

設計の上流工程支援を考慮した設計・ 製造プロセス統合支援システム

金井 秀明[†] 若林 伸和^{††} 本多 中二[†]

従来の NC 加工分野における CAD/CAM システムは、図面の校正や NC 加工プログラムの生成など特定の設計作業を対象としたシステムが多い。これらの設計作業は、設計・製造プロセスの生産設計のような下流工程にあたるものであった。設計・製造プロセスには、概念設計や基本設計のような上流工程があるが、従来のシステムでは、上流工程支援の扱いが不十分であった。そこで本研究では、設計・製造プロセスを統合支援するために、従来のシステムでは取り扱いが不十分であった上流工程支援を含めたシステムを提案する。提案するシステムでは、設計対象を機能、構造および実体の側面から表現する。各表現を構成する部品をデータベースに保持し、その部品を設計者に提供することで上流工程を支援する。設計者は、それらの部品を利用して設計対象の定義を行う。そして、システムが、設計対象の各種の属性値を設計仕様を利用して決定し図面を生成する。その図面を加工するために、NC プログラム自動生成システムを上流工程支援システムに有機的に結合させる。そのことで、従来の NC プログラム生成ツールでは NC プログラムを生成することが困難であった状況でも、設計対象の機能情報を利用することで、生成可能となった。本論文では、上記のような支援を設計対象として NC 工作機械で加工される製品に適用し、そのための設計・製造プロセス統合支援システム：ISSDM を提案し、その試作したシステムについて報告する。

An Integrated Supporting System Including the Upper Process for Mechanical Design and Manufacturing Process

HIDEAKI KANAL, [†] NOBUKAZU WAKABAYASHI ^{††} and NAKAJI HONDA [†]

Recently, many design-supporting systems have been used in the area of NC machine production. However, designers have been using those systems as only a "drawing tool" because most of them can support only a special design framework of a particular phase, for instance proofreading a design and generating NC code, in the overall design process. Their frameworks are useful for the lower process. The current systems have not treated a support for the upper process. Then designers must take two styles of design framework: a framework which designers have to deal with and a computer-aided-framework, together at the same time. In our research, our conception of design is transformation from a function space to a structure space. Our system describes function features, structural features and entity feature of designed objects. We propose a flexible supporting system for design frameworks at all phases of the design process. In this paper, we propose a new design supporting system for NC machine production including a support for the upper process. We explain this system's concept and the method that we used for implementing of the system.

1. はじめに

近年、工業製品の開発およびその製造環境が大きく変化してきた。例えば、市場のニーズに応えた高機能・高品質の製品をいかに短期間に開発し市場に出すかという要求が増大し、ニーズに柔軟に対応した製品開発

および製造技術が必要になってきた。このような要求に応えるため、設計・製造部門に CAD/CAM システムが導入された。製造部門においては、CAM と NC 工作機械との結合により、例えば、金型の製造において、従来の工具による手作業に比べ、より高精度な製品をより短い期間で製造することに大きく貢献してきた。一方、設計部門において、CAD は設計効率を上げてはいるが、まだ "drawing tool" の域を出ることはなく、主に、設計図面の校正に使われ、設計作業の大部分は人手に依らなければならなかった。そのため、結局、人手による作業と計算機支援による作業とを併用しな

[†] 電気通信大学大学院電気通信学研究科

Graduate School of Electro-Communications, University of Electro-Communications

^{††} 静岡大学工学部システム工学科

Department of Systems Engineering, Faculty of Engineering, Shizuoka University

ければならなかった。設計者はシステムとのデータのやり取りや、設計変更に伴う図面の修正を行わなければならない。かえって、設計ミスや設計変更へ柔軟に対応することが困難になってしまった。

このようなことから、設計・製造の各プロセスにおける設計情報の変更を設計・製造プロセス全体に柔軟に反映しうる設計対象のモデル化手法、および、設計プロセスに対する単なる drawing tool 的支援でないより本質的な支援手法が必要となる。そこで、設計・製造プロセスを統合化した支援システムの必要性が従来より指摘されてきており、設計および製造プロセスの中で利用される設計情報に一貫性を持たせたデータモデルとして属性モデル¹⁾が提唱されている。

本研究では、従来までの属性モデルに、さらに設計対象の機能属性を加えたモデル（本論文では、便宜的に設計対象モデルと呼ぶ）による設計プロセス（上流工程）を支援するシステムを提案し、そのシステムと製造プロセス（下流工程）として代表的な NC 工作機械を制御するための NC プログラムを生成するシステムとを有機的に結合することで、設計・製造プロセスを統合して支援するシステムの実現を試みた。以降、このシステムを設計・製造プロセス統合支援システム ISSDM (Integrated Supporting System for Design and Manufacturing process) と呼ぶこととする。設計対象モデルは、設計対象の機能、構造および実体を表現するモデルによって構成されていて、従来の属性モデルに比べ、より明確に上流工程での設計情報を記述するモデルである。上流工程支援を考慮した設計対象モデルによって、設計物に新しい機能を追加したときに生じる図面変更や、その図面変更による生産工程の変更などを支援システムの中で一貫して処理することができ、また生産環境の変化（例えば、利用できる NC 工作機械の制約、材料費の高騰、環境問題など）による図面の変更や、設計対象の機能の再検討などを支援することが可能となる。このことで、市場ニーズに迅速に対応した設計・製造プロセスを実現できると考える。さらに、本研究の手法が、最近、議論されているコンカレントエンジニアリング^{2),3)}と呼ばれる製品開発期間短縮のためのパラダイムの1つの実現法となりうると考える。

以下、2章では従来型システムの設計・製造プロセスに対する支援の現状、および提案するシステムによって解決する課題を示し、3章では設計・製造プロセス統合支援システム：ISSDM、および、そのシステム内での設計対象の表現方法の概要について述べる。4章では ISSDM における上流工程支援の方法について述

べ、さらに5章で、ISSDM の試作システムの実行例を示す。なお、試作したシステムは、製品加工方法として NC タレットパンチプレス工作機械 (NCT) を利用しているため、NCT で加工可能な製品に限定した設計支援システムであるが、他の加工法に対応した NC プログラム生成システムを整備することで別の加工システムへの拡張も可能である。

