

# 新技術導入とスキルの変容

## ——金型製作における NC 直彫り加工を事例として——

浅井敬一郎・高橋与志

### 1. 問題の所在

金型は量産部品を製作する際の不可欠なツールであり、高品質な金型が自動車、電機をはじめとする日本の量産部品の品質を支えた要因の1つといわれている。その製作には高度な生産設備とそれに対応した高度なスキルが必要とされ、この両者がもたらした競争力によって日本の金型産業は世界市場を席卷したと考えられている（田口直樹，2001，9-10）。

金型産業発展における歴史の中で NC 技術（Numerical Control：数値制御）は、金型製作および金型製作スキルに大きな影響を与えた新技術といえる。トヨタ自動車の金型用 CAD/CAM（コンピュータ支援設計・製造）システムの開発技術者である牟田(2001)は、手彫りや手仕上げをスキルレス化したものは、NC 技術導入であるとしている。

しかし、NC 技術といっても第2節において説明するように4つの段階を経ている。筆者は第4段階の NC 技術に該当する「NC 直彫り加工（3次元形状を做いモデルを製作せず、NC データのみで加工する方法）」技術の導入が、それ以前の NC 関連の技術導入よりも大きなスキルの変容をもたらし、新技術導入とスキルの変容についての分析上、重要な事例研究になるものと考えた。例えば田口直樹(2001，106)は、NC 直彫り加工前の金型製作について、「高精度の NC 做い加工機を使用しても、非常に腕の良い職人を使っても、モデルの材料に木、石膏、樹脂などを使用しているためモデルは経時変化を起し、誤差の発生は不可避である」と指摘している。

こうした問題認識に基づき、本稿のリサーチクエスションは、NC 直彫り加工導入が金型製作スキルにどのような変容をもたらしたかとする。スキルの変容については、第3節で述べる「スキルの4類型」を援用して分析する。

調査対象は、当時の NC 直彫り加工の新技術導入の先進性から、トヨタ自動車の内製金型部門のうち大型プラスチック用金型（自動車のインストルメンツパネル、バンパー用金型）に焦点を当てることにした。

本稿の構成は、第2節において NC の技術的変遷について概説し、NC 直彫り加工導入がもつとも金型製作スキルの変容に大きな影響を与えたことを示す。第3節では、本稿の分析のスコップを示す。そして第4節では、事例分析として、トヨタ自動車の内製プラスチック用金型部門のうち自由曲面が多く、NC プログラムが複雑な、インストルメンツパネル、バンパー用金型について検討する。具体的には、金型製作工程の変遷から金型製作スキルの変容、スキル修

得方法について分析する。第5節では、まとめとして、新たに必要とされるスキル、不要となるスキル、継続して必要になるスキルについて述べる。さらに、NC直彫り導入前は、25年～30年の現場経験を持つ工長が文脈・管理統合スキルを保有していたが、導入後はこうした経験を積んだ工長だけでなく、構想設計技術者と金型詳細設計技術者も保有する体制に変化していることを示す。

## 2. NC技術の変遷

「NC」とは、日本機械学会(1972, 27)によれば「工作物に対する工具の位置をそれに対応する数値情報で指令する制御」と規定され、小堀・春日(1994, 12)によれば「工作機械で加工を行うときに数値情報によって機械の動作を制御することをいう。具体的には機械の動作の手順、刃具の位置、刃具の送り速度などの一連の動きをプログラムとして機械を制御する」と規定されている。

NCの起源(第1段階)は、稲葉・研野(1970)によれば、1952年にアメリカ空軍の委託により、マサチューセッツ工科大学の研究所で開発された、フライス盤向けNC装置であったが、実用化できるレベルではなかった。日本では、1956年に富士通信機製造株式会社数値制御部門(当時)によって、NC装置が開発されている(稲葉, 1982)。

第2段階のNCは、実用化段階になる。水平方向と垂直方向の2次元加工のみを数値制御によって行う「自動プログラミングシステム」と呼ばれる装置となって、工作機械に取り付けられた。具体的には、「工具をどのように動かすか、すなわち工具経路(ツールパス)を計算し、これをGコードと呼ばれる言語によってNCデータ(正確にはNC制御装置に対する指令データ)に変換し、紙テープやカードにパンチして出力する。これをNC工作機械にセットして、加工する」ものである(日経産業新聞, 1993)。

馬見塚(1998)は、「大手自動車部品メーカーでは、1970年代に2次元NCの導入により工作機械の生産性が3倍に上がった」と記述している。しかし日経産業新聞(1993)が指摘しているように、2次元NCは3次元曲面を数値制御により処理することができない。このため、それ以前の技術であった、「NC化されていない在来型削り加工時代」と同じ手作業により3次元形状を作り出す必要があり、旧来型の仕上・研磨スキル、トライ・修正スキルが不可欠となる。

第3段階のNC技術は、NC削り加工である。1972年頃に富士通ファナック株式会社(当時)が、日本ではじめて3次元形状加工(自由曲面加工)に対応したNCの試作を開始したが、直彫りではなく削り加工をNC化したものである。NC削り加工とは、「金型加工用削りモデル」をトレースし、それをNCデータに変換して加工を行うものである。3次元曲面をNC加工するものであるが、在来型削り加工機と同様にモデルの材料として石膏などが用いられ、温度や湿度の変化によって形状が微妙に変化する。つまり、誤差(温度や湿度による形状変化)のある削りモデルをトレースしたNCデータによる加工となり、生じる寸法誤差を修正するために、2次元NC時代と同様の手工的なスキルが依然として必要であった。

