



Title	重複図形の分離手法とそのNCプログラム自動生成システムへの応用に関する研究
Author(s)	若林, 伸和
Citation	大阪大学, 1994, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.11501/3094108
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

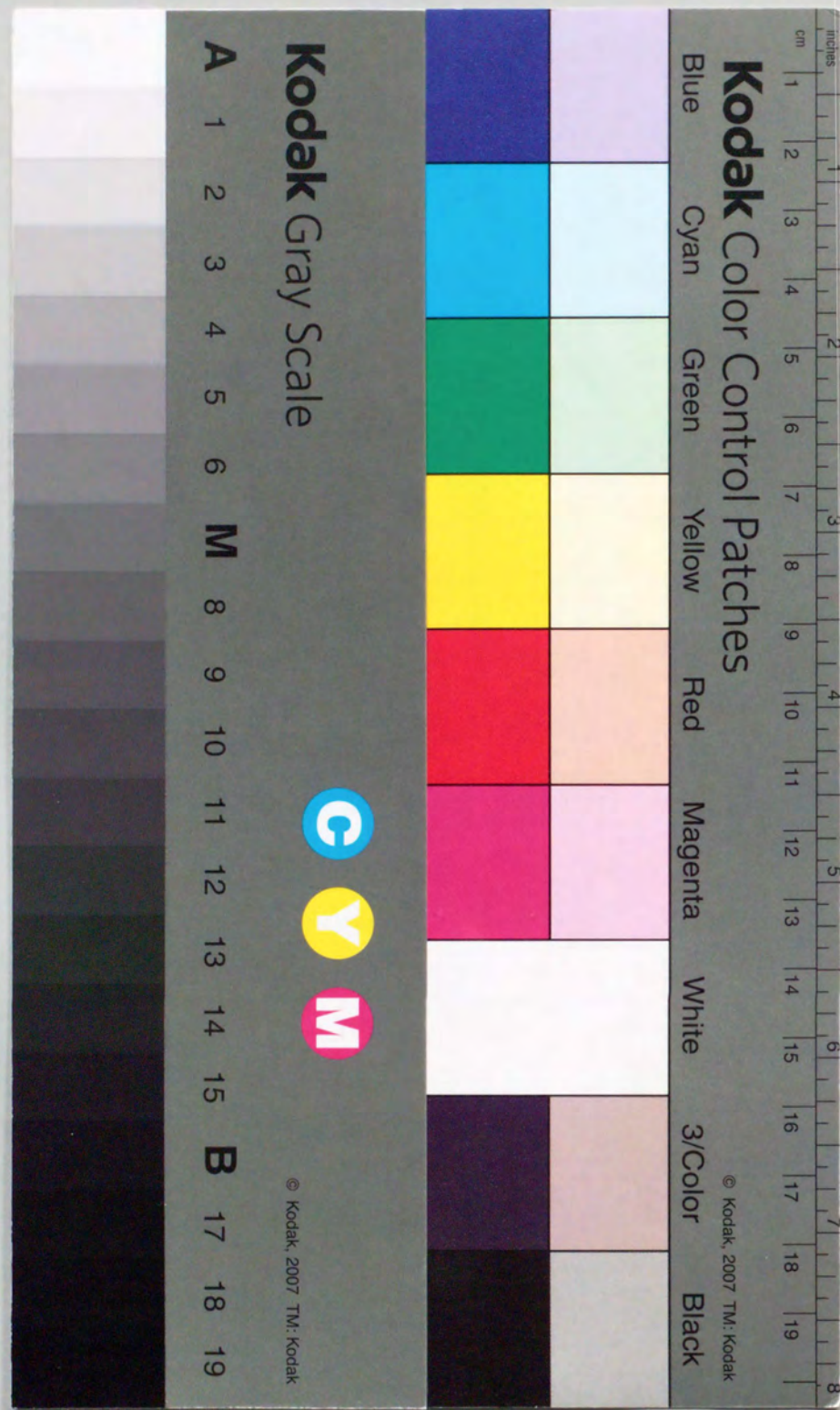
The University of Osaka

重複図形の分離手法とその

N C プログラム自動生成システムへの応用に関する研究

1993 年 12 月

若 林 伸 和



重複図形の分離手法とその

NCプログラム自動生成システムへの応用に関する研究

1993年12月

若林伸和

序 文

本論文は、筆者が大阪大学大学院工学研究科（通信工学専攻）において行った重複図形の分離手法とそのNCプログラム自動生成システムへの応用に関する研究を6章に分けてまとめたものである。

第1章は緒論であり、本研究の背景となる計算機利用システムの産業応用および本研究で取り入れた手法の基礎となる視覚情報処理研究の一般に関して、その歴史的発展と最近の動向について概観するとともに本研究の目的および位置づけについて述べる。

第2章では、本研究において産業応用の実例として取り上げたCAD/CAMシステムとその対象として扱うNC（数値制御）工作機械による加工について述べる。従来の工作機械が経験と勘をもとに人間の操縦者により制御されていたのとは異なり、NC工作機械では、加工を行うための機械の動作を記述したNCプログラムを実行することにより機械を制御する方式をとっている。このため、製品の仕様ごとにNCプログラムを作成する作業が必要となり、プログラマが加工すべき製品の図面ごとにプログラミングを行っていた。このNC工作に用いられるソフトウェア生産の効率化を目的とし、NCプログラムの作成を自動的に行うことができるシステムを提案し、その実現に必要な処理の枠組みについて議論する。NCプログラム作成の自動化に際して最も問題になるのが計算機による設計図面の自動認識である。本研究では、設計図面の認識過程にパターン認識の問題の1つである重複シルエット図形の分離手法が応用可能であることを説明する。

第3章では、設計図面の認識への応用を目的とした重複シルエット図形の分離のための一手法の提案を行う。提案する手法は構成的手法を用いた重複多角形の分離手続きである。ここでいう“構成的手法”とは、図形の構成要素となり得る

輪郭線および重複により隠ぺいされた内部輪郭線をいったん可能な限り細分し、これらを合理的な制約を課して再構成することを通じて分離可能な図形の候補を生成し、その中から与えられた条件を満足するものを選択する方法を意味している。また、提案した手法は多角形のみを含む重複図形を対象とするものについて詳述し、円弧を含む重複図形を対象とするものへ拡張し得ることを示す。本手法は工学的な応用に限定し、結果の利用に重点を置くものであり、実験結果とあわせてこの手法が有する利点および欠点について議論する。

第4章では、NCプログラムの自動生成について、システムの実現に焦点をあてて議論する。ここではシステム全体を設計図面の認識と、NCプログラムの生成、の2つに大別し、それぞれを個別のモジュールとして作成し、結合して使用することにより実現する方法を提案する。設計図面の認識には、図面中の加工形状を重複シルエット図形と見なすことによって、提案した重複図形の分離手法を適用し、加工可能な単純図形に分解するための図形の認識モジュールを実現する。また、NCプログラムの生成では、図面の認識結果に対して手続き的に記述した加工に関する規則を適用することにより加工方法および加工順序を決定しNCプログラムを生成する方法でのモジュールの実現について述べる。

第5章では、NCプログラム自動生成システムの利用を想定した、新たなNCプログラム開発環境を提案する。これには、実際の製造現場で行われている現状における問題点を検討し、より効率的なプログラム開発の作業を行うために利用可能な支援ツールを提案する。この際、NCプログラムの開発作業の中で必要となるプログラムのテストおよびデバッグ作業に着目し、これらの作業を支援するツールを付加する。具体的には、この支援ツールのシミュレーション機能により、実機を稼働させることなくテストを行うことが可能となる。さらに利用者インタフェースを検討することにより、計算機上でのデバッグ作業を容易に行うことができる。この計算機支援によるテストとデバッグの実現により、NCプログラム開発作業全体の効率化が図れるものと期待される。

第6章は、結論であり、本研究で得られた成果を総括するとともに、その意義および今後の課題について述べる。

目次

第1章 緒論	1
第2章 NC工作機械と加工プログラム	5
2.1 緒言	5
2.2 CAD/CAMシステム	6
2.3 NC工作機械	8
2.3.1 NC工作機械の種類	8
2.3.2 NCタレットパンチプレス工作機械	8
2.3.3 NC工作機械の特徴	10
2.4 加工プログラムの作成	11
2.4.1 Gコードプログラムの概要	11
2.4.2 マニュアルプログラミングとオートプログラミング	14
2.4.3 NCプログラミングの問題点	16
2.5 重複図形分離手法の加工プログラム自動生成への応用	17
2.5.1 図面からのNCプログラム自動生成	17
2.5.2 重複図形分離手法の応用	18
2.6 結言	20

第3章 重複図形の分離手法	21
3.1 緒言	21
3.2 パターン認識と重複分離問題	22
3.2.1 コンピュータビジョンと画像処理	22
3.2.2 画像処理技術の産業応用	23
3.2.3 構成的手法に基づく重複図形分離	23
3.3 重複シルエット図形	25
3.3.1 重複シルエット図形に関する定義	25
3.3.2 重複の様態に関する仮定	27
3.4 重複多角形分離手法	30
3.4.1 分離候補線の生成および分割	30
3.4.2 辺候補の生成	32
3.4.3 閉ループの抽出と冗長な図形の削除	35
3.5 円弧を含む図形の処理への拡張	36
3.6 実験結果	39
3.6.1 図形のデータ表現	39
3.6.2 重複図形の分離結果	40
3.7 CAMシステムにおける図面認識への応用	44
3.8 結言	46
第4章 NCプログラム自動生成システム	47
4.1 緒言	47
4.2 NCプログラム自動生成システムの概要	48
4.2.1 NC加工と自動プログラミング	48
4.2.2 NCパンチプレス加工プログラム自動生成システム	49

4.3 図面認識モジュール	50
4.3.1 CAD形式データから閉図形S式データへの変換	51
4.3.2 重複図形分離手続きによる図面データから加工要素データへの分解	54
4.3.3 基本金型形状への分類	54
4.4 プログラム生成モジュール	57
4.4.1 Gコードの生成	58
4.4.2 加工順序の決定	61
4.4.3 金型情報の置換	63
4.5 実行結果	64
4.6 結言	66
第5章 NC加工プログラミング環境	69
5.1 緒言	69
5.2 生産システムの統合化	70
5.2.1 データの一元化と内部モデルの利用	70
5.2.2 NCプログラムのライブラリ化と再利用	71
5.2.3 ネットワークの利用とユーザインタフェイス	73
5.3 NCプログラムの開発とテスト	73
5.4 NCプログラム開発支援ツール	75
5.4.1 テスト機能	75
5.4.2 シミュレーション機能	75
5.5 結言	83
第6章 結論	85

謝 辞	89
参考文献	91

第1章 緒 論

ディジタル型電子計算機は1949年のEDSACや1952年のEDVACの稼働により基本的な方式が確立され、その後今日まで約半世紀の間に、ハードウェアおよびソフトウェアの両面において格段の進歩を遂げてきた。ハードウェア技術では、その誕生以来一貫して処理の高速化、大規模化および装置の小型化を目指して新技術の開発が継続されている。とくにここ数年では、以前の大規模計算機を凌ぐ処理能力を持ったワークステーションやパーソナルコンピュータが開発され、一般にも高度な計算機利用および処理環境が容易に実現されるようになった。このことは、社会のあらゆるところでいわゆる“情報化”を推し進める1つの要因となっている。一方、ソフトウェア技術は、初期の段階ではシステムソフトウェアや言語処理系などの基本ソフトウェアの開発が主になされたが、情報化の流れとともに応用ソフトウェアの開発が重要な課題となり、その適用分野は多岐にわたるようになりつつある。

ソフトウェアに関する研究の過程で、アルゴリズムに関する研究の結果として、計算機により計算できる問題と計算できない問題が存在することが証明されている[Hopcroft69]。また、理論的には計算できるが計算量などの要因のため現実問題としては計算できそうもない問題が存在することも示されている。さらに、ある問題に対するアルゴリズムが容易に見出し得るか否かにより計算機で処理するのに適した問題分野と適さない分野が存在することを認識することは、ソフトウェア技術開発の際に重要である。

アルゴリズムの発見、考案が容易ではないにもかかわらず、その有用性のために、計算機の誕生直後から今日まで研究が続けられている分野に人工知能がある。人間のように知的に問題を解決することができる計算機の実現を目標とした

人工知能の研究は、1950年代の半ばから活発に行われ、初期には結果の評価が明確なパズルやゲームがその対象として扱われた[上野86]。これらの成果をもとに、1960年代後半以降、より実用的な分野が対象として取り上げられるようになり、その結果としてエキスパートシステムと呼ばれる知的問題解決プログラムが多数開発された。これには、経営意志決定や医学診断、化学構造式の推定、鉱物資源探査の支援などの分野を対象としたものがある。このような、知識指向型システムに関連した分野は後に知識工学と呼ばれるようになった。他の分野として計算機プログラムを計算機利用により自動的に生成するという自動プログラミングの分野も人工知能の一分野として取り上げられ、大規模プログラムの管理を支援するシステムや、仕様から小規模のプログラムを作成する実験システムが提案された[Barr82]。

これら、人工知能は主に人間の思考能力により実現される機能を、計算機により処理しようというものである。これに関連した分野として、人間の主に感覚により実現される機能の処理に対応するコンピュータビジョンや音声認識などの分野も研究されている。とくにコンピュータビジョンは、画像を入力して処理を行うもので、物体認識や情景理解などを目的とした視覚心理モデルの作成から、ロボットビジョンや工業計測などを目的とした産業応用を想定したものまで様々な観点から取り上げられてきた。

一方、本研究で取り上げた電子計算機の産業応用システムへの応用も古くから扱われており、製造、生産分野における計算機利用は、まず制御という形で始まった。工作機械や工業製品を含めた産業機械の制御部分は、従来の古典理論に基づいた制御方式から計算機制御方式に移行した。その事例の1つとして、1950年代初頭のNC(numerical control, 数値制御)工作機械の開発があげられる。これ以降、計算機利用の工業生産システムは機械そのものの制御から、生産情報の管理へと範囲が広がり、今日では開発、設計から製造試験にいたるまでの一貫したシステムが提案されている。このようなシステムの具体例としては、主に設計作業の支援を目的としたCAD(computer aided design)、製造工程の支援を目的としたCAM(computer aided manufacturing)、設計案の機能、性能評価を解析およびシミュレーション技術により行うCAE(computer aided

engineering)、製品の検査を自動化するCAT(computer aided testing)などがあげられる。さらに、これら基礎技術を総合的に利用して工業生産を支援するCIM(computer integrated manufacturing)の開発も始まっている。また、従来の単一製品の生産ラインとは異なり、多種小量生産を可能にするためにNC機械を中核としたFMS(flexible manufacturing system)が実用化され、これに対応した形でのCAMシステムの高度化が望まれている。

本論文では、CAMシステムの高度化を目指して、NC工作機械による製造を想定した加工プログラムの作成支援について議論する。NC加工プログラムの作成を計算機により支援する問題は、設計図面を仕様として与え、加工プログラムを生成する自動プログラミングシステムととらえることができる。この加工プログラムの作成支援に関して、本論文で提案する実現方法では、図面認識にコンピュータビジョンの関連分野であるパターン認識の手法を利用し、加工方法の決定には工作に関するエキスパート知識を利用する知識工学的手法の応用を考慮しており、提案する実現方法は人工知能関連技術と工業生産システムを融合したシステムの実現例として位置づけることもできる。

まず第2章では、本研究で対象として取り上げたNC工作機械による製造について、その特徴および加工プログラム作成における問題点を整理、検討する。その結果をふまえて図面からNCプログラムを直接自動生成するシステムを提案する[Wakabayashi89]。その際、図面の認識に視覚情報処理のうちパターン認識の分野で開発された重複図形分離手法を適用することを概説する。

第3章では、提案する重複図形分離手法の詳細について述べる。視覚情報処理過程に含まれる処理は、初期視覚、中間視覚、高次視覚の3つのレベルに分類され[Marr82; 谷内田90b]、重複図形を分離、認識する問題は一般に高次視覚の処理として位置づけられる。高次視覚においては、その用途に応じてトップダウン的手法とボトムアップ的手法の双方が用いられるが、このうち、工業的応用に限定し結果の利用に重点をおいたボトムアップ的な処理手法の考案を行う[若林90]。

第4章では、提案した重複図形分離手法を応用したNC加工プログラム自動生成システムについて、その実現に焦点を当てて議論する[若林93]。ここでは、

自動プログラミングおよび知識工学的手法の利用を検討して、システムの枠組みを提案する。構築した実験システムは、図面認識モジュールとプログラム生成モジュールを逐次実行することにより、図面から加工プログラムを自動生成する方式の実現を試みた。このシステムは、CAMシステムの高度化の試みの具体例として位置づけられる。

第5章では、第4章で提案したCAMシステムの利用を想定し、さらに生産システム全体の統合化を図るための枠組みとして、NCプログラミング環境の観点から提案を行う。これは高度化CAMシステムすなわちNCプログラム自動生成システムの処理結果としてのNCプログラムを、ライブラリ化し再利用を可能とすることによって、製造準備工程の効率化を図るものである。また、製造工程における情報化に向けた技術の一例として計算機シミュレーションを利用したプログラムのテストを含むNCプログラミング環境の実現について述べる。そこでは、シミュレーションによるNCプログラムの評価、解析を重要な基盤技術と考え、さらにプログラム開発に有用な機能を付加した支援ツールを作成した。システムの中核部分に加工プログラム自動生成システムを利用することにより、プログラムの作成時間を短縮できるという利点があるうえ、シミュレーションにより実際の生産に先立ちそのプログラムによる加工の様子および加工結果を確認、評価でき、さらに自動生成されたNCプログラムでは不十分な例外的処理を要する部分を容易に修正することができる。このことは、効率的に熟練者の知識を現場での生産に反映させることを可能とする。以上の特徴により、本研究で取り上げたシステムは、多品種小量生産に対応した統合化生産(CIM)システムを実現するための要素技術開発の試みとして意義がある。

第2章 NC工作機械と加工プログラム

2.1 緒言

生産システムにおけるFMSの導入は、生産設備の利用時間の改善、多品種小量生産の省力化、生産性の向上、製品の納期短縮、生産設備の償却期間の短縮などの効果が期待される[佐田83]。CAD/CAMシステムは、FMSを効率的に利用するための重要な要素技術として、産業用ロボット、知能化センサとともに1980年代からの生産革新をもたらした[古谷93]。CAD/CAMシステムにおいては、生産設計の自動化を目指して、NC工作機械を対象としたFMSに対応する自動化が試行されてきた。生産設計は、製品の要求仕様から設計、生産への流れの中で、上流工程にあたる工程設計と下流工程にあたる作業設計に大別され、NCデータ作成等の省力化、自動化など、とくに下流工程における自動化の試みは成果をあげている[岩田83]。しかし、上流工程における自動化は下流工程におけるそれに比べ遅れをとっているのが現状である。これは、上流工程における作業には熟練技術者の経験をもとにした知識を必要とする不定型の作業を多く含んでいるため、計算機支援による自動化が容易でないことが主な原因であると考えられる。そこで、本研究では、生産設計のうち主に上流工程を対象とした、加工法の選択や加工順序の決定などを含む工程設計の自動化を目的とし、NC工作機械の利用を前提とした自動化システムの実現を試みる。

本章では、まずCAD/CAMに関する現状を概説する。ついで、産業応用の実例として取り上げたNC工作機械の1つであるNCパンチプレスを用いた金属加工について、とくに生産工程の流れに焦点をあて、その制御のために必要となる加工プログラム(Gコードプログラム)の作成方法の現状と問題点について検討する。さらに、プログラム作成を計算機利用により自動化する方式を提案す

る。その際、設計図面の認識過程に重複シルエット図形の分離手法を応用することを提案する。

2.2 CAD/CAMシステム

CADおよびCAMはそれぞれ計算機支援設計および計算機支援による製造を示す、設計・生産自動化の要素技術を表した用語として用いられている。さらに、自動化を進める動向の中で、これらは統合化され1つのシステムとしてCAD/CAMと呼ばれるようになり、CAEおよびCATを含め、工程管理までも計算機を利用する、設計から製造までのすべてのプロセスに計算機の利用を想定した統合化された生産システム（CIMシステム）が提唱されている。統合化生産システムでは設計から製品ができあがるまでに、通常、図2.1に示された段階を踏んで作業が進められる〔岩田91；古谷93〕。

統合化生産システムにおいて自動化を進めるための重要な前提条件は、製造工程のうちとくに加工工程におけるNC工作機械の利用である。NC工作機械は、従来の機械と異なり操作者を必要とせず、プログラムを与えることにより自動運転が可能となる。加工工程の自動化を想定すると、次に統合化生産システムに必要となるのは、製品設計と加工工程との間をつなぐためのCAMシステムである。CAMにおいては、製品設計の結果の設計仕様データから工程設計、作業設計を経て工作機械を制御するためのプログラムを作成する作業が必要となる。

CAD/CAMシステムが対象とする代表的分野を大別すると、単品機械や機械部品の製造を目的とした機械系CAD/CAM、回路設計やプリント基板製造を目的とした電気・電子系CAD/CAM、建築設計・施工を目的とした建築系CAD/CAMなどがある。このうち、機械系システムにおけるCAMはその作業自体が不定型であるため、パターン化が困難であるなどの理由で自動化のレベルが低く〔朝比奈87〕、極めて限定された製品を対象にデータベース化し、これを利用することにより、人間の判断を必要とする会話型システムの実例がほとんどである〔天野85；天田85〕。

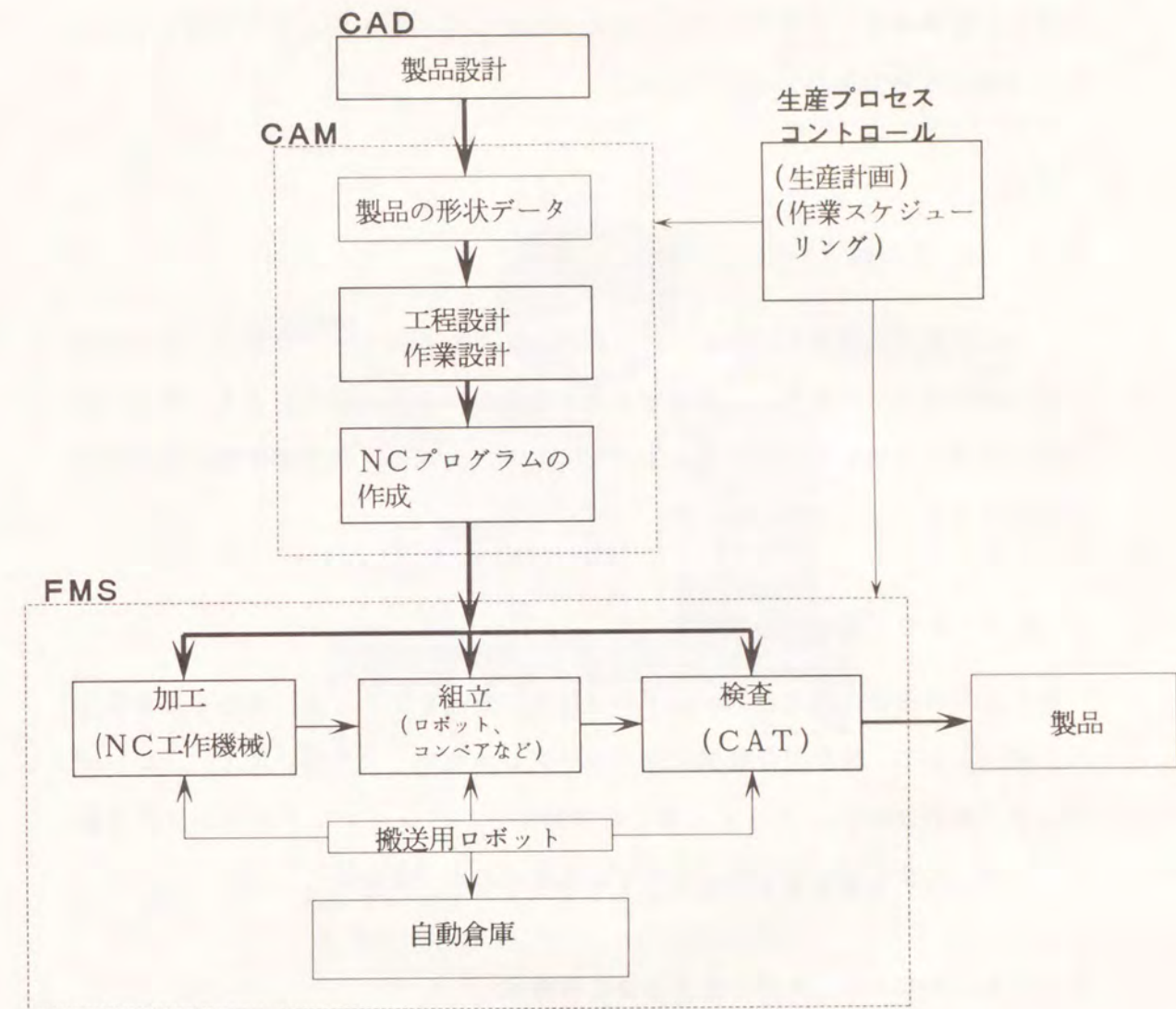


図2.1: CIM（統合化生産）システムの構成とCAMの位置づけ

しかし、FMSの利点である多品種小量生産における省力化・短納期化と生産性の向上を図るには、これに先立つCAMシステムの部分において自動化のレベルを向上し、人間の介在を最小限にすることが望まれる。すなわち、図2.1において製品設計の結果として得られる形状データから、工程設計、作業設計、NCプログラムの作成までを自動的に処理するシステムが必要となる。