2. 従来型システムの設計・製造プロセスに対する支援

2.1 設計・製造プロセス

設計・製造プロセスは、ある要求された機能を満たすような具体的な構造つまり人工物を創造する過程である。そのプロセスは、図1に示すようないくつかの段階に分けることができる。(1) から (3) の過程、いわゆる、上流工程では、「どのような機能をもつ設計物を作るか。」という設計目標を決め、それを設計仕様として記述し、その仕様を実体として具体化し、設計物を構成する基本構造や形態など主要構成部品の要目が決定される。次に、(4) では、設計物の詳細な構造、寸法などが決められ最終的に図面が作られる。(5) では、図面から製品を生産するための作業、例えば、工程計画や NC 工作機械を制御するための NC プログラムの生成が行われる。各段階で検討される設計情報は、極めて定型な製品を除けば、相互に設計情報の授受を行いながら修正・決定される。したがって、設計・製造プロセスにおける“設計情報の流れ”は、上流工程で検討・決定された設計情報を下流工程で利用するだけのトップダウン的な流れだけでなく、下流工程で詳細化・決定された情報を上流工程にフィードバックする情報の流れをも含んだ双方向的なものである。

しかしながら、従来の CAD/CAM では個々の作業

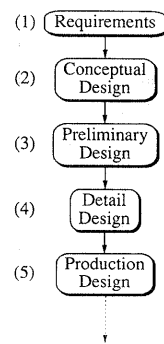


図1 設計・製造プロセス

Fig. 1 Design and manufacturing process.

の支援に重点が置かれ、各作業間の“設計情報の流れ”が途切れた形でシステムが作られてきたといえる。そのため、従来型のシステムには設計情報の授受を阻害してきた側面すらあった。

2.2 設計支援システムの現状

近年、設計情報の双方向的な流れを考慮したシステムがいくつか作られている。それらの多くは、CIM (Computer Integrated Manufacturing) に代表されるような生産設計支援を中心としたシステムであり、また上流工程支援を目的としたものには PACT⁴⁾などが挙げられる。しかしながら、これらのシステムは、上流もしくは下流工程のどちらかに支援が偏ったもので、設計・製造プロセスを統合的に支援するという観点では問題がある。それは、これらのシステムが設計・製造プロセスにおける設計情報を、各プロセスごとに別々のデータモデルで表現しているためである。一方、各プロセスの設計情報に一貫性を持たせたデータモデルによる、設計情報の双方向的な流れを考慮したシステムもある。そのデータモデルには「設計は設計対象の属性を操作することで実現される。」という概念に基づいた属性モデルが利用されている。属性モデルでは各属性を詳細化し最終的に製品に発展させるため、設計情報の双方向的な流れは詳細化の過程として表現される。属性モデルのような属性処理を意識した機械設計支援システムとしては、設計対象のパラメトリックな記述を目的とした ICAD⁵⁾、属性モデルを構築するための言語 ADL⁶⁾による機械設計の基本設計用システム⁷⁾が挙げられる。これらの属性モデルでは、属性処理にオブジェクト指向言語が提供する枠組みのみを利用していたため、設計属性や属性を操作する手続きが大規模になった場合、保守性に問題が出てくる。そこで、それらの保守性の向上を目指したスーパーフレーム言語⁸⁾を利用した機械設計支援エキスパートシステム構築シェル：MAGIC⁹⁾によって、属性モデルの有効性が確認されている。これらのシステムで用いられている属性モデルは、主として、設計対象のパラメトリックな属性（ここで言う属性は、数値的な取り扱いができる属性のこと）を処理するためのものであり、機能定義のようなより抽象的な設計情報の処理という点では不十分である。

以上のシステムにおける設計支援の現状に対し、設計・製造プロセスの統合支援を目指すために以下の課題が挙げられる。

- (a) 支援システムで扱う設計情報を拡大する。
- (b) 上流工程部分の支援を充実させる。

以下では、これらの課題を解決するための設計・製

造プロセス統合支援システム：ISSDM の概要について述べる。(a) については次章で、(b) については、4章で述べる。

3. 設計・製造プロセス統合支援システム：ISSDM

ISSDM で対象とする製品は、配電盤のように製品の基本的な機能は決まっているが、仕様によって必要な機能が異なる製品を対象とする。この章では、ISSDM の枠組み、および、ISSDM での設計対象の表現法である設計対象モデルについてふれる。

3.1 システムの概念

本研究で考える統合支援とは、どの設計段階の設計作業に対しても設計情報に関する透過性を保証し、ある設計作業による設計変更が他の設計作業にも相互に影響しあうことである。図2に示すように従来のシステムでは、各設計作業を支援するツールごとに設計対象を表現するモデルを内包し、支援ツールとモデルとが明確に分けられていなかった。そのため、ある設計作業での設計変更を他の設計作業に柔軟に伝えることが困難であった。そこで、本研究では、内包されたモデルを各支援ツールと分離させ、さらに、それらのモデルを設計支援システム内で統合する。こうすることで、ある設計作業による設計変更が、他の設計作業にも反映でき、設計作業間の連携を柔軟にすることが可能となる。

3.2 ISSDM の設計対象モデル

設計対象の表現は、設計・製造プロセスの中で様々に変遷する。設計プロセス（上流工程）では、設計対象に必要なとされる機能からその機能を実現する構造への変換が行われる。その際、各種の設計対象の属性が定義される。それらの属性に具体的な値が決められたものが図面である。設計プロセスでは、設計対象の機能的側面からの表現、構造的側面からの表現、さらに図面表現（CAD データ）が必要となる。本研究ではそれぞれの表現を、機能表現、構造表現、実表現と呼び、それらの表現によってモデル化された設計対象をそれぞれ機能モデル、構造モデル、実体モデルと呼ぶことにする。一方、製造プロセス（下流工程）では、主に図面から製品の加工情報が作られるため、上記の実表現が利用される。したがって、設計・製造プロセスでの変遷する設計対象を統合的に表現するために、機能モデル、構造モデル、実体モデルを統合する必要がある。その統合化したモデルが、設計対象モデルである。