工作機械メーカーの技術者である貝原(1987, 102)は、「3次元NCといっても、倣いモデルをスキャニング<sup>1</sup>してデータを読み取り、3次元NCのデータを作成する段階では、そもそも誤差のあるモデルを数値データとして取り込むため、NCデータの質<sup>2</sup>という点で問題が残った。さらに3次元NCプログラムの長さは膨大になるため、途中でNCテープの交換が必要となり、連続無人運転は不可能であった」と述べている。このため「倣いモデルを製作せず、金型設計データからNCデータを作成し、機械加工を行う『モデルレス加工（本稿でいうNC直彫り加工）』と呼ばれる方法が研究された」。また貝原(1987, 102)は、「2次元NCのプログラム作成は、電卓程度で可能である。金型加工で期待されていることは、『3次元形状をモデルレスで加工すること』であったが、NC直彫りによってはじめてそれが実現した」と指摘している。

このNC直彫りがNC技術の第4段階と位置づけられる。NC直彫り加工導入後では、倣いモデルを不要となる一方、ユーザーからの要求精度が高くなれば、NCデータの作成時間、機械加工時間が長くなり、品質が上がったとしても、コストおよび納期は長くなる可能性が高い。このため加工時間を短くするためには、導入前とは異なるNCデータの作成スキル、例えばNCデータが軽くするプログラミングスキルが重要になる。これは同時に、工数低減による原価低減につながるとされている(清, 1992)。

さらに、これら一連のNCの進歩とNCデータ作成に必要なスキルについて、自動車メーカーで大型の射出成形品の生産技術、および射出成形金型の設計に30年間以上携わったA氏は、筆者のヒアリング（2010年5月28日）に対して以下のように述べている。

2次元NC、すなわち自動プロの導入時では、金型構造部<sup>3</sup>の水平、直角加工の効率化のために、加工手順を把握し、NCデータ化するスキルが必要であった。しかし、より複雑な3次元曲面を持つ製品部<sup>4</sup>はNC化できないため、NCデータ作成スキルは3次元倣いNCと比べて低い。

3次元倣いNCでは、製品部の倣いモデルをトレースしてNCデータ化するため、2次元NCよりも高いスキルが必要であった。ただし、前述のように誤差を含むモデルを基にしていて、実際の加工時には、仕上研磨、トライ修正が前提となっていたため、NC直彫りほどの精度は求められなかった。

NC直彫りでは、設計データから加工のための3次元面データの作成（これをモデリングと呼ぶ）スキルが必要となる。この面データは正確に作成されていることが必要である。具体的には3つの曲面がぶつかる部分では、3つの面が完全に結合していなくては加工することが困難になるため、高いNCデータ作成スキルが必要となる。

このように「NC直彫り」、「3次元倣いNC」、「2次元NC」の順にNCデータ作成に要求されるスキルが高かったとまとめられる。

### 3. 分析のスコープ、調査方法

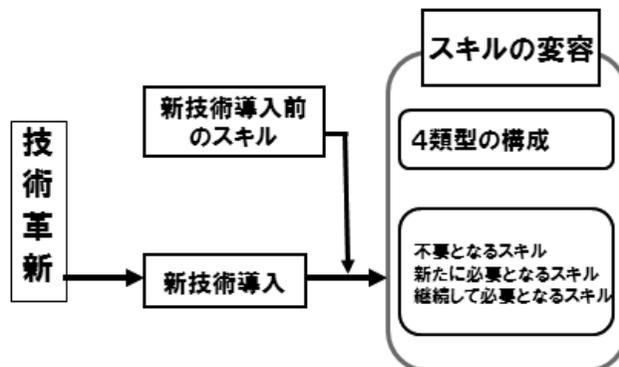
本稿の分析スコープは、金型製作における新技術導入と、その対応の変化に伴う金型製作に必要なスキルの変容である。ただし、ある新技術が導入される際、各々の企業が保有する新技術導入前のスキル類型およびそれらの水準という初期条件が勘案された上で新技術導入後のスキルが決定されると考える<sup>5</sup>。これらを図示したものが、図1である。

スキルの変容過程では、後述する「4つのスキル」の「構成（その時代に必要となっているスキルの組み合わせ）」が変化し、それに対応した「スキル形成」がなされる。本稿ではスキルを「手工的」と「知的」の2軸と担当できる職務内容の広がりによって分類し、以下の4つに類型化する。

スキルの把握は各社各様であり、その評価もそれぞれ異なっている。本稿では1993年から開始した日本および海外の金型を中心とした製造業者への調査および経営学や労働経済学、そして認知心理学における先行研究を検討し、本稿に必要と考えられる分類を行う。

Hatano & Inagaki(1983)および野村(1989)は、認知心理学の視点から熟達者を「定型的熟達者」と「適応的熟達者」に分類している。このうち「定型的熟達者」の持つスキルを第一の類型とする。与えられた課題に対して同じ作業を繰り返すことによって習熟し、その課題において遂行の速さと正確さが実現することと規定されるものである。このような定型的スキルは低度の熟練、いわゆる「半熟練」を意味するものであり、すべての基本となるスキルである。他方「適応的熟達者」は状況変化に適応することができる。新たな方法を考え出し、それを実行する際にどのような結果がもたらされるか予測することができるスキルを保有する。本稿では、「適応的技能」をさらに細かく分類する。