以上に述べた統合化生産システムを実現するための重要な要素技術として位置づけられるCAMシステムの高度化には、従来の設計技術者が行っていた作業、とくに熟練者知識を必要とする不定型の作業を計算機支援によって実現する

必要がある。そのための枠組みとして、熟練者知識を規則として予め蓄積し、これを用いて熟練者と同等またはそれに近い知的な処理を可能とする知識工学的手法の利用が有効であると考えられる。

2.3 NC工作機械

1952年に開発されたNC工作機械は、あらかじめテープなどに入力された一連の数値に従って動作し、複雑な形状が容易かつ確実に加工できる。また、作業者が機械を継続して監視する必要がなくなり、1人の作業者が複数の機械を操作できるようになった〔千田90〕。

2.3.1 NC工作機械の種類

NC工作機械は、通常1/10mm以下の高精度で製品を加工でき、主として金属加工に用いられる。NC工作機械にはパンチプレスマシン（穴開け加工）、レーザカッタ（切断加工）、フライス盤（切削加工）、ベンディングマシン（曲げ加工）など、多様な加工の種類に対応するものがある〔岩田88〕。

2.3.2 NCタレットパンチプレス工作機械

上述のような多くのNC工作機械のうち、NCタレットパンチプレス（NCT）工作機械は、板状の材料に対し多様な形状および大きさの穴開け（パンチ）加工を行うためのもので、専ら金属の薄板を対象とした2次元形状の工作に用いられる。その基本構造を図2.2に示す。

NCタレットパンチプレス工作機械では、タレットと呼ばれる円盤状の台に複数の異なる形状、あるいは異なる大きさの工具を同時に取り付けることができ、タレットを回転させることによって取り付けられている工具の中から、パンチに使用する工具を加工中に任意に変更できる。

穴開けに使用する工具は金型と呼ばれ、その基本的な形状は図2.3に示す6種類に限定されている。

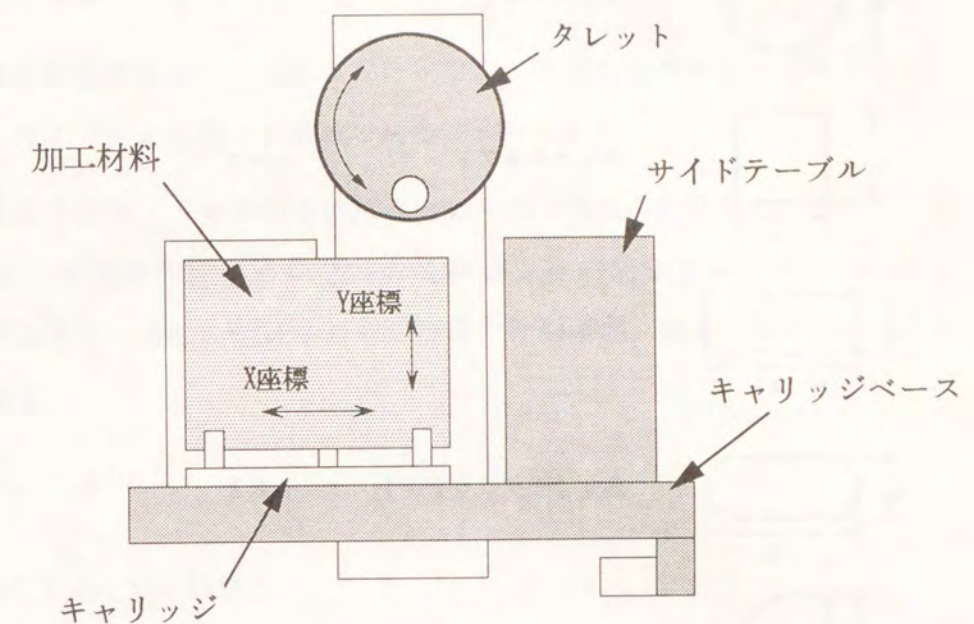


図2.2： NCタレットパンチプレス工作機械の基本構造（俯瞰図）

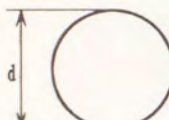
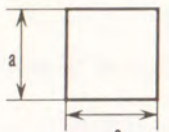
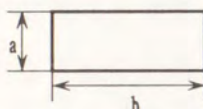
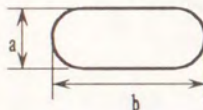
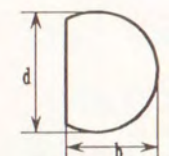
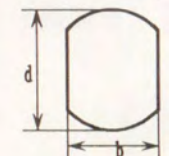
形状	呼称	寸法表示	金型サイズ
	丸 (ラウンド)	d	d
	角 (スクエア)	$a \times a$	$\sqrt{2} \cdot a$
	長角 (レクタングル)	$a \times b$	$\sqrt{a^2 + b^2}$
	長丸 (オブラウンド)	$a \times b$	b
	シングルD (SD)	$b \times d$	d
	ダブルD (DD)	$b \times d$	d

図2.3: 加工に用いられる標準工具 (基本金型) の形状

2.3.3 NC工作機械の特徴

NC工作機械は、その名の示すとおり加工の位置を指示するために座標値を表現した数値データを与えることによって機械の動作を制御することができる。また、加工位置や加工方法に加えて加工順序の情報も予めプログラムの形式で与えておき、そのプログラムを工作機械が実行する方式で機械を運転する。以上の特徴から、NC工作機械を用いた加工における利点として、次のような事項を挙げ

ることができる。

(1) 品質の向上 従来のハンドル操作の工作機械に比べて加工精度が高く、また、品質が一様である。複雑な形状も比較的容易に加工でき、再現性（繰り返し加工の精度）が高い。

(2) 加工時間の短縮 治工具などを用いた準備時間や段取り時間が短縮されるため、加工時間が短縮され機械の稼働率が向上する。

(3) 人員の削減 加工位置の位置決めや加工精度の確認などの工程が不要となるため、機械操作のための熟練者を機械ごとに配置する必要がない。また、1人の操作者が複数の機械を同時に操作できるので、製造工程における人員が削減できる。

2.4 加工プログラムの作成

2.4.1 Gコードプログラムの概要

NC工作機械は前節で述べたように、プログラムにより制御する方式をとっている。このため、ある種のプログラミング言語が必要となる。このうち、最も基本的なものに、Gコードと呼ばれるプログラムコード体系がある〔岩田91〕。

Gコードは、基本的に1行が工作機械の加工の1動作に対応しており、1つのGコードプログラムを実行するとその先頭行から順番に機械が動作し、最終行で一連の加工が終わる。すなわち、プログラム中のGコードの順序は、加工の順序にそのまま対応している。

Gコードの1行は、図2.4に示す形式をとっている。

G コマンド X x座標値 Y y座標値 T 工具番号

図2.4: Gコードの書式

図2.6は、図2.5に示した設計図面で表される製品を加工するためのGコードプログラムの例である。

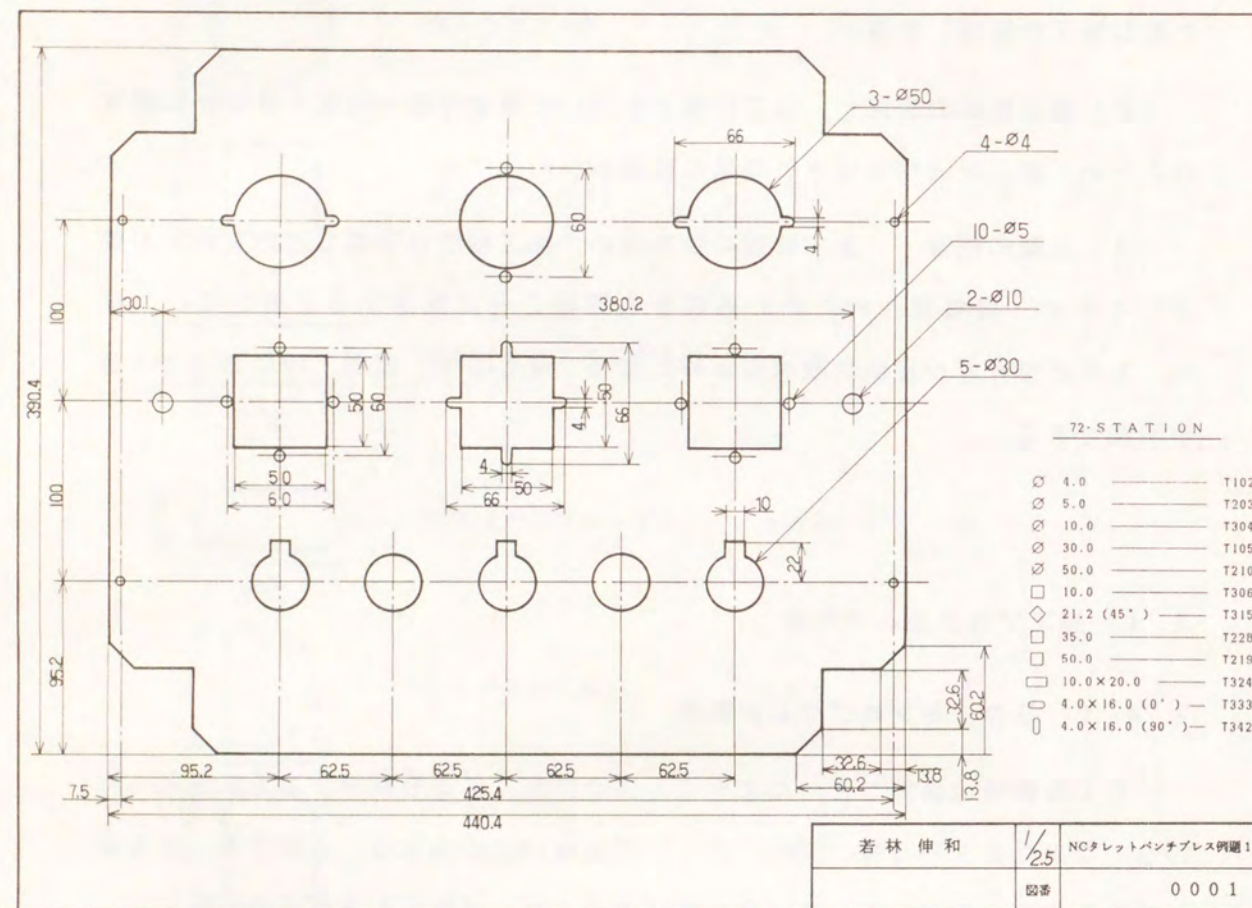


図2.5： 製品設計の図面の例

```

G92X1270.0Y1270.0
G90X432.9Y295.2T203
G91X-425.4
Y-200.0
X425.4
G90X220.2Y325.2T208
G91Y-60.0
G90X95.2Y225.2
G91X-30.0Y-30.0
X30.0Y-30.0
X30.0Y30.0
G90X315.2Y195.2
G91X30.0Y30.0
Y-60.0
X30.0Y30.0
G90X410.3Y195.2T212
G90X30.1
G90X95.2Y112.2T306
G91X125.0
X125.0
G90X345.2Y95.2T105
G91X-62.5
X-62.5
X-62.5
G90X70.2Y295.2T333
G91X50.0
G90X195.2Y195.2
G91X50.0
G90X320.2Y295.2
G91X50.0
G90X220.2Y170.2T342
G91Y50.0
G90X345.2Y295.2T210
G91X-125.0
X-125.0
G90X441.4Y344.19T315
X394.19Y391.4
X46.21
X-1.0Y344.19
Y46.21
X46.21Y-1.0
G90G70X100.0Y220.0
G90G70X340.4Y220.0
G90X394.19Y-1.0
X441.4Y46.21
X419.0Y21.4T219
X345.2Y195.2
G91X-125.0
X-125.0
G90X21.4Y21.4
Y369.0
X419.0
G50

```

図2.6： 設計図面(図2.5)に対するGコードプログラム

2.4.2 マニュアルプログラミングとオートプログラミング

Gコードプログラムは、機械の動作に直接対応している。Gコードプログラムに対し、より上位の言語で記述されたプログラムをパートプログラムと呼ぶ。パートプログラムを利用したプログラミングの方法にプログラム自動生成と同様の意味を表すと思われる術語があるが、その違いは次のように理解できる。

(1) マニュアルプログラミング 設計図面から直接Gコードを作成するプログラミングの方法を、マニュアルプログラミングと呼ぶ。図2.7にその流れを示す。例えば、図2.5の図面を見て座標計算、工具の選択、加工順序の決定などをすべてプログラマが行い、図2.6のようなプログラムコードを直接書き起こす。

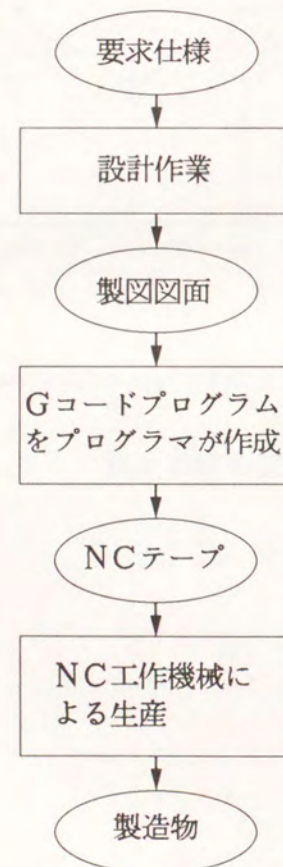


図2.7: マニュアルプログラミングによる製造工程

(2) オートプログラミング プログラマが設計図面からパートプログラムを作成し、これを計算機によって自動的にGコードプログラムに翻訳し工作機械にかける方式をオートプログラミングと呼ぶ。マニュアルプログラミングでは、加工位置の座標の指定はプログラマがすべて手計算によりコードを起こす作業が必要であるが、オートプログラミングではとくに幾何学図形の場合、座標値を翻訳時に自動的に計算することができる。この言語の実例としてAPT, EXAPT, AUTOSPOT, FAPTなどが開発されている[千田90; 岩田88]。図2.8にオートプログラミングの流れを示す。

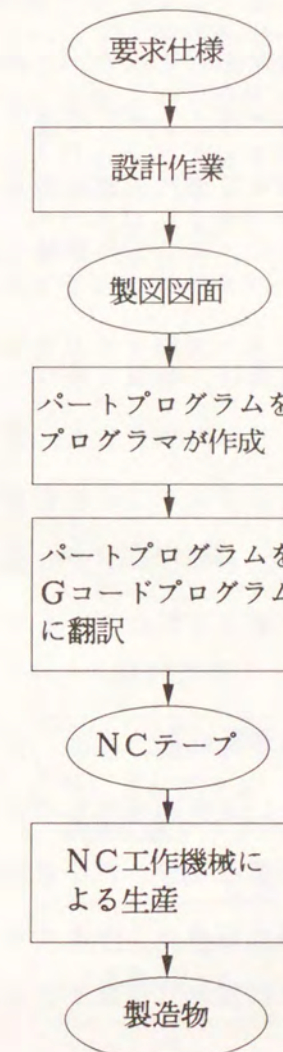


図2.8: オートプログラミングによる製造工程

パートプログラムでは、幾何学のおよび加工に関する技術的情報を記述でき、座標値が自動的に計算されるため自動プログラミングと呼ばれているが、あくまでも定型処理によって容易に決定できる部分を計算機により処理するもので、工程設計の部分はプログラマが行い、手作業でプログラムを記述することによって変わりはない。したがってこの方式は、設計図面の形状データからのNCプログラム自動生成を意味するものではなく、これとは区別する必要がある。

2.4.3 NCプログラミングの問題点

NC工作機械において、プログラム制御方式をとっていることによる利点は2.3.3で述べたとおりである。とくに生産現場にもたらした影響としては、製造時間の短縮と人員の削減があげられる。しかし、その反面、NC工作機械の導入により必須となる“プログラミング”作業に要する時間が新たに必要となり、また、プログラミングに関する専門知識を持った、従来とは別の意味での熟練工が必要となった。このように、NC工作機械を利用した製造では新たなコストが発生している。

NCプログラミングに要する時間は、前項で述べたマニュアルプログラミングおよびオートプログラミングのいずれの場合でも、図2.7、図2.8にそれぞれ示したGコードプログラムやパートプログラムを作成するための時間ばかりでなく、実際にNC工作機械にかけるためのテープの作成時間、プログラムの試験にあたる空運転や試し加工の時間、およびプログラミングには不可避であるデバッグのための時間も含まれる。

このように、生産の全工程に要する時間のうち、プログラミング作業の周辺にかかる時間の割合が大きくなるという問題を生じている。さらに1つの製品に対して必ず対応するプログラムが必要となり、異なる仕様の製品を新たに生産する際にはプログラミング作業が必須となる。このことから、現在のような多品種少量生産が求められる状況においては深刻な問題が生じている。

2.5 重複図形分離手法の加工プログラム自動生成への応用

2.5.1 図面からのNCプログラム自動生成

NC工作機械の導入には、多くの利点がある反面、プログラミング作業に対して人的および時間的コストがかかるという新たな問題が生じているということは前節で述べたとおりである。マニュアルプログラミングおよびオートプログラミングのいずれの方法にせよ、設計図面からプログラマが手作業で加工プログラムを作成することには変わりはない。

近年、CADシステムの普及により図面の作成には計算機を利用することが多く、そこではCADデータの形式で設計図面に関する数値情報がオンラインで表現されている。それにもかかわらず、図面をいったん紙に印刷してプログラマへ渡すという旧来の形態をとることは、オフラインデータに変換していることに他ならず効率が悪い。そこでCADシステムにより作成され、数値データで表現された設計図のオンラインデータから図面を介さずに、計算機の利用により自動的に加工プログラムを直接生成することができれば、プログラマの介在をなくすことができ、人的および時間的コストを削減することができると考えられる。そのようなシステムの利用を想定したNCプログラミングの流れを図2.9に示す。

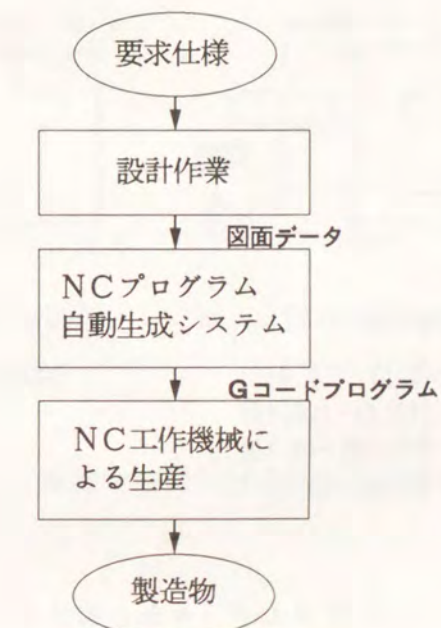


図2.9：図面からのNCプログラム自動生成システムの利用

今後、会話型ではなく上述のような図面から自動的にNCプログラムを作成するシステムをNCプログラム自動生成システムと呼ぶことにする。このシステムが実現できれば真の意味でプログラミングの自動化が図られる。

しかし、CADの数値データを単純にGコードプログラムに変換することは不可能であり、NCプログラム自動生成システムは、プログラマが通常行っているような図面中の形状の認識と、図面中には情報として現れない加工方法および使用する工具の選択、加工順序の決定などを自動的に処理する機能が求められる。

2.5.2 重複図形分離手法の応用

前項で提案したNCプログラム自動生成システムを実現するためには、図面の認識という人間の視覚機能により実現される処理を、計算機によって自動的に処理できるようにする必要がある。

例えば、図2.10のようにCADデータでは、あくまで図面は線分などの要素の集まりとして表現されており、そこから幾何形状の表現としてとらえられるためには認識処理が必要である。

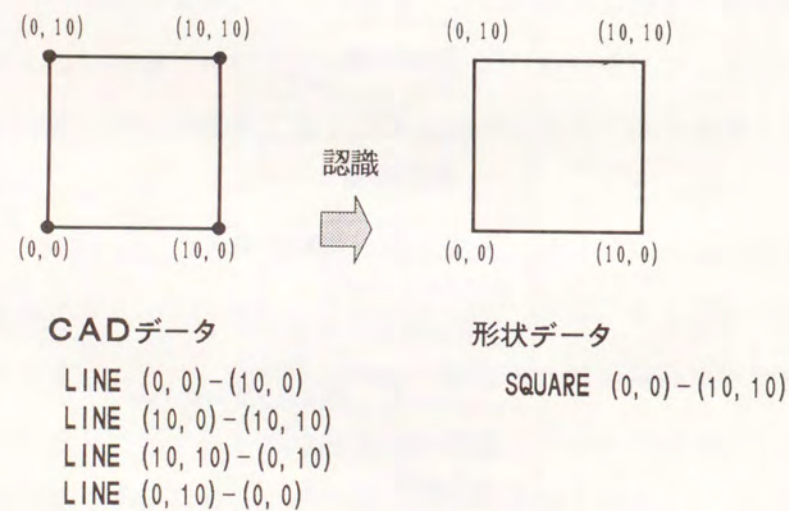


図2.10: CADデータから図形データへの変換

さらにNCタレットパンチプレスによる工作では、加工に用いる工具の形状が図2.3に示した6種類に限定されているので、複雑な形状を加工するためには、1つの穴に対して複数の工具を組み合わせる穴開けを行う加工方法が多用される。

図2.11(a)に示した形状を図面として提示されたとき、通常、プログラマは(b)図のように角および4回の長丸のパンチにより加工するようプログラムを作成する。これは、ある種の視覚機能により(a)図の形状を認識し、2つの異なる幾何学形状に識別する処理をプログラマが行っていると考えられる。

この視覚機能は、(a)図の図形を重複シルエット図形として捉え、(b)図の図形を重複によりシルエットを構成している元の図形要素として捉えることにより、重複図形の分離問題に帰着させることができる。

本論文ではパターン認識における一問題である、重複図形の分離問題を計算機により処理するための手法を、NCパンチプレス加工プログラムの自動生成システムに必要な図面の認識処理過程に応用することを目的とし、その分離手法を考案する。

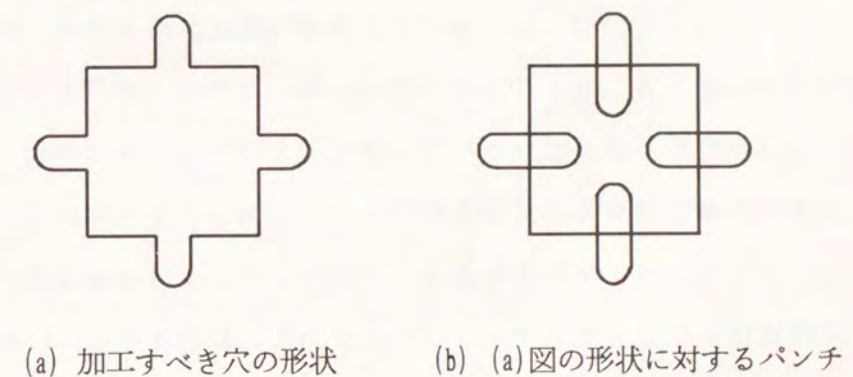


図2.11: 複雑な形状に対する加工方法の例

2.6 結 言

生産システムの高度化を実現するための問題点を明確にするために、CAD/CAMシステムの現状について概説し、統合化生産システムの中で実際の加工、製造工程において重要な要素であるNC工作機械の特徴と、NCプログラムの作成について検討した。さらに、加工法の選択や加工順序の決定などの工程設計を含むNCプログラムの自動生成システムを提案した。このシステムは従来自動化が遅れていた不定型な作業を自動化してCAMシステム中の計算機利用による作業の割合を増加させるもので、生産システムの統合化に有用であり、自動化のレベルを一步進めるものとして今後重要な研究課題になるものと思われる。

また、不定型な作業として、複雑な形状の処理に関するNCプログラムの生成に不可欠な、図形の認識・分離を典型的な問題として取り上げ、パターン認識の一問題である重複図形の分離手法を応用して解決する方法を概説した。このような結果の利用に重点をおいたパターン認識手法については次章で詳述する。

第3章 重複図形の分離手法

3.1 緒 言

コンピュータビジョンに関する研究は、2次元の画像からシーンを解析してその中に含まれる物体の形状やその位置関係を認識することが中心的課題である〔谷内田90a；江尻90〕。その中で図形を理解するという人間の高次視覚機能に対応する処理を、計算機によって実現するための種々の方法が開発されてきた。これらは3次元世界の理解のための汎用性のある手法の開発を目指したものが多い。しかし、それらの手法を産業応用の目的で利用するためには、現時点では扱いきれない面がある上、処理の速度、工業応用としての信頼性、システムを実現するためのコスト等が問題となる。そのため、実際の応用では2次元の処理に限定した、より簡便な方法が検討されてきた。

工業的用途を目的としたコンピュータビジョンでは、もともと対象が平面的であったり、立体的対象を平面上に投影したパターンを扱う場合が多い。また、対象の姿勢を規制することにより、できる限り簡便な手法で認識処理を行うことによって処理の高速化とシステムのコストの低減を併せて実現する努力がはらわれることが多い。このような、2次元コンピュータビジョンでは処理規模を小さくするために、画像処理の早い段階で2値化を行ったのち認識処理を進めるという2値画像処理の手法が頻繁に用いられる。

