

モノづくりにおける知識・ノウハウの伝承とそのシステム化

Emerging Synthesis of Design Process Knowledge and Its Implementation

成子由則

(株)トヨタケーラム

1. はじめに

設計・製造プロセスにおいて必要とされるノウハウを含む多様な知識をデジタル化し、知的資産として共有する仕組みを作ることにより、設計・製造の作業がより効率的に遂行され、技術の蓄積と継承・伝承も組織的に進むと考えられている。しかしながら、こうした知識・ノウハウは、熟練技術者個人に属人的に特化している場合が多く、再現性のあるデジタル技術に置き換えることは、一般に困難とされていた。

本報では、熟練技術者が「どのような手順で設計し、そのとき何を念頭に置いて作業しているか、また何故そうするのか」といった仕事のプロセスとしての「仕事の進め方」を知識・ノウハウとして捉え、これを「見える化」して実用的な複雑さや規模で実装し、実務において実証した結果を報告する。

すなわち、モノづくりにおける知識・ノウハウの本質は手順や判断基準であることに着目し、何故そのような手順を踏むのかという理由を含めて仕事のプロセスを体系的に記述する方法を考えた。この方法に基づき、知識・ノウハウをフローチャート形式によりモデル化し、デジタル化して獲得、編集、蓄積、再現実行できるモノづくり支援システムを開発した。

実装されたシステム「指南車」は、設計、製造の現場に適用され、モノづくりにおける知識伝承ならびに品質レベルの高位平準化、リードタイムの短縮に効果的であることが実証された^{1),2)}。

2. 知識のモデル化と表現方法

2.1 知識のモデル化

モノづくりにおける知識・ノウハウの最も重要な要素は、仕事の進め方としての手順や判断基準であると考えた。これらをモノ作りにおけるプロセス知識として、判断、分岐、入力など、作業過程における個々の機能とそれに関係する入出力情報を組み合わせた単位操作の因果連携構造としてモデル化し、フローチャート形式により、再現性のある形に表現する。

すなわち、仕事は単位操作の集合体であり、各単位操作は次の3要素で構成されると考えた。

- ① 機能（入力情報に対する処理としての機能）
- ② プロセス（機能の因果連携構造としての機能の実行順序）
- ③ 情報（機能に対する入力および出力情報、制約条件や判断根拠情報も入力情報に含む）

デジタル表現されたこれら3要素を統合したモデルを本報では「知識ユニット」と呼ぶ。単位操作は、この知識ユニットにより記述することができ、仕事の進め方は、知識ユニットの集合体に

1) 成子由則：モノづくりにおける知識・ノウハウの伝承、情報管理、49,8(2006),439-448

2) 成子由則：設計プロセス知識の現場での活用、設計工学、42,4(2007),203-209

より表現できることになる。知識ユニットは、データ（入力情報）→機能（処理）→データ（出力情報）の組で表される複数の基本型を、時系列に並べたグラフ構造で表現される。機能はサブ機能の集合体と考えられるので、通常は階層構造をとる。

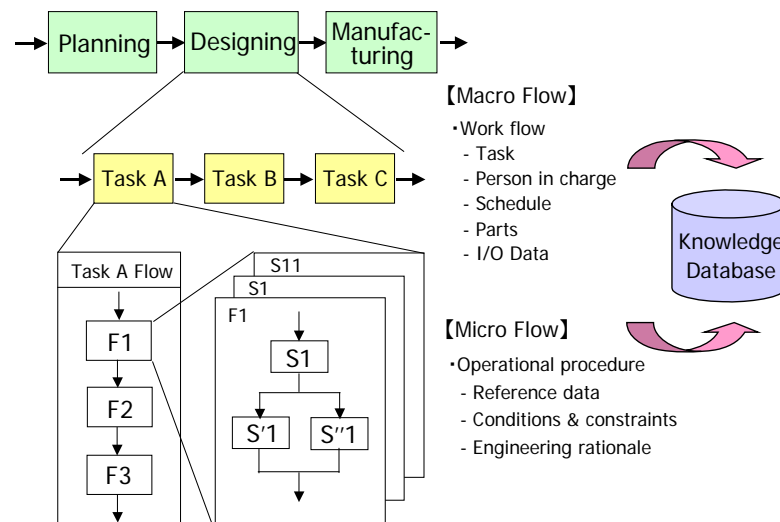


Fig.1 Method for Knowledge Representation

仕事の進め方は、Fig.1 に示すように、企画、設計、製造などの大工程に加え、それぞれを構成するサブ工程を含めた全体的な仕事の流れ「マクロフロー」と、それぞれのサブ工程の業務を遂行して行く作業の流れ「マイクロフロー」により表現できる。