第二に上記の適応的スキルの内容のうち、道具、機械、装置などの限界を極限にまで突き詰めた加工を行う高度な熟練である。具体的には1/100ミリの精度しか出せない工作機械を使用してマイクロレベルの精度を出すスキルや、研削盤を使用せず、ヤスリを使用し、マイクロレ



〈図1 本稿の分析のスコープ〉

出典：筆者作成

ベルの精度を出すスキルなどを指す。そうした高度なスキルを中馬(2001)は、「クラフト型スキル」と呼んでいる。

第三に中馬(2006)は、生産プロセスにおける不具合の発生原因を迅速かつ的確に探り当てるスキルとして「知的推理スキル」を規定している。小池(2001)では、金型製作工程において組立・調整のベテランが構想設計者に金型加工のしやすさ、成形不良の回避といった視点から金型構造の修正意見を述べるスキルをあげている。

第四に、林(1999)は、スキルの内容の標準化、規格化が十分になされていない条件の下、一定の文脈的知識・体験を有しているメンバーにとくに効率的に活用されるスキルを「文脈技能」と呼んでいる。各従業員の保有している工程と工程の関係性についての知識や経験など、標準化されていないスキルを「文脈技能」とした。このように従業員の持つ技術・技能がオーバーラップする結果、組織レベルでは冗長性のある構造を持つことになる。こうした構造は、一見非効率に映るかも知れないが、実際には「文脈技能」を共有するメンバー同士の協力により新たな知恵を生み出し、課題対応能力を高めるとしている<sup>6</sup>。

本稿における「管理統合スキル」は、「文脈スキル」がより広範囲にわたる場合を指す。従って、金型製作工程を広範囲にわたり理解し、不具合があれば修正指示が出せるスキルと規定する。究極的には金型製作工程全体をコーディネートできるスキルである。これがもっとも高度なスキルと筆者は考えている。しかし現在では、工程の細分化（分業）が進展し、各組織に管理統合スキルの保有者が必ずいるわけではなく、複数の文脈スキルを保有したメンバーによって対応しているケースがある。さらには、意識的に管理統合スキル保有者を育成するプログラムを持っていたとしても、その域まで達しない場合もある。

そこで本稿では、組織として複数の文脈スキル保有者によって管理統合スキルを果たしているケースを勘案し、双方のスキルを同類型として扱い、「文脈・管理統合スキル」と表記する<sup>7</sup>。この類型は、スキルの範囲に焦点を当てたものであり、内容面でいうと「クラフト型スキル」あるいは「知的推理スキル」のいずれかが中心となる場合、他方、両者のバランスが取れている場合が存在しうる。

以上の検討を踏まえて、金型製作において必要とされるスキルを「定型的スキル」、「クラフト型スキル」、「知的推理スキル」、「文脈・管理統合スキル」の4つに類型化する。

この分析のスコープを用い、事例研究のため元トヨタ自動車の内製金型部門の熟練技能者（キャリア45年、現代の名工）である田口八郎へのヒアリングを実施し（2008年1月31日・2008年2月20日に各4時間）、議論の精緻化を図るために前後して学術論文、業界専門誌のサーベイを行い、前出のA氏（2010年5月28日に4時間）へのヒアリングを行った。

田口はトヨタ自動車の内製金型工場でプレス金型製作に24年間、その後プラスチック用金型製作に20年間従事したベテラン技能者である。とくにプラスチック用金型に関しては、同社のプラスチック金型製作の立ち上げから関わったメンバーのひとりである。なお同社では、内製金型工場においてインストルメンツパネル用、バンパー用といった大型プラスチック用金型のNC直彫り加工を1989年に開始し、田口は管理職（1992年より次長）としてNC直彫り推

進プロジェクトを指揮している。

#### 4. 事例分析

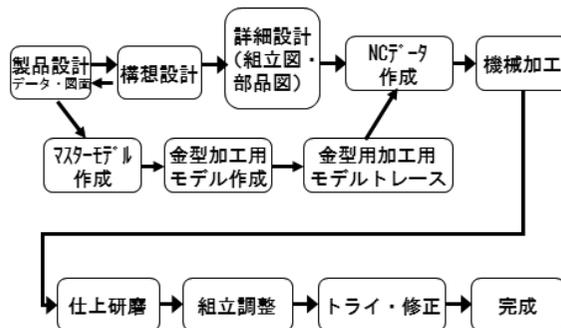
本節では、大手自動車メーカーであるトヨタ自動車の内製大型プラスチック用金型製作部門（インストルメンツパネル用金型、バンパー用金型）を事例分析の対象とする。なぜ大手自動車メーカーの内製部門を選んだのか。その理由は、まず、設備投資資金が潤沢にあり最新鋭の設備に投資をしていたことである（田口八郎：2008.1.31.）。そしてその設備に対応した、金型設計スキルや工作機械のNCデータ作成スキルが要求されたためである。

