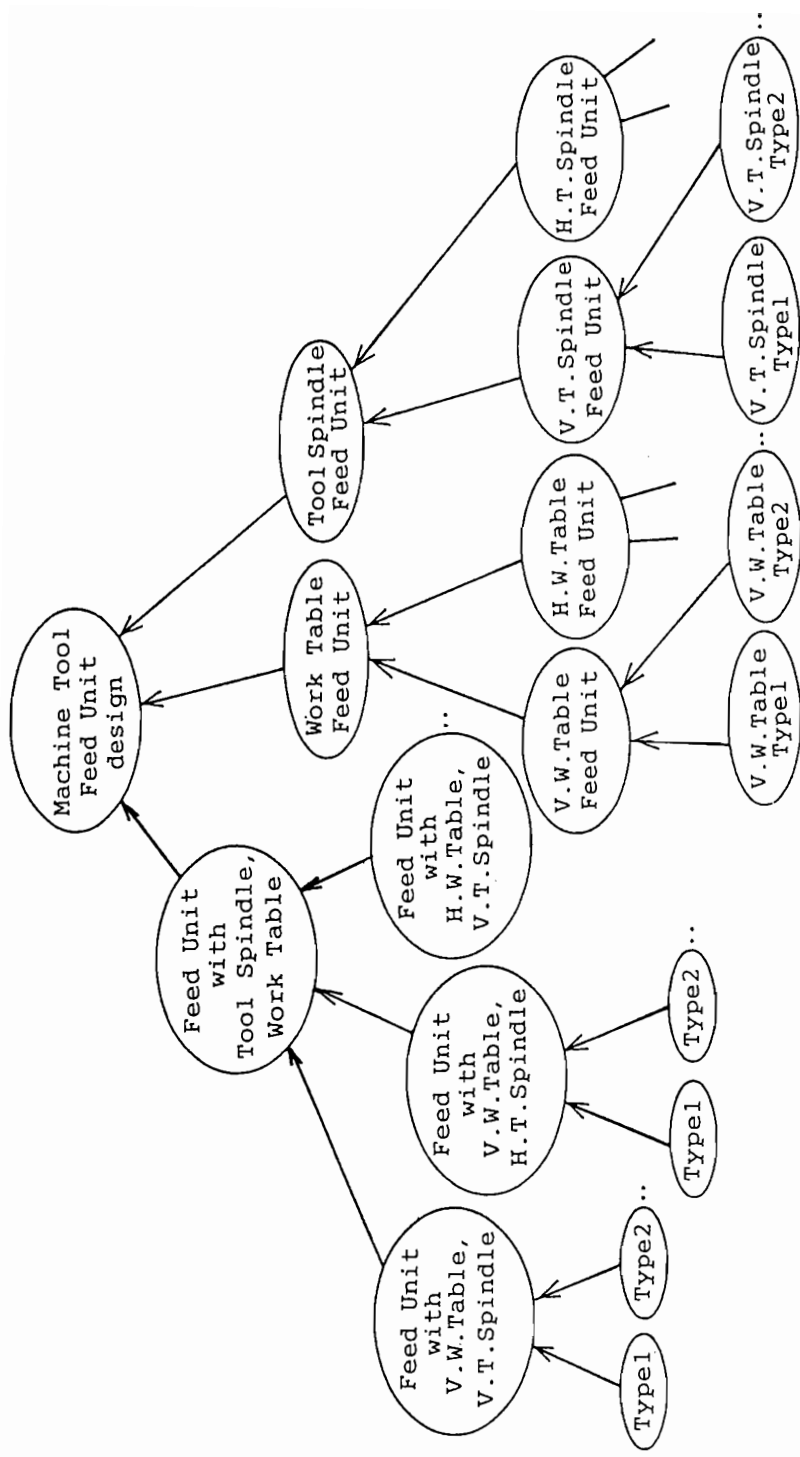


図4.6 工作機械送りユニットに関する抽象-具体木

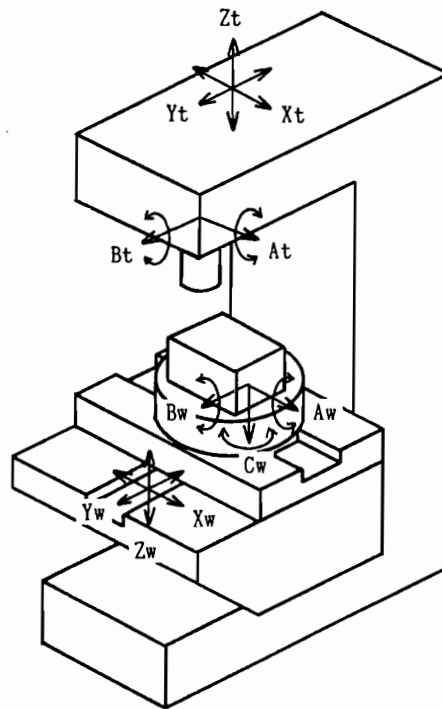


図4. 7 マシニングセンタ送り軸

ると考える。

したがって、主軸方向およびテーブル方向が定まった場合、送りユニットの設計においては、送りユニットに必要とされる送り軸を上記の組み合わせの中から選択することが必要となる。さらに、各送り軸に求められるストローク、送り速度、送り精度を決定する。

マシニングセンタの送りユニットの構成部分である工具主軸の送りユニットおよび工作物テーブルの送りユニットを考える。これらの工具主軸の送りユニット、および工作物テーブルの送りユニットとも、主軸方向あるいはテーブル方向が鉛直方向であるサブクラスと、水平方向であるサブクラスを持つ。工具主軸および工作物テーブルの送りユニットの具体的な形態として、図4. 8から図4. 11までの形態を考える。

図4. 8は、鉛直下向きの工具主軸に送り運動を与える送りユニットの具体的

な形態を示す。ここでは、この形態を主軸側の特徴とベース側の特徴によって分類している。主軸側の特徴として、回転送り軸を持つか、持たないかで分類している。また、ベース側は、ベース上の直線送り軸の重ね合わせ順序により分類している。図4. 9は、水平方向を向いた工具主軸に送り運動を与える送りユニットの具体的な形態である。主軸側の特徴として、回転送り軸を持たないもの、回

Linear Motion V.T.Spindle	Type1	Type2	Type3	Type4	Type5
Type1 (Without rotation)					
Type2 (With rotation)					

図4. 8 立形工具主軸の送りユニットの形態

Linear Motion H.T.Spindle	Type1	Type2	Type3	Type4
Type1 (Without rotation)				
Type2 (With rotation)				
Type3 (With doublecolumn)				

図4. 9 横形工具主軸の送りユニットの形態

転送り軸を持つもの、ダブルコラム形式のものに分類している。また、ベース側は、ベース上の直線送り軸の重ね合わせ順序で分類している。図4. 10に、鉛直上向きの工作物テーブルに送り運動を与える送りユニットの具体的な形態を示

Linear Motion V.W.Table	Type1	Type2	Type3
Type1 (Without rotation)			
Type2 (With rotation 1)			
Type3 (With rotation 2)			

図4. 10 立形テーブルの送りユニットの形態

Linear Motion H.W.Table	Type1	Type2	Type3	Type4
Type1 (Without rotation)				
Type2 (With rotation)				

図4. 11 横形テーブルの送りユニットの形態

す。ここでも、テーブル側およびベース側の特徴によって分類している。テーブル側は、回転送り軸を持つもの2種類と、持たないものを考え、ベース側は、ベース上の直線送り軸の重ね合わせ順序により分類している。図4. 1 1は、水平方向を向いた工作物テーブルに送り運動を与える送りユニットの具体的な形態である。テーブル側の特徴として、回転送り軸を持つ場合と持たない場合を考え、ベース側の特徴として、ベース上の直線送り軸の重ね合わせ順序を考えている。

4. 3. 3 構造体ユニット

マシニングセンタの基本構造は、工具と工作物間の相対運動機能および位置決め機能を実現する送り軸と構造体の組合せにより定まる。相対運動を実現する構造体としては、ヘッドストック、コラム、サドルなどのように剛体として運動するユニットがある。さらに、これらの構造体ユニットは、ユニット間を接続し所定の運動を行うための案内面を持つ。

構造体ユニットには、主軸機構を格納するヘッドストック、工作物テーブル、2軸の直線送り軸を仲介するサドル、下面で支持され上面あるいは側面で構造体を支持するコラム、両端支持あるいは片持ち支持のビーム、下面を接地し工作機械構造の基礎となるベースがある。それぞれは、直線送り軸の有無などにより幾つかの形態に分類することができる。図4. 1 2から図4. 1 7に各構造体の形態を示す。図4. 1 2はヘッドストックの形態を示す。ここでは、ヘッドストックとして、1種類の固定形ヘッド、および4種類の移動形ヘッドを考える。この中のType 2とType 4は同じ送り運動を実現するものであるが、Type 4の形態はラムヘッドである。また、Type 5は図4. 1 4に示すダブルコラムに取付けられて鉛直方向に送られるヘッドストックである。図4. 1 3は工作物テーブルの形態を示す。ここでは、3種類のプレーンテーブル、および1種類のパレットテーブルを考える。コラムとしては、図4. 1 4に示す4種類のシングルコラム、および3種類のダブルコラムを考える。図4. 1 5はビームの形態を表す。ビームとしては、1種類の片持ち梁および2種類の両端支持梁を考える。ベースとしては、ブロック型ベース、2種類のI型ベース、2種類のT型ベースおよび1種類の十