設計対象モデルは、機能データベース、構造データベース、知識ベースで構成される。各データベースは、

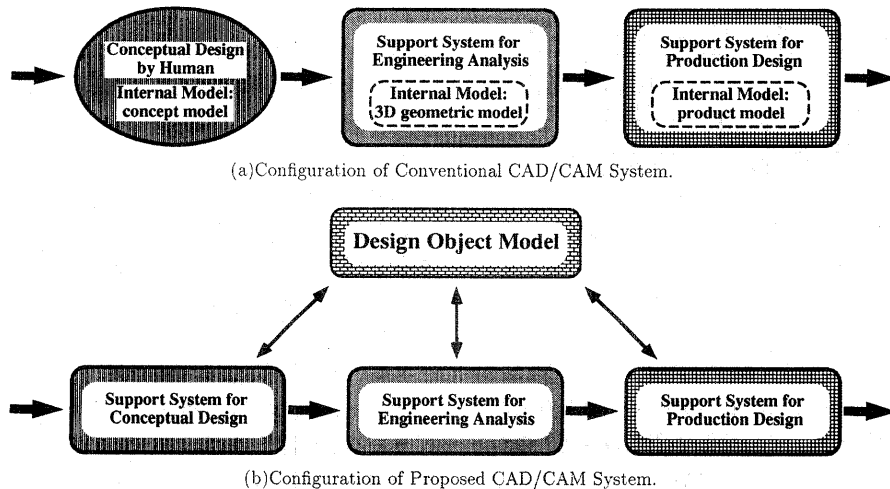


図2 従来型システムと提案システム
Fig.2 Conventional system & proposed system.

データの操作の一貫性、データの階層表現能力、データの修正および追加などのメンテナンス性などの点で優れたオブジェクト指向データベース^{10),11)}によって構成される。各データベースの構造は、属性と属性値の組で表現し、各属性値に対する制約記述はメソッドを利用している(詳細については、文献12)を参照)。以下、各データベースで表現されている属性について述べる。

3.2.1 機能データベース

機能データベースは、設計対象の機能要素に対応するオブジェクト(機能オブジェクトとよぶ)によって構成されている。機能オブジェクトは、その機能オブジェクトが適用できる設計対象の領域、その機能オブジェクトと他の機能オブジェクトとの階層関係や制約、およびその機能を実現する構造オブジェクト名(後述)を記述するための属性などから構成される。設計対象の機能要素の記述には、その機能要素を実現する部品と他の要素を実現する部品との物理的因果関係を記述する部分が必要である。しかしながら、設計対象の具体的な実現方法を検討する段階で、それら部品間の物理的因果関係を明確に規定することは困難である。さらに、本システムが対象とする多品種少量生産の製品でかつシリーズ製品では、製品に必要な機能が既知である。このような製品においては、設計者に対し、その部品がどのような機能を持ち、その機能がどのような機能要素から構成されているかを明確にすることが重要だと考える。以上の理由から、機能オブジェクトに物理的因果関係を記述することは省略した。

下流工程での設計変更を可能とするために、その機能が必要機能なのかそれとも付加機能なのかを指定す

るための属性を機能オブジェクトに用意してある。下流工程で設計変更する場合、それらの指定を参照することで、必要機能に対応する図面要素の形状を優先して保持し、付加機能に対応する要素の形状を変更するなどの、設計変更に対する機能面からの制約を与える。

3.2.2 構造データベース

構造データベースは、設計対象を構成する部品(構造オブジェクト)のデータベースである。構造オブジェクトは、その構造オブジェクトに対応する部品の各種の形状属性、および他の構造オブジェクトとの階層関係や制約を記述するための属性などをもつ。例えば、“板を固定するためのネジ穴”についての構造オブジェクトの場合、ネジ穴の形状とその配置座標の属性や、ネジ穴の径とネジ自体の径との関係を記述する属性が定義される。それらの属性に対して、具体的な数値や式(例えば、ネジ穴の径とそこに使われるネジの径が等しいことを示す式)などの属性値が与えられた構造オブジェクトが、設計対象の実表現を構成する。

3.2.3 知識ベース

知識ベースは、設計対象に関する知識を格納する部分であり、設計対象の構造・機能に関する知識や加工法などの知識を格納する。この知識ベースは、機能オブジェクトや構造オブジェクトに対する手続きを格納している。知識ベースの構成は、あることがらに関係する知識を1つのクラス(知識クラスとよぶ)に対応させ、そのクラスのインスタンス(知識オブジェクトとよぶ)によって個々の設計対象に関する知識を表現する。本システムでは、各クラスのデータを“知識クラスライブラリ”に、各クラスのインスタンスのデータを“知識オブジェクトライブラリ”に保管する。例

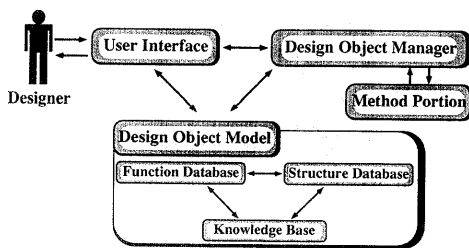


図3 システムの構成

Fig. 3 Configuration of system.

例えば、NC プログラム生成に関する知識は、加工形状とNC 工作機械の工具の関係に依存する。各加工方法ごとに、各加工形状と各工具の関係を“if-then 型”のルールで記述し、それぞれを1つの知識オブジェクトとして表現する。このような知識オブジェクトを“NC プログラム生成の知識”という知識クラスとして扱う。

3.3 システムの構成

ISSDM の全体構成は、図3に示すように設計対象を表現する設計対象モデル、各種の設計作業を支援するツールが格納されるメソッド部、設計・製造プロセスの流れを制御する設計オブジェクトマネージャ、および設計者との対話を行うユーザインタフェースからなる¹³⁾。設計対象モデルは、システム内での設計対象を表現するものであり、設計対象領域の知識を格納する。よって、1つの設計対象モデルが1つのシリーズ製品設計に必要となる。設計オブジェクトマネージャは、設計・製造のプロセスの流れを制御するものである。設計対象モデルが設計作業ツール間を移動することで、設計対象の各種の属性が徐々に明確になる。このことにより、作業ツールの利用順序が設計・製造の流れを表すことになる。設計オブジェクトマネージャでは、作業ツールの利用順序を if-then ルールによって記述している。

4. 設計プロセスの支援

ここでは、ISSDM における設計プロセスの支援方法について述べる。

4.1 設計プロセス

設計は、要求された機能を満たすある具体的な構造をつくりだす過程である。設計プロセスでは、設計対象の機能表現から構造表現への変換が行われる。したがって、設計プロセスを支援するためには、支援システムが、設計対象の機能情報、構造情報および形状情報を扱うことができなければならない。本研究では、この変換における設計対象の表現レベル(抽象度)に着目し、設計プロセスを以下の3つの段階に分けている。