中でも、大型プラスチック用金型部門を選んだ理由は以下の2点である。プラスチック用金型は、成形材料特性が金属より安定的であるにせよ、プレス金型に比べ自由曲面が多く、構想設計<sup>8</sup> およびNCデータ作成がより複雑になることから、スキル修得に独自の困難が付随すると判断することができる。さらにインストルメンツパネル用金型、バンパー用金型は、プラスチック用金型の中でもっとも難易度が高く、高いスキルが要求されると考えたためである<sup>9</sup>。以下では、NC直彫り加工導入前（3次元NC ぬい加工）と導入後の金型製作工程について概説し、スキルの変容について検討する。

##### (1) NC直彫り加工導入以前の金型製作工程

NC直彫り加工導入以前の金型製作工程の流れを図示したものが図2である。

まず社内の製品設計部門よりマグネットテープで製品設計データが送られてくる。データの形式は3次元のCADデータ（ワイヤーフレームモデル形式<sup>10</sup>）である。データを基に、金型の



〈図2 NC直彫り導入前（3次元NC ぬい加工）の金型製作工程〉

注：機械加工には、切削加工および放電加工を含む  
構造部は、製品設計データから、右に進む一連の工程を経る。他方、製品部（3次元形状）は、製品設計データから右下に進む一連の工程である

出典：ヒアリングより筆者作成

構想設計が行われる。抜き方向の角度と成形材料ごとの収縮率を加味して変換し、協力メーカーや製品設計部門とのデザインレビューを経て構想設計が完了する。この後、構造部については、構想設計から金型組立図、金型部品図の金型詳細設計を経て次の工程、すなわち金型設計 CAD データを基にした金型構造部分の NC データ作成へと進む。

他方、製品部は、デザインレビューを終えた製品設計データに基づき、金型加工用の設計データが作成される。製品（形状）部、すなわち自由曲面部分については、前述の通り当時は CAD データから NC データを直接作り出すことができなかった。このため、まず製品設計データからマスターモデルが製作される。次にマスターモデルをスキャニングし、反転したデータに基づいて金型加工用の倣いモデルを完成させる。その金型用モデルをトレースして NC データができあがる。

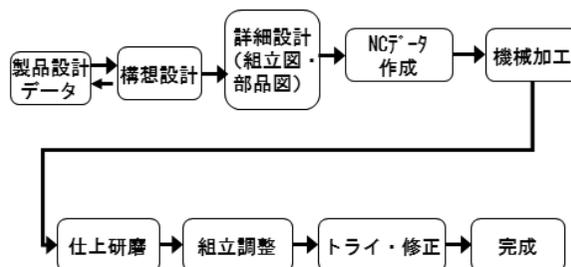
構造部加工は、NC データに基づいて荒加工、仕上加工、放電加工、ワイヤーカットによる加工と進む。製品部加工では、まず NC 倣い加工による荒加工、仕上加工、続いて放電加工機、ワイヤーカットによる加工が行われる。いずれも仕上研磨は手作業によって進められる。金型構造部、製品部の加工が終わると、組立調整が手作業で行われ、トライ・修正を経て完成する。

## （2）NC 直彫り加工導入後の金型製作工程

NC 直彫り加工導入後における金型製作工程の流れを図示したものが図3である。

まず社内の製品設計部門より製品設計データがオンラインで送られてくる。データの形式は 3次元の CAD データ（サーフィスマodel形式<sup>1)</sup>）である。金型構造設計について、構想設計、組立図設計、部品図設計は以下の手順で行われる。

NC 直彫りの直接の影響ではないが、丁度同時期に、リードタイムの短縮のため、型構造のデータベースとマクロプログラムが利用されるようになった。まず前者については、製品種類別に標準化された約 30 件の型構造のデータベースより製品データに合う標準型構造を選択する。この方法で不足するデータに関しては、金型部品単位で登録されている標準部品データか



〈図3 NC 直彫り加工導入後の金型製作工程〉

注：機械加工には、切削加工および放電加工を含む

製品部、構造部ともに NC 直彫りにより加工されている

出典：ヒアリングより筆者作成

ら選択する。次にエジュークタピン、冷却方法といった製品形状により異なる部分やこれまでにない形状の作成は、設計標準やノウハウが織り込まれたマクロプログラムを用いて設計を行う。その後、構造部の組立図設計、部品図設計が行われる。

他方、NC直彫り加工によってもっとも大きく変化したのが製品部の設計、NCデータ作成である。製品設計データから構想設計を経て製品部の金型詳細設計を行う際、製品設計データから金型製品部の設計データを「成立」させるスキルが必要となる。マスターモデルから金型加工用（倣い）モデルを使用した場合のように、面データが正確に「結合」していると加工不良が生じる。具体的には3次元の面データであるため、面データが正確に結合し、設計データとして成立していなければ、NCデータを作成することができないのである。倣いモデルをトレースしたような曖昧なデータ定義では、後工程での工数増やリードタイム増につながる。このように面データを正確に結合し、設計データとして成立させるという新たなスキルが構想設計技術者と詳細設計技術者に求められる。

加工は、金型構造部、製品部ともに荒加工、仕上加工、放電加工、ワイヤーカット加工すべてNC化されており、仕上研磨も一部NC化されてきている。しかし、仕上研磨のNC化されなかった部分、組立調整、トライ・修正は、依然として手作業によって行われている。