字型ベースを考える。これらの形態を図4. 16に示す。図4. 17はサドルの形態を示す。

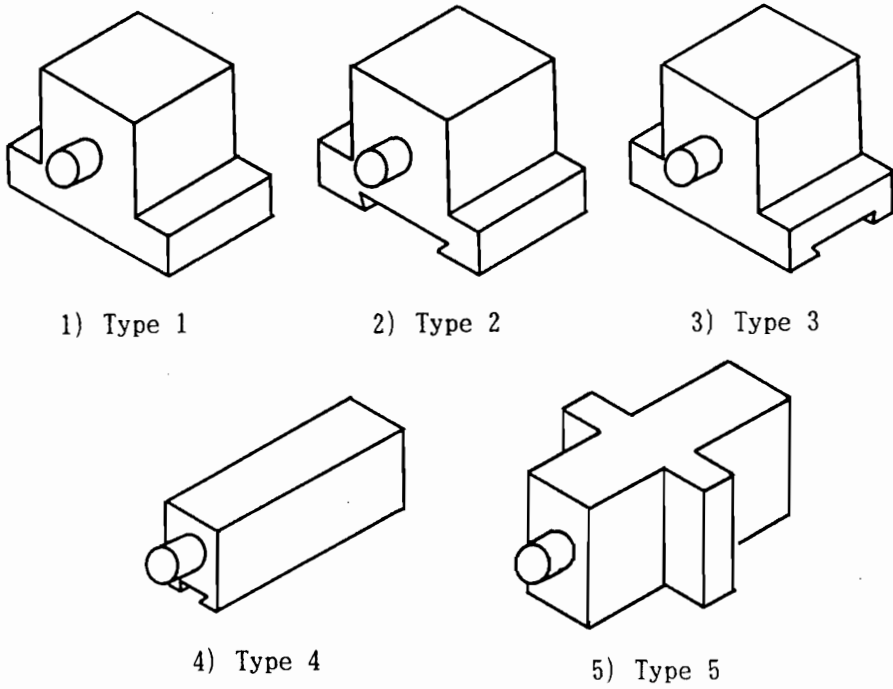
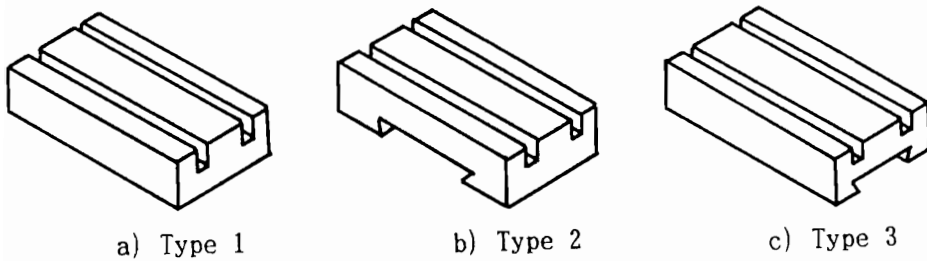
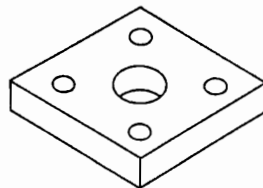


図4. 12 ヘッドストックの形態

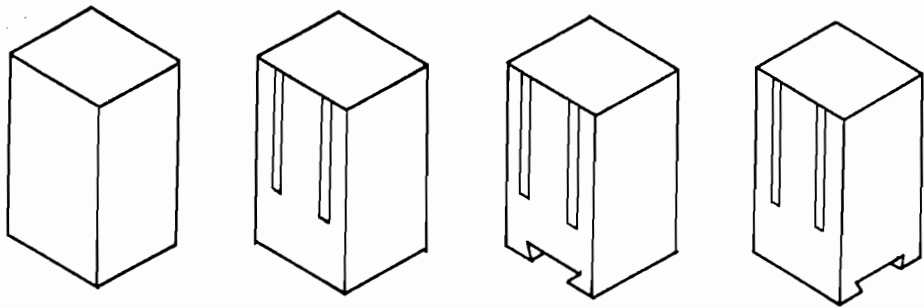


1) Plane Table



2) Pallet Table

図4. 13 工作物テーブルの形態



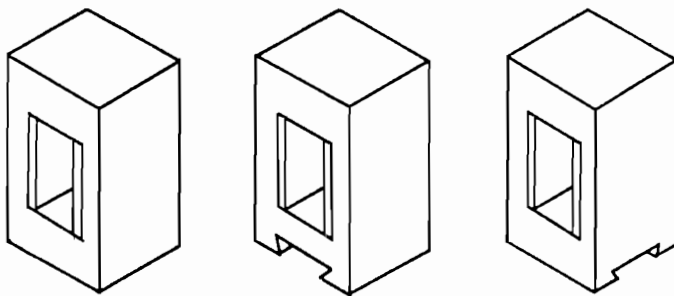
a) Type 1

b) Type 2

c) Type 3

d) Type 4

1) Single Column



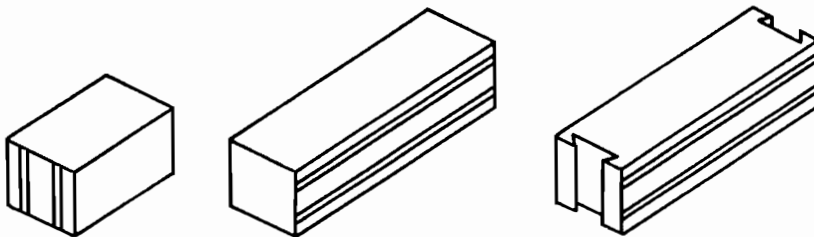
a) Type 1

b) Type 2

c) Type 3

2) Double Column

図4. 14 コラムの形態



a) Type 1

b) Type 2

1) Single Beam

2) Double Beam

図4. 15 ビームの形態

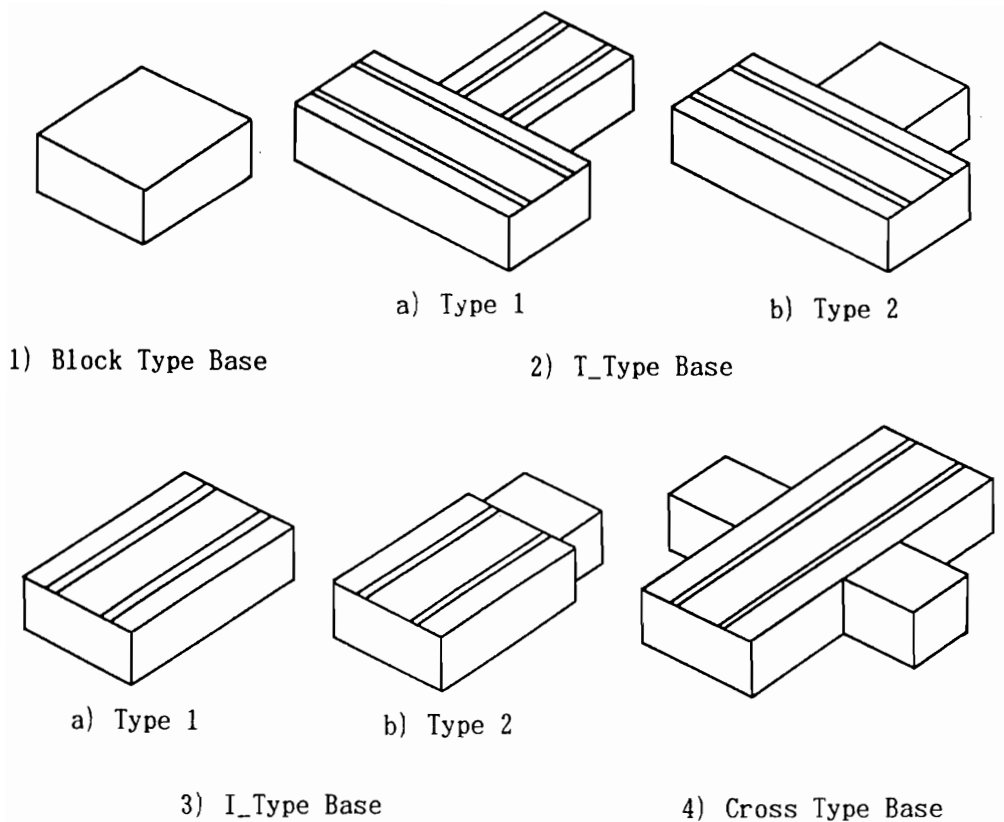


図4. 16 ベースの形態

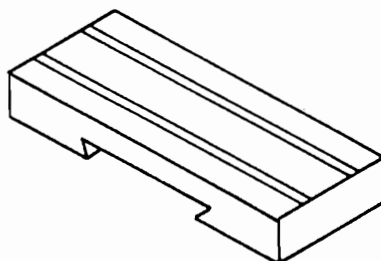


図4. 17 サドルの形態

4. 3. 4 自動工具交換装置

自動工具交換装置（ATCユニット）は、マシニングセンタが、1回の段取りで多種類の加工を行うために必要不可欠なユニットである。ATCユニットに関する抽象-具体木を図4. 18に示す。この図に示すように、ATCの設計にお

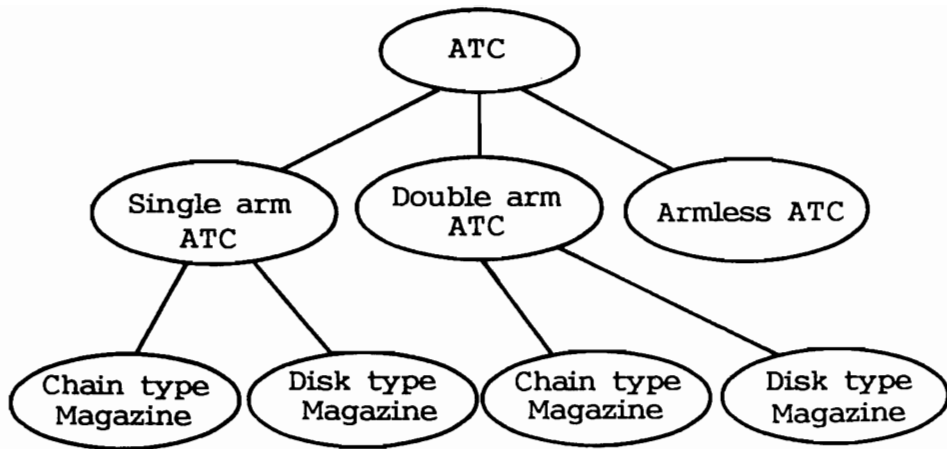


図4. 18 ATCユニットに関する抽象-具体木

いては、まず工具交換方式を決定すると考える。工具交換方式としては、シングルアーム方式、ダブルアーム方式、および工具マガジンによる直接交換方式がある。これらの工具交換方式を決定することに付随して、工具マガジンの設置位置も決定する。シングルアーム方式およびダブルアーム方式の場合、工具本数や最大工具径などの仕様項目を考慮し、マガジン形式を決定する。マガジン形式としてはチェーン方式とディスク方式がある。