2値画像処理の代表的な例としては、シルエット像あるいは輪郭線からの形状認識問題があげられる。その処理では、複数個の物体が重なりあっている状態での形状の認識がしばしば議論される。重複した物体像からその要素形状を分離、認識する問題は、視覚心理モデルの作成から産業応用を想定したものまで様々な観点から取り上げられてきた〔安藤86；北橋90；島谷89；中村88；安田90〕。

ここでは、前章で述べた加工プログラム自動生成のための図面認識という産業応用に限定し、結果の利用に重点をおいた重複2次元図形の分離手法を提案する。本章では、まず重複図形を定義するために幾何学的性質に関するいくつかの定義を行い、重複の様態について整理した後、重複多角形の分離手法を提案し〔若林90〕、さらに円弧を含む図形への拡張について述べる。

3.2 パターン認識と重複分離問題

3.2.1 コンピュータビジョンと画像処理

コンピュータビジョンに関する研究は、視覚過程のレベルにより(1)エッジ検出や領域分割、色の表現などにより画像の特徴抽出とグループ化を行う初期視覚(early vision)、(2)単眼、多眼あるいは動画像から、シーンの特徴抽出とグループ化を行う中間視覚(middle vision)、(3)個々の物体への分離、照合、位置関係の利用などにより物体とシーンの認識を行う高次視覚(high-level vision)の3つに大別される〔Marr82; 谷内田90b〕。このような処理過程を経て、2次元の画像から3次元物体に関する情報を得ることを目指し、各過程における処理手法の開発がなされてきた。

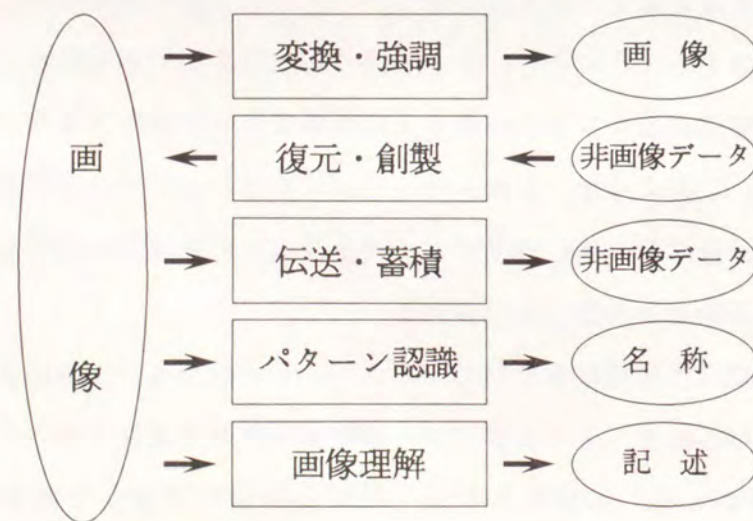


図3.1: 画像処理の5つの側面

一方、コンピュータビジョンをとくにその処理の内容から画像処理として捉えた場合、図3.1に示すような5つの側面がある〔江尻90〕。このうち画像から非画像への変換処理には、パターン認識と画像理解があり、これらは視覚過程のレベルでは主に高次視覚処理の範疇に含まれるものである。例えば、初期および中間視覚のレベルにおいて抽出された特徴データ、具体的には輪郭線などから、それが表している対象物の概念を見出すために認識・理解といった高次の処理が考えられる。

原画像からいかにして完全な輪郭線を得るかという初期・中間視覚における処理も重要ではあるが、本論文ではこれらには立ち入らないこととし、それらの処理を経て輪郭線が得られたものと仮定して、主に高次視覚にあたる認識処理の手法の提案を行う。

3.2.2 画像処理技術の産業応用

画像処理技術は、あらゆる産業分野への応用を目指した試みがあり、第1次産業では、例えば野菜、果物の選別作業や魚の分類作業の自動化、第2次産業では組立工程での部品の位置認識、検査工程での傷の認識などへの実用化〔酒匂89〕、また第3次産業では物流システムでの実用化などが進みつつある。

このうちとくに工業製品の製造への応用としては、コンベア上を流れる物体の選別技術の研究やプリント基板の傷検査技術の開発が行われ、さらにトランジスタやLSIの組立、各種生産工程での部品の選別や位置認識があげられる。このような応用において扱われる画像には、しばしば遮へい輪郭〔Marr82〕が含まれ、物体が2次元射影されたシルエット像の処理が多用される。

3.2.3 構成的手法に基づく重複図形分離

物体の一部が他の物体に遮へいされているシーンを見たとき、人間は遮へいされている部分のおおまかな形状を予測することができる。確度の違いはあるものの多くの場合においてこの予測が可能であるのは、人間がそれまでに獲得した知識を利用しているためである。このとき、人間が用いる知識には大別して、(1)過去の経験により得られた形状モデルに基づくもの、(2)形状の局

所の特徴に関する一般的規則に基づくもの、の2種類があると考えられている。

このような、シルエット像あるいは輪郭線図形の分離に関する研究は、しばしば物体の形状モデルを用いた、いわばトップダウン的な手法が議論された〔中村88〕。しかし、トップダウンの手法では適合するモデルが用意されない限り処理結果を得ることができず、対象となる物体が特定されない場合には適用できない。これは、処理の対象を形状に関して限定することになり、産業応用には不向きである。

一方、ボトムアップの手法は、重複部分に注目し、幾何学的性質についての一般的規則の適用によって分離を試みるものである。ボトムアップの手法は、形状モデルを利用しないため、トップダウンの手法に比べ処理可能な重複の様態については制限をうけるものの、物体の形状については限定されないという特徴を有している。すなわち、対応する形状モデルが用意されていないため処理不可能になるということが回避できるため、予め処理の対象として取り扱う形状を制限されることがなく、ボトムアップの手法は、工業的応用を目的とした場合に適していると考えられる。ボトムアップの手法を用いた例として、物理的には存在しない主観的輪郭生成のアルゴリズムが提案されている〔安藤86；安田90〕。また、重複の分離結果を決定するのではなく、考えられる合理的な解釈の候補を生成するという立場に立った研究もなされている〔島谷89〕。これらは、視覚心理に基づいた結果を得ようとするものがほとんどである。

本論文では、ボトムアップの手法を基本とした、構成的手法に基づく重複2次元図形の分離手法を提案する。これは、結果の利用に重点を置くという立場から、できる限り解釈を限定し分離方法を唯一に決定するよう試みる。ここでいう構成的手法とは、図形の構成要素である輪郭線および重複により隠ぺいされた内部の輪郭線を、いったん可能な限り細分し、これらを合理的な制約を課して再構成することを通じて図形の候補を生成し、その中から与えられた条件を満足するものを選択する方法を意味している。この手法は、2次元の形状を復元する問題であるにもかかわらず、1次元に関する制約のみを用いることで処理が可能となるという特徴を有している。

3.3 重複シルエット図形

3.3.1 重複シルエット図形に関する定義

本論文で取り扱う図形は、2次元図形に限定する。以下の議論で対象とする重複図形を定義するのに先立ち、2次元閉図形における頂点および図形の凹凸性を次のように定義する。

(定義1) 頂点の凹凸性に関する定義

凸頂点： 閉図形を構成する辺のうち接する2直線のなす頂点において、その内角が180度未満のもの。

凹頂点： 閉図形を構成する辺のうち接する2直線のなす頂点において、その内角が180度を超えるもの。

ここで、内角とは頂点における図形の内側の角度とする。図形の内側と外側、すなわち“図と地”については、図3.2において線分に付した矢印で示したように、閉図形を構成する線分をすべて時計廻りの方向付きで表現し、線分の始点から終点に向かって右側が図形の内側（図）、左側が図形の外側（地）とすることによって判定できる。

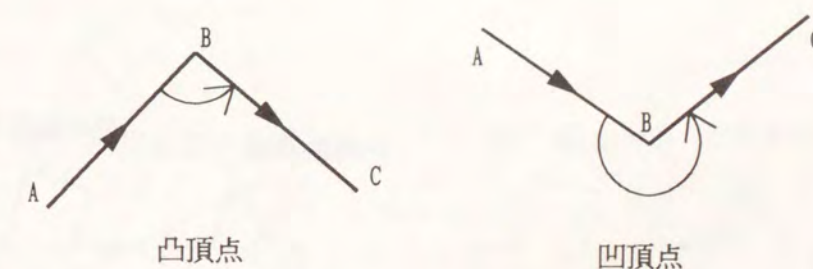


図3.2： 閉図形における頂点の凹凸性

(定義2) 図形の凹凸性に関する定義

凸図形： すべての頂点が凸頂点で構成される閉図形。

凹図形： 図形を構成する頂点のうち少なくとも1つ凹頂点を含む閉図形。

これらの定義をもとに、本論文では、2個以上の凸図形が、ある部分で互いに重複することによってできたシルエットの閉図形に、処理の対象を限定する。ここで、重複を構成している各々を要素図形と呼ぶ。また、2次元平面上での形状のみについて議論することとし、重複部分での各要素図形間の上下関係については考えないものとする。したがって、図形の上下にかかわらず重複部分は互いに消去され、その部分ではすべての輪郭線は消滅しているもの仮定する。図3.3に重複シルエット図形の例を示す。

このとき、要素図形の輪郭線のうち、重複により消滅した部分を“内部輪郭線”，また、重複部分以外すなわち内部輪郭線以外のシルエットの部分をとくに“外部輪郭線”と呼ぶ。以上をふまえて、本論文で分離の対象として扱う、すなわち処理手続きに対する入力に相当する初期重複シルエット図形を次のように定義する。

(定義3) 重複シルエット図形

分離処理の対象として、2個以上の凸図形が重複することによって構成される外部輪郭線図形を、重複シルエット図形と定義する。

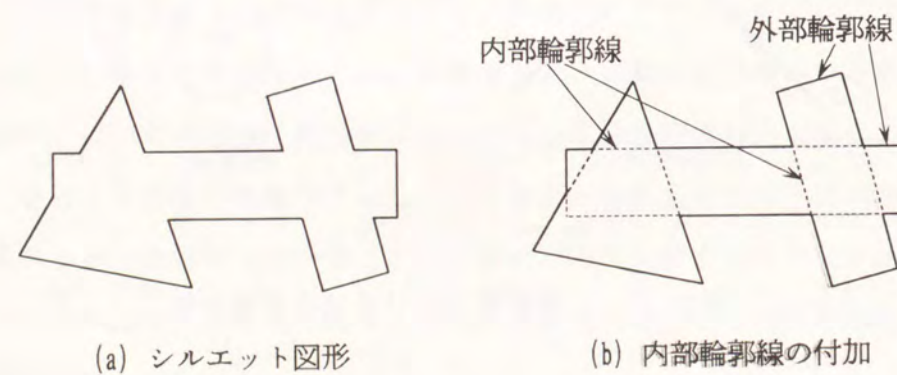


図3.3： 重複シルエット図形

3.3.2 重複の様態に関する仮定

2図形の重複の様態は、一般に次の4種類に分類される。その例を図3.4に示す。

- (1) 2図形が互いに交差する場合
- (2) 一方の図形の端点が他方により隠れている場合
- (3) 一方の図形の端部が他方により隠れている場合
- (4) 一方の図形が他方により完全に隠れている場合

ただし、図形中の2個以上の端点を含む部分を端部と呼ぶことにする。

上記の重複の様態のうち、(4)の場合については本論文の対象外とし取り扱わない。また、(3)の端部が隠れている場合は、一般にモデルなどを利用したトップダウン的手法によらない限り、一意に分離することは困難である。しかし、結果の利用に重点をおく工学的応用に限定したとき、とくに本論文で提案する応用では、重複の有無の判定が重要であり、内部の形状はさほど重要ではない。したがって、図3.4(c)のような重複シルエット図形は図3.5のように解釈し分離する処理手法の考案を試みる。

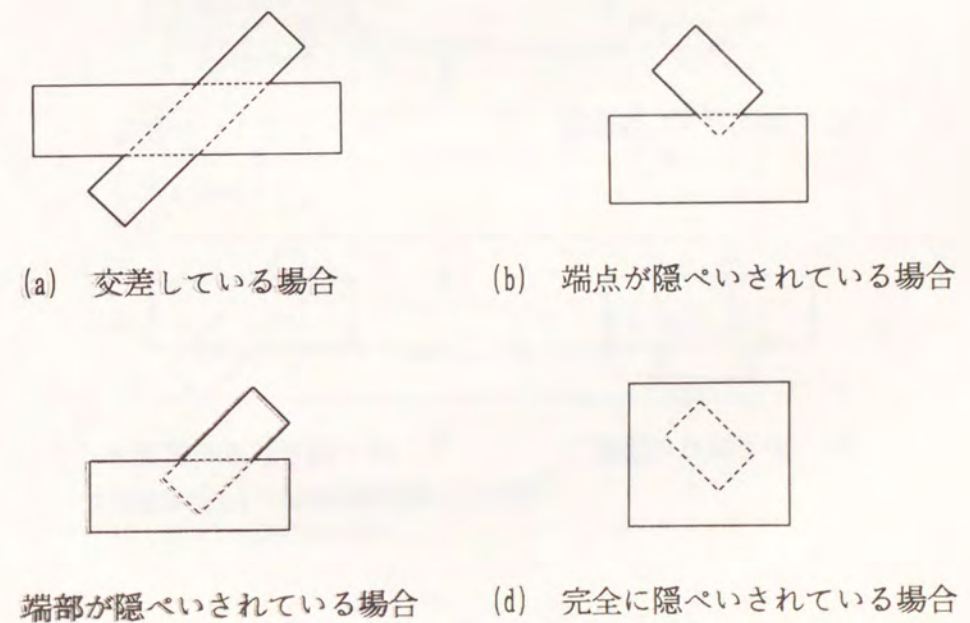


図3.4： 重複の様態

このとき、図3.5(b)は一般には不安定な重複と見なすことができる。すなわち、重複図形のわずかな位置、角度の変動によって重複の様態がまったく変化してしまう種類の重複を不安定な重複と呼ぶ。図3.6にその例を示す。

このような不安定な重複は前述の重複の様態(2)および(3)でしばしば起こり得る。しかし、本論文では結果の利用に関する上述の理由から処理手続き考案の便宜上、次の仮定に反する場合を除き不安定な重複を許容することとする。このことは、後述する辺候補の生成モデルの重要な仮定となる。

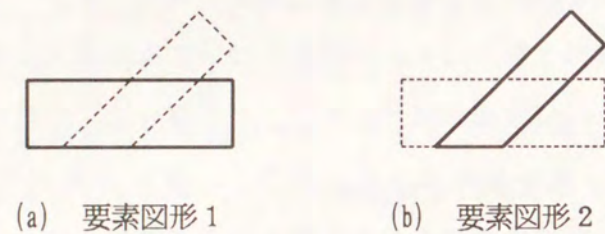
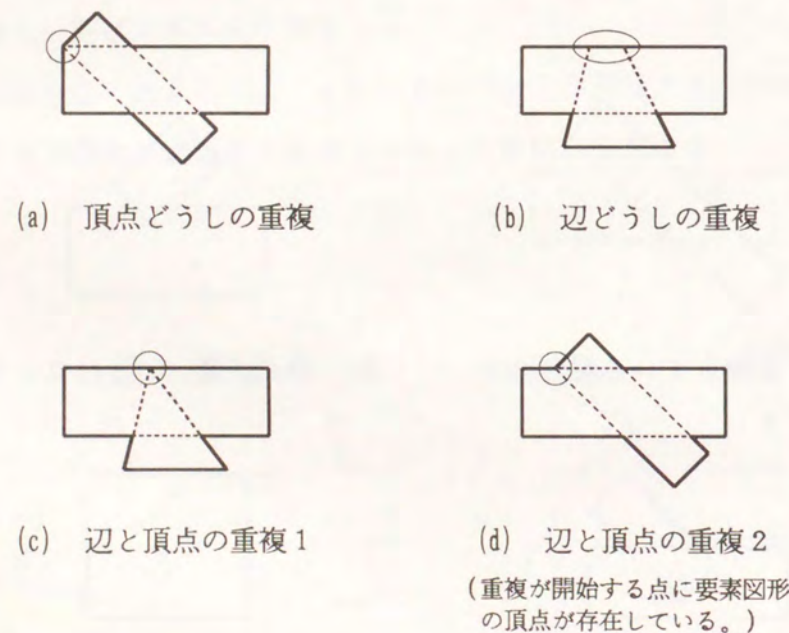


図3.5: 端部が隠れている場合の分離方法



(○で示した部分が不安定な重複)

図3.6: 不安定な重複

(仮定1) 重複の様態

重複が始まる点の付近では、互いの図形の辺は性質を保持しているものとする。

すなわち、要素図形の頂点は重複の始まる点には存在しないものと仮定する。

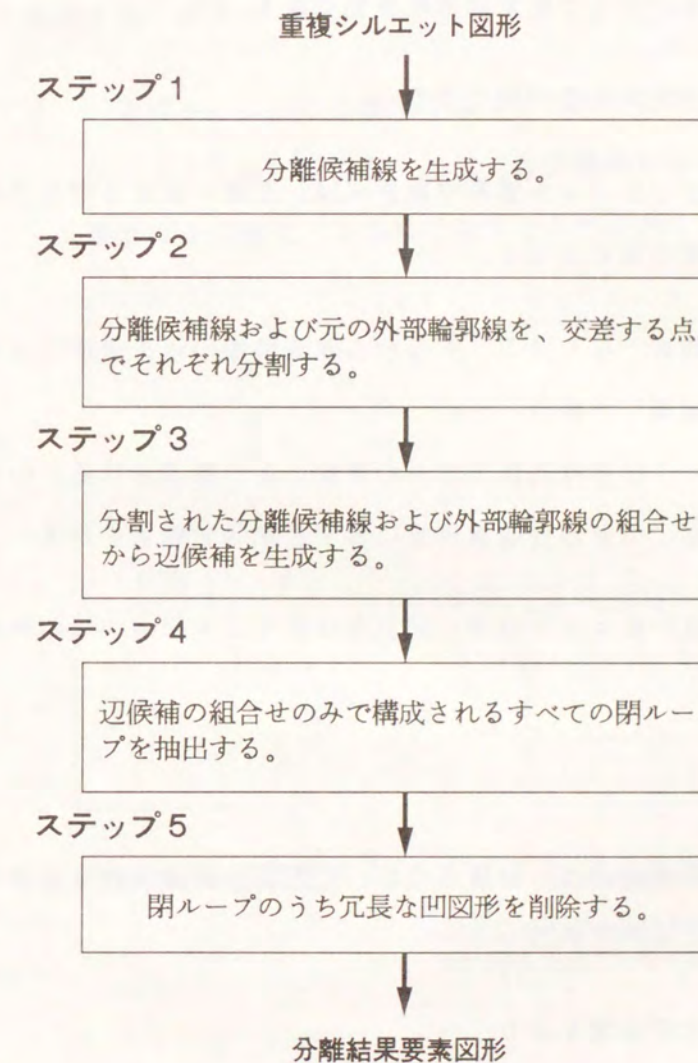


図3.7: 重複図形分離手法の処理の流れ

3.4 重複多角形分離手法

提案する分離手法の処理の流れを図3.7に示す。以下、各段階における処理の内容について詳述する。

3.4.1 分離候補線の生成および分割

前節の定義と仮定1より次の命題が成立する。

(命題1) 図形が重複している場合、外部輪郭線および内部輪郭線のみの組み合わせによって要素図形を表現できる。

また、定義3より次の命題が成立する。

(命題2) 重複シルエット図形の凹頂点は、重複の始まる部分であり、内部輪郭線の始点となる。

つぎに、内部輪郭線となり得る、すなわち要素図形の辺を構成する可能性のある線分を“分離候補線”と呼ぶ。

扱う重複シルエット図形は凸図形のための重複により構成されるという定義3と命題2の結果として、つぎの分離候補線に関する命題が導出される。

(命題3) 重複シルエット図形の凹頂点は必ず2本以上の分離候補線の始点である。

仮定1と命題1より、

(命題4) 分離候補線は、凹頂点において外部輪郭線の性質を保持しつつ延長したものである。

また、定義3および仮定1より、

(命題5) 分離候補線は、重複シルエット図形の外には存在しない。

これらの命題に基づき、まず、分離処理の第1段階として次の処理を行う。

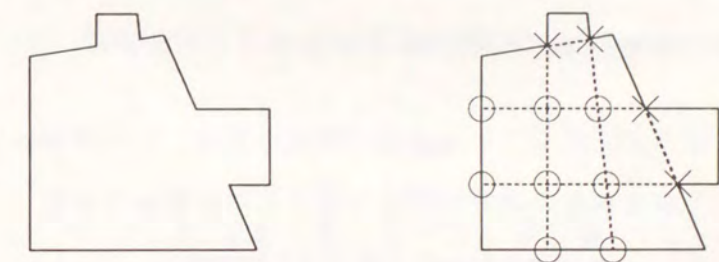
ステップ1: 重複シルエット図形の凹頂点から外部輪郭線を図形の内側方向へ、他の外部輪郭線との交点まで延長した線分を分離候補線として生成し、初期シルエット図形に付加する。

ここで、命題1から3がすべて成立するとき、次の命題が成立する。

(命題6) 分離候補線の本数は、初期シルエット図形中の凹頂点の数の高々2倍である。

次に、要素図形の辺を再構成する前にいったん可能な限り細分するために、ステップ2の処理を実行する。

ステップ2: 生成された分離候補線が交差する場合はその交点で分離候補線の双方を互いに分割し、また、外部輪郭線が分離候補線と接する場合はその接点で外部輪郭線をすべて分割する。



(a) 初期外部輪郭線図形

(b) 分離候補線

×で示した点が分離候補線の始点である
○で示した点で分割する

図3.8: 分離候補線の生成および分割

3.4.2 辺候補の生成

命題1より、要素図形は上記のように細分された線分の適切な組み合わせによって構成される。要素図形の辺になる可能性を有した線分を“辺候補”と呼ぶことにする。換言すれば、辺候補は一直線上の外部輪郭線および分離候補線の断片の適切な組み合わせによって構成される。

前項の処理で細分された外部輪郭線および分離候補線のうち、一直線上にありかつ連続した線分を連結することによってできる最も長い線分を“複合線分”と呼ぶ。

(1) 辺候補生成のモデル 以上の定義および仮定のもとでは、重複が始まる点には要素図形の頂点は現れない。これにより辺候補は要素図形の頂点についての制約に帰着でき、細分された線分の端点に関する条件だけで辺候補を生成できる。

前述の命題および仮定1より、複合線分に関する次の命題が導出される。

(命題7) 分離候補線のみで構成される複合線分は存在し得ない。

ここで、複合線分を構成する線分のうち、複合線分の端点を含む線分を“終端線分”と呼ぶ。

さらに、重複の様態を示した図3.4を参照することにより、

(命題8) 図形が交差している重複の様態の場合、その要素図形の辺となり得る複合線分の両終端線分は必ず外部輪郭線である。

命題8より、両終端線分が外部輪郭線である場合には、辺候補生成に関してより強い制約を課することができる。したがって、処理の効率化を図るためにこのような場合を別の扱いとし、辺候補生成のモデルを次の2種類に分けて提案する。

図3.9において、モデル2が上述の交差による重複の場合、モデル1がそれ以外の一般の場合をそれぞれモデル化したものである。

(2) 端点の分類 図3.9においてモデル1の場合には、(a)図中の複合線分AF上の外部輪郭線(図中実線)および分離候補線(図中破線)の各端点を次

の5つのタイプに分類する。

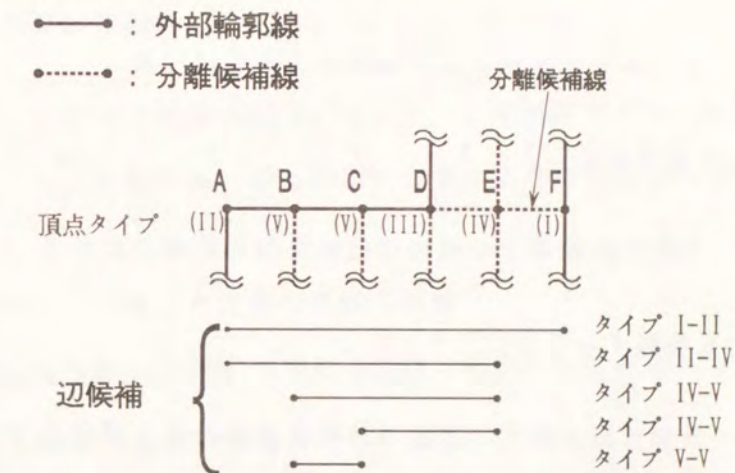
タイプI: 終端線分が分離候補線側である複合線分の端点(F)。

タイプII: 終端線分が外部輪郭線側である複合線分の端点(A)。

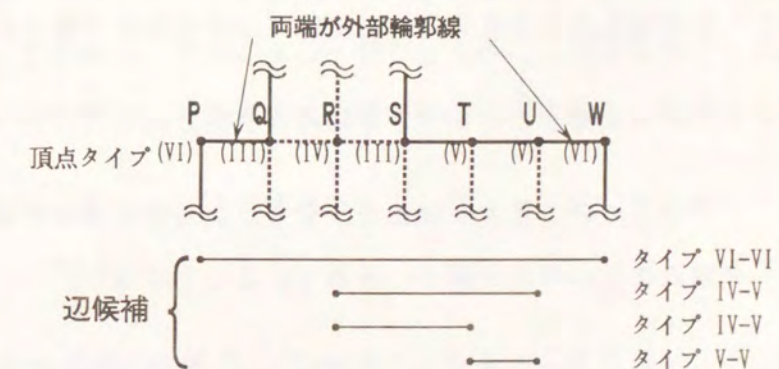
タイプIII: 外部輪郭線と分離候補線が接合する点(D)。

タイプIV: 分離候補線間の点(E)。

タイプV: 外部輪郭線間の点(B, C)。



(a) 終端線分のうち一方が分離候補線の場合(モデル1)