### (3) NC直彫り導入前後における金型製作スキル

NC直彫り導入前後で、金型製作スキルにどのような変化があったのか、各工程別に述べたい。前項で紹介した各工程は、大きく分けると設計（構想設計、詳細設計）、モデル作成（マスターモデル作成、金型加工用モデル作成）、NCデータ作成（金型加工用モデルトレース、NCデータ作成）、機械加工、仕上・修正（仕上研磨、組立調整、トライ・修正）の5段階になる。このうち、モデル作成は工程そのものが不要となったため、関連するスキルも不要になった。機械加工と仕上・修正については、必要なスキルの内容に関して変化が見られなかった。ただし、仕上・修正工程においては、導入後一定の期間は設計とNCデータ作成工程の問題から工数が増加し、長期的には問題解決の進展とともに工数も減少に向かうという現象が観察できた。以下、スキルに比較的大きな変化があった設計およびNCデータ作成工程について詳述する。

設計（構想設計、詳細設計）で新たに必要となるスキルは、以下のように考えられる。構想設計者および金型詳細設計者は、製品部の設計に際して、倣いモデルを使用せずコンピュータ上で製品設計データから構想設計、詳細設計において金型形状のモデリング（加工用自由形状曲面データを作成する）を行わなくてはならない。

A氏によれば、前項において指摘したように、製品設計データから金型設計データを作成するスキルについて、「仮に製品設計データから構想設計データおよび金型設計データの両データを図面化した場合には、2次元表記のため隠れてしまう問題も、NC直彫りを前提とした場合には、加工する形状「面」データを正確に「成立」させるスキルが必要となる。具体的には、単一面（2面）同士の結合する面データ作成は容易であるが、3方向からの面が正確に結合す

る面データの設計は高いスキルを要する<sup>12)</sup>。これは、モデル作成に必要な比較的low精度の自由曲面設計と比べ、はるかに難しいスキルが求められた。

他方で、構造部設計に関しては、従来の非自由曲面（水平・直角）設計に対応したスキルが継続して必要とされた。モデル作成のための自由曲面設計スキルは不要になった。

NC データ作成の工程に関しても、「新たに必要」、「継続して必要」、「不要」となるスキルが観察できた。

前述の A 氏は、「直彫りを前提とした NC データ作成は、工数を増やし、リードタイムを増加させるため、いかにデータを軽くし、工数、リードタイムを減少させるかが新たに必要となるスキルであった<sup>13)</sup>」と述べている。この金型形状部 NC データ作成スキルにより加工精度、連続加工時間（24 時間加工を目指す）が左右される。これは、仕上研磨工数減少にもつながる。このため NC データ作成者のスキルは、経営上も非常に重要となった。ただし工作機械メーカーや素材メーカーからの情報提供も進むようになり、関連スキルの外部化が進んでいる点は軽視できない。

継続して必要となるスキルも、引き続き大きな部分を占めている。NC 直彫り加工導入以前の NC プログラム（データ）作成においては、金型加工用倣いモデルをトレースしたデータをベースに金型の加工形状の状態を見て、下記のスキルに基づいて判断することが必要であった。すなわち、

- ①形状に応じた最適な加工法の選択
- ②スピンドルの回転速度の決定
- ③カッターの径の決定
- ④カッターの突き出し量の決定
- ⑤カッターの送り速度の決定
- ⑥カッターの干渉のチェック

である。加えて、倣いモデル作成スキル、仕上研磨スキル、組立調整スキル、トライ・修正スキルも必要とされていた。NC 直彫り導入後は、倣いモデルのトレースは不要になったが、上記①から⑥の6つのスキルは継続して必要であった。

一方、モデルが作成されなくなったことで、付随してモデルをトレースするスキル自体は不要となっている。

全工程を通じて「新たに必要となったスキル」に焦点を当てると、従来の基礎の上にコンピュータ上で、構想設計と、面データの結合と成立をさせた詳細設計データを基にしたモデリングスキル、設計データ、NC データを軽くするといったスキルが付加されたといえる。これらは、構想設計者、金型詳細設計者、工長に科せられた新たな課題であった。

#### (4) NC データ作成スキル修得プロセス

では、NC 直彫りに対応した新しいスキルは、実際にどのような方法によって形成されたの

か。ここでは、とくに NC データ作成スキルの修得プロセスに焦点を当てたい。以下、田口八郎へのヒアリングを基に検討する。

まずこのスキルを修得するために以下の3部署から人員が集められ、1つの「組」となっていた（自由曲面担当19名）。

① 倣いモデル、木型モデルの若手担当者

倣い加工から NC 直彫りへの切り替えにより、モデル製作が徐々に不要になっていた。このメンバーの中でプログラミングに抵抗の少ない若手を異動させた。

② 切削加工担当者

切削加工のプログラムを作る以上、切削加工を理解しているプログラマが不可欠と考え、異動させた。20名の中から5年程度の経験者を2～3名選抜した。

③ 2次元 NC データのプログラマ

元々、同社では構造部加工の経験者が2次元 NC プログラムを行っていた。そのメンバーを3次元のプログラム作成メンバーに加えた。

元2次元 NC データのプログラマが核となり、元モデル作成担当者、切削加工担当者とともに、社外の講習会への派遣や加工の熟練技能員からのアドバイスを受けながらスキル修得を行った。しかし短期ではなかなか人材が育たなかったという。慣れたやり方をやめて NC 直彫り加工による金型を製作する方針をたてたものの、スキルが十分でなかったためデータの供給が追いつかず、ぎりぎり納期に間に合うこともしばしばあったという。