設計作業の各局面において参照すべきデータ、数式、判断根拠、対処方法などの関連情報は、マイクロフローの対応箇所にリンクされる。こうしたフローおよび関連情報を共通のデータベースに組み込み、それを再現することにより、利用者は仮想的な熟練技術者による仕事の進め方を「なぞる」ことが可能となる。すなわち、熟練者の手順を表すフローと判断根拠を示す図表や数式などの関連情報を参照することにより、具体作業を行う。

2.2 知識の活用

以上の考え方にに基づき、モノづくりの手順やノウハウを第三者が実行、再現できるレベルで形式知化するフレームワークとして次の4要素を定義する。

- ① 業務工程（マクロフロー）、
- ② 詳細手順（マイクロフロー）
- ③ 寸法・形状決定の規約、技術標準、制約式などの制約条件
- ④ 数式、理論、表、根拠資料などの根拠情報

このフレームワークに従い、熟練技術者の有する技能やノウハウを設計・製作の作業手順ごと

に細かく分類し、第三者に伝達できるように図表や文章で表現した上で、その根拠となる理論や関連情報とともに、フローチャートと数表、図表、具体的指示などの形でデジタル化してデータベース化する。これらについて、仕事のプロセスの形式知化と、再実行する仕組みを整理したものが Fig.2 である。図中の①～④は上述の4要素を示す。

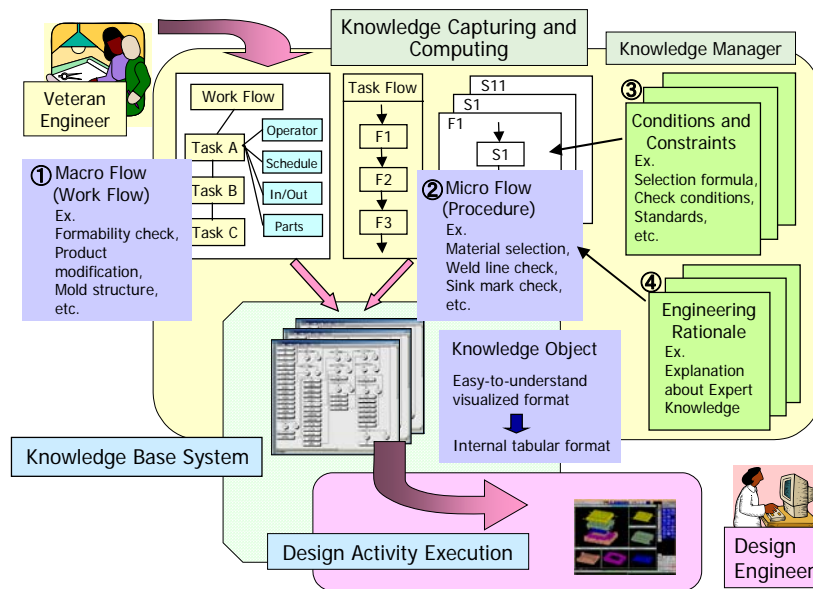


Fig.2 Knowledge Capturing and Management

2.3 知識の獲得

第三者が再実行できる知識の獲得には、熟練技術者に直接インタビューし、逐次作業フローチャートを作成して行く「積み上げ」方式に加え、上級者の CAD/CAM 作業画面より得られる作業画面動画ライブラリーを活用する「キャプチャー」方式を開発した。この2種の方式の詳細を Fig.3 に示す。

設計開発の現場においては、設計の標準化や手順のドキュメント化が比較的良好に進み、設計作業のフローチャート化が容易な部門と、標準化が遅れ、開発作業のフロー化もほとんど行われていない部門とが存在する。前者の場合では、類似設計の多い商品分野を扱っていることが多く、設計フローの構築はインタビューとドキュメント編集により比較的容易になされる。一方後者は、概ね製品の変化が激しい分野を扱っていることが多い。この場合、熟練者の CAD/CAM 作業動画をリモートで録画して、動画ライブラリーをまず構築し、その上でベストプラクティスとなる設計操作画面を静止画や動画で抽出する方法が有効である。切り出した画面にコメントなどを加えて再利用できる設計フローの形に編集する。

これら2種の知識獲得の手法を用いることにより、従来はテキストやドキュメント主体であった知識マネジメントシステムを、詳細な作業手順まで記述した作業フローに基づく応用範囲の広いシステムへと進化させることが可能となる。