4. 4 マシニングセンタの構造表現

設計対象の分割を行った場合、設計事例の構造を、自身を構成する構成部分の設計事例と、それらの間の位置関係および接続関係によって表現することが必要になる。本節では、設計対象を分割した場合の設計対象モデルの構造表現について考察する。

4. 4. 1 マシニングセンタのモジュール構成

本研究では、マシニングセンタをはじめとする工作機械は、基本的には階層方

式モジュラー構成[4.1][4.2]をとるものとする。ここで、モジュールとは、ハードウェアおよびソフトウェアのシステムを構築する場合、差し替え、追加などによる変更が容易にできるように考えられた基本単位[4.3]である。すなわち、マシニングセンタは、図4.19に示すように、工具主軸ユニット、工作物テーブルユニット、工具主軸-工作物テーブル送りユニット、およびATCユニットの4つの部分から構成される。それぞれの部分については、標準的モジュールが複数存在し、それらの組み合わせにより多様な形態を創成できると考える。

この中の工具主軸ユニットは、主軸機構とヘッドストックの2つの部分から構成される。また、工具主軸-工作物テーブル送りユニットは、ヘッドストック、工具主軸送りユニット、ベース、工作物テーブル送りユニット、テーブルの5つの部分から構成される。さらに、工具主軸送りユニット、工作物テーブル送りユニットも、いくつかの構造体ユニットと送り機構の部分から構成される。

マシニングセンタの構成部分のモジュールは、その構成部分に関する設計オブジェクトに対応する。設計対象の分割とは、基本的に設計オブジェクトのモジュラー階層にしたがって設計を進めることであり、構成部分に対してモジュールを

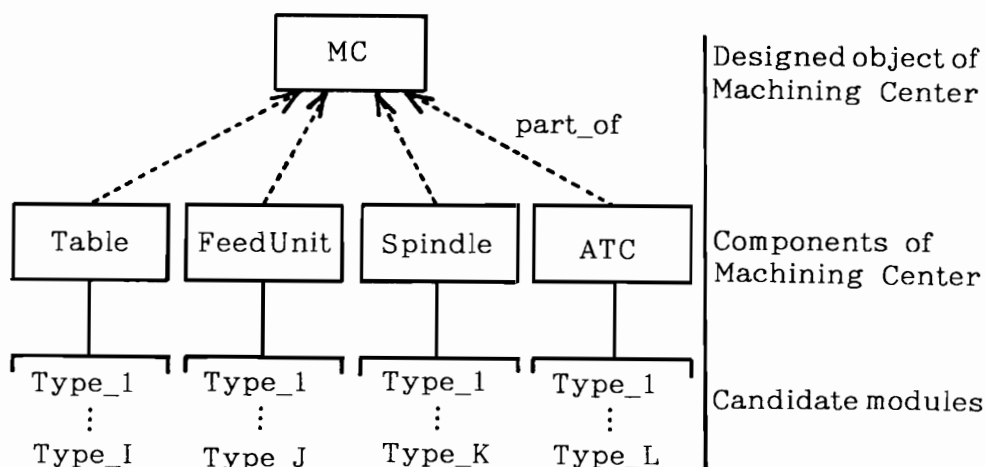


図4.19 マシニングセンタのモジュラー構成

選択することは、その構成部分がどの設計オブジェクトに所属するものかを指定することに対応する。

マシニングセンタの設計において、その構造を階層方式モジュラー構成であると考えることによって、以下の利点が考えられる。

- 1) マシニングセンタの構成を階層的に系列化することによって、それぞれのレベルのモジュールは下位のレベルのモジュールを組合せることにより創成することができ[4.4]、多様な形態のマシニングセンタを創成することができる。
- 2) 設計事例を構成するモジュールは、類似する他のモジュールと容易に交換することができるために、機械構造の部分変更が容易に行える。

設計事例を複数の構成部分に分割し設計を進めていく場合、各構成部分の設計順序には優先関係が存在し、図4.20に示すように、優先順位の高い構成部分の設計から行い、設計項目を決定していく。

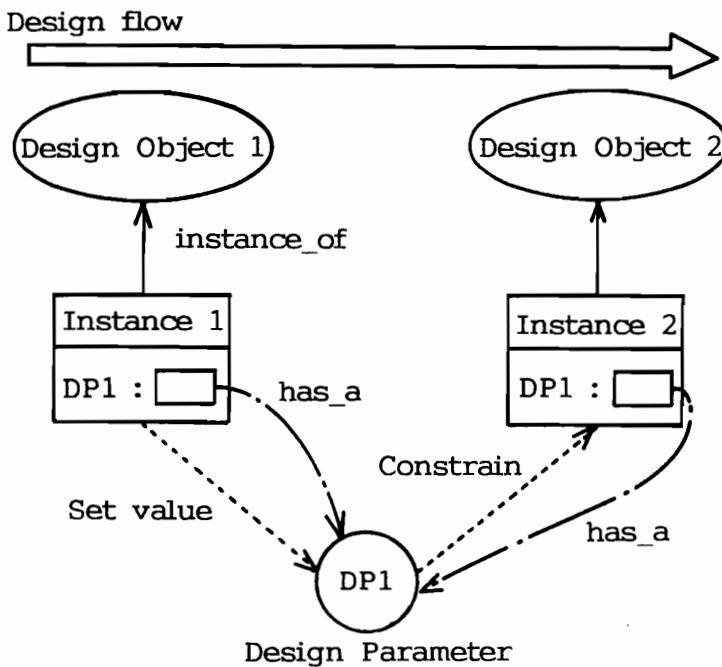


図4.20 設計項目の共有による制約条件の伝播

この場合、分割した複数の構成部分が1つの部分を共有することがある。例えば、工具主軸—工作物テーブル送りユニットの設計対象を分割した場合、その構成部分である工具主軸送りユニットと工作物テーブル送りユニットは、ベースというハウジングを共有する。この場合、共有される部分は、各構成部分の内、設計の優先順位の高い方からは制約を受けるが、優先順位の低い方には逆に制約を与えることになる。また、複数の構成部分が同一の設計項目を共有する場合も同様に、優先順位の高い構成部分の設計により属性値を決定し、この属性値は、他の構成部分の設計においては制約条件となる。

4. 4. 2 構造記述のためのデータ構造

設計に利用することができる設計対象モデルは、設計の進行にともなって変更される設計対象の構造を表現することができ、さらに、その設計対象に対して行われた設計の履歴を保持している必要がある。設計において設計対象を具体化する方法は特化と分割である。マシニングセンタおよびマシニングセンタの構成部分について、それぞれ単体ごとに抽象—具体関係に基づいて特化を行う場合、設計対象モデルの更新は、設計対象モデルへ属性項目の追加を行うことで実現できる。しかし、設計対象の分割により新たな設計対象が生成される場合、3次元空間内における構成部分の配置など、機械構造を記述する必要がある。この場合、マシニングセンタおよびその構成部分の特徴を、それぞれ独立に記述する方法では、マシニングセンタの構造を十分に表現できない。すなわち、設計対象の分割では、マシニングセンタの構造を、構成部分および構成部分間のつながりとして表現できなければならない。

具体的には、設計対象の分割を行うことにより、ある設計事例は他の設計事例を構成部分として持つことになる。よって、設計事例には、構造を記述するための全体—部分関係を記述する属性スロット（consist_ofスロット、part_ofスロット）を持たせる必要がある。また、各構成部分ごとに他の構成部分とどのような関係があるのかを記述できるように、全ての設計事例には、他の設計事例との関係を記述する属性スロット（relationsスロット）を持たせる必要がある。

また、機械構造を表すためには、構成部分の幾何形状、および構成部分間の幾何学的接続関係を記述する必要がある。特に、構造体ユニットは、その空間的配置[4.2]が形状創成運動を実現するマシニングセンタの基本構造となるため、構造体ユニットに対しては、幾何形状、支持-被支持関係、局所座標系などを記述する必要がある。

設計事例の構造を記述するために、設計事例が持つべき属性スロットを整理すると以下の通りになる。

1) geometryスロット

設計事例の外形および寸法を表すデータを記述する。

2) part_ofスロット

自身がどんな設計事例の一部であるのかを示す。

3) consist_ofスロット

自身がどんな構成部分インスタンスによって構成されているのかを示す。具体的には、設計対象の分割において決定した構成部分について、構成部分名とその形態を表す設計オブジェクト名のペアを要素とする構成部分のリストを持つ。

4) relationsスロット

設計対象の分割以後の設計を各構成部分ごとに行うためには、構成部分間の関係を明確にする必要があり、各関係スロットには設計事例の構成部分間の関係を要素とするリストが値として入れられる。リストの各要素は2つの構成部分の2項関係を記述している。また、自身と他の設計事例の関係も要素として含む。

設計事例に対して、設計対象の分割メソッド "division" を起動することにより、これらの項目に具体的な値が入れられる。ただし、メソッド "division" を実行する以前の設計事例にこれらの値の参照を行っても、値は "NIL" が返される。

4. 5 結 言

本章においては、各設計オブジェクトから作成される設計事例について、設計対象の特化プロセスあるいは分割プロセスにおいて、どのように設計対象モデルが変更されていくかについて考察した。