そこで以下のような OJT の方策を取った。

① NC データの作成者は常に加工現場に出向き、加工状態について議論し、加工スピードを上げ、高精度にするにはどうしたらいいかを考える。

② NC データの作成者は技能員であるが、金型設計のすぐ近くの部署に所属し、金型設計者と密接に擦り合わせを繰り返す。

③ また金型設計者はトライ修正現場に出向き、型構造や成形条件等について確認する。

④ さらに組立調整担当者も、トライに立ち会い、自工程の問題点を確認する。

⑤ 仕上研磨に時間がかかるようであれば、カッター軌跡（ピックフィード）を短くするプログラムを作成し、砥石をかけるだけの状態まで切削データの質を上げる（ただしデータ作成工数は多くなる）。

上記のような取り組み<sup>14</sup>の結果、同社のプラスチック用金型設計技術者である加藤(1995, 69)によれば、1991年頃から3次元設計データ（CAD データ）と加工用データ（NC データ）の一元化（同一のデータを使用する）を開始することができた。NC 直彫り加工比率は、1989年が15%、1991年が33%だったのに対して、1993年には70%に達している（田口八郎, 1994, 33）。そして1997年には100%になったという（田口八郎：2008.2.20.）。

加藤(1995, 70)によれば、同社の金型製作総工数が直彫り導入前の1988年を100とすると、1993年には88まで減少している。一方で NC データ作成工数のみを見ると増加しており、その半分程度が刃具の干渉を含めたチェック・修正に当てられているという。

他方でNCデータ精度向上のメリットと工数増加のデメリットを勘案した結果、仕上工程のスキルにも影響が及んだ。加藤(1995, 70-72)によれば、仕上研磨レスを目指した高い加工面品質加工をするためにNCデータを作成したところ、データ量が従来の20倍になったという。こうしたデータの実用化は納期・コスト面から現実的ではなかったため、金型製作工程における、仕上研磨スキル、トライ・修正スキルは、継続して必要となった。

## 5. まとめ

事例の企業では、倣い加工が無くなってモデル作成スキルが不要になり、仕上研磨のスキルも導入前と比べ長期的には重要性が低下している。NC直彫り加工の導入によって「面データを成立させる」設計とNCデータ作成スキルが新たに必要となった。プラスチックの場合、収縮率一定の条件を獲得しやすいし、素材としての安定性が大きいにせよ、一方でNC直彫り用NCデータの作成に関しては、非常に高いスキルが必要とされている。第4節の事例から、「NC直彫り加工導入によるスキルの変容」を「新たに必要となるスキル」、「不要となるスキル」、「継続して必要になるスキル」によって整理すると表1のようになる。

表1に示したようにいくつかの新たに必要となるスキルを確認することができた。

以上のことから、NC直彫り加工導入をスキルの変容という視点から評価すると、1970年頃から続いた一連の自動プロ（2次元NC）、3次元倣いNCの導入には見られなかった大きな変

〈表1 NC直彫り加工導入によるスキルの変容<sup>15)</sup>〉

	設計	モデル作成	NCデータ作成	機械加工	仕上・修正
新たに必要	<ul style="list-style-type: none"> <li>NCデータ作成のしやすさ、金型構造や射出成形技術を考慮した上での金型構想設計スキル、および金型詳細設計スキル</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>モデルレスによる3次元NCデータ作成スキル</li> <li>倣いモデルを使用せずコンピュータ上で製品設計データから金型形状のモデリングを行い、NCデータを作成するスキル</li> <li>NCデータを軽くするスキル</li> <li>加工精度を上げるNCデータ作成スキル</li> </ul>		
継続して必要	<ul style="list-style-type: none"> <li>構造部設計のための非自由曲面設計スキル</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>NCデータ作成スキル</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>切削加工スキル</li> <li>放電加工スキル</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>仕上研磨スキル</li> <li>組立調整スキル</li> <li>トライ・修正スキル</li> </ul>
不要	<ul style="list-style-type: none"> <li>モデル作成に必要な比較的低精度の自由曲面設計スキル</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>マスターモデル作成スキル</li> <li>倣いモデル作成スキル</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>倣いモデルトレーススキル</li> </ul>		

出典：ヒアリングより筆者作成

化があったといえる。

以上のスキルの変容を「クラフト的」スキルと「知的推理」スキルに基づく分類を用いて再整理すると、全体として前者から後者へのシフトが起こっていることが見て取れる。ただし、クラフト的スキルが全く不要になったわけではなく、その重要性は長期的に減少しているものの、仕上・修正工程において一定の役割を果たし続けている。「知的推理スキル」の組織内分業のあり方に関しては、NC直彫り導入前に組立調整、トライ・修正のベテランが「知的推理スキル」を発揮していたのに対して、導入後ではNCデータ作成メンバーが金型設計を含めた各工程のメンバーと擦り合わせを繰り返しながら、「知的推理スキル」を発揮しようとしていた。この「知的推理スキル」は、発現の過程の状況からも文脈・管理統合の性格を強く持つようになっていた。