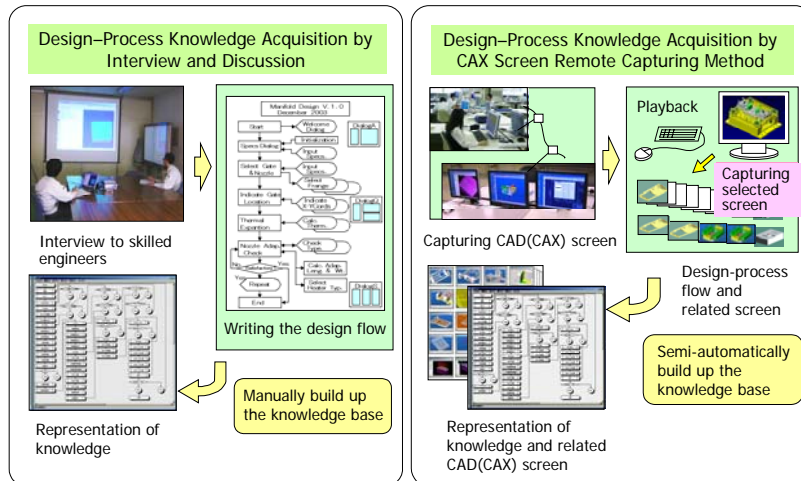


Fig.3 Design-Process Knowledge Acquisition Method

3. 知識ベースシステムの実装

上記フレームワークにより定義された手順やノウハウを獲得、編集、蓄積、実行できる仕組みとして、以下の機能を実現できる知識ベースシステムを実装した。

- ① 知識・ノウハウの獲得機能
- ② 知識・ノウハウを形式知化する標準化機能
- ③ 形式知化された知識コンテンツを編集、蓄積、再実行する機能

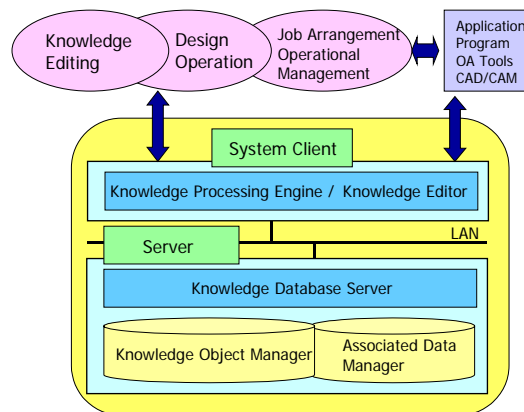


Fig.4 Knowledge Based System Architecture

実装された知識ベースシステムの機能構成を Fig.4 に示す。図中の知識エンジンは、知識作成、編集機能を基盤とする知識オーサリングシステムであり、知識ユニットを構築し、知識データベースに格納する。作成された知識ユニットは、対応する業務に従ってユーザダイアログ画面からの実行指示により逐次実行される。(指南車 SHI-NAN-SHA, <http://www.caelum.co.jp/>)

4. 設計・製造現場への適用例

設計業務への適用事例として、射出成形金型の基本要素であるスライドコアの設計について、フローチャートの形で整理された知識表現の例を Fig.5 に示す。ドキュメント調査や上級者のインタビューを通して、現状の設計作業を洗い出し、詳細な設計フローを作成し、システムの基本機能を用いて、基本テンプレートに落とし込んだ。これらの設計知識は、①スライドコアの標準モデルの選定、②寸法決定のプロセス、制約条件、必要な計算モデル、および根拠資料の定義、③プロセスのフローチャート表現、およびオペレータへの指示ダイアログ画面の作成、④DB への登録およびユーザへのリリース、の各手順に従って作成した。このシステムは、知識エンジンから CAD 側のライブラリーにパラメータを渡し半自動設計する機能も備えており、必要に応じて、詳細形状定義作業を自動化するため、CAD 関数を駆動して形状定義を行う半自動設計ライブラリーを作成することも可能である。