- 1) 設計対象モデルを設計事例に記述される設計対象の属性情報の集合であると定義した。さらに、設計対象の特化を、設計オブジェクトに固有な属性項目の追加により、設計対象モデルの変更を行うことであると定義し、設計対象の分割を、設計事例を構成する部分について新たに設計事例を作成し、設計対象モデルを構造化することであると定義した。
- 2) 設計オブジェクトの抽象-具体木は、設計対象の形態を具体化していく手順に合致するように作成されると考え、具体的に、マシニングセンタおよびマシニングセンタを構成する主要なユニットについて、それぞれ抽象-具体木を構築した。
- 3) 設計対象の分割によって生成される設計事例の構造を表現するために、設計事例のデータ構造に、geometryスロット、part_ofスロット、consist_ofスロット、relationsスロットを追加した。

参考文献

- [4.1] 伊藤 誼, 新野 秀憲: 工作機械の構造記述 (第1報, 記述方法とそれによる二、三の記述例), 日本機械学会論文集 (C編), Vol.46, No.405, (1980) 562
- [4.2] 新野 秀憲, 伊東 誼: 工作機械の構造創成方法 (第1報, バリエント・デザイン方式による創成), 日本機械学会論文集 (C編), Vol.50, No.449, (1984) 213
- [4.3] 機械生産システム用語辞典, 養賢堂, (1978)
- [4.4] 新野 秀憲, 伊東 誼: 工作機械の構造創成法 (第3報, 結合パターンを用いたバ

リアント方式による創成), 日本機械学会論文集 (C編), Vol.52, No.474,
(1986) 788

第5章 オブジェクト指向に基づく知的設計支援システムの開発

5.1 緒言

本研究では、オブジェクト指向に基づく設計プロセスモデルを提案し、悪構造問題である工作機械の設計問題を、部分的に良構造問題に変換して解決することを試みている。具体的には、オブジェクト指向設計プロセスモデルに基づいて、各設計オブジェクトに熟練設計者から抽出した知識を持たせ、それぞれのオブジェクトが自律的に工作機械の設計を進める知的設計支援システムを構築する。本章においては、設計オブジェクトに基づく知的設計支援システムの基本構成を示し、さらに、知的設計支援システムを構成する主要なサブシステムに関して詳細に説明する。また、知的設計支援システムのプロトタイプを、ワークステーション "SONY NEWS" 上に "K-PROLOG" を用いて構築し、このシステムを用いてマシンングセンタの設計を行った例について述べる。

5.2 設計オブジェクトに基づく設計支援システム

5.2.1 設計支援システムの基本構成

図5.1に本研究で提案する知的設計支援システムの基本構成を示す。本システムは、設計オブジェクトベース、オブジェクトマネージャー、推論エンジン、手続きベース、マン-マシンインターフェイスの5つのサブシステムから構成されている。各サブシステムの内容を以下に示す。

1) 設計オブジェクトベース

設計支援システムの中核となる部分である。オブジェクトベースには、マシンングセンタとその構成部分に関する設計オブジェクトが格納されている。各設計オブジェクトは、自身の設計処理の中で、必要に応じて推論エンジンおよ

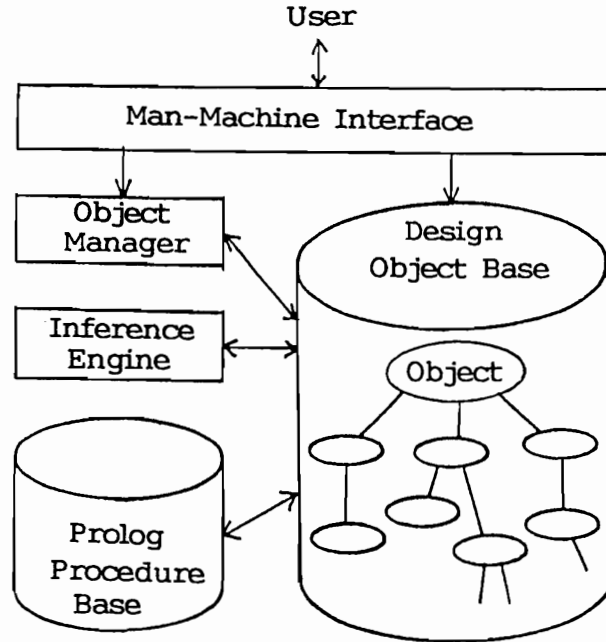


図5. 1 本システムの概要

び手続きベースを利用する。また、設計オブジェクト間の抽象-具体関係は、2項関係を記述する述語 "AKO(a kind of)" によって、以下のように明示的に記述しており、設計オブジェクトの階層の管理に用いられる。

AKO(VerticalMachiningCenter,MachiningCenter).
 AKO(HorizontalMachiningCenter,MachiningCenter).
 AKO(VMCType4,VerticalMachiningCenter)

2) オブジェクトマネージャー

設計オブジェクト、すなわちクラスは静的なオブジェクトである。一方、設計事例、すなわちインスタンスは設計過程において生成される動的なオブジェクトである。オブジェクトマネージャーは、これらの設計事例が、どの設計オブジェクトのインスタンスであり、どの設計事例と全体-部分関係にあるのか

を管理する。

3) 推論エンジン

推論エンジンは、各設計オブジェクトが意思決定を行う場合に利用するプロダクションシステムであり、各オブジェクトから委託されたプロダクションルールを起動して推論を行い、その結果を元のオブジェクトに返す。推論エンジンはインタプリタ、プロダクションメモリ、ワーキングメモリから構成されている。本研究でプロダクションシステムを採用している理由は以下の通りである。すなわち、プロダクションシステムは、推論における中間仮説をすべてワーキングメモリ上に残す[5.1]ために、これに付随させて推論に用いたルールを記憶しておくことにより、推論プロセスの追跡が容易である。そのため、システムの挙動の説明を行う機能を比較的容易に組み込むことができる[5.2]。

4) 手続きベース

手続きベースは、各オブジェクトがメッセージ伝達を介さずに、呼び出すことのできる関数群を格納している。つまり、各オブジェクトは、手続きベースに存在する関数を直接利用することができる。手続きベースにおいて、これらの手続きはPROLOG述語として記述する。

5) マン-マシンインターフェイス

ユーザからの要求の入力、結果の表示、クラス階層の表示、推論過程の表示などを行う。推論過程の表示では、使用ルールの提示や起動された設計オブジェクトの表示などによって設計の履歴を知ることができる。

5. 2. 2 設計オブジェクトベース

オブジェクトベースには、全ての設計オブジェクトが格納されており、設計オブジェクト間の抽象-具体関係が記述されている。各設計オブジェクトの持つ設計手続きは、その処理において推論を行う場合、推論エンジンを利用する。ただし、推論処理に用いるプロダクションルールは各設計オブジェクト内に格納されている。また、各設計オブジェクトの持つ設計手続きは、必要に応じて手続きベース内のPROLOG述語を直接呼び出して利用することができる。さらに、設計事例

を生成するためのメソッドである "new" を実行する場合、その結果をオブジェクトマネージャーに伝える必要がある。また、設計手続き "makeIsARelation" メソッドおよび "makeComponents" メソッドの実行においても、設計事例に対して、所属する設計オブジェクトの変更、あるいは部分構造である設計事例との全体-部分関係の生成を行うため、その結果をオブジェクトマネージャーに伝達する。

オブジェクトは、設計項目の値の決定や設計対象の具体化を行う場合にルールを用いた推論を行う。それらの処理に関しては、その実行を推論エンジンに依頼する形式をとる。その実行手順は、図5. 2に示すように4つのプロセスから成る。以下に、この実行プロセスについて説明する。

1) 設計オブジェクトの持つ設計手続きにおいて、推論処理を行う場合、その手続き名を持つスロットのファセット部が "rule" であるデータ、すなわちプロダクションルールを、推論エンジンのプロダクションメモリにコピーする。これらのプロダクションルールには、識別子となるルール番号が付けら

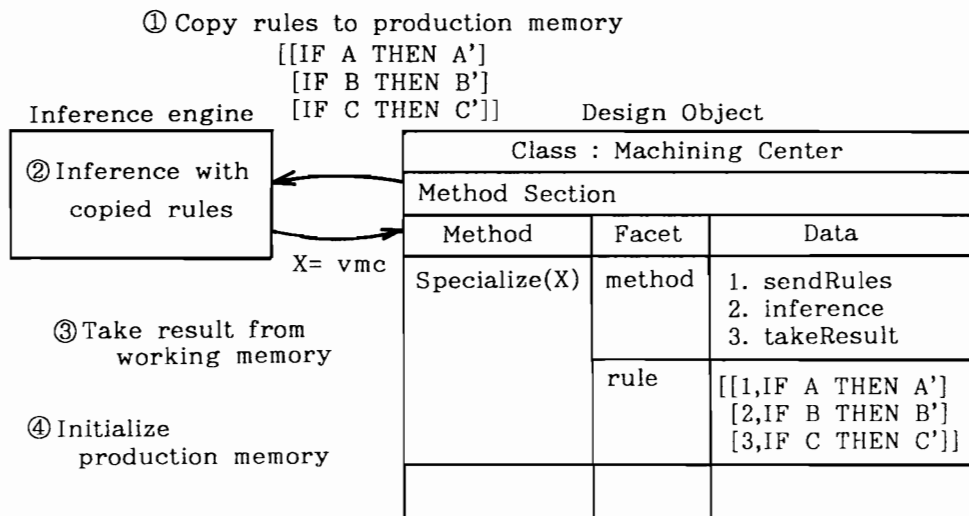


図5. 2 設計オブジェクトと推論エンジンの関係

れている。また、これらのプロダクションルールは、システム設計者により優先順位の高いルールから順に並べられている。

- 2) 推論エンジンにおけるインタプリタは、コピーされたプロダクションルールを用いて推論を行い、ワーキングメモリに中間仮説、使用ルール、ならびに結論を書き込む。また、推論過程においては、ワーキングメモリを参照し、さらに、必要に応じて設計事例の属性値も参照する。
- 3) 導き出された結果をオブジェクトに返す。これにより、設計事例の設計項目の値、または次に起動すべき設計オブジェクトなどが決定される。
- 4) 推論が終了した後に、プロダクションメモリ内のルールを消去する。