田口八郎からのヒアリングによれば、NC直彫り導入の前後ともに「文脈スキル」を発揮するのは、25年から30年の経験のある7～8名の「工長」であったという<sup>16</sup>。ただし、導入前後の大きな相違点は、「管理統合スキル」と呼べる包括性を持っているかどうかにある。導入前の工長は、必ずしも設計工程についての知識・スキルを持っていなかったが、当時は設計が最終的な品質・コスト・納期に及ぼす影響は比較的小さく、仕上・修正工程の重要性が大きかった。このため、実質的に管理統合と判断しても差し支えないといえる。これに対して導入後は、設計段階の重要性が増しているため、工長がひとりで「管理統合スキル」を発揮することは困難になった。工程間の調整の重要性は導入後にさらに高まっていたため、必要に迫られ、前段に述べたように金型構想設計者、金型詳細設計者が、NCデータ作成者、トライ・修正メンバーと擦り合わせを行い、「管理統合スキル」を発揮し始めたという（田口八郎：2008.2.20.）。

これは25年以上の現場経験を持つベテラン技能者と構想設計技術者、金型詳細設計者の三者が一致協力して「文脈・管理統合スキル」のメリットを発揮していることを示す。この時期はベテラン技能者と構想設計技術者の双方が、比較的広い範囲を見渡す「文脈スキル」を保有し、両者が擦り合わせを行うことにより職場レベルでの競争優位を獲得していたといえる。

## 注

- 1 自由曲面形状のモデルを做いながら、その軌跡を直線近似してNCフォーマットに変換し、NCデータとして出力する機能。
- 2 NCデータの質とは、加工精度の高さを意味する。
- 3 金型構造部とは、(射出)成形するために必要となる金型部品の構成を決定し、成形品を金型から取り出す機構のこと（平林，2003，53）。
- 4 製品部とは、(射出)成形により製作するための形状部分を指す（平林，2003，53）。
- 5 また実際の経営上の選択肢としては、予算制約等の関係で新技術が導入できず、新技術の仕組みを理解し、自社の保有するスキルを活用して新技術を代替する手段を構築する場合もある（Takeuchi，1999）。
- 6 浅沼(1997)では組織の枠を超えた企業間関係における文脈技能の発揮について「文脈技能」とい

- うことばを使用しているが、これは林(1999)と同様といえる。
- 7 なお藤本(2006, 309)は「アーキテクチャ論」の展開の中で、日本の製造業の競争優位として「インテグレーション（統合）の組織能力」をあげ、「部品設計の微妙な相互調整」、「開発と生産の連携」、「現場における濃密なコミュニケーション」に関わる能力が必要であることを指摘している。この異なる部品間、工程間、職能間、組織間も調整する能力については、本稿では「文脈・管理統合スキル」と同義と考える。
  - 8 構想設計とは、金型の成形構造や分割面を決定すること。
  - 9 インストルメンツパネル、バンパー用金型がプラスチック用金型の中で最も難易度が高いと判断した1つの理由は、兼村智也(2009, 223)の表2（日系完成車メーカーによるプラスチック金型のランク分け）の中で、もっとも難易度の高い金型に、意匠性、保安性の観点からインストルメンツパネル用金型、バンパー用金型が分類されていたためである。
  - 10 ワイヤーフレームモデル形式とは、立体形状を頂点と稜線だけで規定したものである。
  - 11 サーフィスマodel形式とは、立体形状を頂点と稜線に形状の面の情報（データ）を付加したものである。
  - 12 トヨタ自動車のプラスチック製品生産技術者の小野とプラスチック金型の設計者の古岸は、1991年の論文の中で、インパネ、バンパー用の金型を例に出し、金型構想設計に新たに必要となったスキルとして、この時期（NC直彫り導入時期）、CAEによるシミュレーションについて言及している（小野・古岸他, 1991）。
  - 13 A氏によれば、NCデータ作成のための工数低減、リードタイム短縮のためのスキルは、現在の3次元ソリッドデータによる金型設計、NCデータ作成でも必要性は変わっていないという。
  - 14 藤本・クラーク(1993, 265-267)によれば、自動車開発部門で異なる部門間での連携調整を積極的に開発、導入しようとしたのは1980年代と記述されている。他方、田口八郎へのヒアリングでは1960年代後半から金型設計、製作工程内の異なる部門との議論（擦り合わせ）は、当たり前のように行われており、上記のNC直彫りの際に取った方策は、「当たり前に行われていたことを制度化」したものにすぎないとしている（田口八郎：2008.1.31.）。
  - 15 なお、仕上研磨のスキルは、本項の事例以降も年と共にその重要性が低くなっている。工作機械、刃具の技術向上により加工品質（面粗度）向上したためである。NC直彫り加工が導入されるまでは、熟練技能者の高いスキルが必要であった。
  - 16 1994年の同社の技能系従業員は、一般、エキスパート（EX）、シニアエキスパート（SX）、組長、チーフエキスパート（CX）、工長、課長、次長の8階層となっている。なお、工長の中から1名の課長が選ばれるが、昇進に当たっての評価基準は本稿で取り上げるスキルの4類型ではなく、部下とのコミュニケーション能力、部下からの信望が最重視されたという。

なお本論文は、愛知淑徳大学研究助成 特定課題研究：「イノベーションに伴う金型製作スキルの変容—NC導入を中心に—」の研究成果である浅井(2009)第4章「NC直彫り加工導入による金型製作スキルの変容」を加筆・修正したものである。