- (1) 設計対象の機能を定義する。(機能表現レベル)
- (2) 定義した機能表現からそれに対応する構造を生成する。(構造表現レベル)
- (3) 構造表現から図面データを生成する。(実表現レベル)

設計プロセスをこのような3つの段階に分けることで、設計プロセスという抽象的な設計作業が、より具体的な設計作業として扱え、よって、支援方法も明確になる。以下に、これら3つの段階に対する支援方法を述べる。

4.2 機能展開による機能定義

上記(1)では、品質管理(TQC)の分野で利用されてきた機能展開¹⁴⁾を用いる。機能展開は、設計物の構成を機能に展開し、システムの計画や各種の管理などに使用する方法である。例えば、自転車のペダルについて考えると、ペダルの機能として「動力を発生する」とすると、その機能に対し、「燃料を供給する」、「燃料を動力に変換する」、「動力を伝える」などの機能が展開される。ここで、「燃料を人間の力によるもの」と仮定すれば、「燃料を供給する」という機能は削除でき、「燃料を動力に変換する」という機能は、「人間による運動を動力に変換する」といった機能で表現できる。さらに、通常の自転車を想定した場合、「動力を伝える」という機能は、「チェーンやベルトによって伝える」といった、より具体的な方法に展開できる。また、「燃料を電力と人間の力によるものとの併用したもの」と仮定すれば、「燃料を動力に変換する」という機能は、「モータによる変換」が考えられ、次に、「モータ」についての機能が展開され、より深い階層の機能展開が行われることになる。このようにして、目的→手段→目的→手段というように展開する。こうすることで、

- (a) 目的とする機能が明確になるため、その機能を実現する方法を考えたり、代替案を引き出すことが容易になる。
- (b) 設計対象の機能定義が整理され、抜け落ちの項目のチェックが容易になる。

など、設計を進める際に効果がある。ISSDM では、設計対象の機能の階層構造を明確にするために、このような機能展開の利点を利用している。

この機能展開を支援するにあたって、事前にシステムに登録してある設計対象の機能要素を設計者に提供する。例えば、先の例での「燃料を動力に変換する」や「動力を伝える」などである。ISSDM では、このような機能要素を3.2.1項に述べた機能オブジェクトで表現する。設計者は機能オブジェクトを利用して、設計対象の機能展開を行う。設計者は機能展開を行いな

がら、各機能オブジェクトの設計仕様を定義していく。機能オブジェクトが、他の機能オブジェクトと階層関係を持っている場合には、その階層関係を表示し、設計者はその提示された機能オブジェクトを選択、追加しながら機能展開を進める。従来、機能展開を行う場合、設計者は設計対象について熟知していなければならなかった。ISSDMでは、ある機能要素と階層関係をもつ機能要素を、システムが設計者に提示することで、機能展開を支援している。

4.3 機能から構造への変換機構

(2)、(3)は、設計対象の機能的表現から構造的表現への変換を行う部分である。ある1つの機能を実現するには、複数の設計解が存在する。その複数の設計解から特定の設計解すなわち設計対象の構造を決定するために、設計要求・仕様が使われる。したがって、(2)の段階では、(1)の段階で構築された機能モデルと(1)の段階で与えられた設計仕様・要求から、設計対象の構造モデルを生成する。この生成された構造モデルは、構造オブジェクトの階層表現によって示される。さらに図面データである実体モデルを(3)の段階で生成する。このような生成を行う機構を、ISSDMでは設計物生成機構とよぶ。

設計物生成機構は、事前に設計対象の機能オブジェクトと構造オブジェクトとの関係をデータベースに格

納し、そのデータベースから設計仕様・要求を満たす関係を検索する。図4に設計物生成機構の処理の流れを示す。同図に示すように、設計者が、機能データベースに格納されている機能オブジェクトを使って、階層的に設計対象の機能表現を構築し、すなわち機能展開を行う((1)の段階)。そして、設計物生成機構が、機能展開によって構築された機能モデルから設計仕様を満足する構造モデルを生成する。この段階で、生成した構造モデルに問題がある場合は、設計者が構造モデルを修正する。つぎに、その構造モデルから設計仕様を満足する実体モデル、すなわち設計図面を生成する。生成された実体モデルに問題がある場合、設計者もしくはシステムによって修正が行われる。構造モデルから実体モデルへの変換のときには、設計仕様・要求により、設計対象の属性値を決定するために各種の計算を行う必要がある。これらの計算手続きはメソッド部に格納してあり、設計物生成機構からメソッド部にメッセージが送られて計算が行われる。

このような(1)から(3)の段階を経て設計図面を作るプロセスは、まったく白紙の状態から新しいものを設計するものではない。通常、設計者は、発明的な設計を除いて、過去の設計事例から利用できる部分を取り出し、それらを組み合わせて設計を行っている。特に、ISSDMが対象とする多品種少量製品のように、

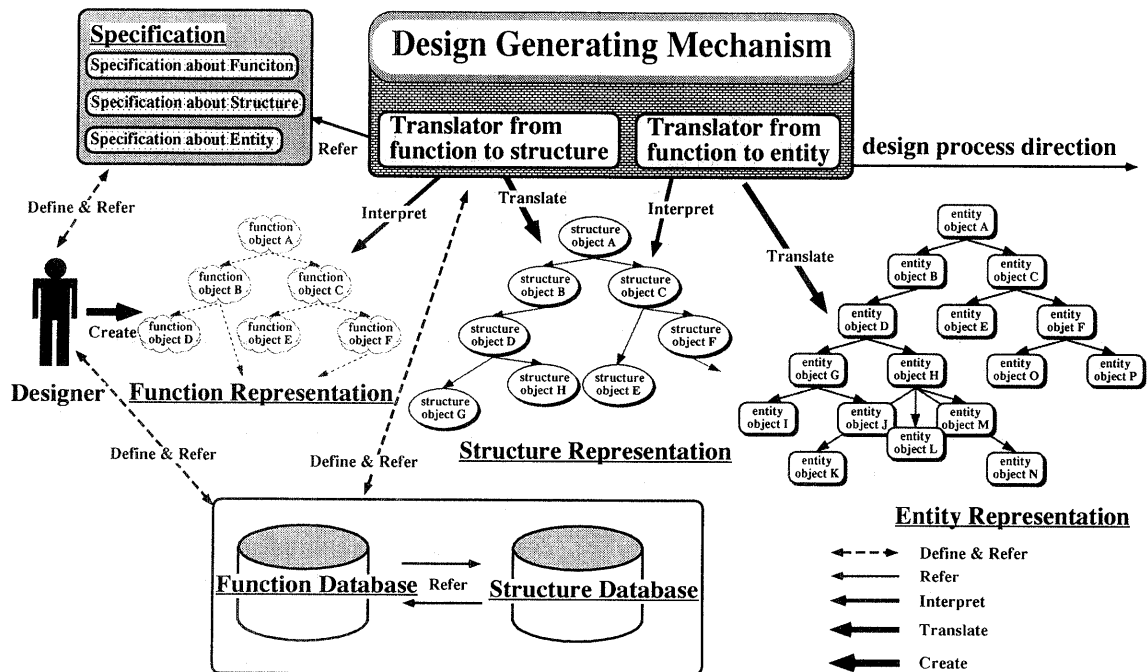


図4 設計物生成機構の構成
Fig. 4 Configuration of design generating mechanism.