(b) 終端線分が両方とも外部輪郭線の場合(モデル2)

図3.9: 辺候補生成のモデル

また、モデル2の場合には、(b)図中の複合線分PW上の端点のうち多くは、モデル1の場合と同様にタイプⅢからⅤに分類するが、複合線分の両端点新たにタイプⅥとする。

タイプⅥ： 複合線分の始点および終点(P, W)。

以上のように端点を分類することにより、両モデルとも、端点の組み合わせのみの規則により辺候補を生成することができる。

(3) 辺候補の生成規則 これまで議論してきた命題をもとに、端点に関する以下の仮説を許容し得るものとして採用する。両モデルに共通の仮説として、

(仮説1) 複合線分の両端点は要素図形の端点になる。

図3.4(b)を参照することにより、

(仮説2) 分離候補線同士の接続点は要素図形の端点になる。

図3.5(b)を参照することにより、

(仮説3) 外部輪郭線同士の接続点は要素図形の端点になる。

重複シルエット図形に関する仮定1より、

(仮説4) 外部輪郭線と分離候補線の接続点は要素図形の端点にならない。

また、モデル2のみに課すことができる制約の根拠として、

(仮説5) 交差している重複を優先し、交差による重複部分中には要素図形の端点または端部が隠ぺいされていることはない。

以上の仮説より、両モデルに対して、図中に示した組み合わせのみが辺候補として許容され、その生成規則は次の頂点タイプの組み合わせで構成される線分となる。

[モデル1]

I - II (仮説1より)
II - IV (仮説1, 2より)
IV - V (仮説2, 3より)
V - V (仮説3より)

[モデル2]

VI - VI (仮説1より)
IV - V (仮説2, 3より)
V - V (仮説3より)

ここで、モデル1の場合のII - IVに相当するものがモデル2から削除されているのは、仮説5によるためである。

ステップ3: すべての複合線分について、いずれのモデルに相当するか判定し、それぞれの場合の生成規則により辺候補を生成する。

3.4.3 閉ループの抽出と冗長な図形の削除

以上の処理により得られたすべての辺候補の組み合わせから、つぎに閉ループをなす図形を抽出する。

(定義4) 閉ループ

辺候補の端点のうちある1点から追跡を開始し、辺候補のみを追跡することによって開始点に到達することができる閉じた図形を閉ループと呼ぶ。ただし、1つの閉ループを構成する辺候補は互いに交差してはならない。

ステップ4: 得られた辺候補の組から、閉ループをなす図形をすべて抽出する。

図3.8の例を処理した結果を図3.10に示す。この例では4個の閉ループが抽出された。

抽出された閉図形には、図3.5に示した分離方法をとるために、不安定な重複を許容するよう制約を緩和していることになって、冗長な図形が含まれている場合がある。

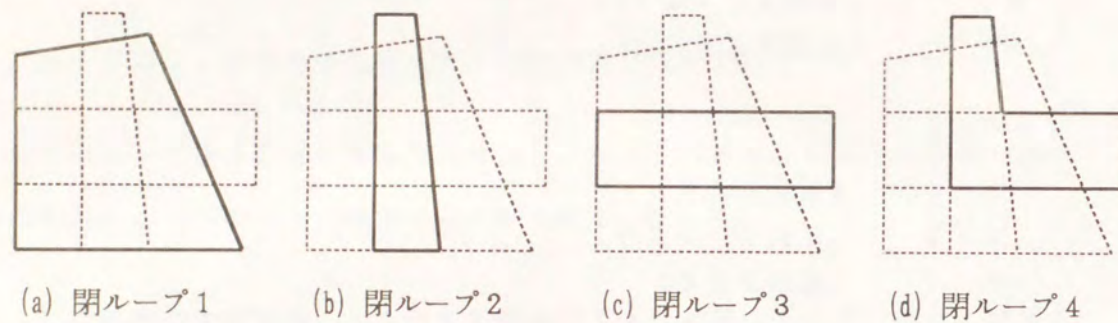


図 3.10 : 閉ループの抽出

(定義5) 冗長な図形

1つの閉ループ図形のすべての辺が、他の閉ループ図形のいずれかの辺または辺の一部として含まれている場合、その図形を冗長と呼ぶ。

換言すれば、冗長な図形は分離結果の要素図形から削除してもそれ以外の閉ループのみで重複によって初期外部輪郭線図形を構成し得る。定義3より要素図形は凸図形に限定しているので、冗長な凹図形は分離結果から無条件に削除することができる。

ステップ5: 抽出された閉ループのうち、冗長な凹図形を結果から削除する。

図3.10の例では、(d)図が冗長な凹図形に相当する。

3.5 円弧を含む図形の処理への拡張

3.3および3.4で述べた定義、仮説の一部を次のように拡張することにより、処理において若干の変更を加えるのみで、提案した重複多角形の分離手法を円弧を含む重複図形の分離手法に拡張できる。

まず、新たに頂点に関する定義を追加し、さらに頂点の凹凸性に関する定義を

拡張する。

(定義0') 頂点の定義

直線、円弧およびその組み合わせの2要素が接合する点を頂点と呼ぶ。

(定義1') 頂点の凹凸性に関する定義

凸頂点: 2要素のなす頂点においてその内角が180度未満のもの。

凹頂点: 2要素のなす頂点においてその内角が180度をこえるもの。

ただし、円弧についてはその頂点における接線を要素に代替したのちの角度で比較する。

直線および円弧の組み合わせで構成される頂点は、(1)直線と直線、(2)直線と円弧、(3)円弧と円弧からなる3種類である。このうち(1)の直線と直線で構成される頂点の凹凸性については、すでに図3.2に示した。(2)および(3)の円弧を含む場合について図3.11に凸頂点と凹頂点を示す。

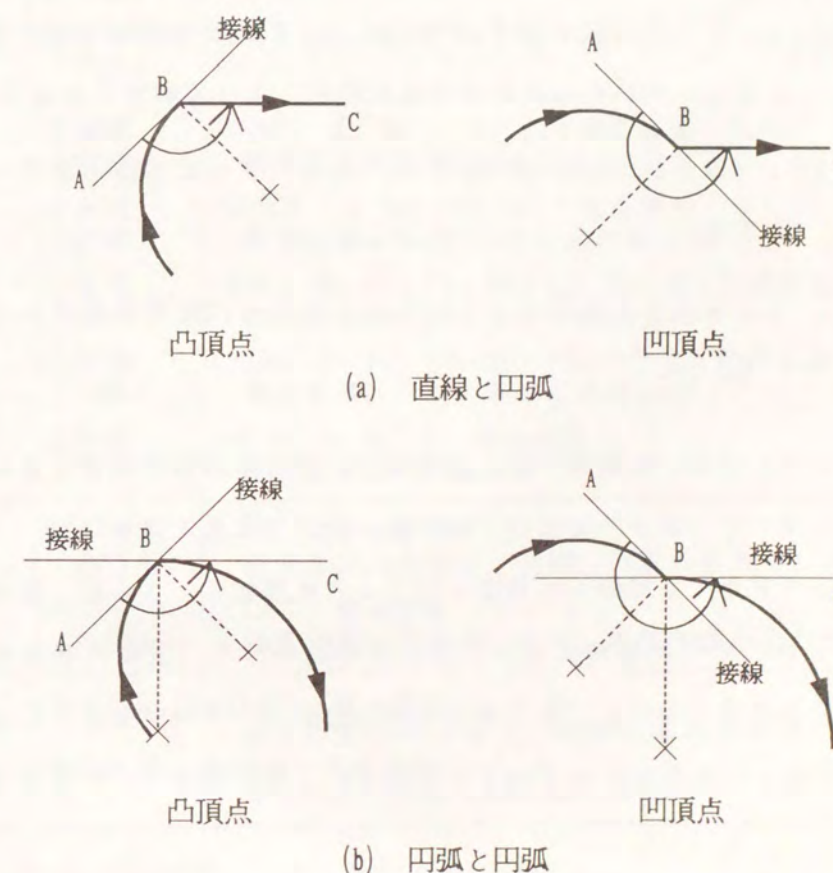


図 3.11 : 円弧を含む図形における頂点の凹凸性

図3.1.1において線分および円弧に付した矢印は、図3.2と同様、図形の図と地を表すためのもので、矢印の方向へ向かって右が図形の内側（図）、左が図形の外側（地）を示す。

上述の定義の追加と拡張によっても、前述の命題1～8はすべてそのまま保持される。また、仮説1～5もすべて採用する。したがって、各処理のステップを次のように修正すればよい。

ステップ1'： 重複シルエット図形の凹頂点から外部輪郭線を図形の内側方向へ性質を保持したまま、すなわち直線は直線で円弧は円弧で、他の外部輪郭線との交点まで延長した線を分離候補線として生成し、初期シルエット図形に付加する。

ステップ2'： 生成された分離候補線が交差する場合はその交点で分離候補線の双方を互いに分割し、また、外部輪郭線が分離候補線と接する場合はその接点で外部輪郭線をすべて分割する。

ステップ3'： すべての複合線分について、いずれのモデルに相当するか判定し、それぞれの場合の生成規則により辺候補を生成する。

ステップ4'： 得られた辺候補の組から、閉ループをなす図形をすべて抽出する。

ステップ5'： 抽出された閉ループのうち、冗長な凹図形を結果から削除する。

ここで、ステップ2'から5'は、表現については多角形の場合とまったく同様であるが、すべて“線分”および“線”を一般的な定義とは異なり、“直線または円弧のいずれか”と解釈して処理を行うよう拡張する。さらに、複合線分に関して、細分された外部輪郭線および分離候補線のうち、直線の場合は一直線上、円弧の場合は同一円周上にありかつ連続した線分を連結することによってできる最も長い線分の組み合わせすべてをそれぞれ“複合線分”とするように拡張する。

このようにすることで、辺候補生成規則も全く同様のものが適用できる。

3.6 実験結果

3.6.1 図形のデータ表現

作成した実験システムでは、取扱うデータは既に初期および中間視覚に相当する処理は終わっているものとし、輪郭線図形の各座標値が数値として与えられているものと仮定した。

表3.1： 図形データの書式

ラベル	意味	形式
SLINE	直線	(SLINE (Xs Ys) (Xe Ye))
SARC	円弧	(SARC (Xs Ys) (Xe Ye) (Xc Yc) R)
CIRCLE	円	(CIRCLE (Xc Yc) R)
CLINE	分離候補線 (直線)	(CLINE (Xs Ys) (Xe Ye))
CARC	分離候補線 (円弧)	(CARC (Xs Ys) (Xe Ye) (Xc Yc) R)
CCIR	分離候補線 (円弧)	(CCIR (Xc Yc) R)
HCNCT	辺候補 (直線)	(HCNCT (Xs Ys) (Xe Ye) (構成要素 . . .)) 構成要素はSLINEおよびCLINEの組み合わせ
SCNCT	辺候補 (直線)	(SCNCT (Xs Ys) (Xe Ye) (構成要素 . . .)) 構成要素はSLINEのみの組み合わせ
HCNA	辺候補 (円弧)	(HCNA (Xs Ys) (Xe Ye) (Xc Yc) R (構成要素 . . .)) 構成要素はSARCおよびCARCの組み合わせ
SCNA	辺候補 (円弧)	(SCNA (Xs Ys) (Xe Ye) (Xc Yc) R (構成要素 . . .)) 構成要素はSARCのみの組み合わせ
CCIR	辺候補 (円)	(CCIR (Xc Yc) R (構成要素 . . .)) 構成要素はSARCおよびCARCの組み合わせ
CLST1	閉ループ (凸図形)	(CLST1 (構成要素 . . .)) 構成要素は辺候補、直線、円弧の組み合わせ
CLST2	閉ループ (凹図形)	(CLST2 (構成要素 . . .)) 構成要素は辺候補、直線、円弧の組み合わせ
CLOSE	入力図形	(CLOSE (構成要素 . . .)) 構成要素はSLINEおよびSARCの組み合わせ
DSLX	分離結果	(DSLX (構成要素 . . .)) 構成要素は閉ループの組み合わせ

Xs: 開始点のX座標値 Ys: 開始点のY座標値

Xe: 終了点のX座標値 Ys: 終了点のY座標値

Xc: 中心点のX座標値 Yc: 中心点のY座標値 R: 円または円弧の半径

本論文で提案するシステムでは、図形のデータ表現としてリスト（S式）による表現を採用した。リストは階層的かつ再帰的な記述によるデータ構造の表現が容易であり、このことは、複数の線分が連結されて1本の線を構成していたり、さらにその線が複数で多角形を構成しているというような重複分離手法の処理で取り扱う図形データに頻出するような形状の表現に適している。

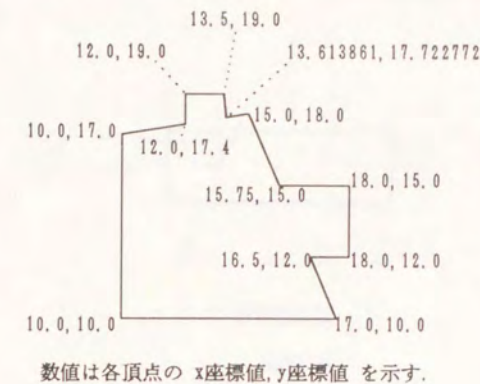
表3.1に図形データの書式を示す。ここで、点の座標はすべて（X座標値 Y座標値）というリストにより表現する。さらにこれを組み合わせることにより直線や円弧を表現する。

また、このようなS式によるデータ表現により、前述の図3.8の例を処理し結果を得た場合のデータを図3.12および図3.13に示す。

3.6.2 重複図形の分離結果

提案した重複図形分離手法による実験システムをLisp言語[Foderaro83]を用いてエンジニアリングワークステーション（CPU：M68030，処理速度：約4.3MIPS）上で実現した。処理結果の例を図3.14に示す。また、図3.8，図3.14および次節の図3.15の入力図形を処理した場合の処理に要する時間を表3.2に示す。

輪郭線図形

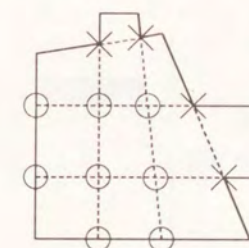


入力データ（リスト形式）

```
(LOOP (SLINE (10.000000 10.000000) (17.000000 10.000000))
      (SLINE (17.000000 10.000000) (16.500000 12.000000))
      (SLINE (16.500000 12.000000) (18.000000 12.000000))
      (SLINE (18.000000 12.000000) (18.000000 15.000000))
      (SLINE (18.000000 15.000000) (15.750000 15.000000))
      (SLINE (15.750000 15.000000) (15.000000 18.000000))
      (SLINE (15.000000 18.000000) (13.613861 17.722772))
      (SLINE (13.613861 17.722772) (13.500000 19.000000))
      (SLINE (13.500000 19.000000) (12.000000 19.000000))
      (SLINE (12.000000 19.000000) (12.000000 17.400000))
      (SLINE (12.000000 17.400000) (10.000000 17.000000))
      (SLINE (10.000000 17.000000) (10.000000 10.000000))
    )
```

(a) 初期外部輪郭線図形

図形



×で示した点が分離候補線の始点
○で示した点で分割する

処理データ（分離候補線を付加）

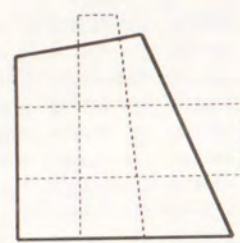
```
(CNDAD (SLINE (10.0 10.0) (17.0 10.0))
      (SLINE (17.0 10.0) (16.5 12.0))
      (SLINE (16.5 12.0) (18.0 12.0))
      (SLINE (18.0 12.0) (18.0 15.0))
      (SLINE (18.0 15.0) (15.75 15.0))
      (SLINE (15.75 15.0) (15.0 18.0))
      (SLINE (15.0 18.0) (13.613861 17.722772))
      (SLINE (13.613861 17.722772) (13.5 19.0))
      (SLINE (13.5 19.0) (12.0 19.0))
      (SLINE (12.0 19.0) (12.0 17.4))
      (SLINE (12.0 17.4) (10.0 17.0))
      (SLINE (10.0 17.0) (10.0 10.0))
      (CLINE (16.5 12.0) (15.75 15.0))
      (CLINE (16.5 12.0) (10.0 12.0))
      (CLINE (15.75 15.0) (10.0 15.0))
      (CLINE (13.613861 17.722772) (12.0 17.4))
      (CLINE (13.613861 17.722772) (14.302322 10.0))
      (CLINE (12.0 17.4) (12.0 10.0))
    )
```

分離候補線

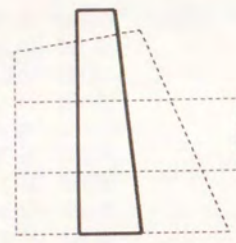
(b) 分離候補線

図3.12： 輪郭線図形と分離候補線のデータ表現

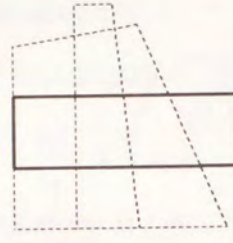
分離結果図形



(a) 要素図形 1



(b) 要素図形 2



(c) 要素図形 3

出力データ (リスト形式)

```
(DISLV
  (CLST1 (SLINE (12.0 10.0) (14.302322 10.0))
    (HCNCT (14.302322 10.0) (13.5 19.0)
      ((CLINE (14.302322 10.0) (13.613861 17.722772))
        (SLINE (13.613861 17.722772) (13.5 19.0))))))
  (SLINE (13.5 19.0) (12.0 19.0))
  (HCNCT (12.0 19.0) (12.0 10.0)
    ((SLINE (12.0 19.0) (12.0 17.4))
      (CLINE (12.0 17.4) (12.0 10.0))))))
)
  (CLST1 (SLINE (10.0 10.0) (17.0 10.0))
    (HCNCT (17.0 10.0) (15.0 18.0)
      ((SLINE (17.0 10.0) (16.5 12.0))
        (CLINE (16.5 12.0) (15.75 15.0))
        (SLINE (15.75 15.0) (15.0 18.0))))))
  (HCNCT (15.0 18.0) (10.0 17.0)
    ((SLINE (15.0 18.0) (13.613861 17.722772))
      (CLINE (13.613861 17.722772) (12.0 17.4))
      (SLINE (12.0 17.4) (10.0 17.0))))))
  (SLINE (10.0 17.0) (10.0 10.0))
)
  (CLST1 (HCNCT (10.0 12.0) (18.0 12.0)
    ((CLINE (10.0 12.0) (16.5 12.0))
      (SLINE (16.5 12.0) (18.0 12.0))))))
  (SLINE (18.0 12.0) (18.0 15.0))
  (HCNCT (18.0 15.0) (10.0 15.0)
    ((SLINE (18.0 15.0) (15.75 15.0))
      (CLINE (15.75 15.0) (10.0 15.0))))))
  (SLINE (10.0 15.0) (10.0 12.0))
)
)
```

要素図形 2

要素図形 1

要素図形 3

図 3.13 : 分離結果のデータ表現

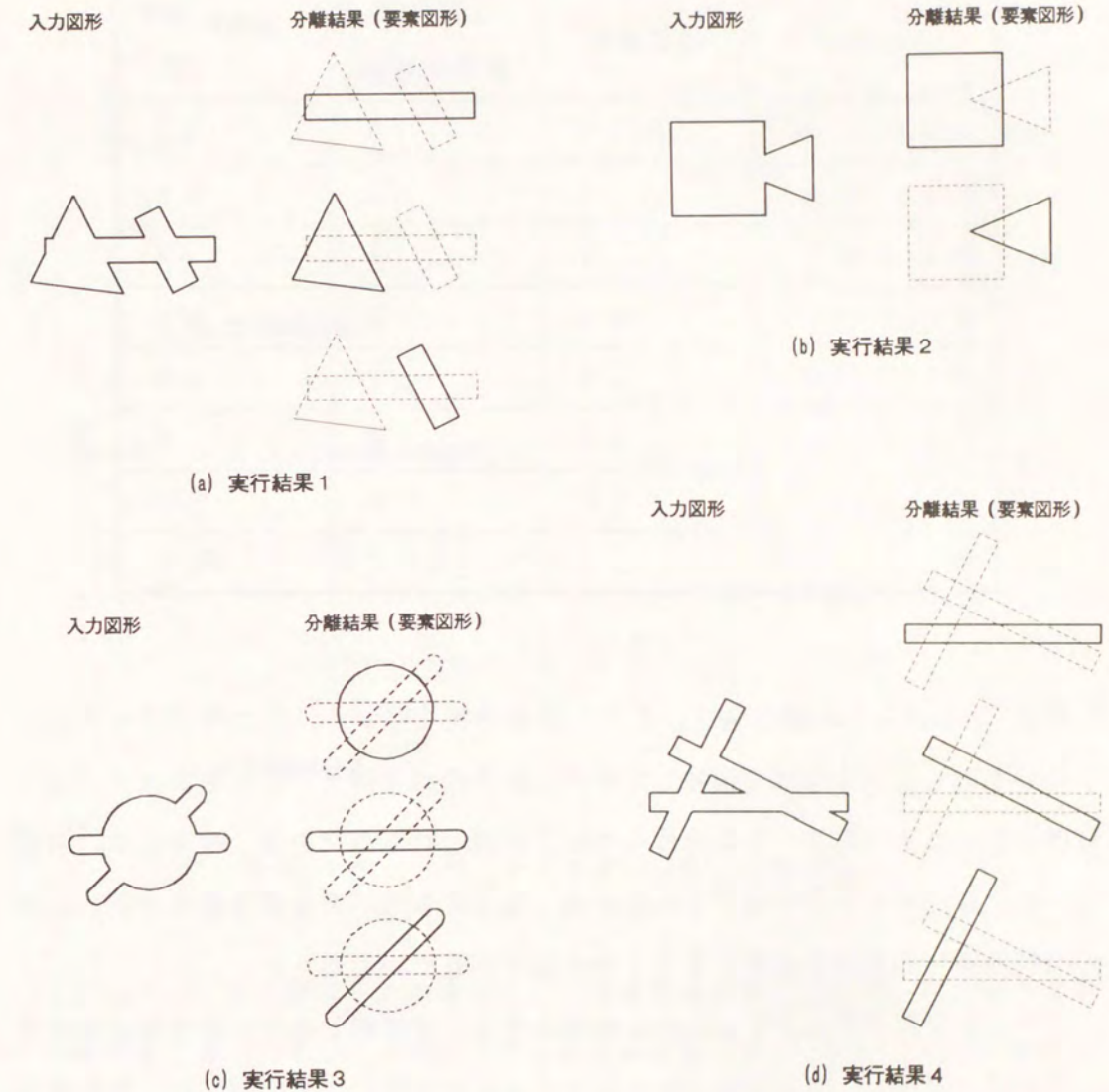


図 3.14 : 重複分離の処理結果の例

図 3.14(b) の例で、三角形の要素図形の重複部分が、3.4.2 で提案したモデル 1 に相当する。それ以外の多くは重複の様態のうち交差している場合であるためモデル 2 が適用される。また、(d) 図の例のように重複図形の中に中空の部分が存在する場合は、本論文における重複シルエット図形の定義を逸脱するものの、本手法は 1 次元上での性質のみに基づく規則で処理するため、合理的な結果が得られたものと考えられる。

表 3.2 : 処理に要する時間

入力図形	辺候補数	分離結果 要素図形数	処理時間 [秒]
図 3.8	20	3	4.0
図 3.14(a)	13	3	3.5
図 3.14(b)	9	2	8
図 3.14(c)	61	3	9.2
図 3.14(d)	12	3	4.8
図 3.15(a)	15	2	8
図 3.15(b)	12	3	3.9
図 3.15(c)	15	2	1.2

表 3.2 に示した処理時間は、CPU 専有時間ではなく、入力図形データのファイルを読み込んで処理を開始してから、結果の要素図形データを出力ファイルに書き込むまでの端末上での操作の時間を計測したものである。同表より、辺候補の数が多いほど処理に要する時間が長くなっており、でき得る限り少数のかつ可能性の高い辺候補を生成することが重要であるといえる。

また、いずれの例も約 2 分以内で処理された。本実験システムはさほど高速ではないワークステーション上で Lisp インタプリタにより作成した。それを用いて測定した結果であることを考慮すれば、この程度の時間で処理することができれば提案した手法は CAM システムへの応用も十分な実用性があるものと考えられる。

3.7 CAM システムにおける図面認識への応用

NC パンチプレスによる加工においてしばしば現れる、複数の工具での打ち抜きによって工作されるような穴の形状を、試作した重複図形分離システムにより処理した例を図 3.15 に示す。