〈参考文献〉

- 浅井敬一郎(2009), 『技術革新とスキルの変容—金型産業における歴史的変遷からの検討』, 広島大学大学院国際協力研究科博士論文.
- Attewell, P. (1992), Skill and occupational changes in U. S. manufacturing, P. S. Adler ed., *Technology and the Future of Work*, Oxford, Oxford University Press, 46-88.
- 中馬宏之(2001), 技術革新下における統合化技能の希少性: 日米プレスライン職場における事例から, 橋本俊詔・デービット ワイズ編『企業行動と労働市場』, 日本経済新聞社, 77-99.
- 中馬宏之(2006), イノベーションと熟練, 伊丹敬之・伊藤元重・加護野忠男編, 『企業と市場 (リーディングス日本の企業システム第4巻)』4, 有斐閣, 133-158.
- Clark, K. B., and Fujimoto, T. (1991), *Product Development Performance: Strategy, Organization, and Management in the Auto Industry*, Boston, Harvard Business School Press. (田村明比古訳(1993), 『製品開発力』, ダイアモンド社.)
- 福井雅彦(1995), 直彫りか放電か, 『型技術』10(6), 18-22.
- Hatano, G., and Inagaki, K. (1983), Two Courses of Expertise, Research and Clinical Center for Child Development Annual Report, 6, 27-36.
- 林尚志(1999), 日本型人材育成システムの有効性と課題: 日系メーカーシンガポール・マレーシア子会社における事例研究, 『南山経済研究』, 14(1・2), 345-375.
- 平林哲生(2003), 樹脂金型におけるソリッド設計の考え方と応用, 『ユニシス技報』, (79), 52-64.
- 稲葉清右衛門(1982), 『ロボット時代を拓く—黄色い城からの挑戦—』, PHP.
- 稲葉清右衛門・研野和人(1970), 『数値制御工作機械』, 大河出版.
- 型技術協会(1991), 『図解 型技術用語辞典』, 日刊工業新聞社.
- 貝原紘一(1997), NCフライスによる金型加工, 『型技術』, 2(5), 100-104.
- 神田敬一・阿部忠之(1991), 高品位型彫加工への取組み, 『型技術』6(3), 45-50.
- 兼村智也(2009), 中国における大規模金型メーカーの存立要因, 『日本中小企業学会論集』, 28, 217-230.
- 古岸道康・青山則二(1993)独自システムとNC加工で高精度な型作りを実現, 『型技術』, 8(4), 123-129.
- 加藤励(1995), 自動車用金型のCAD/CAMの現状と課題, 『型技術者会議95講演論文集』, 69-72.
- 小堀研一・春日久美子(1994), 『CAD・CG基本用語集』, 工業調査会.
- 小池和男(2001), もの造りの技能と競争力, 『一橋ビジネスレビュー』, 49(1), 16-27.
- 小池和男(2004), 競争力を高める技能—金型仕上組立職場を例に, 『経営志林 (法政大学)』, 40(4), 31-42.
- 小池和男(2006), もの造りの技能, 伊丹敬之・伊藤元重・加護野忠男編, 『企業と市場 (リーディングス日本の企業システム第4巻)』4, 有斐閣, 110-132.
- 神代和欣(1999), 熟練技能の構造と産業空洞化—金型磨き作業を中心として—, 『日本労働研究雑誌』, 4(7), 11-21.
- 牟田芳喜(2001), 金型の高速度・高精度加工とCAMシステム, 『精密工学会誌』, 67(3), 394-398.
- 日本機械学会編(1972), 数値制御工作機械用語, 『日本機械学会誌』, 75(648), 27-28.
- 日経産業新聞(1993), CAD/CAM/CAE, より使いやすく, 実用化進んだ30年, 1993年6月23日付, 19.
- 野村幸正(1989), 『知の体得』, 福村出版.

- 小野毅・古岸道康・中左均(1991), 射出成形品の大型化を支える基盤技術(1), 『成形加工（プラスチック成形加工学会誌）』, 3(3), 177-183.
- 産業技術記念館(2002), 『産業技術記念館総合案内 第3版』, 産業技術記念館.
- 清响一郎(1992), 情報化・自動化の進展に対する技術・熟練構造の変化—中間報告, 『経済研究所年報（関東学院大学）』, 14, 87-101.
- Spenner, K. (1991), Skill, *Work and Occupations*, 17(4), 399-421.
- 田口八郎(1994), これからの型技能者『型技術』, 9(12), 73-77.
- 田口八郎(1997), トヨタ自動車における型技能者教育, 『型技術』, 12(12), 43-47.
- 田口直樹(2001), 『日本の金型産業の独立性の基盤』, 金沢大学経済学部研究叢書.
- Takeuchi, J. (1999), *The Role of Labour Intensive Sectors in Japanese Industrialization*, Tokyo, United Nations University Press.
- トヨタ自動車貞宝工場(1996), 『貞宝10年のあゆみ』.
- 馬見塚達雄(1998), 『平成の名匠, 最先端の技術者・研究者たち(202)』, 日刊工業新聞.
- Zuboff, S. (1988), *In the Age of the Smart Machine: The Future of Work and Power*, New York, Basic Books.