5. 2. 3 推論エンジン

推論エンジンは、それ自身が1つのプロダクションシステムを構成し、図5.3に示すようにプロダクションルールを格納するプロダクションメモリ、入力情報、中間仮説、結論などの情報を保持するワーキングメモリ、推論過程の制御を行うインタプリタから構成される。推論エンジンにおいては、設計オブジェクトから与えられたルール群をプロダクションメモリに格納し、それらのルールを用いてインタプリタが前向き推論を行い、中間仮説や結論をワーキングメモリに書き込む。それぞれの構成要素の内容を以下に示す。

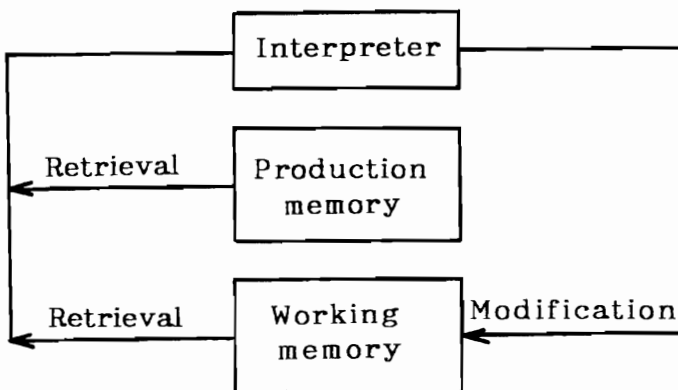


図5. 3 プロダクションシステムの構造

- ・プロダクションメモリ：プロダクションルール（IF-THEN形式のルール）の集合で構成されている。
- ・ワーキングメモリ：推論の過程で照合・更新されていくデータ（事実、入力情報、中間仮説）を格納する。これらのデータとルールの条件部が照合され、データと条件部が一致した場合には、そのルールの実行部によってワーキングメモリの内容が更新される。
- ・インタプリタ：推論法に関する知識の集合であり、ワーキングメモリ内のデータに対して適切なルールを実行し、ワーキングメモリの更新を行う。

インタプリタが行う前向き推論においては、基本的に以下の3つのプロセスを繰り返す。

- 1) 照合：ワーキングメモリとプロダクションメモリの間で照合を行い、条件部がワーキングメモリの内容に一致するルールを全て求める。これらのルールの集合を競合集合と呼ぶ。
- 2) 競合解消：競合集合の中から、適切な選択基準にしたがって、ひとつのルールを選択する。このとき、競合するルール群から適切なルールを選択するための選択基準として、以下のような方法がある[5.3]。

- ・ファーストマッチ方式：最初に条件部が合致したルールを選択する。
- ・詳細規則優先方式：条件部に記述されている条件が厳しいルールを優先する。
- ・優先順位方式：予め与えている優先順位の高いルールを優先する。
- ・最近規則優先方式：最も近い時点に実行されたルールを優先する。

- 3) 実行：選択されたルールの行動部の処理を実行し、ワーキングメモリの内容

を更新する。

プロダクションシステムにおいて、適切で豊富な専門知識を用いれば、簡単な推論技法であっても能力の高い推論システムが実現できること、また、推論メカニズムが簡潔であれば、推論の道筋やシステム全体が理解し易いこと[5.4]から、本研究では、推論エンジンの推論形式として、ファーストマッチ方式による競合解消を行う前向き推論方式を採用している。ただし、設計オブジェクトに記述されているルールは、優先順位の高いものから順に並べており、基本的に優先順位方式による競合解消を行っていることになる。

図5.4は、推論エンジンの基本的な動作を示している。まず、インタプリタが、プロダクションメモリに記述してあるプロダクションルール群から先頭のルールを抽出する。次に、抽出されたルールが未使用であるかどうかを調べる。これは、一つの推論プロセスにおいて同じルールを2回以上使用しないためである。もしルールが未使用であるならば、そのルールの条件部をワーキングメモリの内容と照合する。もし、条件部とワーキングメモリの内容が合致するならば、実行部が実行可能かどうかを判断する。もし実行部が実行可能であるなら、実行部に記述されている処理を行い、ワーキングメモリの内容を更新する。最後に、このルールを使用した事実をワーキングメモリに追加し、プロダクションメモリの先頭のルールに戻って上記の処理を繰り返す。なお、抽出したルールが既に使用されたルールであったり、ルールの条件部がワーキングメモリの内容と合致しない場合は、プロダクションメモリ内の次のルールを抽出し、そのルールについて上記の処理を行う。最終的に、適用できるルールがなくなった場合にこの推論プロセスを終了する。

5.3 PROLOGを用いた設計支援システムの構築

本研究ではワークステーション上にPROLOGを用いて設計支援システムを構築している。PROLOGは一階述語論理に基づいて設計された言語であり、述語論理のサ

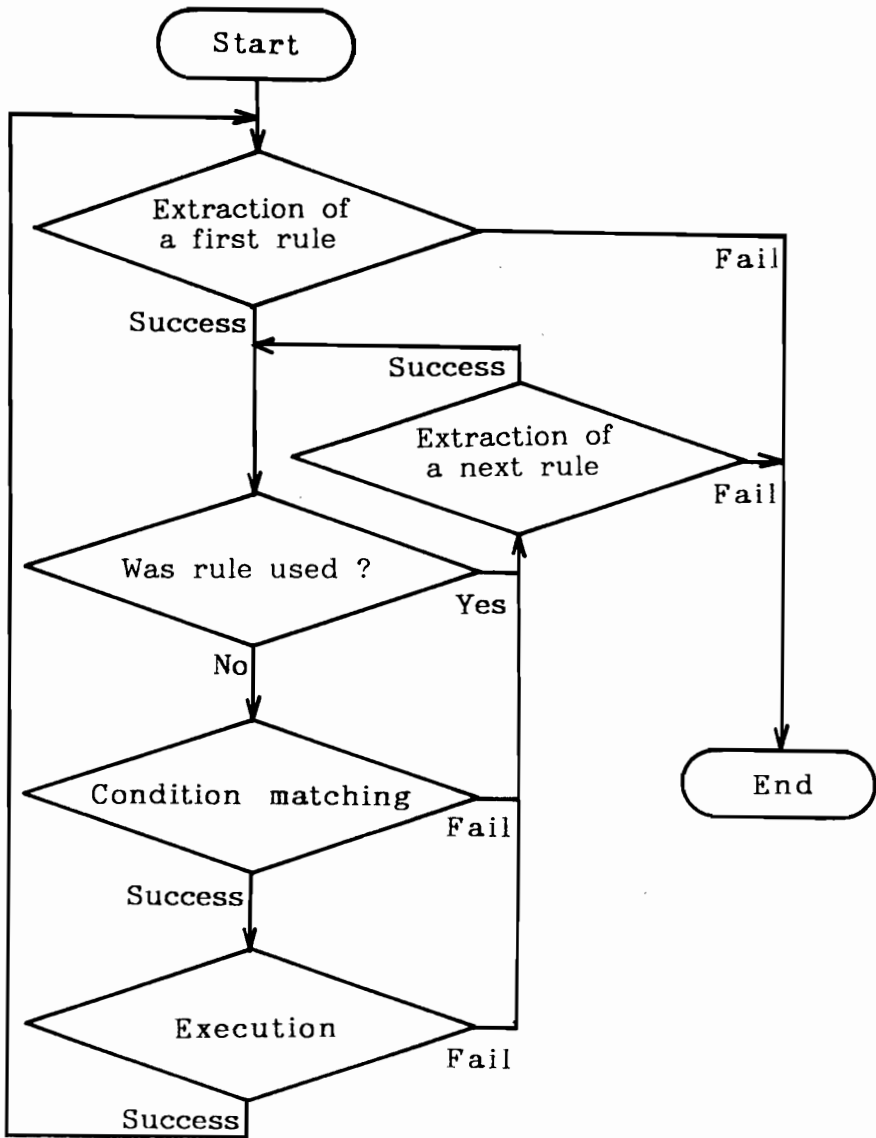


図5.4 前向き推論エンジンのアルゴリズム

ブセットを基に手続き的解釈の拡張を行うことにより、汎用プログラミング言語としての機能を持っている[5.5]。本研究において、設計支援システム構築用の言語としてPROLOGを選択した理由を以下に示す。

- 1) 設計オブジェクトの処理は基本的に知識処理である。一階述語論理を基礎にした言語PROLOG[5.6]は、それ自身で証明過程を用いた推論機構を持ち、ユニフィケーションの機能、自動バックトラッキングなどの機能を有し[5.7]、知識システムの構築に適している。また、一階述語論理にある程度制約を加えたPROLOGのホーン節に対しては、非常に効率の良い導出のアルゴリズム[5.8]が確立されている。ただし、PROLOGは宣言的かつ手続き的言語であるが、構造的ではない。これに対して本研究では、設計オブジェクトにより設計知識をカプセル化しており、これら設計オブジェクトの階層構造を利用することによって、プログラムの構造化が可能になる。
- 2) 設計オブジェクトのデータ構造として基本的にはフレームモデルを採用している。しかし、従来のフレームシステムは特定の推論機構を持たず、ファセットによる付加手続きを用いて推論機構を個別に作成することが必要であり、システム設計者の負担となる。この負担を軽減させるためには、対象の持つ機能、動作などを明確に表現することができ、試行錯誤処理に適したメカニズムを持つ推論機構が必要である。これらの記述には、PROLOGのような論理型表現言語が適している[5.7]。
- 3) PROLOGでは非数値情報の取扱いが容易である。

5.3.1 PROLOGによる設計オブジェクトの記述

本研究では、設計オブジェクトをPROLOGを用いて記述する場合、PROLOGにおける述語という記述単位を利用する。1つの述語は、同一の述語名を持ち、引数の数が同じ頭部を持つホーン節の集合である。設計オブジェクトは、オブジェクト名を述語名とし、引数としてスロット、ファセット、値、さらに参考情報を記述する項を加えた4引数の頭部を持つホーン節の集合として記述する。設計オブジェクトが持つ各種の設計知識の内、デーモンおよびメソッドはPROLOGルール節で記述され、その他の属性値および参考情報はPROLOG事実節で記述される。PROLOG事実節およびPROLOGルール節は以下のような形式である。

PROLOG事実節 : goal.