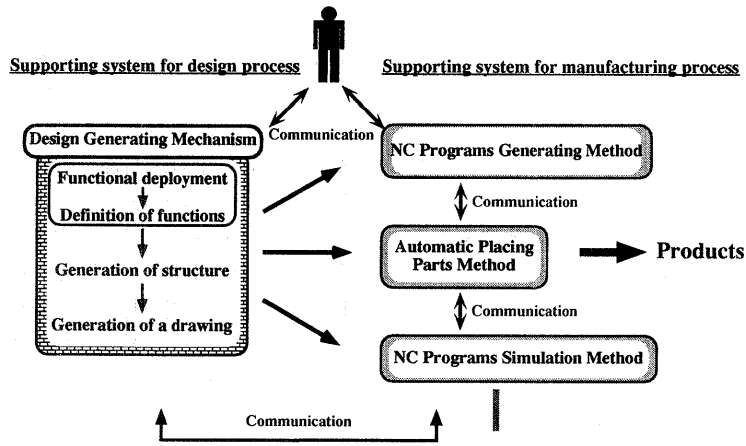


図5 システムの支援の流れ
Fig. 5 Processing flow of system.

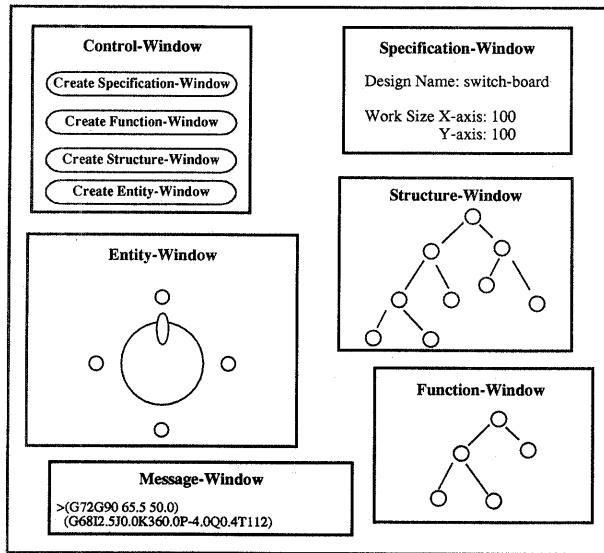


図6 操作画面の概略図
Fig. 6 Sketch of system's starting screen.

各製品に共有して必要な機能は決まっているが仕様によって微妙に必要な機能が異なるような製品においては、例えばユニット住宅業界¹⁵⁾などにみられるように、製品の部品化による再利用が有効である。そこでISSDMでは、従来からの部品化技術による部品に対応する構造オブジェクトに加え、より抽象的な部品を表現する機能オブジェクトを設計者に提供することで、設計者の負担を軽くするようにしている。

5. ISSDMの支援動作

上述したISSDMの基本的な考えをふまえ、その有効性を検討するためにシステムを作成した(以降、作成したISSDMのことを、試作システムと記す)。試作

システムは、Common Lisp¹⁶⁾をオブジェクト指向言語に拡張したCommon Lisp Object System (CLOS)で実現している。

試作システムによる設計・製造プロセスの統合支援の流れを図5に示す。同図に示すように支援の内容から、支援の流れを設計プロセス支援部と製造プロセス支援部とに分けた。4章に述べた方法で、設計プロセスの支援が行われ、その支援の過程を経て設計対象モデルが詳細化される。一方、製造プロセスでは、製造プロセス支援ツールによって、その設計対象モデルを製品に加工する。試作システムでは製品の加工方法としてNCタレットパンチプレス工作機械(NCT)を取り上げ、そのための製造プロセス支援ツールとして図面

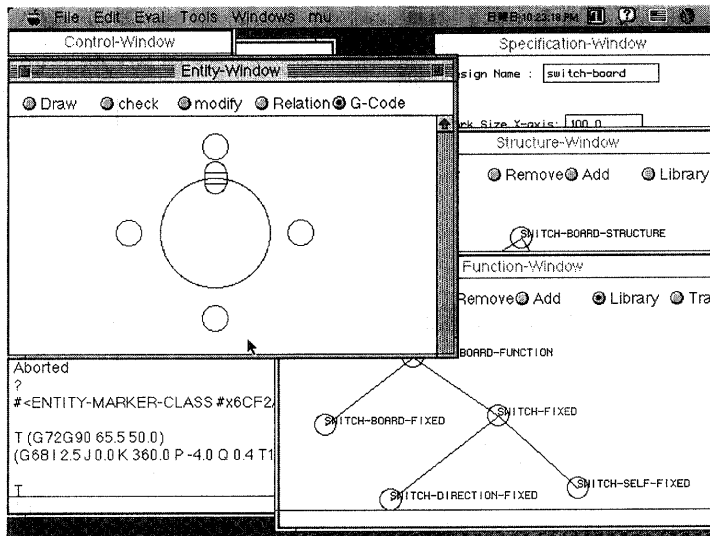


図7 システムの実行画面

Fig.7 Display of system.