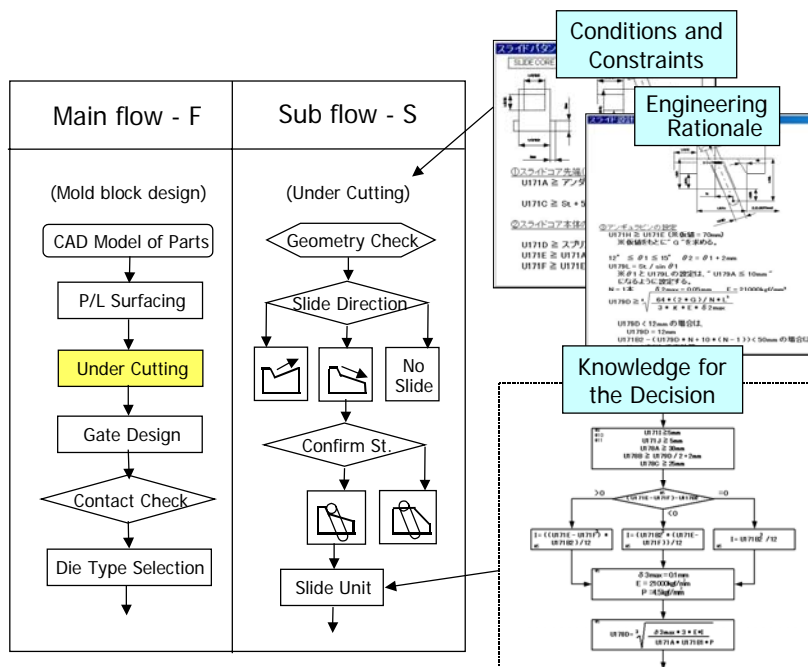


Fig.5 Representation of Slide Core Design Knowledge

この知識を用いてスライドコアを設計している画面の例を Fig.6 に示す。作業用のダイアログ画面により、作業者は教示画面どおりの設計作業を進めることが可能である。従来は、初級者が設計を行う場合、参考図面や関連データを参照しながら試行錯誤するか、または、マンツーマンで上級者が指導を行うスタイルが一般的であった。このシステムにより、経験の少ない作業でも関連知識を用意することにより、設計を進めることが可能となる。

製造現場への適用例として、NC 加工パス情報作成支援に適用した結果を Fig.7 に示す。作業への教示の順序や条件判定の仕組が、作業指示のダイアログ画面群で表示されている。このシステムの稼働環境として、2画面方式が採用されているのは、知識ベースシステムを CAD/CAM 画面から独立させて、利用者に対して教示情報量を多くするためである。

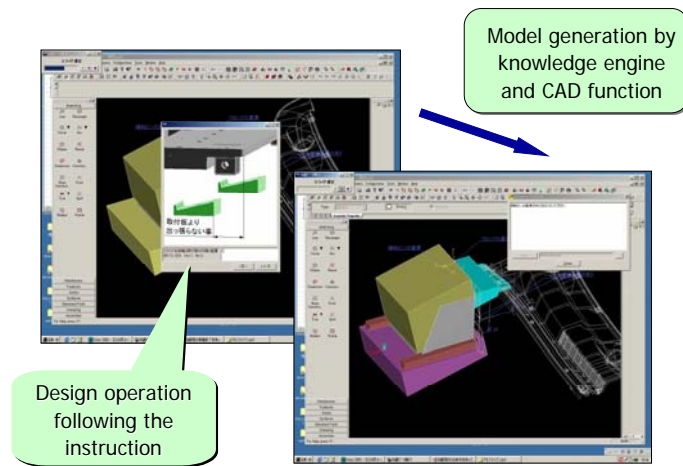


Fig.6 Example of Slide Core Design Practice with Knowledge Instruction

加工データ作成 CAM 作業では、上級者による NC 加工用パス作成手順を分析し、設計作業と同様にフロー化、基本テンプレート化した。同時に上級者による金型部品の荒加工から、中仕上げ加工まで約 3 時間の CAM 作業画面が動画としてキャプチャーされた。そこから約 200 枚の作業静止画が抽出され、本システムに組み込み、CAM の作業教示画面として使用した。

このシステムを用いると、CAM 操作経験の浅い作業者でも、類似部品であればステップごとの克明な作業をたどりながら NC 加工用データを作成できることが実証された。

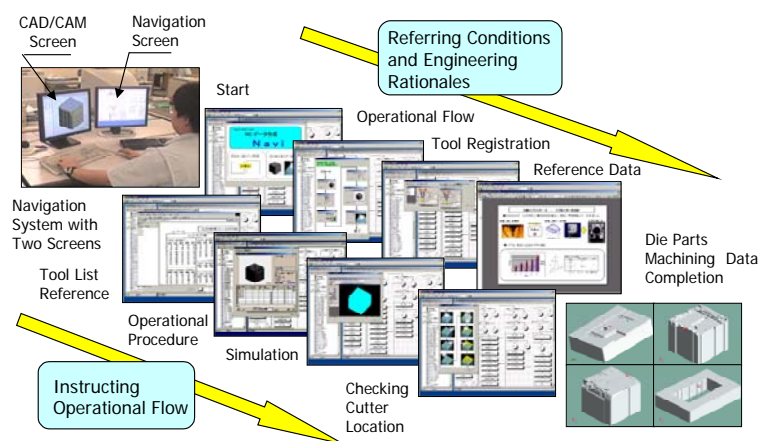


Fig.7 CAM Operation using the Developed System

5. おわりに

作業手順を表すフローと制約・根拠情報の関連により、モノづくりにおける知識・ノウハウを表現することができ、知識の伝承に有効であることが確認できた。このフレームワークに基づき実装したシステム「指南車」は、熟練技術者による設計などの知識やノウハウを形式知化し、作業を逐次実行できるモノづくり支援システムを提供する。