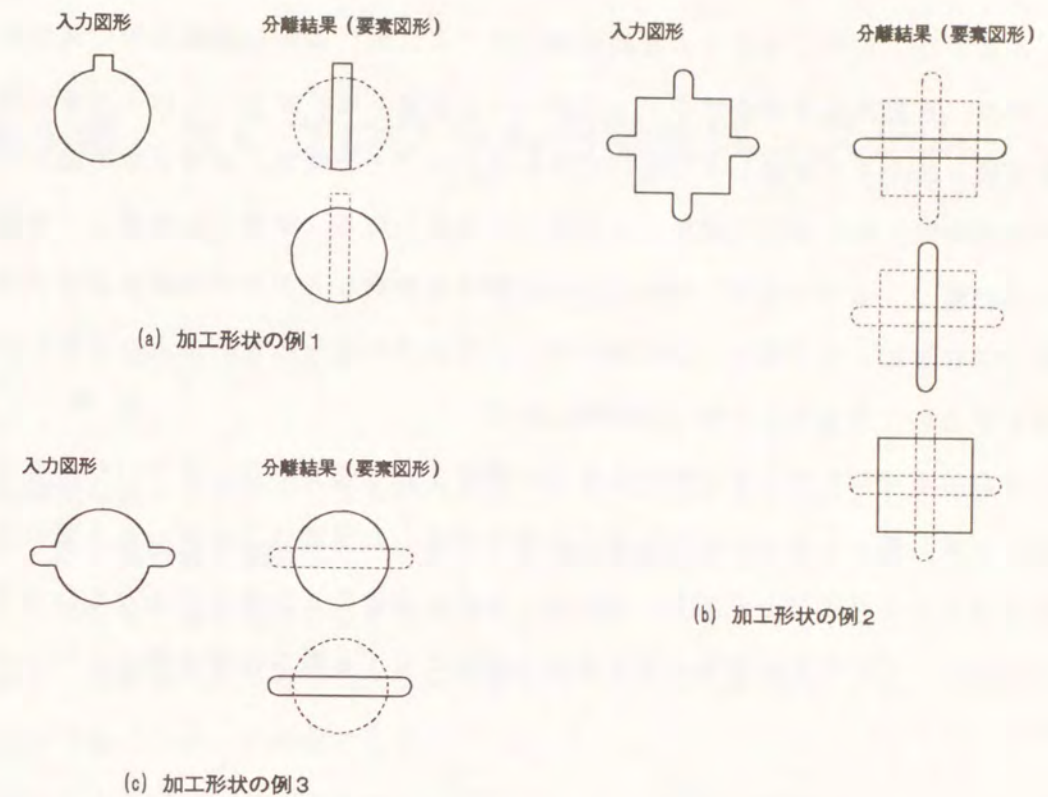


図 3.15 : パンチプレス加工形状の処理例

このように、加工形状を入力図形として重複図形分離手法を用いて、要素図形に分離することにより、CAM システムにおいて続く NC プログラムの作成処理での工具の形状との照合を行う際に、加工形状のどの部分と照合を取ればよいかという指標が与えられる。その結果、すべての場合について網羅的に試す必要がなくなり、本来ならば工具形状と適用位置を組み合わせ的に試行しなければならない照合操作を効率よく処理することができる。また、加工形状のデータは設計図面における製品の外形線に相当するため、1つの工具で加工する部分が図形データの系列中ではかけ離れた箇所に存在することが多いが、重複分離処理を施すことにより合理的な図形データの組を抽出しているということもできる。

なお、ここでは便宜上“図面”と呼んだが、重複分離システムが実際に取り扱うデータは、図 3.12 に示したような座標値を数値データによって表した図形データを想定している。このような図形データは CAD/CAM システムのうち CAD システムのとくに製図機能により容易に作成できるものと考えられる。

3.8 結 言

本章では、NCプログラム自動生成システムにおける図面認識処理に利用するための、重複図形分離手法のアルゴリズムを提案した。また、この手法を実現する実験システムを作成しその実行結果を示した。その結果、重複分離の能力および処理時間ともに実用可能性のあるものと考えられる。提案した手法は、構成的手法に基づくものであり、物体の形状に関する特別なモデルや知識を必要とせず端点の性質による分類と、辺に関する1次元上での若干の規則により手続きが実現できるので簡潔なシステムが構築し得る。

一般に重複図形の分離に関する手法の提案には、視覚心理に基づいた結果を得ることを目的としたものが多いが、本章で提案した手法は、必ずしも人間の主観にあった分離結果でなくても、次に続く処理における工具をモデルとしたパターンマッチングを容易にするための前処理過程として必要な結果を得るという立場をとった。

第4章 NCプログラム自動生成システム

4.1 緒 言

本論文の第2章では、CAD/CAMシステムの高度化の試みとしてNCプログラムの自動生成を提案した。また、その図面認識処理に応用するための図形処理の手法として重複図形分離手法を第3章において議論した。本章ではこれらを統合して図面からのNCプログラム自動生成システム〔若林93〕として実現するための枠組みについて議論する。

従来のCAMシステムにおけるNCデータ作成の自動化の試みでは、図形の座標値の計算など幾何学的な性質に依存する定型処理部分を対象としたものがほとんどであり、加工方法や加工順序の決定などの不定型な処理については人間が判断を下しシステムに伝えるといった会話型システムが多くみられる。これに対し、本章で述べるシステムは基本的には人間の判断を必要とせず、図面データから直接Gコードプログラムを作成することを目的とする。このシステムが実現されれば、たとえ、最終的にプログラムの僅少な修正を人間が行ったとしても、従来すべて手作業によっていたプログラム作成のほとんどの部分が自動化されることとなり、作業効率の改善は顕著なものになると予想される。本システムのようにできる限り人間の介入を少なくする試みは、CAMシステムの自動化のレベルを向上するものとして今後重要な課題となるものと思われる。

このようなNCプログラム自動生成システムを利用したプログラムの開発環境の提案については第5章において詳述することとし、本章では、NC加工プログラム自動生成システムについて、その実現を中心に述べる。本システムは人工知能の一分野として議論される自動プログラミングの実例とも言うことができ、初めにこのような視点から本システムの位置づけを検討する。そののち、図面認識

モジュールおよびプログラム生成モジュールの2つにモジュール化して実現したシステムの概要について述べ、さらに実行結果を示す。

4.2 NCプログラム自動生成システムの概要

4.2.1 NC加工と自動プログラミング

自動プログラミングは、プログラム作成過程の一部を自動化しようとするものである。人工知能の応用としての自動プログラミングでは、一般に計算機プログラムを対象とし、プログラマが大規模なプログラムを管理するのを支援するシステムや、仕様から小規模のプログラムを作成するシステムなどが提案されてきた。自動プログラミングシステムは、(1)仕様記述法、(2)目標言語、(3)問題分野、(4)アプローチという4つの特徴で分類することができる。

自動プログラミングの初期の研究は、より抽象度の高い記述形式による仕様からプログラムコードを自動的に生成するということに集中していたが、それらは実用水準に達したものは少ない[Barr82]。近年は自動生成ということから、既に作成され使用されたプログラムの再利用を可能にするような計算機支援の枠組みの提案などに研究動向が移行しつつある。CASEシステムは、このようなプログラムの部品化などにより再利用を可能にする、ソフトウェア工学の分野における最近の成果といえる。

本システムは、いわば従来型の自動プログラミングの考え方と類似した点を多くもつ。すなわち、前述の4つの特徴で分類すると次のように説明することができる。

(1)仕様記述法 図面という形式を用いて、加工したい形状を表現した仕様を与える。製図図面は、機械加工設計において一般的に用いられる表現形式である上、抽象度が高いにもかかわらず、完全さが失われていないという点で自動プログラミングに適した仕様記述形式といえることができる。

(2)目標言語 目標言語は、NC機械を制御する言語体系であり、具体的にはGコードプログラムを用いる。NCプログラム言語は、計算機プログラム言

語と比して、基本的に分岐や繰り返しなどの複雑な制御構造がないため、プログラムの自動生成における困難さは幾分軽減される。

(3)問題分野 扱う問題分野は、図面認識過程で必要となる座標計算を含む図形処理と、Gコード生成過程における簡単な選択と順序づけである。

(4)アプローチ 図形処理の部分には、前章で述べたパターン認識の一分野である重複図形分離手法を適用し、また、加工方法、加工順序の決定には専門家知識を予め手続き的に記述しておくという知識工学的手法を利用する。

以上の特徴により、NC加工におけるプログラムの自動生成という例題は、実用性の高いシステムの構築が可能であるものと考えられる。

4.2.2 NCパンチプレス加工プログラム自動生成システム

図4.1に示す処理の流れによってNCプログラム自動生成システムの実現を試みる。

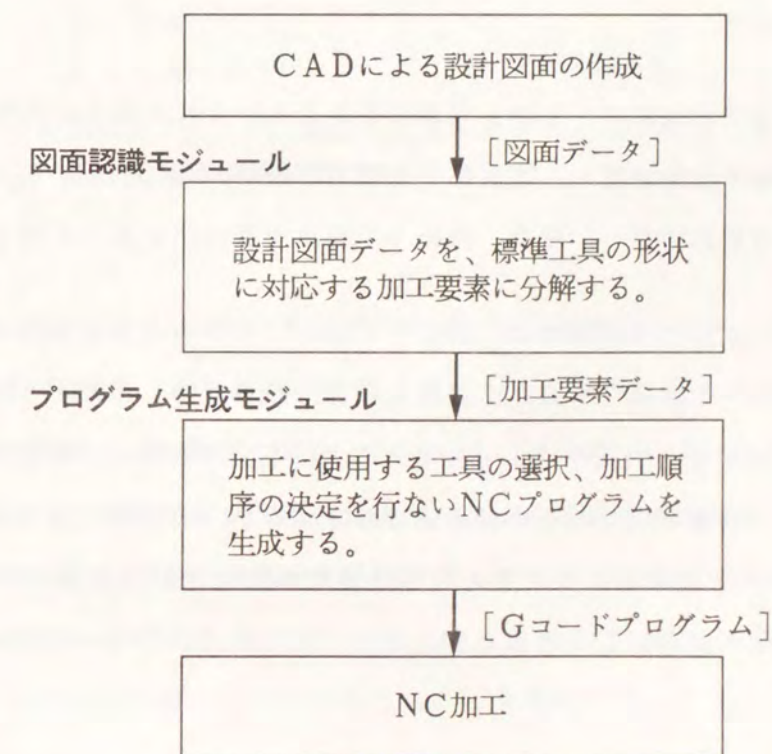


図4.1: NCパンチプレス加工プログラム自動生成の処理の流れ

システム構成の概略は、同図に示したとおり、図面認識およびプログラム生成の2つのモジュールを順次実行することにより加工プログラムを作成する。図面認識モジュールにおいては、CADシステムにより作成された図面のデータを入力し、第3章において提案した重複図形分離手法を適用することにより、複数の工具を組み合わせて加工する必要がある形状を、各々の工具の形状に対応する加工要素にまで分解する。続いてプログラム生成モジュールでは、予め使用可能な工具に関する情報が蓄積されているデータベースを参照しながら、図面認識モジュールにおいて分解された加工要素を加工するために、使用する工具の選択を行い、全体の加工順序を決定してGコードプログラムを作成する。

4.3 図面認識モジュール

このモジュールは、製品の仕様として与えられる設計図面のデータをCAD形式で入力し、その形状を認識するためのものである。具体的には次のような手順を踏んで処理を行う。

- (1) CAD形式の入力データから閉図形を抽出し、S式の形式に変換する。
- (2) 重複分離手法を適用し、閉図形を凸図形の組合わせに分解する。
- (3) 分解された凸図形と、標準工具のうち合致する形状があるか判定する。

このモジュールにおける処理では、図形を形状としてのみとらえるので、分解された加工要素は、1回の打ち抜きに相当するとは限らない。どのように加工するかは、次のプログラム生成モジュールで決定される。その際に、重複図形分離手続きにおける外部輪郭線であるか分離候補線であるか、すなわち図面中の外形線であったか形状認識の際につけ加えた補助線であるかという情報が重要となる。分解された加工要素はこの情報を含んだ形で、次のプログラム生成モジュールに受け渡す。

4.3.1 CAD形式データから閉図形S式データへの変換

本システムでは、入力として与える製品の仕様を表した製図図面は、CADシステムで作成することを想定し、CAD形式で表現されているものとする。表4.1に、本システムで仮定したCAD形式データの書式を示す。

表4.1: CAD形式データの書式

ラベル	意味	書式
SLINE	直線	SLINE Xs Ys Xe Ye
CIRCLE	円	CIRCLE Xc Yc R
ARC	円弧	ARC Xc Yc R Xs Ys Xe Ye
WORK	材料の寸法	WORK X Y
RANGE	表示範囲	RANGE Xs Ys Xe Ye

XS: 開始点のX座標値 Ys: 開始点のY座標値
 Xe: 終了点のX座標値 Ye: 終了点のY座標値
 Xc: 中心点のX座標値 Yc: 中心点のY座標値
 R: 半径
 X: X方向長さ Y: Y方向長さ

※RANGEコマンドは画面上に表示する際にのみ使用され図形の表現には直接関係ない。

CAD形式で与えられた図面データは、製図図面上に散財した別々の幾何要素の集まりである。すなわち、図形ごとにデータがまとめられているわけではなく、線や円弧などの要素が順序と関係なく記述されている。したがって、ここではそのような幾何要素から閉図形をなしている要素を抽出してグループ化し、1つのリストとして次の重複分離手続きに入力できるようにS式の形式に変換する必要がある。S式データの形式としては、表3.1に示した重複図形分離の実験システムで用いた書式と同じものをここでも利用する。図4.2および図4.3に処理例を示す。

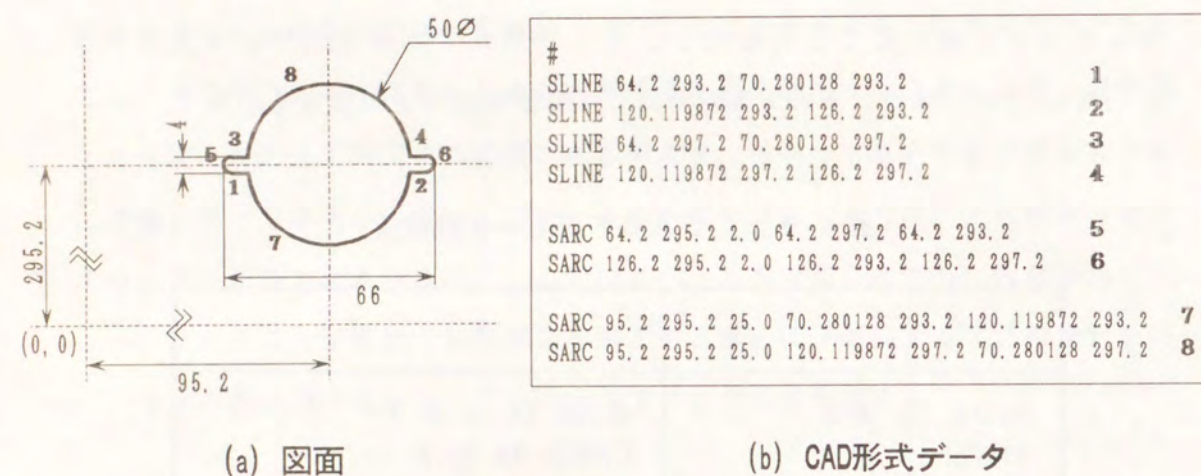
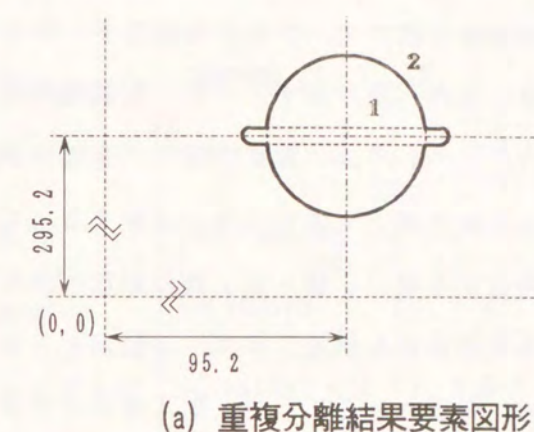


図4.2: CAD形式による図面の表現

(CLOSE	(SLINE (64.200000 293.200000) (70.280128 293.200000))	1
	(SARC (70.280128 293.200000) (120.119872 293.200000)	7
	(95.200000 295.200000) 25.000000)	
	(SLINE (120.119872 293.200000) (126.200000 293.200000))	2
	(SARC (126.200000 293.200000) (126.200000 297.200000)	6
	(126.200000 295.200000) 2.000000)	
	(SLINE (126.200000 297.200000) (120.119872 297.200000))	4
	(SARC (120.119872 297.200000) (70.280128 297.200000)	8
	(95.200000 295.200000) 25.000000)	
	(SLINE (70.280128 297.200000) (64.200000 297.200000))	3
	(SARC (64.200000 297.200000) (64.200000 293.200000)	5
	(64.200000 295.200000) 2.000000)	
)		

図4.3: CAD形式から変換したS式閉図形データ



(DISLV		
(CLST1		
(HCNCT	(64.2 293.2) (126.2 293.2)	
	((SLINE (64.2 293.2) (70.280128 293.2))	
	(CLINE (70.280128 293.2) (120.119872 293.2))	
	(SLINE (120.119872 293.2) (126.2 293.2)))	
)		
(SARC	(126.2 293.2) (126.2 297.2) (126.2 295.2) 2.0)	
(HCNCT	(126.2 297.2) (64.2 297.2)	
	((SLINE (126.2 297.2) (120.119872 297.2))	
	(CLINE (120.119872 297.2) (70.280128 297.2))	
	(SLINE (70.280128 297.2) (64.2 297.2)))	
)		
(SARC	(64.2 297.2) (64.2 293.2) (64.2 295.2) 2.0)	
)		
(CLST1		
(CCIR	(95.2 295.2) 25.0	
	((SARC (120.119872 297.2) (70.280128 297.2)	
	(95.2 295.2) 25.0)	
	(CARC (70.280128 297.2) (70.280128 293.2)	
	(95.2 295.2) 25.0)	
	(SARC (70.280128 293.2) (120.119872 293.2)	
	(95.2 295.2) 25.0)	
	(CARC (120.119872 293.2) (120.119872 297.2)	
	(95.2 295.2) 25.0))	
)		
)		
)		

(b) 要素図形S式データ

図4.4: 重複図形分離の結果得られた要素図形

4.3.2 重複図形分離手続きによる図面データから加工要素データへの分解

図面中の閉図形データのうち、1回の打ち抜きで加工できる単純な形状の穴については、重複図形分離の処理を通さず、そのまま図形データを加工要素データとして、次の金型形状分類の処理へ受け渡す。一方、複数回の打ち抜きで加工する必要がある複雑な形状の穴については、前章で述べた重複図形分離手法を利用して、その閉図形データを複数の加工要素データに分解する。すなわち、穴開け加工時の工具の重なりに対応する部分を個々の工具の形状へ分解する処理を、閉図形データで表されている穴の形状を重複シルエット図形とみなした、分離手続きによる要素図形への分解に帰着させることで、加工要素データを得る。この処理は、図2.3に示したように標準工具の形状はすべて凸図形であり、図面中の凹図形は必ず複数の工具形状を組み合わせて加工される穴であるという仮定に基づいて行う。

この処理結果の加工要素図形データについても、表3.1に示した書式を利用する。例として図4.3のデータを処理した結果を図4.4に示す。

4.3.3 基本金型形状への分類

この処理では、加工要素データへの分解処理で得られた重複図形分離結果の要素図形データを含む図形データの形状が、基本金型のうち何れの形状に合致するかを、すべての図形データについて判定する。ただし、加工要素図形データの凸図形でも何れの金型の形状にも合致しない図形データは、続くプログラム生成モジュールにおいて加工方法を決定するものとし、ここの処理では未処理として、もとの図形データのまま出力する。

通常、NC Tで加工するための設計図面では、基本金型の組み合わせで加工できる形状のみが含まれる。したがって多くの場合、分離された要素図形は基本金型の形状に対応するので、各要素図形ごとに金型のどの形状に相当するかを識別することが可能である場合が多い。

表4.2: 加工要素データの書式

ラベル	形状	書式
ROUND0	丸	(ROUND0 (Xc Yc) R)
SQUARE0	角	(SQAURE0 (Xc Yc) A T ((X1 Y1) (X2 Y2) (X3 Y3) (X4 Y4)))
RECTANGLE0	長角	(RECTANGLE0 (Xc Yc) A B T ((X1 Y1) (X2 Y2) (X3 Y3) (X4 Y4)))
OBROUND0	長丸	(OBROUND0 (Xc Yc) A B T ((X1 Y1) (X2 Y2) (X3 Y3) (X4 Y4)))
SINGLED0	シングルD	(SINGLED0 (Xc Yc) B D T ((X1 Y1) (X2 Y2)))
DOUBLED0	ダブルD	(DOUBLED0 (Xc Yc) B D T ((X1 Y1) (X2 Y2) (X3 Y3) (X4 Y4)))
ROUND1	丸	(ROUND1 (Xc Yc) R (構成要素))
SQUARE1	角	(SQAURE1 (Xc Yc) A T ((X1 Y1) (X2 Y2) (X3 Y3) (X4 Y4)) (構成要素))
RECTANGLE1	長角	(RECTANGLE1 (Xc Yc) A B T ((X1 Y1) (X2 Y2) (X3 Y3) (X4 Y4)) (構成要素))
OBROUND1	長丸	(OBROUND1 (Xc Yc) A B T ((X1 Y1) (X2 Y2) (X3 Y3) (X4 Y4)) (構成要素))
SINGLED1	シングルD	(SINGLED1 (Xc Yc) B D T ((X1 Y1) (X2 Y2)) (構成要素))
DOUBLED1	ダブルD	(DOUBLED1 (Xc Yc) B D T ((X1 Y1) (X2 Y2) (X3 Y3) (X4 Y4)) (構成要素))
UNDECIDE0	該当する 形状なし	(UNDECIDE0 (閉ループ)) 閉ループは表3.1に示したもの ただし、外部輪郭線のみ
UNDECIDE1	該当する 形状なし	(UNDECIDE1 (閉ループ)) 閉ループは表3.1に示したもの ただし、分離候補線を含む

Xc: 中心点のX座標値

Yc: 中心点のY座標値

R: 直径(丸)

X1~X4: 各頂点のX座標値

Y1~Y4: 各頂点のY座標値

A: 1辺の長さ(角)

A: 短辺の長さ(長角, 長丸)

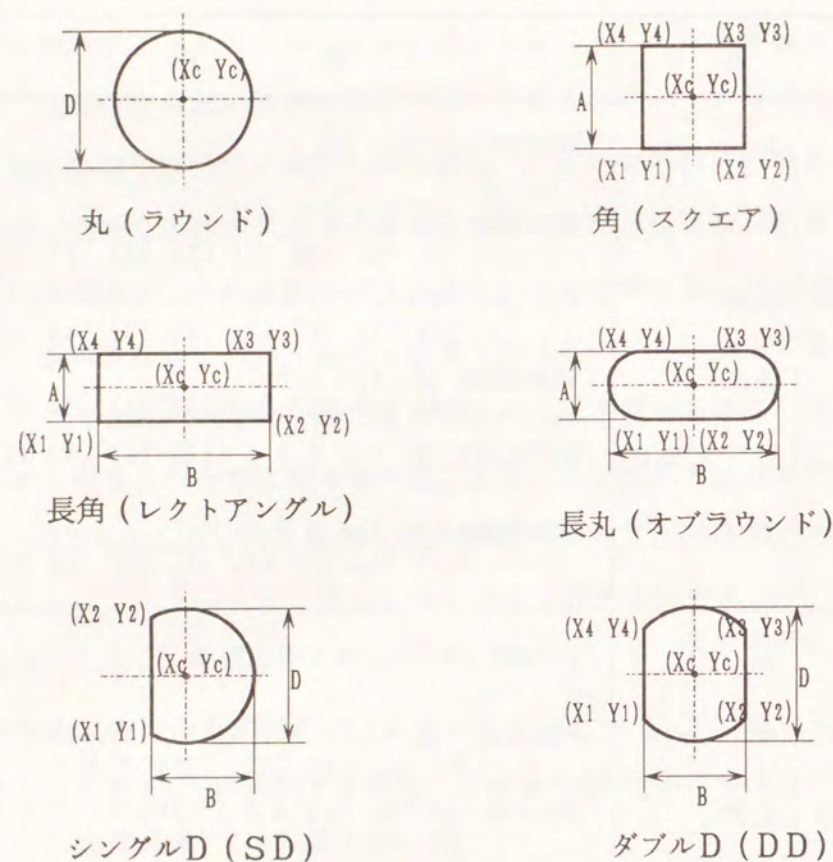
B: 長辺の長さ(長角, 長丸)

B: 幅(シングルD, ダブルD)

D: 直径(シングルD, ダブルD)