PROLOGルール節 : goal :- subgoal 1,subgoal 2, ...,subgoal N.
 頭部 (ヘッド) 本体 (ボディ)

この形式で設計オブジェクトの持つ属性情報およびメソッドを記述すると以下のようになる。

PROLOGによる属性記述例

```
object(Slot1, Facet1, Value1, ReferenceData).
```

```
object(Slot1, Facet2, Value2, ReferenceData).
```

PROLOGによるメソッド記述例

```
object(MethodName1, Facet1, _, ReferenceData):-procedure1, procedure2.
```

```
object(MethodName2, Facet2, _, ReferenceData):-procedure3, procedure4.
```

本システムでは、メソッドの呼び出しにPROLOGのユニフィケーション機能を利用している。すなわち、設計オブジェクトに対してメソッド起動のメッセージが送られると、第1引数のメソッド名がメッセージと対応している頭部を持つPROLOGルール節が呼び出され、その節の本体に記述されているサブゴール群を順に実行する。

図5.5に設計オブジェクト“立形マシニングセンタ”をPROLOGを用いて記述した一部を示し、その内容を説明する。1から4番目の節では、立形マシニングセンタは、マシニングセンタの具体的な形態を表現する設計オブジェクトであること、主軸の方向およびテーブルの方向が鉛直であることを示している。5番目の節は、設計項目“crossTravel”の値を決定する手続きであり、機械クラスの値を引用することを示している。6番目の節は、設計項目“longTravel”の値を決定する手続きであり、7番目の節に記述している6つのプロダクションルールをプロダクションメモリに受け渡し、推論エンジンを起動させ、ワーキングメモリから推論結果を受け取る処理を行うことを示している。第7節には、設計項目

”longTravel” の値を決定するためのルールが記述されている。例えば、ルール 1 は「もし、機械クラスが1000または1250であれば、”longTravel” を決定するための係数Xstを2.0とする。」という設計知識を記述している。また、ルール

```

/* OBJECT 'Vertical Machining Center' */
vmc(is_a, value, mc, _).
vmc(objectType, value, class, _).
vmc(spindleDirection, value, vertical, _).
vmc(tableDirection, value, vertical, _).
:
vmc(crossTravel, if_needed, _, [Object, Ans]) :-!,
    takeValue(Object, machineClass, value, Ans).
vmc(longTravel, if_needed, _, [Object, Ans]) :-!,
    sendRules(vmc, Object, longTravel),
    inferenceEngine(Object, longTravel),
    !,
    retract(blackboard(Object, longTravel, value, Ans)).
vmc(longTravel, rule, [[1, if exist(machineClass, value, X) and
    member(X, [1000, 1250])
    then addition(coefficientXst, value, 2.0)],
    [2, if exist(machineClass, value, X) and
    member(X, [300, 400]) and
    exist(productivity, value, largeVolume)
    then addition(coefficientXst, value, 3.5)],
    :
    [5, if not(coefficientXst, value, _)
    then addition(coefficientXst, value, 1.7)],
    [6, if exist(coefficientXst, value, A) and
    exist(crossTravel, value, Yst)
    then (Xst is Yst*A) and
    addition(longTravel, value, Xst)], _]).
vmc(determination, list, [crossTravel, longTravel, vertTravel,
    tableSizeX, tableSizeY, ..], _).
:
vmc(specialize, list, [vmcType1, vmcType2, vmcType3,
    vmcType4, vmcType5, vmcType6], _).
:
vmc(divide, list, [[toolSpindle, compo1],
    [planeTable, compo2],
    [feedUnit, compo3],
    [atcUnit, compo4]], _).
:

```

図5. 5 PROLOGによる設計オブジェクトの記述例

6は「"longTravel"は"crossTravel"の係数 λ st倍である。」という設計知識を記述している。8から10番目の節では、設計項目として各送りストロークやテーブルサイズなどの項目を持つこと、立形マシニングセンタの具体的な形態の内、典型的な形態として"VMctype1"から"VMctype6"までの候補が考えられること、また、立形マシニングセンタは、工具主軸ユニット、工作物テーブルユニット、送りユニット、ATCユニットという構成部分に分割できることを示している。

5. 3. 2 PROLOGによるメッセージ伝達メカニズムの構築

本システムでは、オブジェクトにメッセージを送る場合、次のように記述する。

```
send(<Object>,<Message>).
```

第1引数の<Object>は、処理を依頼する相手のオブジェクト名である。第2引数の<Message>は、オブジェクトに依頼する処理を示しており、引数を持つことができる。PROLOG述語"send"の内容は図5.6に例示するようなプログラムである。述語"send"の本体の第1項と第2項において、検索すべきメソッドのメソッド名を生成している。第3項以降により、メソッドを<Object>から順に上位オブジェクトに遡って検索する。そして、指定したメソッドを持つ設計オブジェ

```
send(Object,Message):-
    Message=..[Predicate|args],
    Selector=..[Predicate,Object|Args],
    isa_chain(Object,SuperObject),
    Goal=..[SuperObject,Selector,method,_,_],
    clause(Goal,Body)->!,
        call(body).

isa_chain(Object,Object).
isa_chain(Object1,Object3):-
    Term=..[Object1,is_a,value,Object2],
    call(Term),
    !,
    isa_chain(Object2,Object3).
```

図5.6 PROLOGによるメッセージ伝達

クトが存在すれば、そのメソッドを記述したPROLOGルール節を取り出し、そのルール節の本体、すなわちメソッドを実行する。ただし、メッセージと対応するメソッドが抽出され、実行が試みられた場合、そのメソッドの実行に失敗しても、バックトラックにより、さらに上位の設計オブジェクトを探索することは行わない。第3項のisa_chainは、オブジェクト間の継承を利用するための述語であり、その内容は図の下に示している。

5. 3. 3 PROLOGによる推論エンジンの構築

設計オブジェクトの持つプロダクションルールを推論エンジンのプロダクションメモリにコピーする場合、ルールは次のように変形される。すなわち、"rule"という述語名と5つの引数を持つPROLOG事実節として記述される。

```
rule(<Object>,<Slot>,<DesignObject>,<No>,if<Conditions>then<Actions>).
```

その内容について以下に述べる。先頭の4つの引数がこのルールの識別子となっている。第1引数および第2引数は、このルールがどの設計事例のどのような設計処理に利用されているのかを示している。第3引数は、このルールがどの設計オブジェクトに記述されているのかを示している。第4引数は、ルールに付けられているルールの番号である。最後の引数はプロダクションルールの条件部と実行部を記述している。

図5. 7にPROLOGで記述したインタプリタを示す。インタプリタの処理アルゴリズムは図5. 4に示しているとおりであり、ここでは、条件部照合および実行部実行のプロセスについて説明する。条件部では幾つかの条件が "and" あるいは "or" で結合されている。条件部照合においてはワーキングメモリを照合するか、あるいは設計事例に対して属性値を提示するように依頼するか、のいずれかを行う。また、実行部は幾つかの実行手続きが "and" で結合されている。実行部実行ではこれらの実行手続きを1つずつ取り出し実行する。この実行部実行は基本的にワーキングメモリの更新を行う。

```

inferenceEngine (Object, Slot) :- repeat,
                                inference (Object, Slot).
inference (Object, Slot) :- (forwardChaining (Object, Slot),
                             !, fail
                             ); true.
forwardChaining (Object, Slot) :-
    rule (Object, Slot, DesignObject, No, if Conditions then Actions),
    not (used_rule (Object, Slot, DesignObject, No)),
    checkCondition (Object, Conditions),
    execution (Object, Actions),
    assert (used_rule (Object, Slot, DesignObject, No)).
checkCondition (Object, Condition and Rest) :-
    checkCondition (Object, Condition),
    checkCondition (Object, Rest).
checkCondition (Object, Condition or Rest) :-
    checkCondition (Object, Condition);
    checkCondition (Object, Rest).
checkCondition (Object, exist (Slot, Facet, Value) :-
    (blackboard (Object, Slot, Facet, X);
     send (Object, takeValue (Slot, Facet, X))
    ), !,
    Value = X.
checkCondition (Object, Precedure) :- !, call (Precedure).
execution (Object, Action and Rest) :- !, call (Action),
                                                execution (Object, Rest).
execution (Object, addition (Slot, Facet, Value) ) :-
    not (blackboard (Object, Slot, Facet, Value)),
    assertz (blackboard (Object, Slot, Facet, Value)).
execution (Object, addition (Slot, Facet, Value) ).
execution (Object, Precedure) :- !, call (Precedure).