からNCプログラムを生成するNCプログラム生成メソッド¹⁷⁾や、他に筆者らによって開発された製品部品自動配置メソッド¹⁸⁾を用意している。これらのメソッドは、3.3節で述べたメソッド部に格納されている。

図6に試作システムの操作画面を示す。操作画面は、仕様入力のためのウィンドウ (Specification-Window)、機能モデルの表示および操作を行うためのウィンドウ (Function-Window)、構造モデルの表示および操作を行うためのウィンドウ (Structure-Window)、実体モデルの表示、その検査作業および製造プロセス支援ツールを操作するためのウィンドウ (Entity-Window)、およびこれらのウィンドウを生成するためのウィンドウ (Control-Window) から構成される。試作システムの実行画面を図7に示す。

5.1 設計プロセス支援

ここでは、設計例として多品種少量生産の代表的な製品である配電盤のスイッチ盤部分の設計を取り上げる。最初に、ユーザは、Specification-Windowに設計仕様を入力する。ここでは、設計対象物名とワークサイズを入力する。この例では、“switch-board”と入力する。本システムが、機能データベースに登録されている適用設計対象を“switch-board”とする機能オブジェクトをFunction-Object Managerというウィンドウに表示する。このウィンドウは、機能オブジェクトの選択、追加、削除、機能オブジェクトの内容の表示など機能オブジェクトに対する操作を行うインタフェースである。このインタフェースを介し、ユーザは機能展開を行う。ここで、提示された機能オブジェク

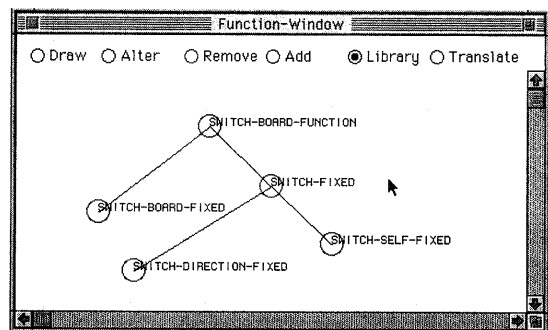


図8 機能モデルの階層表示

Fig.8 Hierarchical representation of functional model.

ト“switch-board-function”は、必要機能として“switch-fixed”と“switch-board-fixed”という2つの下位オブジェクトで構成されていることをユーザに知らせる。これらの機能オブジェクトを選択すると、より具体的な設計仕様を入力をシステムがユーザに尋ねる。ここでは形状を入力する。このようにして、より具体的な設計仕様を決定する。最終的に、図8のような機能モデルがつくられる。

次に、各構成要素の形状の属性や要素間の関係が決定され、設計物生成機構が、図8の機能モデルから図9に示す構造モデルを生成する。この構造モデルでは、図8の機能モデルのスイッチ本体の方向性を一定にする機能 (SWITCH-DIRECTION-FIXED) が、より具体的な構造物を示すKEY-HOLEという構造オブジェクトに変換されている。図9の構造モデルの階層構造と、図8の機能モデルのそれは同一である。その理

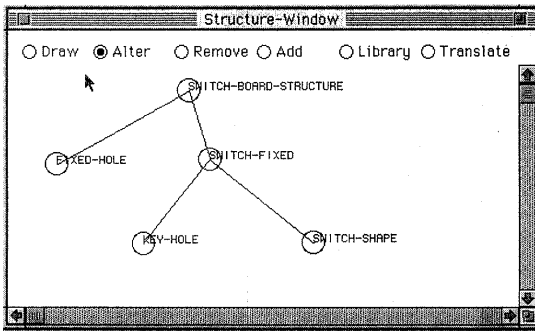


図9 構造モデルの階層表示

Fig.9 Hierarchical representation of structural model.

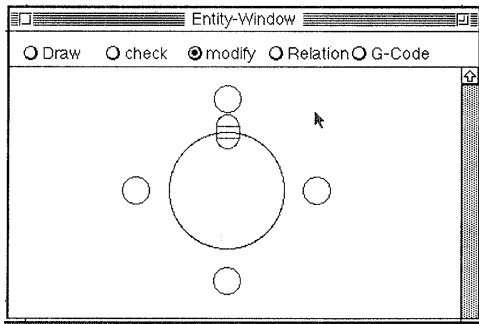


図10 修正した図面

Fig.10 Display image of a modified design drawing.

由は、機能オブジェクトに対応する構造オブジェクトが1対1の関係のものを扱っているためである。

さらに図9の構造モデルから、実体モデルを生成するために、スイッチの形状に関する情報を設計仕様として入力することをシステムが要求し、その形状をユーザが入力して実体モデルが生成される。ここで、この図面が加工できるかどうかを調べ、加工できない場合、システムまたはユーザが図面を修正する。試作システムでは、NCTに関する加工可能性に限定して、システムが図面を修正することができるようにしている。その結果、図10の図面が得られる。図10の同径の4つの円がスイッチ盤を固定するためのネジ穴、中央の円がスイッチ本体を固定するための穴、また、中央の円と交差した部分がスイッチ本体の方向性を一定にする部分（キー溝とよぶ）にそれぞれ対応する。

5.2 製造プロセス支援

図10の図面を加工するために、NCT用のNCプログラム生成メソッドを使ってNCプログラムを生成する。NCプログラム生成のアルゴリズムは、図面をNC工作機械の工具の形状に分解し、適当な工具を選択し、プログラムを生成する。また、図面で指定されたサイズの工具をNC工作機械が持っていない場合、

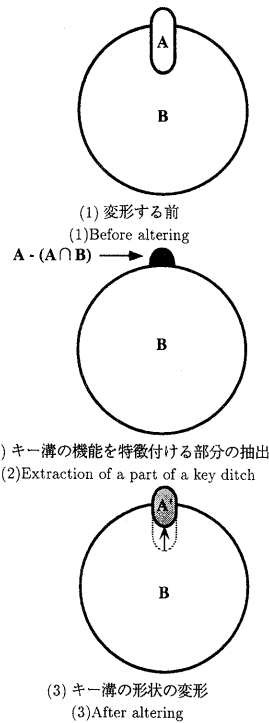


図11 形状変形の説明

Fig.11 Diagrammatic sketch of the way of altering component's shape.

A: キー溝(Key ditch), B: スイッチ本体を固定する部分(Part of "switch-self-fixed"), A': 変形したキー溝(Altered key ditch).