T: 水平方向との角度

※構成要素は、表3.1に示した閉ループの構成要素と同じ形式を用いる。



T は、水平方向と工具との角度

図4.5: 加工要素データのパラメータの意味

この処理の結果、表4.2に示す形式の加工要素データが得られる。表中の“ラベル”の意味する形状は基本金型を示した図2.3に対応しており、末尾の“0”および“1”は、“0”が重複分離において要素図形がすべて外部輪郭線で構成されるもの、“1”が分離候補線を含むものを示す。

```

(HOLE2
(OBROUND1 4.0 66.0 0.0 (95.2 295.2)
(64.2 293.2)
(126.2 293.2)
(126.2 297.2)
(64.2 297.2)
(HCNCT (64.2 293.2) (126.2 293.2)
((SLINE (64.2 293.2) (70.280128 293.2))
(CLINE (70.280128 293.2) (120.119872 293.2))
(SLINE (120.119872 293.2) (126.2 293.2))))
(SARC (126.2 293.2) (126.2 297.2) (126.2 295.2) 2.0)
(HCNCT (126.2 297.2) (64.2 297.2)
((SLINE (126.2 297.2) (120.119872 297.2))
(CLINE (120.119872 297.2) (70.280128 297.2))
(SLINE (70.280128 297.2) (64.2 297.2))))
(SARC (64.2 297.2) (64.2 293.2) (64.2 295.2) 2.0)
)
)
(ROUND1 50.0 (95.2 295.2)
((CCIR (95.2 295.2) 25.0
((SARC (120.119872 297.2) (70.280128 297.2)
(95.2 295.2) 25.0)
(CARC (70.280128 1124578 297.2) (70.280128 293.2)
(95.2 295.2) 25.0)
(SARC (70.280128 293.2) (120.119872 293.2)
(95.2 295.2) 25.0)
(CARC (120.119872 293.2) (120.119872 297.2)
(95.2 295.2) 25.0))))
)
)
)

```

* 1 長丸, 2 丸 は 図4.4中の 1, 2 にそれぞれ対応する。

図4.6: 加工要素データ

4.4 プログラム生成モジュール

このモジュールではまず、図面認識モジュールで分解された各加工要素のデータから、それを加工するためのGコード1行を生成する操作を、すべての加工要素データについて行いプログラムの原型を作成する。ここでは、使用可能な工具をモデルとして、加工要素とモデルとの比較・照合により加工に必要な工具を選択する。ここで適当な工具が、実際に加工する機械に存在しなかった場合には、別の加工方法を利用するようなGコードを生成する。最後に生成されたGコ

ードの順序すなわち、加工の順序を決定する。

その手順は次のとおりである。

- (1) 加工方法を決定し対応するコードを生成する。
- (2) 加工順序を決定し、コードを並べ替えてリスト形式のプログラムを作成する。
- (3) Gコードプログラムの実行に先立ち、工作に用いる機械での金型の配置状況に合わせてプログラム中の金型情報を置き換える。

このうち、(3)は工作機械を稼働させる直前に処理を行うこととし、通常はNCプログラム自動生成システムによるプログラム生成の結果として、金型の配置状況に依存しないS式(リスト)形式でプログラムを保存しておくことを提案する。そのような形式のプログラムをl g p (List G-code Program)形式と呼ぶことにする。この形態をとることにより、作成したGコードプログラムの再利用が円滑に行えると考えられる。これについてはNCプログラミング環境に関する提案の1つとして第5章において詳しく議論する。

4.4.1 Gコードの生成

同じ形状を加工する場合でも、使用可能な工具によって加工戦略が異なる。実際に工作する機械で利用できる工具に関する情報がないとGコードを生成することはできない。そこで、使用可能な工具の種類および寸法を工具データベースとして予め準備する。この工具データベース中から、加工要素を加工するための工具を選択し、図面認識モジュールの処理結果として得られる加工要素データを、打ち抜く点の座標値と使用金型情報のデータの組に変換する。工具データベース中には使用可能な全金型について、金型の形状・寸法などの情報がそれぞれ記述されている。

```

;
; "tool.dat"   Tool Database
;
; Format:
; (Tool (Plac Size) Sno)
;
; Tool :
; (RO R)  -- Round
; (SQ A Ang)  -- Square
; (RE A B Ang)  -- Rectangle
; (OB A B Ang)  -- Obround
;
; Plac :
; Place to be set the tool.
;
; Size :
; Size of the tool.
;
; Sno :
; Serial Number of the Tool.
;
;
;
((RO 4.0)      (a 4.0)      1)
((RO 5.0)      (a 5.0)      2)
((RO 10.0)     (a 10.0)     3)
((RO 30.0)     (b 30.0)     4)
((RO 50.0)     (c 50.0)     5)
((SQ 10.0 0.0) (bs 14.1)    6)
((SQ 21.2 45.0) (bs 30.0)    7)
((SQ 35.0 0.0) (cs 50.0)    8)
((SQ 50.0 0.0) (ds 70.7)    9)
((RE 10.0 20.0 90.0) (bs 22.4) 10)
((OB 4.0 16.0 0.0) (bs 16.0) 11)
((OB 4.0 16.0 90.0) (bs 16.0) 12)

```

図4.7: 工具データベースの例

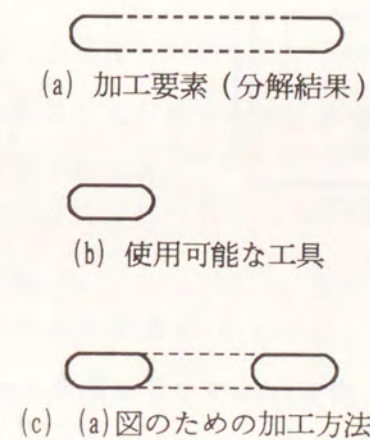


図4.8: 加工に使用する工具の選択

次に、加工方法を決定する規則の一例を述べる。図面認識モジュールで分解した結果、図4.8(a)に示した形状の加工要素データが得られた場合、工具データベース中に寸法が一致する金型が存在すれば、その金型を使うように1行のGコード(1回の打ち抜きに相当する)を生成する。しかし、そのような金型が存在しなかった場合には、外形線(図中実線)と内部輪郭線(図中点線)に注目して、少なくとも外形線の部分だけは加工できる金型を選択し、それを使ったGコードの系列に変換する。例えば、(b)図のような寸法の金型がデータベース中にあれば、(c)図のように2回の打ち抜きで(a)図中の外形線(実線部分)の形状をすべて加工できるので、これに対応する2行のGコードを生成する。この例では、同じ金型を2回使ったが、加工要素の形状によっては1つの要素に対し異なる金型を使ったGコード行を生成する場合もある。

加工方法決定のための規則には、図4.9に例示した、寸法の大きい角および丸に対するニブリング加工(寸法の小さな工具を移動させながら多数のパンチで1つの穴を加工する方法)で処理する規則も用意している。加工に使用する適切な工具が存在しなかった場合には、可能な限りニブリング加工のGコードを生成する。

この結果、図4.10に示した書式によるl g p形式のプログラムの原型を生成する。なおこの時点では、加工順序に関しては一切考慮されていない。

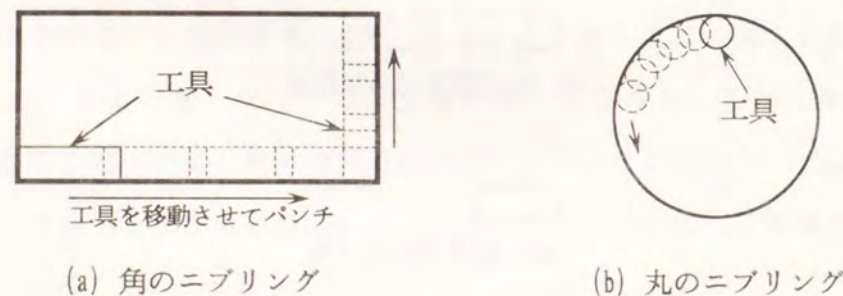


図4.9: ニブリング加工の例

(Gコマンド (Xc Yc) (金型情報) (付加情報))

Xc: 中心点のX座標値 Yc: 中心点のY座標値
金型情報: 工具データベース中の記述の1つ

図4.10: l g p形式のコードの書式

4.4.2 加工順序の決定

加工順序は、加工精度および加工時間に影響を与える重要な要素である。一連のGコードが生成された後、プログラム中のGコードの順序を適切に並べ換えて、最終的にNC加工プログラムとして出力する。加工順序に関して、いくつかの経験的な規則がある。例えば、加工精度に関しては、

- (1) 小さい穴から順次大きな穴を開けていく。
- (2) 同じ大きさの場合、角より丸を先に開ける。

という基本的な規則がある。なお、穴の大きさは工具の大きさに対応しており、形状が異なる場合でも、図2.3に示した金型サイズの値によって大きさを比較する。

また、加工時間を短縮するために、

- (1) 図面の右上から加工を開始し、最も短い経路をたどる順序で打ち抜きを続け、最後に再び図面の右上で加工を終了する。
- (2) 金型の変更回数を最少にする。

といった規則がある。

以上の規則を用いて、具体的には図4.11に示した方法で加工順序を決定する。まず、同一の金型で加工するGコードの行を選び出しそれをグループとする。そのグループを前述の加工精度に関する規則に従って並べ換える。工作機械に材料を配置したとき工具原点は右上にくるので、加工は図面の右上の位置から開始する。図4.11に矢印で示したとおり、同じ金型での加工を繰り返す。す

すべての加工が終了した後、再び右上の工具原点に戻るようにする。

なお、同図では図面上での加工経路を示したが、実際の加工では工具の位置は固定で、材料の方が移動して加工位置を変更するため、材料の動きは図面とは上下左右が逆になる。

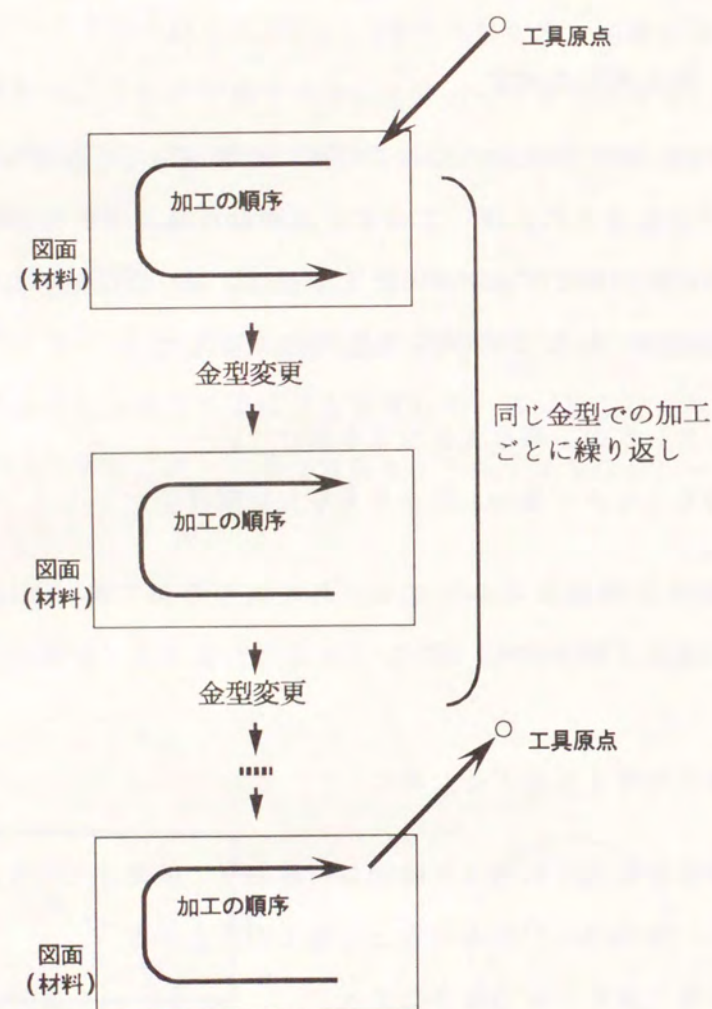
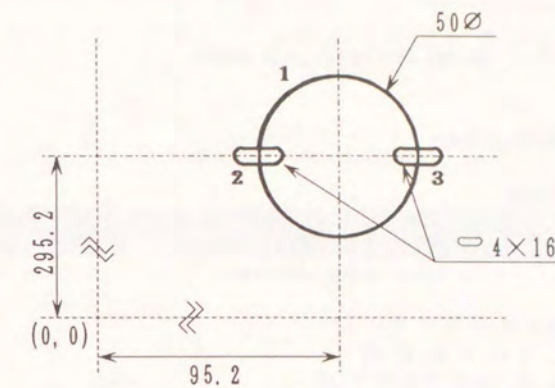


図4.11: 加工順序の決定



(a) 加工形状

```
(G92 (1270.0 1270.0))
(G90 (70.2 295.2) (OB 4.0 16.0 0.0))      2
(G90 (120.2 295.2) (OB 4.0 16.0 0.0))      3
(G90 (95.2 295.2) (RO 50.0))              1
(G50)
```

(b) l g pプログラム

図4.12: 生成されたl g p形式のNCプログラムの例

4.4.3 金型情報の置換

図4.12の例に示したように、l g p形式では加工に使用する金型は形状および大きさの記述のまま残されているが、実際にGコードプログラムとして工作機械を稼働させるには、その都度工作に使用する機械におけるタレット上の金型の配置状況に従って“T番号”に置き換える必要がある。そこで図4.13に示すような金型配置情報を参照することにより、このような置換を実行する。

```

;
; "sample.tcf" Turret Configuration Database
;
; Format:
; (ToolNo Type Tool)
;
; ToolNo :
; T Number
; Tool :
; One Entry in Tool Database
;
(T203 ((RO 4.0) (a 4.0) 1))
(T105 ((RO 30.0) (b 30.0) 4))
(T306 ((SQ 10.0 0.0) (bs 14.1) 6))
(T208 ((RO 5.0) (a 5.0) 2))
(T210 ((RO 50.0) (c 50.0) 5))
(T212 ((RO 10.0) (a 10.0) 3))
(T315 ((SQ 21.2 45.0) (bs 30.0) 7))
(T219 ((SQ 50.0 0.0) (ds 70.7) 9))
(T324 ((RE 10.0 20.0 90.0) (bs 22.4) 10))
(T228 ((SQ 35.0 0.0) (cs 50.0) 8))
(T333 ((OB 4.0 16.0 0.0) (bs 16.0) 11))
(T342 ((OB 4.0 16.0 90.0) (bs 16.0) 12))

```

図4.13: 金型の配置情報

4.5 実行結果

図面認識モジュールおよびプログラム生成モジュールはいずれも基本的にLisp言語を用いてエンジニアリングワークステーション上に実装した。ただし、図面認識モジュール中のCAD形式データから閉図形S式データへの変換部分のみC言語により作成した。

図4.14に示すCAD図面データを入力してシステムで処理し生成されたGコードプログラムを用い、シミュレーションツールによって加工の様子を表した結果が図4.15である。図中で、左上および右上の丸と長丸2つ、中央の角と長丸4つ、下左と下中央および下右の丸と角、のそれぞれの組み合わせで加工される穴が、図面認識モジュール中の重複図形分離手法を利用した部分により処理された部分である。

処理に要する時間は、速度約4.3MIPSのエンジニアリングワークステーショ

ンでLispインタプリタにより実行した場合、図4.14の例では、図面認識モジュールが約5分、プログラム生成モジュールが約7分である。

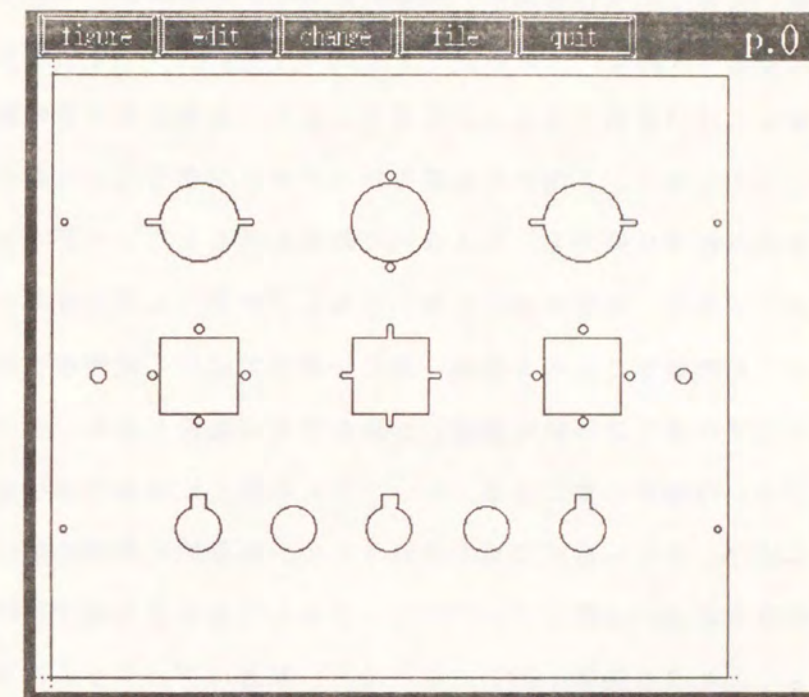


図4.14: 入力図面データ

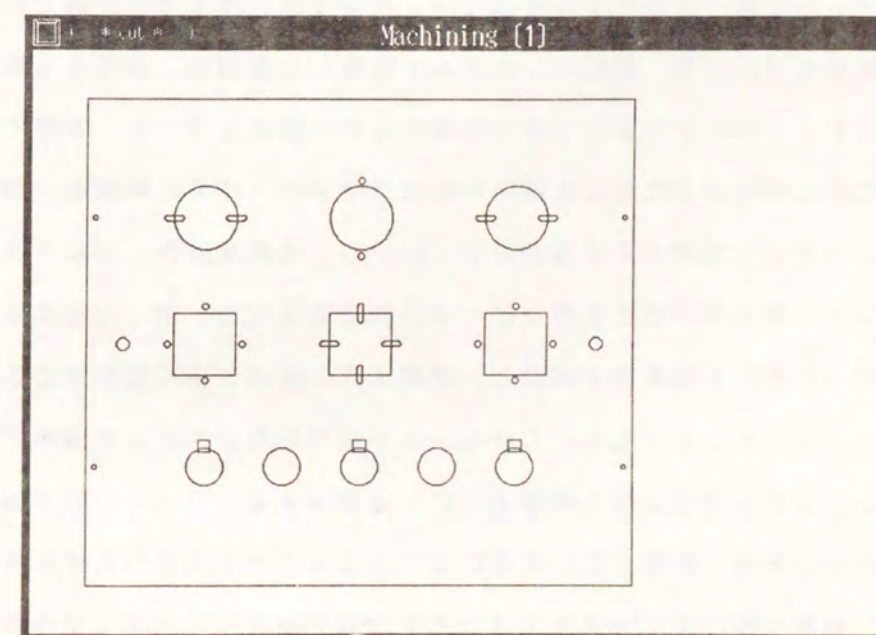


図4.15: シミュレーション結果

4.6 結言

CAMシステムにおける自動化のレベルの向上を目指し、図面データから自動的にNCプログラムを生成するシステムを提案し、その実現方法について検討した。本章において示した実行結果は、比較的低速の計算機において作成した実験システムによるものである。インタプリタではなくコンパイラを利用するなどの処理系の改善および計算機そのものの高速化により、処理に要する時間はさらに短縮されることが考えられる。人間が手作業でプログラミングを行った場合では、本章で示した程度の簡単な例でも、与えられた図面を読みとりコーディングしてプログラムの入力を終え、実際の加工に用いるNCプログラムができあがるまでには、プログラマの熟練度によるものの一般に分単位ではなく時間単位の作業を要する。そのうえ手作業では単純な間違いが発生する可能性もあり、デバッグまで考慮するとさらに時間が必要である。本システムを用いた場合には生成結果のNCプログラムはオンライン形式で出力されるため、自動的に実際の加工に用いる形式のものが得られる。人間がプログラミングを行う場合と比較すれば、本システムを用いることにより複雑な加工になるほど、顕著にプログラム作成時間の短縮が可能となろう。同時に、従来、熟練技術者が煩わされていたプログラミング作業の負担を軽減するのに十分な効果があると考えられる。

本システムのうち、プログラム生成モジュールでは、加工方法の決定のために手続き的規則を用いたが、現在のシステムで実現した規則は、適切な工具の選択またはニブリングのいずれかとする一般的なものに限定している。実際にあらゆる図面の形状に対応するためには規則の数は不十分で、さらに熟練者の知識を規則化してシステムに実装する必要がある。しかし、本研究はNCプログラムの自動生成システムの実現可能性を探ることが目的であるため、加工方法決定の規則については一般的なもののみを実装し、機械工作の技術に深く依存するような部分には立ち入らないこととした。しかし、より実用的なシステムを構築するためには、さらに柔軟な処理方法を検討していく必要がある。その1つの方向は、製品の機能を損なわない範囲で設計変更にまでおよんで加工方法の変更を可能とするような、設計支援にまで対象を広げた手法の開発があげられる〔金井93〕。

ところで、NCプログラム自動生成システムの実現方法を議論する過程で、G

コードプログラムの保存および再利用を容易にするl g p形式を提案した。本研究の目的の1つとしてプログラム生産の効率化があるが、作成作業の自動化とともに、いったん作成したプログラムをいかに有効に再利用するかということも重要である。その具体的方法については、第5章で詳述する。

第5章 NCプログラミング環境

5.1 緒言

前章において提案したNCプログラム自動生成システムは、生産システムの中でCAMにおける処理の自動化を実現するものとして位置づけられる。高度に自動化されたCAMシステムの利用を想定した場合には、その特徴を十分に活用できるように、さらに他の部分への計算機支援も含め、統合化した生産システムを構築していく必要が今後ますます増大すると考えられる。とくにデータベース技術との融合により、生産情報を管理することはシステム統合化のために重要である〔穂坂83〕。その対象となる生産情報としては、図面に集約された設計情報や、加工、組立に関する製造情報などがあげられる。生産システムの統合化は種々の情報を処理する各部分の自動化と、各処理をつなぐ情報管理の双方の高度化をバランスよく進めていく必要がある。すなわち、設計から製造にいたる工程をCAD、CAM、FMSにより自動化すると、それぞれ上流、中流、下流工程にあたり、統合化生産システムにおいては上流工程から下流工程までを一貫した高度化の努力が重要である。

本章では、このうち中流から下流工程に相当する部分を例として取り上げ、NCプログラミング環境の観点から生産システムの高度化の形態に関する提案を行う。これは、中流工程にあたる高度CAMシステムすなわちNCプログラム自動生成システムの処理結果として得られるNCプログラムを、ライブラリ化しその再利用を可能とすることによって、プログラミングの効率を改善するための枠組みの提案である。また、下流工程の情報化に向けた技術の一例として計算機シミュレーションを利用した新しいNCプログラミング環境の実現について述べる。NC機械工作における生産工程中での効率化を図るための有用な技術として、プ

プログラムの作成支援とともに、製造試験（テスト）の計算機支援があげられる。このテストには、プログラムのテストと、製品の製造をふまえた設計のテストの双方を含んでいる。プログラミングには不可避の問題であるデバッグも含めて、自動生成されたプログラムでは不十分な部分の修正作業についても、実際の機械の動作を計算機シミュレーションすることにより、予め製造工程で起こり得る問題を確認しつつ必要な修正を施せるようなNCプログラミング環境について提案する。これは自動化されたCAMシステムを有効に活用するための周辺技術の一例と位置づけることができる。

5.2 生産システムの統合化

生産システムの現状を図2.1に示したが、その構成では情報の流れが一方向であり、他の部分での情報や過去の設計、製造履歴の参照、また、すでに作成されたNCプログラムの再利用などが考慮されていない。そこで、図5.1に示す生産システム統合化の新しい形態を提案する。同図に示したように生産に関する種々の情報をデータベース化し、生産情報データベースとして一元管理することにより、過去の設計事例の参照やプログラムの再利用が可能になり、効率化を図ることができる。さらに製造現場の状況にあわせたNCプログラムの自動生成など、より柔軟なシステムを実現することも可能となる。

5.2.1 データの一元化と内部モデルの利用

生産情報を一元管理するためには、データ形式の一元化を行い、内部表現としてのモデルを利用する方法があげられる。これを実現するための手段としてオブジェクト指向の手法の利用が考えられる。すなわち、各部の処理に必要なデータはすべて、オブジェクト指向のクラスとして形式を定義しておき、いずれかのクラスに従ったオブジェクトとしてデータベースに蓄積しておく。オブジェクト指向のクラス定義を用意すべき内部モデルには次のものがある。