```

図5. 7 PROLOGによる推論エンジンの記述

推論の実行において使用されたプロダクションルールに関しては、ワーキングメモリに次のような形式で履歴が記述されていく。この情報を観察することによって、推論過程のモニタリングを行うことができる。

```
used_rule (<Object>, <Slot>, <DesignObject>, <No>).
```

5. 4 実行例

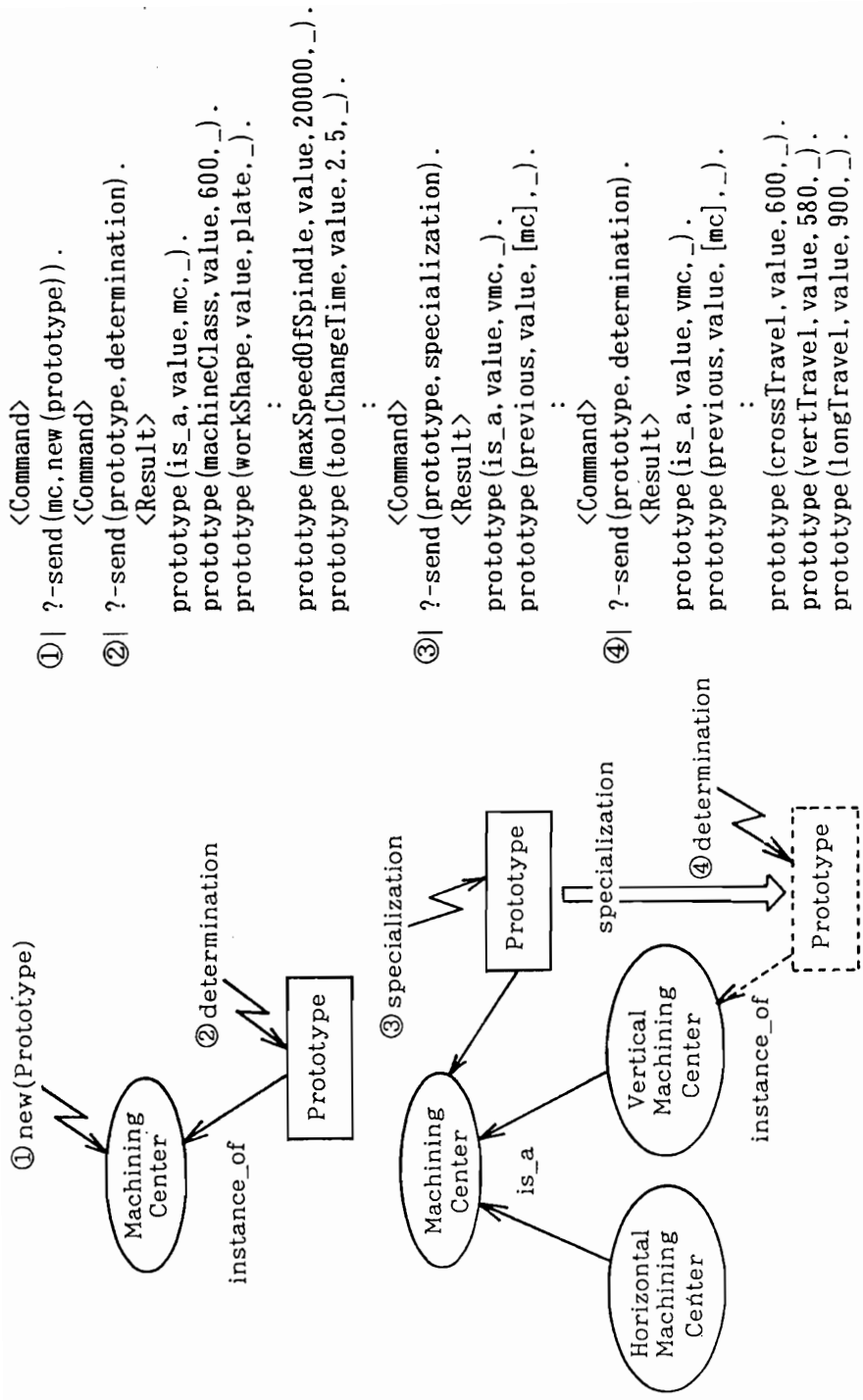
本節では、実際に構築した設計支援システムによるマシニングセンタ設計の実行例を示す。この実行例においては、設計処理を設計オブジェクト “マシニングセンタ” を始点として行っている。

要求仕様として与える項目とその値の例を表5. 1に示す。求められているマシニングセンタの特徴としては、機械クラスが600mmであること、加工物形状は板状であること、中ぐり加工などは行わないこと、加工物材質は主にアルミニウムであること、加工精度のランクは中程度であること、生産形態は多品種少量生産型であることが示されている。また、同じ機械クラスのマシニングセンタに対して、高速切削性、精度、省スペース性、メンテナンス性および信頼性を高めたいという要求が与えられている。

この要求仕様に対するマシニングセンタの設計過程を図5. 8に示す。この例題においては、属性値の決定と、設計対象の特化という処理を行っている。図の右側は本システムで処理した結果であり、左側は処理の概念図を示している。

表5. 1 入力する要求仕様の例

Item	Value
Machine class	600mm
Work shape	plate
Type of machining process	Normal
Work material	Aluminium
Tolerance	10-30 μ m
Productivity	Small volume
Cutting performance	High speed
Accuracy	Good
Capacity in work size	Normal
Load capacity	Normal
Space saving of machine	Compact
Adaptability to manufacturing system	Normal
Operability	Normal
Ease of maintenance	Good
Reliability	Good



```

<Command>
① | ?-send(mc,new(prototype)).
<Command>
② | ?-send(prototype,determination).
<Result>
prototype(is_a,value,mc,_).
prototype(machineClass,value,600,_).
prototype(workShape,value,plate,_).
:
prototype(maxSpeedOfSpindle,value,20000,_).
prototype(toolChangeTime,value,2.5,_).
:
<Command>
③ | ?-send(prototype,specialization).
<Result>
prototype(is_a,value,vmc,_).
prototype(previous,value,[mc],_).
:
<Command>
④ | ?-send(prototype,determination).
<Result>
prototype(is_a,value,vmc,_).
prototype(previous,value,[mc],_).
:
prototype(crossTravel,value,600,_).
prototype(vertTravel,value,580,_).
prototype(longTravel,value,900,_).

```

図5.8 実行プロセス

①では、“マシニングセンタ”という設計オブジェクトに“プロトタイプという名称の設計事例を生成せよ”という意味の“new(prototype)”というメッセージを送り、これに対して設計オブジェクト“マシニングセンタ”は、設計事例を表すインスタンス“プロトタイプ”を生成している。

②では、“プロトタイプ”にメッセージ“determination”を送り、これに対して“プロトタイプ”は、所属する設計オブジェクトの持つ設計手続きを起動して設計項目の値を決定している。

③では、“プロトタイプ”にメッセージ“specialization”を送り、これに対して“プロトタイプ”は、自身の属性情報に基づいて、具体的な形態として“立形マシニングセンタ”という設計オブジェクトを選択している。

④では、“プロトタイプ”を立形マシニングセンタと定義するために、再びメッセージ“determination”を送っている。その結果、“プロトタイプ”は、設計オブジェクト“マシニングセンタ”と“立形マシニングセンタ”の持つ設計項目に関する属性値を持つことになる。

以上の結果、得られた設計案を表5. 2および図5. 9に示す。表5. 2は設計されたマシニングセンタの設計項目の一部を示しており、X、Y、Z軸の直線送りストロークは900mm、600mm、580mmであること、主軸テーパは50番であること、出力11kwで最高回転速度が20000rpmの主軸モータを持つことを示している。また、各構造体ユニットの寸法も決定している。図5. 9には得られたマシニングセンタの構造図を示している。設計されたマシニングセンタが、“VMCtype4”型のマシニングセンタであり、主軸ヘッド、固定形シングルコラム、I形ベース、サドル、移動形プレーンテーブル、X軸直線送り案内、Y軸直線送り案内、Z軸直線送り案内から構成されていることを示している。この図は、各設計項目を決定した結果の内、幾何形状に関する情報をワークステーション“HP835SRX”にインターネットを通じて転送し、本研究室で開発しているCADシステムにより表示したものである。この結果は、熟練したマシニングセンタの設計者の処理結果および設計過程にほぼ一致している。

表5. 2 実行結果

Spindle	
max speed	20000rpm
taper	#50
speed of main motor	[5000,20000]rpm
power of main motor	11Kw
Table	
width*depth*height	1060*540*100mm
Feed unit	
spindle center to column	750mm
spindle nose to table	200mm
longitude travel (X)	900mm
cross travel (Y)	600mm
vertical travel (Z)	580mm
feed speed	18m/min
width of X feed slider	540mm
length of X feed slider	1060mm
length of X feed guide	1560mm
width of Y feed slider	870mm
length of Y feed slider	700mm
length of Y feed guide	1450mm
width of Z feed slider	560mm
length of Z feed slider	750mm
length of Z feed guide	1470mm
ATC	
tool magazine capacity	24
tool change time	2.5sec
Spindle head	
width*depth*height	560*850*750mm
Saddle	
width*depth*height	1560*700*150mm
Column	
width*depth*height	560*620*1950mm
Base	
width of the front	1190mm
depth of the front	1550mm
height of the front	720mm
width of the rear	560mm
depth of the rear	670mm
height of the rear	720mm