従来までのNCプログラム自動生成ツールでは、NCプログラムを生成することが困難であった。試作システムのNCT用NCプログラム生成メソッドでは、そのような場合、加工方法を変えるか、または現在持っている工具に適合するよう設計対象の形状を変えることでNCプログラムの生成を行う（詳細については、文献17)を参照)。NCTによる加工は板状の金属材料に2次元の穴開け加工を行うものであり、NCT用NCプログラム自動生成で問題となるのは、図面の中で加工要素が互いに交差している場合、設計対象のどの部品の形状をどのように変更するかを決定することである。このような場合、通常、人手によって図面を加工しやすいように変更する。また、「図面要素がどのような機能であるか。」によって、どの部分をどれだけ変更するかが決定される。したがって、このような作業を行うには、図面に対する理解が必要であり、必然的に熟練技術者に依るところが大きいのが現状である。以下、試作システムでの設計対象の形状を変える方法について、スイッチを固定する機能オブジェクト(SWITCH-FIXED)に対応する図面を例にして図11を使って説明をする。

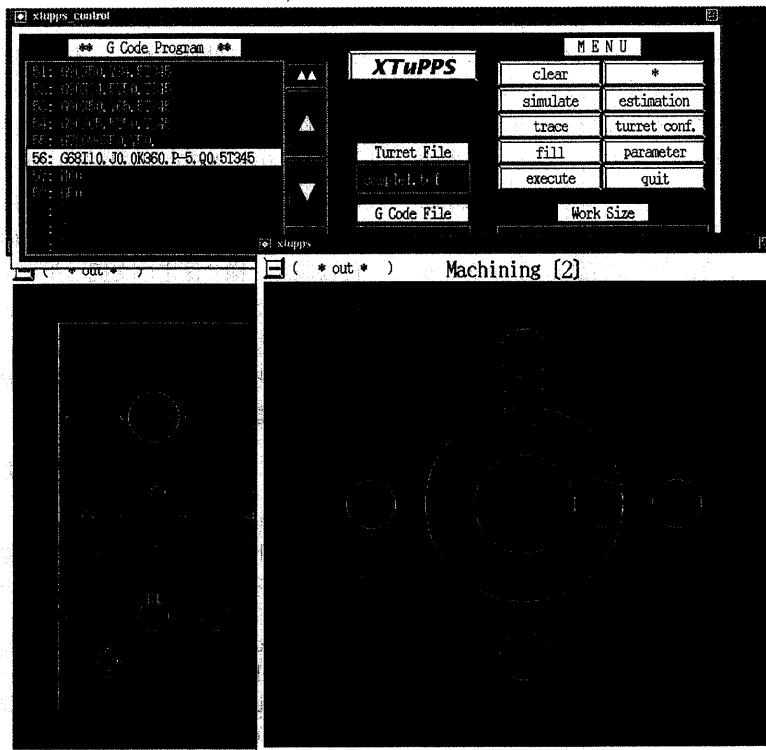


図12 NCプログラムのシミュレーション結果
Fig. 12 Result of NC program simulation.

スイッチを固定する機能オブジェクトは、スイッチ本体の方向性を一定にする機能オブジェクト (SWITCH-DIRECTION-FIXED) とスイッチ本体を固定する機能オブジェクト (SWITCH-SELF-FIXED) によって構成されている。それぞれの機能オブジェクトに対応する実体は、図11のAとBの部分である。機能モデル構築時に、スイッチを固定する機能オブジェクトの必要機能として、スイッチ本体を固定する機能オブジェクトが指定され、さらに、付加機能としてはスイッチ本体の方向性を一定にする機能オブジェクトが指定される。NCプログラム生成メソッド実行時に、それらの指定を参照することで、どの部品の形状が変更できるかが特定される。さらに、NCTによる加工物は2次元であるため、キー溝の部分(A)からスイッチ本体を固定する部分(B)の積操作した部分(A∩B)を引くことで、キー溝の機能だけに対応する部分が求まる。求まった部分を保持することでキー溝の機能が保証される。このようにして、どの部品の形状をどのように変更するのかを決定し、NCプログラムを生成する。生成されるNCプログラムは、NCT用Gコード¹⁹⁾とよばれるプログラミング言語仕様によるものである。ここでは、利用できる工具として、

「直径5cmで丸」と「長丸形で長幅5cm、短幅4cm、角度90度」を仮定した。それぞれの工具番号は、便宜的に、T345とT343としている。

- キー溝(A)の形状情報は長丸形、長幅6cm、短幅4cm、角度90度で中心座標(50, 61)。
- スイッチ本体を固定する部分(B)の形状情報は、形状は丸、直径20cmで中心座標(50, 50)

である。このとき、キー溝に対応する工具がないので、上述の手続きにしたがって、キー溝の形状情報は長丸形、長幅5cm、短幅4cm、角度90度で中心座標(50, 60.5)と変形する。このキー溝の加工に対応するNCプログラムは、

```
G 90 X50.Y60.5T343
```

が生成された。

また、スイッチ本体を固定する部分に対応する工具がないので、加工方法を単純な1回のパンチングでなく、ニプリングとよばれるパンチング方法を利用してNCプログラムを生成した。そのプログラムは以下のものである。

```
G72G90X50.Y50.
```

```
G68I10.J0.OK360.P-5.Q0.5T345
```

```
M00
```

以上の生成された NC プログラムが実際に利用できるかを NC プログラムシミュレーション²⁰⁾によって調べ、加工可能であることを確認した。その実行画面を図 12 に示す。なお、このシミュレーションシステム自体はワークステーションで稼働し、ファイルを使って、設計オブジェクトマネージャとデータの受け渡しを行っている。

以上の方法によって、加工要素が互いに重なり合った場合の問題を解消することができる。この手法の特徴は、製造プロセスの段階において、設計対象の形状情報だけでなく、設計対象の機能に関する情報（ここでは、必要・付加機能の指定）を利用して設計変更を行ったことである。従来までは、製造プロセスの段階で、図面の微少な修正をするときにも、設計プロセスにさかのぼって設計を見直す必要があった。それに対し、ISSDM の手法では、製造技術者に対しても、図面の機能的、構造的意味を提供することで、製造プロセスの段階での図面の修正が可能になり、NCT による加工物に対してシステムが自動的にその処理を行うことができるようになった。ただ、現在の手法では機能の特徴付ける部分の抽出が、NCT による製品のような 2 次元の製品に限定したものである。