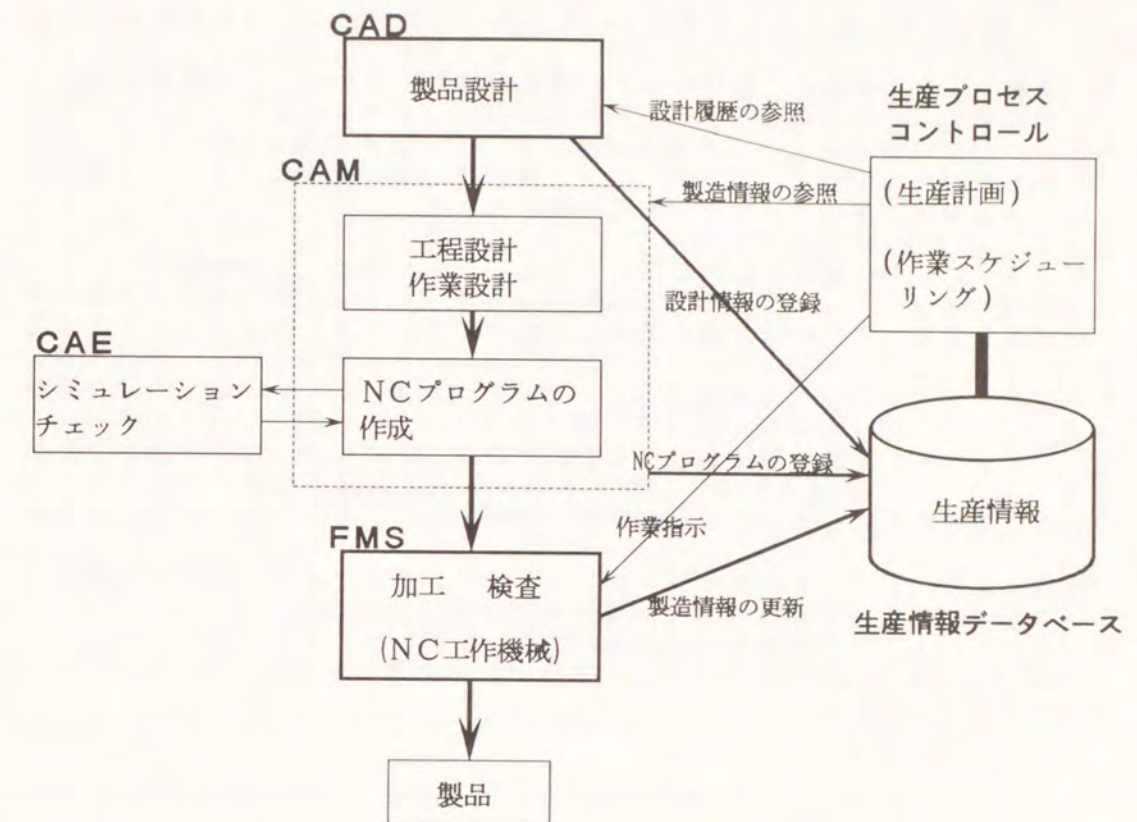


図5.1： 統合化生産システムと生産情報管理

- (1) 設計図面データ
- (2) NCプログラム
- (3) 工具の配置および使用履歴

5.2.2 NCプログラムのライブラリ化と再利用

すでに述べたように、NCパンチプレス加工のためのGコードプログラムは、金型に関する情報を工具番号（Tナンバー）、すなわちタレット上で使用する工具が配置されている場所により指定する形式をとっている。このため工具の配置が異なると全く同じ製品の加工を行う場合でも、Gコードプログラムとして

はその配置に対応した別のものが必要となる。このようなときに、その都度プログラムの生成から始めたのでは、無駄な作業を繰り返すことになる。そこで通常は4.4節で提案したl g p形式を用いて表現した形でプログラムを保存しておき、実際の工作の直前に、使用する工作機械の状況に合わせて工具情報を変換のみ行い、加工に用いるという形態を提案する。この方式を図5.2に示す。ここではl g p形式が前述の内部モデルの一例にあたる。

このようにして作成されたNCプログラムをl g p形式で生産情報データベースに登録し蓄積していけば、過去の製品に対するプログラムをライブラリ化することができ、その再利用が容易になる。さらに、図5.2に示した方式での再利用にとどまらず、設計段階においても参照すれば、その工場における過去の製品の製造実績を参考にしながら新たな製品の設計をすることもでき、作業の効率化が期待できる。このようにNCプログラムのライブラリ化は同じ作業を2度繰り返さないということで効率化をはかるといえる、生産システム統合化により得られる利点の1つといえる。

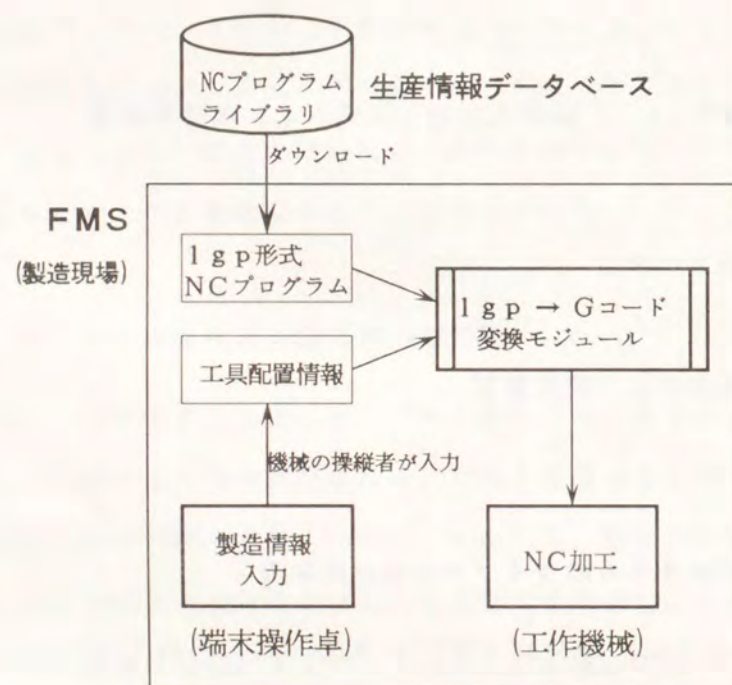


図5.2: l g p形式プログラムからGコードプログラムへの変換

5.2.3 ネットワークの利用とユーザインタフェース

生産システムにおける特質として、生産計画や設計が行われる場所と実際に製造を行う場所が地理的に離れているという点がある。このため、従来はそれぞれの処理において計算機を利用した自動化を図っても、それぞれの計算機は独立したもので、お互いの処理において協調したり、他の部門での生産情報を利用することが難しかった。そこで、図5.1のシステム統合化を進める際には、各処理は分散化した形で高度化するのに対し、情報については一元化して集中管理する必要がある。これを実現するためにはネットワークの利用が不可欠であり、CAD、CAM、FMS部分のそれぞれを支援するための計算機を相互接続し、さらにFMSの中の製造現場の工作機械のすぐ脇にも端末を設置することが必要である。

このように、あらゆる部門で様々な担当者がシステムを操作することになるので、端末の入出力を要する機能はユーザインタフェースに特に配慮して作成されるべきである。

以上の点を考慮すると、現在利用可能な計算機のうちエンジニアリングワークステーションを利用してシステムを構築するのが最適と考えられる。その理由は、ネットワークの利用の面からは、現在のエンジニアリングワークステーションにはTCP/IP [Comer91]を中心とした豊富なネットワーク機能が実装されており、またユーザインタフェースの面からは、優れたマルチウィンドウシステム [Jones89]の利用者環境および開発環境が整備され、容易にユーザフレンドリな操作性をもったシステムを構築することが可能なためである。

5.3 NCプログラムの開発とテスト

前述の図5.1の生産システムにおける、とくにNCプログラムの開発に関わる作業に注目したプログラミング環境について次に検討する。統合化生産システムにおけるNCプログラムの開発環境として図5.3に示す工程の流れを提案する。

同図に示した工程のうち、生産に進む以前の作業を計算機により支援すること

が実現できれば、準備段階における大幅な省力化が図れるものと期待される。今後の設計作業はCADシステムを利用することになるのは言うまでもない。NCプログラム自動生成システムは前章で述べたとおり、CAMシステムの実例といえることができる。さらに、シミュレーションテストは、CAEとして位置づけられる。このテストの結果によっては、単なるプログラムミスの修正だけにとどまらず、さらに工程を遡って設計変更を必要とする場合もあり得る。このように自動化がプログラム開発にまで及んでくると、NC加工プログラム開発におけるテストの目的は、プログラムのデバッグと設計要求仕様の確認の2種類に大別されるという新しい段階に到達できる。

提案したNCプログラミング環境を実現するためには、プログラム開発における周辺作業を支援するためのツールの実現が必要になってくる。

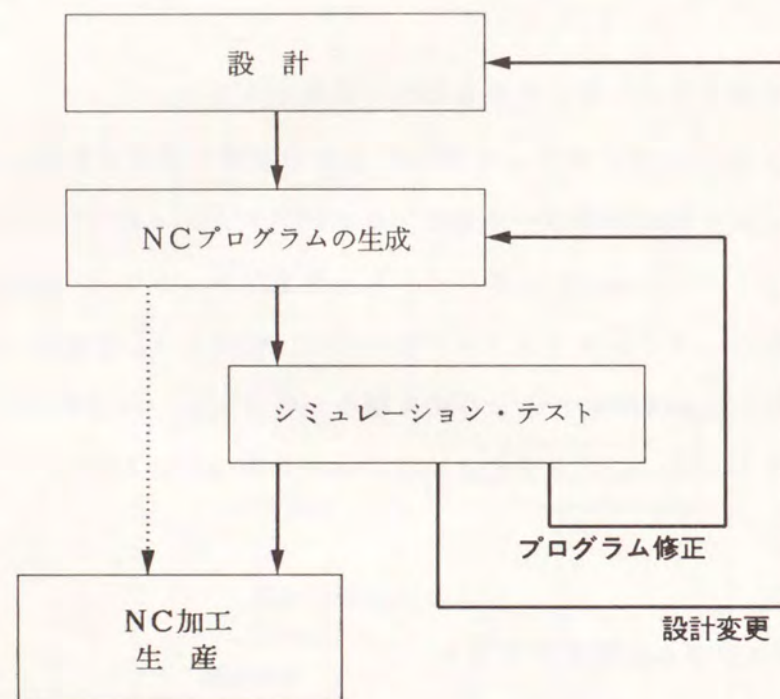


図5.3: NC加工における開発工程の流れ

5.4 NCプログラム開発支援ツール

第4章において述べたNCプログラム自動生成システムは、単独で使用することも考えられるが、先にその必要性を説明した周辺作業の支援ツールと組み合わせて利用することによりさらに開発効率が改善されることが考えられる。このようなNCプログラム自動生成システムとの併用を目的としたプログラム開発支援ツールを、同様の動作環境すなわちエンジニアリングワークステーション上に作成した。その主な機能はテスト機能とシミュレーション機能である。

5.4.1 テスト機能

設計図面のCADデータと、作成したプログラムによる加工をシミュレーションした結果の形状とを比較することで、プログラムが当初の仕様である図面どおりの加工を実行できるものであるかを判定できる。さらに、そのプログラムが加工方法や工作機械に関する制約に反していないかを可能な限り検査できる。

この機能を次に述べるシミュレーションツールに併せて準備し、不都合な箇所を画面上で視覚的に利用者に提示する。

5.4.2 シミュレーション機能

前章での結果の表示に本ツールのシミュレーション機能を利用したが、これ以外にもこのツールにはGコードプログラムのデバッグのために有用な機能をもたせている。試作した支援ツールは次の機能を備えている。

- (1) 加工結果の表示
- (2) 加工の1ステップ実行
- (3) 部分拡大表示
- (4) 加工する穴の工具形状／製品形状の表示切り替え
- (5) 加工順序の表示
- (6) 表示画面上での穴に関する加工情報の表示
- (7) タレット中の工具の配置の表示

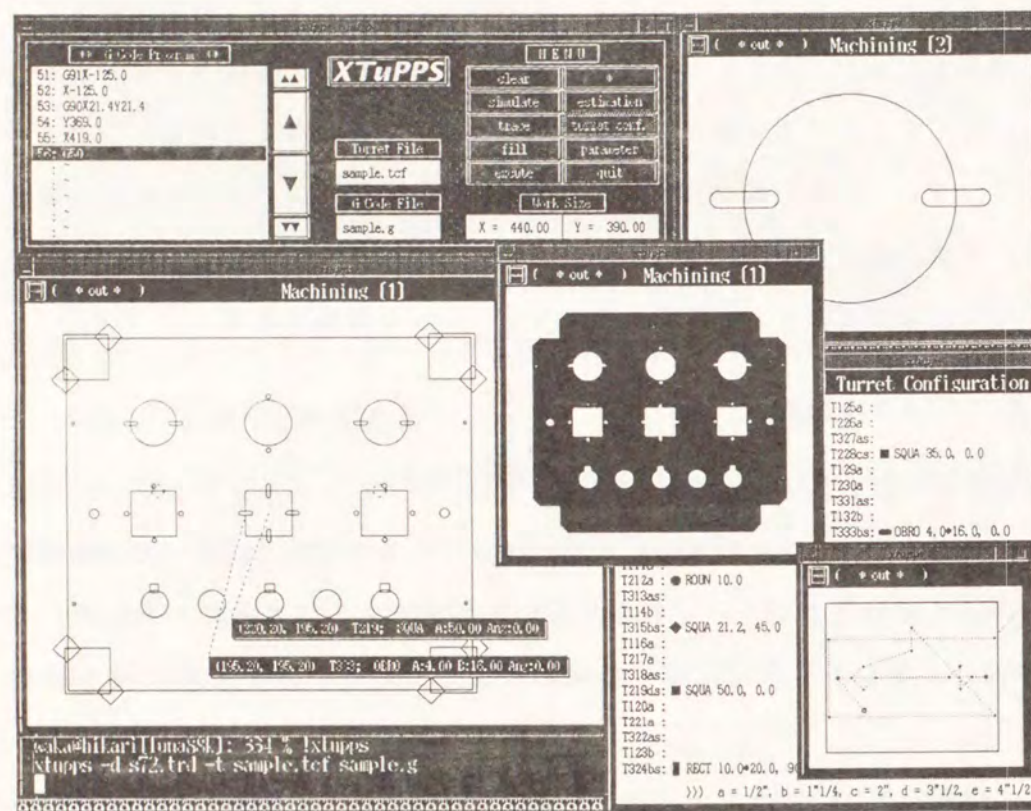


図 5.4 : シミュレーション機能の操作画面

図 5.4 にシミュレーション機能の操作画面の例を示す。

このツールは、Xウィンドウ上に表示され、主な操作はマウスによる指示のみで行うことができる。この他、必要に応じて新たにウィンドウを開いて表示するなど、マルチウィンドウシステムの特徴を生かして操作性の向上を図っている。本シミュレーションツールを用いることにより、操作者は容易にNCプログラムの微少な変更、修正を行うことができ、自動生成システムによるプログラム生成処理のみでは不十分な部分を人間が補うことができる。

以下にそれぞれの機能の概要を説明する。

(1) 加工結果表示 本ツールは、図 5.5 に示すように、コントロールパネルウィンドウと加工表示ウィンドウから構成され、コントロールパネル中にはシミュレーションするGコードプログラムリストの表示および各機能を制御する

ためのマウスクリック用スイッチがある。

このスイッチのうち加工結果表示機能に対応する部分をマウスでクリックすると、加工表示ウィンドウの方に加工結果をグラフィックスで表示する。

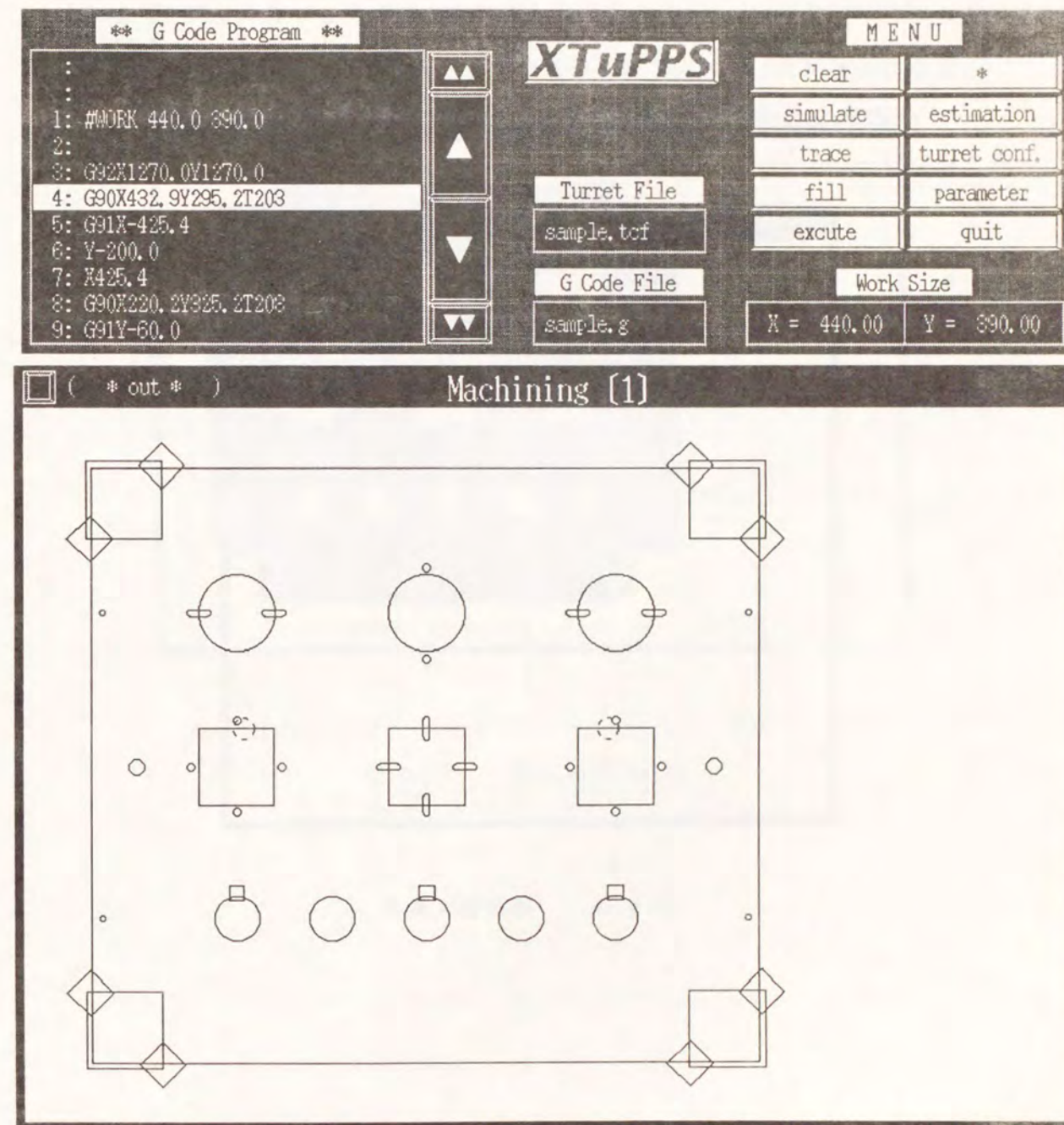


図 5.5 : コントロールパネルウィンドウ

(2) 1ステップ実行 コントロールパネル中のGコードプログラムリスト表示部分の横の矢印スイッチをクリックすることにより、加工表示ウィンドウ中の加工の様子がGコードの1行ごとに対応して前進または後退する。

(3) 部分拡大表示 加工表示ウィンドウ中で任意の範囲をマウスにより指定すると、図5.6に示すように新たに別の加工表示ウィンドウを開き、指定した部分のみを拡大して加工の様子を表示する。例では、図5.5の中央付近を拡大している。

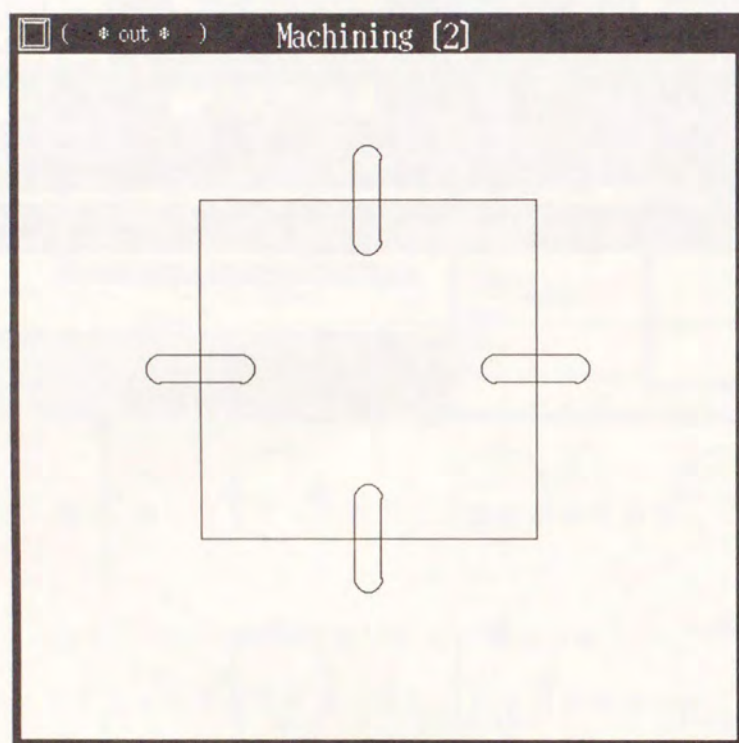


図5.6： 部分拡大表示

(4) 工具形状／製品形状の表示切替 通常は、図5.5のように金型の形状に対応した形で加工結果を表示するが、指示により図5.7のように、材料から打ち抜いた結果の形すなわち製品の出来上がり形状を表示するように表示方法を変更できる。

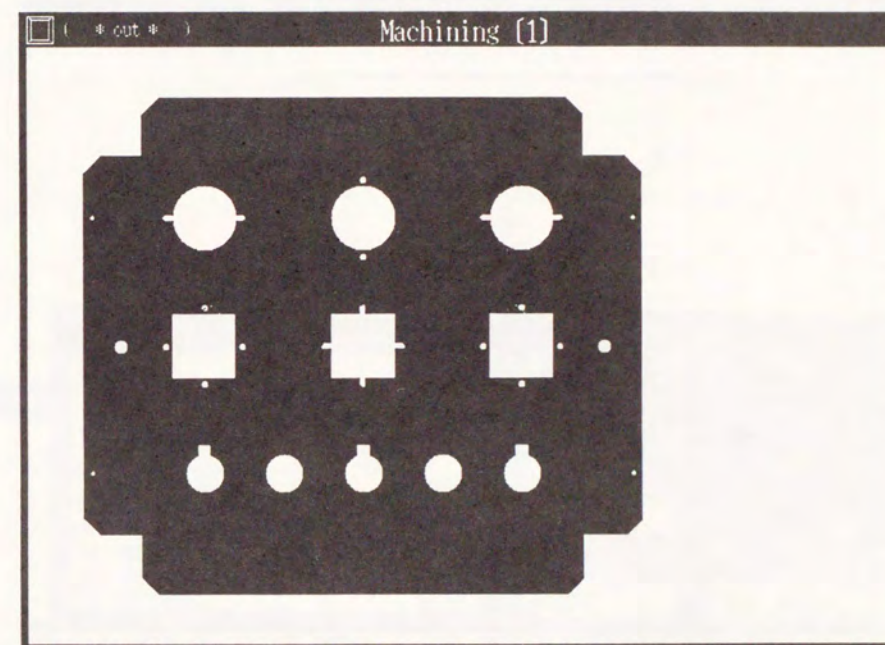


図5.7： 製品形状の表示

(5) 加工順序表示 NCプログラムの良否に影響する要素として加工順序がある。そのための確認手段として加工順序を、加工表示ウィンドウ中の加工結果の表示と併せて示すことができる。図5.8のように加工順序は破線で示される。1ステップ実行の機能と組み合わせて使用することによりさらに容易に加工順序の確認が可能である。

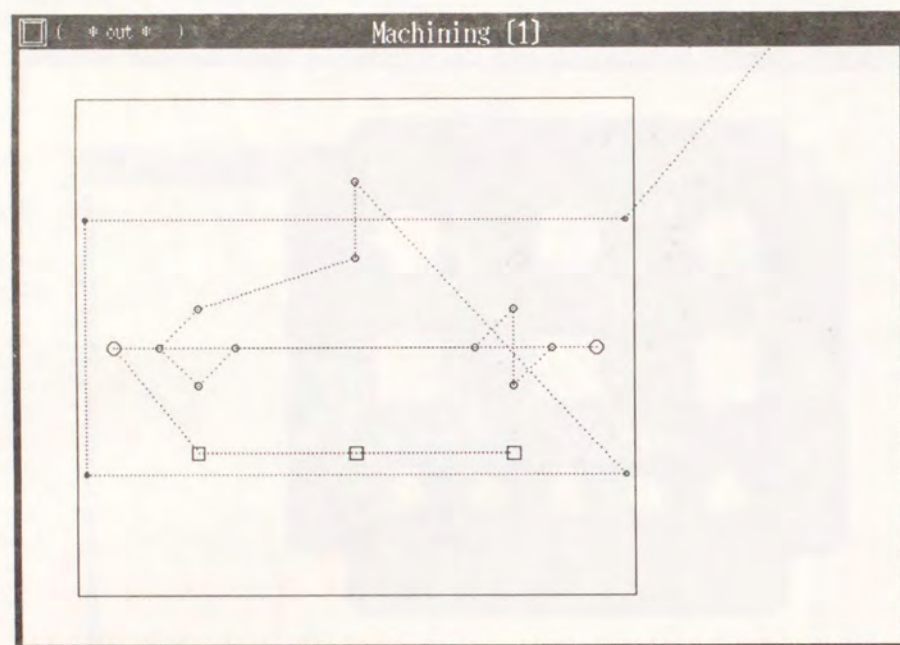


図5.8: 加工順序の表示

(6) 加工情報表示 加工表示ウィンドウ上で特定のパンチされた穴について、その位置や工具の情報を表示することができる。例えば、図5.9のように、表示画面中の任意の穴の位置でマウスをクリックすると、その穴に関する加工情報を表示させることができる。さらに、その穴がプログラムのどの行に対応しているのかをプログラム表示ウィンドウと同期して見つけることができる。図5.9の例では、加工情報を表示している長丸の穴は、プログラム中の30行目のGコードによって加工されたことを示している。