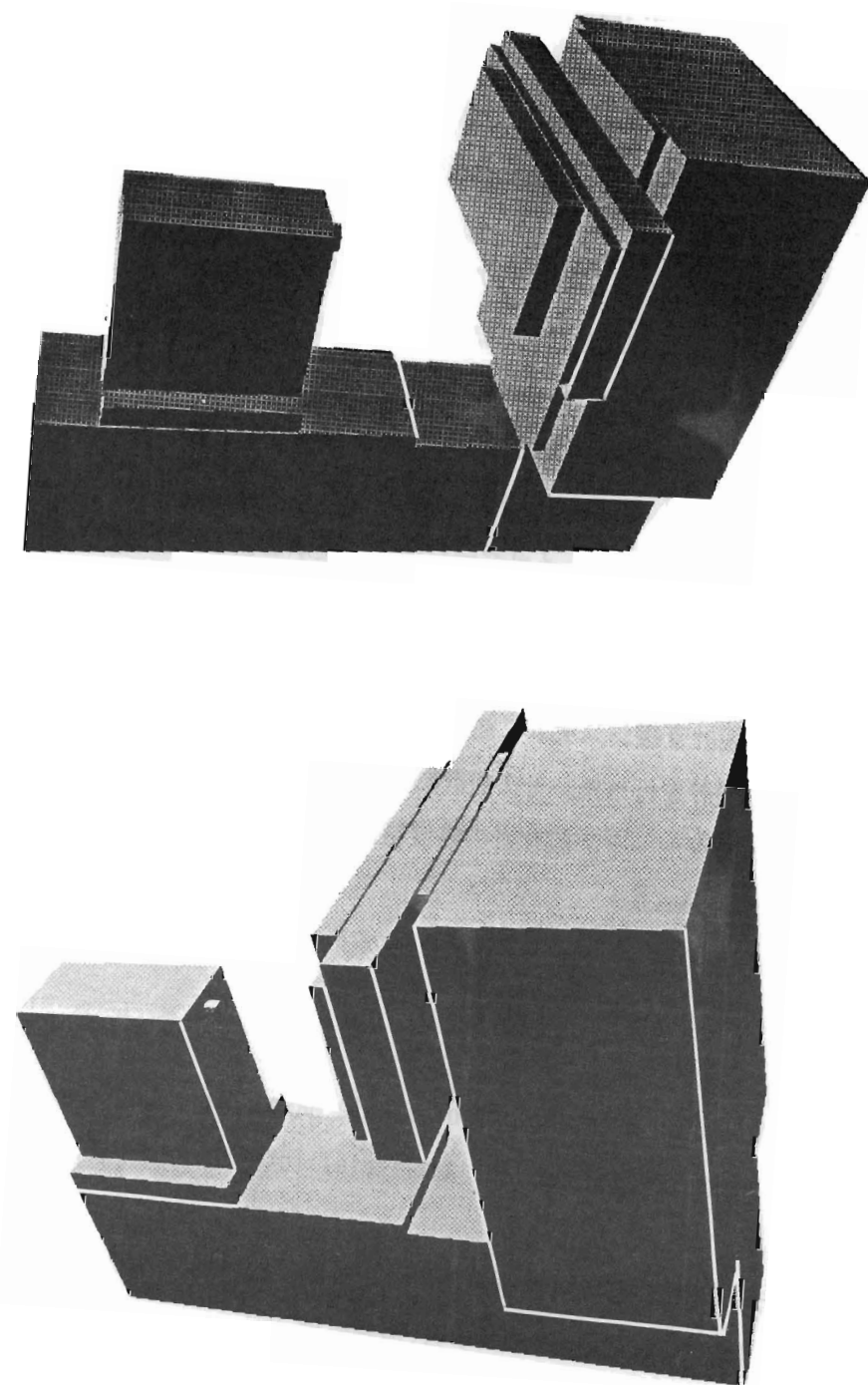


図5.9 設計されたマシンングセンター

5. 5 結言

本章では、オブジェクト指向設計プロセスモデルに基づいてマシニングセンタの知的設計支援システムのプロトタイプを構築し、具体的なマシニングセンタの設計に適用した。本システムは、ワークステーション上でPROLOGを用いて構築されている。本章の内容をまとめると以下ようになる。

- 1) オブジェクト指向に基づく工作機械の知的設計支援システムの基本構成、およびそのサブシステムの機能を示した。このシステムは、設計オブジェクトベース、オブジェクトマネージャ、推論エンジン、手続きベース、マンーマシンインターフェイスの5つのサブシステムから構成される。
- 2) 知的設計支援システムをPROLOGを用いて構築するために、PROLOGを用いた設計オブジェクトの表現形式、メッセージ伝達、継承および推論処理の実現方法を提案した。この結果に基づいて、マシニングセンタの知的設計支援を行うプロトタイプシステムを開発した。
- 3) 開発した知的設計支援システムに対して、適当な要求仕様を入力し、マシニングセンタの設計を行った。その設計結果ならびに設計処理プロセスは、熟練したマシニングセンタの設計者の処理結果、および設計プロセスにほぼ一致することがわかった。

参考文献

- [5.1] Clancy, W.J.: The Epistemology of a Rule Based Expert System - A Framework for Explanation, Artificial Intelligence, Vol. 20, (1983) 215
- [5.2] 小山照夫: 知識表現言語, 情報処理, Vol. 26, No. 12, (1985) 1529
- [5.3] 小林重信: プロダクションシステム, 情報処理, Vol. 26, No. 12, (1985) 1487
- [5.4] 上野晴樹: 知識工学入門 (改訂2版), オーム社, (1989)

- [5.5] 上野晴樹:エキスパートシステム概論,情報処理,Vol.28,No.2,(1987) 147
- [5.6] Clocksin,W.F.,Meilish,C.S.:Programming in PROLOG,Springer-Verlag,
Berlin,Heidelberg,(1981) 279
- [5.7] 島健一:フレーム型知識表現における論理推論メカニズムの検討,情報処理
学会論文誌,Vol.27,No.9,(1986) 860
- [5.8] Nilson,N.J.:Principles of Artificial Intelligence,Tioga
Publishing Co. Palo Alto,(1980) 1529

第6章 結 論

以上、工作機械、特にマシニングセンタを対象とした、基本設計過程に対する知的設計支援システムを開発することを目的として、工作機械の設計過程を適切に表現できる設計プロセスモデルについて検討し、設計オブジェクトと、それらの抽象－具体関係、および全体－部分関係に基づく設計プロセスモデルを提案した。さらに、提案した設計プロセスモデルに基づいた工作機械の知的設計支援の方法論を提案した。本研究で得られた成果をまとめると以下のようになる。

第2章では、工作機械の設計支援システムを実現するための基礎解析として、現状の工作機械の設計過程の分析とそのモデル化を行った。具体的には、機械システムの設計論の分析、ならびに熟練設計者へのインタビューを通して、工作機械の基本設計における処理プロセスを分析、整理した。その結果、設計過程が工作機械の形態により異なること、各形態は全体として階層構造を構成し、設計の進展に伴って抽象的な形態が順次具体的な形態に変化していくこと、および形態が決定されれば、比較的単純なプロセスで設計が進行することを明らかにした。

この分析結果に基づいて、工作機械の形態に対して設計事例を作成し、その設計事例の形態を具体化するソフトウェアモジュールを提案し、これを設計オブジェクトと定義した。さらに、これらの設計オブジェクトの抽象－具体関係、全体－部分関係に基づいて設計空間を定義し、設計対象の特化と分割により、設計を進める方法論を提案した。これにより、従来、明確な処理手順がなく、試行錯誤的に行われてきた工作機械の基本設計過程を体系的に表現する枠組みを提示することができた。

第3章では、設計オブジェクトの内容を明らかにした。すなわち工作機械の設計を行うために必要となる情報ならびに経験的知識の表現とその構造化について考察し、設計知識をID記述部、属性記述部、メソッド記述部に分類し記述する方法を提案した。

設計オブジェクトの持つ属性、設計オブジェクト間の抽象－具体関係、および全体－部分関係に基づいて設計を行う場合に必要となる処理を、各設計オブジェ

クトにメソッドとして与える手法を提案した。これにより、設計対象の属性項目およびそれらの項目を設計する処理を持つ設計オブジェクトを中核とする知的設計支援システムの基本構成を確立することができた。

第4章では、各設計オブジェクトが作成する設計事例について、設計対象モデルを操作して、設計項目の決定および設計事例の具体化を行うことのできる設計事例の属性を記述する方法について検討した。具体的には、マシニングセンタとその主要な構成要素である送りユニット、ATC（自動工具交換装置）、テーブル、ハウジングに関する設計オブジェクトの抽象-具体木を作成した。さらに設計対象の特化により設計事例を具体化し、設計事例に機能、品質、形状および寸法などの属性項目を記述するプロセスを明らかにした。また、これらの設計対象間の関係、すなわち、支持関係、相對運動関係、構成要素の共有などの記述法を提案した。

第5章では、第2章から第4章までに提案した方法論に基づいて、マシニングセンタを対象とする知的設計支援システムのプロトタイプを開発した。このシステムは、PROLOGを用いて開発したものであり、マシニングセンタの設計に関する設計オブジェクトベース、設計対象のインスタンスの管理を行うオブジェクトマネージャ、設計オブジェクトにおける知的処理を実現するための推論エンジンと手続きベース、および設計者とシステムとのインタフェースから構成されている。本システムを用いて、適切な要求仕様を入力としてマシニングセンタの基本設計を行い、その設計処理の流れと得られた結果より、本方法論の有効性を検証した。

以上のように、本研究ではマシニングセンタの設計プロセスを知的に支援する方法論について検討し、設計オブジェクトを中核とする新しい知的設計支援システムの構成方法論を提案した。

謝辞

本研究の遂行にあたり、終始御指導と御鞭撻を賜りました神戸大学工学部生産機械工学科森脇俊道教授に心から感謝致します。また、本論文の作成にあたり、有益な御教示と御指導をいただいた神戸大学工学部機械工学科上田完次教授ならびに神戸大学工学部計測工学科北村新三教授に厚く御礼申し上げます。

本研究の遂行にあたり、数多くの有益な御教示を賜りました神戸大学工学部生産機械工学科杉村延広助教授に厚く感謝致します。また、多くの御助言とご支援を賜りました神戸大学工学部生産機械工学科社本英二助手に御礼申し上げます。

本研究における設計過程の分析にあたり、多大な御協力を賜りました大阪機工株式会社西村勝広氏および吉沢廣昭氏、ならびに、設計支援システムの構築において、多くの御助言と御支援を賜りました株式会社CSK総合研究所坂尾健司氏に深く感謝致します。

本研究の実施にあたり御協力をいただいた中治智博大学院生、宮地隆之氏、当時工学部に在学していた寺田守氏、永田俊彦氏、川村智明氏をはじめとする神戸大学工学部森脇研究室の皆様へ感謝致します。