6. おわりに

本論文では、設計・製造プロセスを統合支援するためのシステム：ISSDM を提案し、設計対象を NCT で加工される多品種少量製品に限定した試作システムについて述べた。ISSDM では、設計・製造プロセスで一貫化したデータモデルである属性モデルに、機能定義のような上流工程を支援するために機能モデルを追加した設計対象モデルを導入した。ISSDM の上流工程支援としては、機能オブジェクトを使って設計対象の機能展開を支援して機能モデル構築を行う。そして、機能モデルから設計仕様にしたがって構造モデルへ、さらに実体モデルへの変換を支援する。設計対象モデルを導入したことで、NC プログラム生成のような製造プロセスの段階で、多角的に表現された図面情報を利用することができるようになった。その結果、従来では NC プログラム自動生成が困難である設計対象に対しても、ISSDM では NCT 用 NC プログラムに関して自動生成が可能になった。これらは、上流工程の支援と下流工程の支援を有機的に結合したことを示している。したがって、設計対象モデルによって設計・製造プロセスにおける“設計情報”の透過性を向上させ、設計対象モデルと支援ツールとの関係から“情報の流れ”を表現することができた。さらに、これはコ

ンカレントエンジニアリングに代表される設計・製造プロセスの“情報の流れ”を重要視した設計・製造支援のパラダイムの一実現法を提供するものである。

試作した ISSDM に対する将来の拡張および課題としては、(1) NCT 加工以外の他の加工方法に対する NC プログラム生成のメソッドの実現・整備、(2) 機能オブジェクト間の関係の記述方法の改善、(3) より抽象的な設計仕様の決定の支援、などが挙げられる。これらの課題は試作したシステムが NCT 加工による製品に限定したことによるものであり、これらの課題を解決することで、より実用的な統合支援を実現することが可能になると考える。

参 考 文 献

- 1) 長澤 勲：設計支援のパラダイムとインテリジェント CAD, 吉川弘之, 富山哲男編著：インテリジェント CAD (上) 一理念とパラダイム一, pp. 113-114, 朝倉書店 (1989).
- 2) Reddy, Y. V. R., Srinivas, K., Jagannathan, V. and Karinithi, R.: Computer Supporting for Concurrent Engineering, *IEEE Computer*, Vol. 26, No. 1, pp. 12-16 (1993).
- 3) Rosenblatt, A. and Watson, G. F.: Special Report-Concurrent Engineering, *IEEE SPECTRUM* (July 1991).
- 4) Cutkosky, M. R., Engelmores, R. S., Fikes, R. E., Genesereth, M. R., Gruber, T. R., Mark, W. S., Tenenbaum, J. M. and Weber, J. C.: PACT: An Experiment in Integrating Concurrent Engineering Systems, *IEEE Computer*, Vol. 26, No. 1, pp. 28-37 (1993).
- 5) Phillips, R. E. and Rosenfeld, L. W.: A Knowledge Based System for Design Automation, *Proc. 6th Int. Symp. on Offshore Mechanics and Artic Engineering* (1987).
- 6) 長澤 勲, 古川由美子, 荒牧重登：論理プログラミングを基礎とした設計システム記述言語 ADL, 情報処理学会論文誌, Vol. 25, No. 4, pp. 606-613 (1984).
- 7) 長澤 勲, 古川由美子：拘束条件リダクション法を用いた機械設計計算支援システム, 情報処理学会論文誌, Vol. 27, No. 1, pp. 112-120 (1986).
- 8) 中島裕生, 馬場富男, 加藤 亨：オブジェクト指向設計知識・データ表現システム, 情報処理学会論文誌, Vol. 32, No. 5, pp. 635-644 (1991).
- 9) 中島裕生, 田原一徳, 加藤 亨：機械設計支援エキスパートシステム構築シェル：MAGIC, 情報処理学会論文誌, Vol. 31, No. 11, pp. 1572-1580 (1990).
- 10) Kim, W.: Object-Oriented Databases: Definition and Research Directions, *IEEE*

Trans. on Knowledge and Engineering, Vol. 2, No. 3, pp. 327-341 (1990).

- 11) 宇田川佳久: オブジェクト指向データベースのCADへの応用, 情報処理, Vol. 32, No. 5, pp. 586-592 (1991).
- 12) 金井秀明, 若林伸和, 本多中二: 機能オブジェクトを利用した設計・製造プロセスの上流工程支援システム, 計測制御学会合同シンポジウム講演論文集, pp. 13-20 (1994).
- 13) 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, 第46回情報処理学会全国大会論文集, 8 R-2 (1993).
- 14) 水野 滋, 赤尾洋二: 品質機能展開, 日科技連 (1978).
- 15) 野村俊哉, 前道拓治: ユニット住宅とファミリー生産, オートメーション, Vol. 38, No. 11, pp. 36-41, 日刊工業新聞社 (1993).
- 16) Apple Computer, Inc.: *Macintosh Common Lisp Reference* (1992).
- 17) 金井秀明, 若林伸和, 本多中二: 設計対象モデルを用いたNC機械工作のための加工プログラム自動生成システム, 第36回自動制御連合講演会, pp. 299-300 (1993).
- 18) 田中功二, 金井秀明, 若林伸和: NC加工における部品の形状配置問題に関する研究, 情報処理学会グラフィックとCADシンポジウム, pp. 135-142 (1993).
- 19) アマダ板金加工研究会編: NCT加工の手引き, マシニスト出版 (1991).
- 20) 若林伸和, 北橋忠宏: パターン認識の手法を利用した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D, Vol. 113-D, No. 6, pp. 778-785 (1993).

(平成6年8月8日受付)

(平成7年4月14日採録)



金井 秀明 (学生会員)

1969年生. 1991年法政大学工学部電気工学科計測制御専攻卒業. 1993年電気通信大学大学院博士前期課程修了. 現在, 同博士後期課程在学中.

コンピュータによる設計・製造過程の支援に興味を持つ. IEEE, 計測自動制御学会, 人工知能学会各会員.



若林 伸和 (正会員)

1965年生. 1989年電気通信大学大学院電子情報学専攻修士課程修了.

1992年大阪大学大学院工学研究科通信工学専攻博士課程単位修得退学. 同年, 電気通信大学大学院情報

システム学研究科助手. 1995年静岡大学工学部システム工学科助教授, 現在に至る. 博士(工学). 産業応用システムの開発に関する研究に従事. 電気学会, 日本航海学会, 電子情報通信学会, IEEE 各会員.



本多 中二

1946年生. 1970年電気通信大学卒業. 1972年同大学院修士課程修了.

同年同大学助手. 現在同大学電子情報学助教授. 工学博士. 情報システム, ファジィシステムエキスパー

トシステムの研究に従事. IEEE, 計測自動制御学会, 日本ファジィ学会各会員.