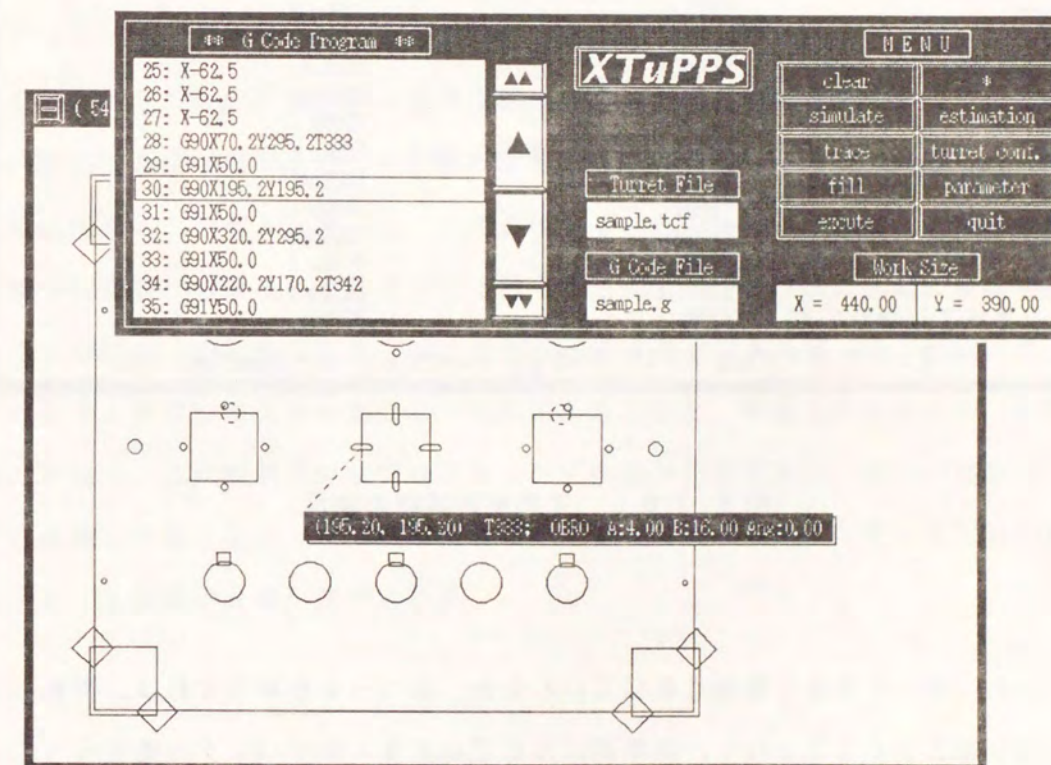


図5.9: シミュレーションツールによる加工情報の表示

(7) 工具配置情報表示 工具配置情報データベースをもとに、図5.10のようにそのシミュレーションにおいて想定しているタレット上の工具の配置状況を表示する。

Turret Configuration		
T201es:	T125a :	T349as:
T102a :	T226a :	T150b :
T203a : ● ROUN 4.0	T327as:	T351bs:
T304as:	T228cs: ■ SQUA 35.0, 0.0	T152a :
T105b : ● ROUN 30.0	T129a :	T253a :
T306bs: ■ SQUA 10.0, 0.0	T230a :	T354as:
T107a :	T331as:	T255ds:
T208a : ● ROUN 5.0	T132b :	T156a :
T309as:	T333bs: ● OBRO 4.0*16.0, 0.0	T257a :
T210cs: ● ROUN 50.0	T134a :	T358as:
T111a :	T235a :	T159b :
T212a : ● ROUN 10.0	T336as:	T360bs:
T313as:	T237es:	T161a :
T114b :	T138a :	T262a :
T315bs: ◆ SQUA 21.2, 45.0	T239a :	T363as:
T116a :	T340as:	T264cs:
T217a :	T141b :	T165a :
T318as:	T342bs: ● OBRO 4.0*16.0, 90.0	T266a :
T219ds: ■ SQUA 50.0, 0.0	T145a :	T367as:
T120a :	T244a :	T168b :
T221a :	T345as:	T369bs:
T322as:	T246cs:	T170a :
T123b :	T147a :	T271a :
T324bs: ■ RECT 10.0*20.0, 90.0	T248a :	T372as:
>>> a = 1/2", b = 1"1/4, c = 2", d = 3"1/2, e = 4"1/2 / s : Shape Tool <<<		

図5.10: 工具配置情報の表示

以上に述べた豊富な機能を有しているため、本ツールを利用すれば、実機による試し加工をすることなく、効率的にN Cプログラムのデバッグ作業を行うことが可能である。

5.5 結言

統合化された生産システムを実現するための基礎となる技術として加工プログラムの開発に焦点をあて、新たなN Cプログラミング環境の構築を試みた。N Cプログラム自動生成システムは、計算機利用により自動化を進め、人間の介在を減少させることを目指したものであり、この方向への努力を推進して自動生成システムの完成度を高めることは重要である。しかし、自動生成された加工プログラムでは、その質に関して不十分な部分が残されることもありうる。とくに極めてまれな加工方法が必要な場合などの例外的処理をすべてシステムに実現する方法をとれば、かえってシステム全体の効率が低下することもある。また、通常とは異なる例外的処理などについて、熟練者の意図をシステムの処理結果に容易に反映させることができるような手段が用意されていなければ、その自動化システムは柔軟性のないものとなり、実用化の可能性も低下しかねない。

本章で述べたN Cプログラム開発支援ツールは、同じく計算機を利用するものの、極めて高度な判断はむしろ人間に任せようという方向への努力であり、そのための高度なユーザインタフェースを提供するものである。これにより熟練者の経験や知識を、自動生成の結果として得られる加工プログラムに容易に反映させることができ、自動化したことにより生じる質の不十分さを補って、作成されるプログラムの質を向上させることが可能である。また、熟練した技術者は、従来煩わされていた比較的単純なプログラミング作業から解放され、製品の出来上がりに微妙に影響するような高度な処理に集中することができ、生産システム全体からみても効率の改善が期待される。

第6章 結 論

本論文では、電子計算機の産業応用の一例として、生産システムにおけるCAD/CAMシステムの高度化を目的としたNC加工のCAMを、具体的な応用分野として取り上げ、その自動化について議論した。このうち、現状の生産システムにおける問題点に基づき、視覚情報処理技術の応用を第2章で、工業的応用に適したパターン認識の一手法としての重複図形分離について第3章で、CAMシステムの具体例としてNCプログラム自動生成システムの実現法を第4章で、そして提案したCAMシステムの利用を想定した新たなNCプログラム開発環境を第5章において、それぞれ検討した。最初にこれらの問題に関して得られた成果についてまとめる。

NC工作機械を中核としたFMSの利用は、多品種小量生産を可能にした。しかしNC機械を制御するための加工プログラムの作成は手作業により処理しなければならない部分が多く残されており、生産システム全体の効率改善のボトルネックとなりつつある。そこで、加工プログラム作成をCAMシステムにより自動化することが望まれるが、加工プログラムは設計図面をもとに作成するため図面の認識を自動的に処理する枠組みが必要となる。この問題を解決するための手法として、2次元形状の加工を行うNCパンチプレス加工を例として、プログラマが行っている図面認識処理を人間の視覚機能の1つとしてとらえ、重複図形の分離処理に置き換えて自動化を実現することを提案した。これは、従来のCAMシステムでは扱われることが少なかった図面の処理を、視覚情報処理の考え方を適用して解決しようとする試みである。このための利用を目的とした処理手法を考案する際には、結果の利用に重点をおく必要がある。しかし、視覚情報処理の実現としての画像処理やパターン認識の研究においては、従来どちらかといえば結

果の利用よりも、人間の視覚機構の解明を目的としたものが多く、重複図形の分離問題においても視覚心理モデルに基づいた手法が多く考案されてきた。本論文においてもこの流れに沿いながら、実利用を念頭において、処理可能な対象の範囲を限定した重複図形分離手法の考案を試みた。視覚心理に基づいた方法では、形状モデルを用いたトップダウン的手法がしばしば議論されるが、適合するモデルを予めすべて用意しなければならず、想定している産業応用には不向きである。本論文で提案した手法は、幾何学的性質に関する一般的規則の適用によるボトムアップ的手法であり、重複の解釈を限定して分離方法を唯一に決定する立場をとった。また、この手法は2次元形状の復元問題にもかかわらず、1次元に関する制約のみで処理することが可能であり、システムの実現が容易であるという特徴を有している。

この重複図形分離手法を図面認識に利用することを目的としたNC加工プログラム自動生成システムの実現方法を次に検討し、実際に実験システムの作成を試みた。その際、処理に必要なデータ表現形式の提案を併せて行ったが、これらは、同様のシステム構築の際にも利用可能で、生産システムの高度化を図るうえで有用なものであると考えられる。また、試作したシステムにより処理した例では、手作業で行う場合と比較して十分に短時間で加工プログラムを生成することができ、CAMシステムとしての実用可能性を示すことができた。

高度に自動化されたCAMシステムの利用が可能となれば、生産システムにおける統合化の形態にも変化をもたらし、さらに高度なシステムへの発展を検討しなければならない。この問題についてもNCプログラムの開発環境を例に、プログラム開発支援ツールの形でその実用化への可能性を示した。これは、自動化のみでは不十分な箇所を補うために、極めて高度な判断はむしろ人間に任せるものであり、この立場は、今後熟練者の代替を目的とした自動化システム構築の際の1つの方向として検討されていくものと期待される。

つぎに、産業応用システム研究および視覚情報処理研究に対する本研究の意義について述べる。本研究で取り扱ったシステムは、産業応用の例としての設計生産システムの構築に、視覚情報処理の一分野であるパターン認識の技術を応用するもので、その基礎となる技術は複数の分野にまたがる、いわば境界領域的研究

と位置づけることができる。まず、産業応用システムとしての観点からは、従来の画像処理技術の生産システムへの応用例の多くは、製品検査の自動化や組立のための部品選別など、生産工程において実際のシーンを入力して処理するもので、初期および中間視覚の範疇に含まれる技術に関連した議論がほとんどであった。これに対し、本論文で提案したシステムは、生産に先立つ設計段階への視覚情報処理の応用であり、また、その処理内容は高次視覚に関するものである。これは、システム設計という、より高度な情報処理へも画像処理技術が応用できることを明示したと考えられる。

一方、視覚情報処理の観点からは、重複図形分離などの視覚心理に強く依存した問題は、通常トップダウン的な処理を用いた解法をとることが多いが、提案した手法は、処理能力と手続きの簡便さを優先したボトムアップ的手法である。これは、扱う図形に制約があるものの、その制約は工学的応用に限定したときには問題のない程度のものであり、逆に、ある限られた範囲の図形に対しては高い精度で処理できるため、産業応用システムへ応用するのに適しているといえる。今後、このような方向へも視覚情報処理研究を発展させることも考えられる。

提案したシステムでは、最終的な加工プログラム生成処理の段階で、工具をモデルとした一種のパターンマッチングを行っていることになるが、照合をとるための候補を重複図形分離手法を用いて予め抽出しておくことにより、網羅的に行う場合と比べ、照合の処理が軽減されている。これは、トップダウン的手法における処理の困難さを、ボトムアップ手法による前処理で減少させているととらえることもでき、トップダウンおよびボトムアップ手法融合の好例として注目に値する。

本論文で述べた試作システムは、すべてエンジニアリングワークステーションを利用して構築したが、十分に実用可能性があることを示すことができた。計算機の処理能力やシステム構築のコスト等から考えて、エンジニアリングワークステーションを中心とした開発環境の利用は、今後の実用化へ向けて意義があることと言えよう。

最後に、本論文で提案したシステムの持つ問題点と、今後解決すべき課題について述べる。本研究では、設計のうち工程設計および作業設計のCAMシステム

を対象としたが、CAMにおけるさらに柔軟な処理を実現するために、基本設計および詳細設計といった製品設計も含めて取扱い、CADシステムと統合して設計そのものを総合的に支援する必要がある。例えば、CAMシステムによる結果の微小変更をCADのレベルにまで遡って、製品の機能を損なわない範囲で設計変更を可能とするシステム〔金井93〕の枠組みも検討する必要がある。

本研究で取り上げたシステムは、応用研究であり、実用化されてこそ価値がある。しかし、本論文では、実現可能性を議論することを第1の目的とし、実用化はとくに考慮せず実験システムを試作した。したがって、各処理の高速化やNCプログラム生成におけるさらに多くの加工方法への対応など、実用化に際し残された問題点がある。また、本論文で提案した考え方や手法を実際に生産現場において利用する機会を得て、その結果をもとにより実状に合わせたシステムへと改善していくための問題点の整理などが必要であり、今後、産業界における実用化の努力が強く望まれる。本研究において得られた成果が、このような実際のシステムを構築する際の何らかの参考になれば筆者の最も幸いとするところである。

謝 辞

本論文は、大阪大学産業科学研究所教授北橋忠宏博士のご指導の下に、筆者が同大学大学院工学研究科（通信工学専攻）在学中に行った研究の成果をまとめたものである。本研究を遂行するにあたり、北橋忠宏先生より賜ったご懇篤なるご教示、ご鞭撻に対し衷心より感謝の意を表する次第である。

本論文の作成にあたり、筆者は、大阪大学工学部教授前田肇博士より、有益なるご教示、ご助言、ならびに親身なるご援助、ご激励を賜った。ここに深甚なる感謝の意を表する次第である。

大阪大学における研究の機会を与えて戴くと共に、通信工学一般および各専門分野に関しご指導とご教示を賜った大阪大学工学部教授 故手塚慶一博士（後 名誉教授）に厚くお礼を申し上げるとともにご冥福をお祈りする。同じく貴重なるご指導とご教示を賜った大阪大学工学部教授倉菌貞夫博士、同教授森永規彦博士、同教授長谷川晃博士をはじめとする諸先生方に厚くお礼申し上げます。

本研究の途上、筆者は、大阪大学産業科学研究所助教授安部憲広博士（現 九州工業大学教授）より懇切丁寧なるご指導、ご助言を賜った。ここに深く感謝申し上げます。

また、大阪大学産業科学研究所助教授馬場口登博士、同助手平井誠博士（現 松下電気産業中央研究所主任研究員）、同助手淡誠一郎博士、同助手何守杰博士（現 シンガポール国立大学）、同高野敦子技官をはじめとする北橋研究室の諸兄には終始熱心なご討論を戴いた。特に、大阪大学大学院工学研究科博士課程 芦田昌也氏には多大なるご協力を戴いた。ここに深謝申し上げます。

さらに、アマダメトロックス松本重治常務取締役、同吉川紘部長をはじめとするアマダメトロックスFAシステム事業部の諸氏には、本研究に関する数々のご

援助ならびに貴重なるご助言を賜った。厚くお礼申し上げます。

筆者が工学を志し、今日まで研究を継続することができたのは、明石工業高等専門学校電気工学科松永公廣助教授（現 摂南大学）より賜った適切なるご助言、ご激励によるところが多大である。ここに謝意を表する。

電気通信大学教授保原信博士、同教授武田光夫博士、同助教授本多中二博士、同助教授多田好克博士には、長年にわたり熱心なるご指導、ご討論を頂いた。ここに記して感謝の意を表する。また、電気通信大学大学院博士課程金井秀明氏には、プログラミングや実験等に関してご協力を頂いた。ここに謝意を表する。

最後に、筆者が電気通信大学在学中より、数々のご教示、ご鞭撻を賜り、また、多大なるご援助、ご激励を戴いた電気通信大学教授 大学院情報システム学研究科長 故御牧義博士に感謝の意を表するとともに心よりご冥福をお祈りする次第である。

参考文献

- [朝比奈87] 朝比奈奎一：“CAD／CAM入門 —導入計画と運用テクニク—”，海文堂出版（1987）。
- [天田85] 天田敦志，清水義雄：“多種小量生産工場におけるCAD／CAM／CATシステムの構築”，国井利泰（編），CAD／CAM技術，共立出版（1985）。
- [天野85] 天野 久，佐久間重晴，松沢慎一，天田敦志：“金型設計・製作とCAD／CAMシステム”，国井利泰（編），CAD／CAM技術，共立出版（1985）。
- [安藤86] 安藤和久，杉江 昇：“主観的輪郭の生成アルゴリズム”，電子情報通信学会技術研究報告，PRU86-68（1986）。
- [岩田83] 岩田一明：“生産設計の自動化”，情報処理，Vol.24，No.1，pp.32-40（1983-1）。
- [岩田88] 岩田一明（監修）：“基礎教育コンピュータ設計・製図Ⅲ —CAMとCAEの考え方—”，共立出版（1988）。
- [岩田91] 岩田一明（監修）：“例題演習CAD／CAM／CAE／CIM”，共立出版（1991）。

- [上野86] 上野晴樹：“エキスパートシステム —知識工学とその応用—”，オーム社（1986）。
- [江尻90] 江尻正員，大田友一，池内克史：“マシンビジョン”，昭晃堂（1990）。
- [金井93] 金井秀明，若林伸和，本多中二，御牧 義：“オブジェクト指向パラダイムによるNC機械加工のための設計支援システム”，情報処理学会第46回（平成5年前期）全国大会講演論文集(6)，pp.299-300（1993）。
- [北橋90] 北橋忠宏，尹 巨煉，古林 貴：“シルエットによる対象物認識”，電子情報通信学会技術研究報告，PRU89-100（1990）。
- [酒匂89] 酒匂 裕，江尻正員：“産業応用における画像理解技術の現状”，人工知能学会誌，Vol.4，No.1，pp.43-51（1989-1）。
- [佐田83] 佐田登志夫：“フレキシブル生産システムの技術的課題”，情報処理，Vol.24，No.1，pp.41-47（1983）。
- [島谷89] 島谷 明，鎧沢 勇：“図形分節における分節候補の自動抽出法に関する研究”，電子情報通信学会「画像処理の高度化と高速化」シンポジウム講演論文集，pp.197-202（1989）。
- [島谷93] 島谷 明，鎧沢 勇，小杉 信：“重なり図形の解釈候補生成法”，電子情報通信学会論文誌(D-II)，Vol.J76-D-II，No.1，pp.103-112（1993-1）。
- [千田90] 千田豊満：“CAD/CAMシステム —基礎から構築まで—”，理工学社（1990）。
- [田中89] 田中 弘：“画像処理応用技術”，工業調査会（1989）。
- [島脇88] 島脇純一郎：“画像理解のためのデジタル画像処理〔II〕”，昭晃堂（1988）。

- [中村88] 中村裕一，長尾 真：“重なりあった二次元形状の認識”，人工知能学会誌，Vol.3，No.4，pp.461-473（1988-7）。
- [長尾88] 長尾智晴，安居院 猛，中嶋正之：“部分形状特徴を用いた相似図形の抽出手法”，電子通信学会技術研究報告，PRU88-67（1988）。
- [萩原73] 萩原 宏，黒住祥祐：“電子計算機 —ハードウェアの基礎—”，オーム書店（1973）。
- [藤村93] 藤村新吾，中村晃仁，今井 悟，稲本信一，堀内正仁：“NC加工の工程設計エキスパートシステム”，システム制御情報学会第4回インテリジェントFAシンポジウム講演論文集，pp.159-160（1993）。
- [古谷93] 古谷 真：“加工・組立産業におけるCIM/FAの動向”，電気学会論文誌（産業応用部門誌），Vol.113-D，No.3，pp.282-286（1993-3）。
- [穂坂83] 穂坂 衛：“CAD/CAMにおける情報の役割”，情報処理，Vol.24，No.1，pp.3-10（1983）。
- [安田90] 安田浩之，安藤和久，大西 昇，杉江 昇：“物理的に存在しない輪郭線の抽出”，電子情報通信学会論文誌(D-II)，Vol.J73-D-II，No.6，pp.906-913（1990-6）。
- [谷内田90a] 谷内田正彦(編)：“コンピュータビジョン”，丸善（1990）。
- [谷内田90b] 谷内田正彦：“ロボットビジョン”，昭晃堂（1990）。
- [若林89] 若林伸和，御牧 義：“NC加工プログラム作成支援システム”，1989年度人工知能学会全国大会(第3回)論文集〔II〕，pp.657-660（1989）。

- [若林90] 若林伸和, 安部憲広, 北橋忠宏: “重複したシルエットの分離手法のNC加工プログラム自動生成への応用”, 情報処理学会第41回(平成2年後期)全国大会講演論文集(6), pp.301-302 (1990) .
- [若林93] 若林伸和, 北橋忠宏: “パターン認識の手法を応用したNCパンチプレス加工プログラム自動生成システム”, 電気学会論文誌(産業応用部門誌), Vol.113-D, No.6, pp.778-785 (1993-6) .
- [Barr82] Barr, A., and Feigenbaum, E. A. : "The handbook of artificial intelligence", William Kaufmann (1982) ; 田中幸吉, 淵一博(監訳), 共立出版(1983) .
- [Comer91] Comer, D. E. : "Internetworking with TCP/IP Vol I Principles, Protocols, and Architecture Second Edition", Prentice-Hall International Editions (1991) .
- [Foderaro83] Foderaro, J. K., Sklower, K. L., and Layer, K. : "The FRANZ LISP Manual", University of California (1983) .
- [Hopcroft69] Hopcroft, J. E., and Ullman, J. D. : "Formula Languages and Their Relation to Automata Theory", Addison-Wesley, Readings, Mass (1969) ; 野崎, 木村他(訳), “言語理論とオートマトン”, サイエンス社(1971) .
- [Jones89] Jones, O. : "Introduction to the X Window System", Prentice-Hall (1989) ; 三浦他(訳), “X Window ハンドブック”, アスキー出版局(1990) .
- [Marr82] Marr, D. : "VISION", W. H. Freeman (1982) ; 乾敏郎, 安藤広志(訳), ビジョン, 産業図書(1987) .

- [Wakabayashi89] Wakabayashi, N., Honda, N., Mimaki, T., and Matsumoto, S. : "A Supporting System for Making NC Programs by Way of Knowledge Engineering Approach", SKILL BASED AUTOMATED PRODUCTION, PERGAMON PRESS, pp.213-218 (1989) .
- [Wakabayashi92] Wakabayashi, N., Kitahashi, T., and Mimaki, T. : "An Application of Silhouette Decomposition to Automatic Generation System for Making NC Programs", Proceedings of the 1992 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, Vol.2, pp.742-749 (1992) .
- [Williams90] Williams, L. R. : "PERCEPTUAL ORGANIZATION OF OCCLUDING CONTOURS", Image Understanding Workshop, Sponsored by DARPA Information Science and Technology Office, pp.639-649 (1990) .

1. 王明. 中国革命与中国共产党. 北京: 人民出版社, 1980.
2. 毛泽东. 毛泽东选集. 北京: 人民出版社, 1965.
3. 邓小平. 邓小平文选. 北京: 人民出版社, 1983.
4. 江泽民. 江泽民文选. 北京: 人民出版社, 2006.
5. 胡锦涛. 胡锦涛文选. 北京: 人民出版社, 2016.
6. 习近平. 习近平文选. 北京: 人民出版社, 2018.
7. 中共中央文献研究室. 毛泽东传. 北京: 中央文献出版社, 2003.
8. 中共中央文献研究室. 邓小平传. 北京: 中央文献出版社, 2004.
9. 中共中央文献研究室. 江泽民传. 北京: 中央文献出版社, 2008.
10. 中共中央文献研究室. 胡锦涛传. 北京: 中央文献出版社, 2011.
11. 中共中央文献研究室. 习近平传. 北京: 中央文献出版社, 2018.
12. 中共中央党史和文献研究院. 中国共产党简史. 北京: 人民出版社, 2021.
13. 中共中央党史和文献研究院. 中国共产党历史. 北京: 人民出版社, 2013.
14. 中共中央党史和文献研究院. 中国共产党大事记. 北京: 人民出版社, 2013.
15. 中共中央党史和文献研究院. 中国共产党组织史. 北京: 人民出版社, 2013.
16. 中共中央党史和文献研究院. 中国共产党纪律史. 北京: 人民出版社, 2013.
17. 中共中央党史和文献研究院. 中国共产党宣传史. 北京: 人民出版社, 2013.
18. 中共中央党史和文献研究院. 中国共产党文化史. 北京: 人民出版社, 2013.
19. 中共中央党史和文献研究院. 中国共产党科技史. 北京: 人民出版社, 2013.
20. 中共中央党史和文献研究院. 中国共产党军事史. 北京: 人民出版社, 2013.
21. 中共中央党史和文献研究院. 中国共产党外交史. 北京: 人民出版社, 2013.
22. 中共中央党史和文献研究院. 中国共产党经济史. 北京: 人民出版社, 2013.
23. 中共中央党史和文献研究院. 中国共产党社会史. 北京: 人民出版社, 2013.
24. 中共中央党史和文献研究院. 中国共产党法治史. 北京: 人民出版社, 2013.
25. 中共中央党史和文献研究院. 中国共产党生态文明史. 北京: 人民出版社, 2013.
26. 中共中央党史和文献研究院. 中国共产党统一战线史. 北京: 人民出版社, 2013.
27. 中共中央党史和文献研究院. 中国共产党民族史. 北京: 人民出版社, 2013.
28. 中共中央党史和文献研究院. 中国共产党宗教史. 北京: 人民出版社, 2013.
29. 中共中央党史和文献研究院. 中国共产党港澳台史. 北京: 人民出版社, 2013.
30. 中共中央党史和文献研究院. 中国共产党国际史. 北京: 人民出版社, 2013.

