

# 製造現場における熟練技能の抽出に関する研究

## — 技能の可視化および代替に関する研究 —

松木 則夫

中小製造業の現場にある熟練技能者の技能を抽出し、後継者に円滑にその技能を継承するため、鑄造、鍛造、メッキなどの加工技術について、熟練技能者のもつ判断の技能を抽出する方法を提案する。この方法に基づき、各加工法の個別の技能について、その代替となる実際の加工現場で利用可能な計算機システムを開発した成果を報告する。また、将来の製造業における熟練技能者の在り方についても議論する。

キーワード: 技能、暗黙知、技能抽出、熟練技能者

## Acquisition of skills on the shop-floor

### – Visualization and substitution of skills in manufacturing –

Norio Matsuki

For the purpose of assisting skill transfer training in small and medium manufacturing industry, an acquisition method of judgment skills of experienced factory workers on shop-floors of metal processing such as forging, casting and plating is proposed. Several software applications based on the method have been developed and evaluated in the manufacturing factories. The future vision of skills and skilled workers in the manufacturing industry is also discussed.

Keywords: Skill, tacit knowledge, skill acquisition, skilled worker

### 1 はじめに

中小製造業の現場にある熟練技能者の技能を抽出し、後継者に円滑にその技能を継承することを目的として2006年から2008年まで実施されたNEDO事業「中小基盤技術継承支援事業」において研究開発された「技能抽出の手法」について、その研究シナリオの変遷に焦点を当てながら研究の成果を述べるのが本稿の目的である。なお、本稿に述べる内容は、NEDO事業に参加したものの全員の成果であるため、事業のプロジェクトリーダーである筆者が代表してその概要を述べる。

本研究では、熟練技能の製造技術の物理的、工学的な側面に着目し、認知科学的、経営的な側面を極力排除したものとなった。このような技能に対する立場は、当初の研究シナリオでは明確に意図されていたわけではない。この立場を明確に意識することの意義を、迂闊にも当初は重要視していなかった。しかし、研究を進めるにしたがって、技能研究の位置づけを明確にする必要が生じた。

また、本事業は中小企業庁の補助事業でもあるため、中小企業支援が大前提である。つまり、事業のアウトプ

トは中小企業で有効な技能継承ツールである。研究の新規性というよりは、企業現場での人気重要な評価指標である。近年の競争的資金による研究開発は、事業終了後の市場創出への寄与度を重視する、いわゆる出口指向が一段と強化されている。基礎的な分野の研究者には大きな制約とを感じる人も少なくない。本稿では、「現場で使える技術を開発せよ」という要請が、研究開発のシナリオにどのような影響を与えたのかについても議論を行う。

### 2 対象とする技能の概要

#### 2.1 技能と暗黙知

本研究で対象とする製造に関する技能とは「理由を説明することができないが、設計から生産までの製造に関する有効な動作や判断ができる能力」と定義する。技能をスキルと呼ぶこともある。これに対立する概念として技術がある。技術とは、「動作や判断の根拠や仕組みを第三者に明確に説明でき、第三者がそれに基づいてその動作や判断を再現できるものである」と定義する。技術をテクノロジーと呼ぶこともある。熟練技能とは、長年の製造に関わる作

業で獲得された技能であって、一般に高度で有用性の高いもの、という意味で本稿では使用している。この能力をもつ製造企業の従業員が熟練技能者である。したがって、熟練技能の抽出の方法とは、技能を技術に置き換えていく方法にほかならない。これを、「技能の技術化」と呼ぶことがある。本研究における技能の抽出手法とは、技能の技術化手法ともいえる。

技能に関連した言葉として暗黙知がある。暗黙知を初めに提唱したマイケル・ポランニーは、自転車の運転方法に関する知のように言語化できない身体的な知の作用に関するものとして暗黙知を議論している<sup>[1]</sup>。一方、野中郁次郎氏のSECIモデルで使われる暗黙知<sup>[2]</sup>は「経験や勘に基づく知識で、言語表現が難しいもの」として暗黙知を定義している。すなわち、野中氏の暗黙知と本稿で定義した技能との違いは、動作に関する能力の取り扱いである。動作は当然、知識の影響を受けるため、その境界は明確ではないが、野中氏の暗黙知では、熟練技能者の手技を含めた議論はされていない。本研究で取り扱う技能は、ポランニー氏の暗黙知と野中氏の暗黙知を合わせたような知の能力に対応するのではないかと想定している。一方で、野中氏の形式知は技術の定義とかなりの程度重なる。したがって、動作の技能を除き、SECIモデルにおける暗黙知の形式知化と、技能の技術化は同義である。また、SECIモデルでは重要な働きを演じる集団の暗黙知を本研究では取り扱わない。

ところで、ある個人の暗黙知は、それ以外の人にとっても暗黙知なのだろうか。言語表現ができない、すなわち、理由を説明できないのは、ある個人だけで、すでにどこかで研究され形式知となっている場合があるだろう。これは、本研究を行う一つの前提である。材料や製造法に関する物理的、化学的、工学的な知見は膨大であり、製造現場の従業員がそれらすべてに精通しているという仮定は妥当ではないと考えるからである。というより、すでに人類が知りえた科学的工学的な知見の一部しか、個人は理解していないと考えることは自然である。本研究の前提として、多くの暗黙知、多くの熟練技能者の技能は、すでに形式知（技術）になっていると考えている。ここで、「理解していない」という言葉に、「原理は解明されているが、企業現場の現象にそれがどのように影響しているか、という『応用問題』が解けていない」というのも含めている。数値的で表現できる調査は実施していないが、企業において世界をリードする分野を専門とする技術者は、その特定の狭い分野の形式知をかなり理解しており、零細な町工場の作業者の形式知の範囲は一般に広いとは言いがたいと考えている。このような前提のため、本研究では熟練技能の

抽出の手法研究において、人類がまだ知りえていない暗黙知を解明し、その形式的な表現手法を追及することは対象外である。本来の意味での「暗黙知」を本研究では対象にしていない。

## 2.2 技能に関する従来研究

暗黙知の議論で述べたポランニー氏と野中氏の暗黙知について簡単に述べる。医学博士であり、化学博士であり、哲学者であるマイケル・ポランニーは人間の動作の中には、自転車の運転のように明示的に意識されず暗黙のうちに複雑な制御を実行する過程があり、この過程を暗黙知と呼んでいるようである。本質的に言語化できないとすると、ポランニー氏の暗黙知は形式化、技術化は不可能である。したがって、本研究では、野中氏の定義にならって「経験や勘に基づく動作で、その制御の仕組みの言語表現が難しいもの」という具合に再定義し、これを対象とする。工学的にはバイクの自動運転の制御の研究があり、自転車の運転の暗黙知の代替物としての制御機構は実現されている。このように考えると、ポランニー氏の意味での暗黙知は本研究の対象外となる。

経営学者である野中氏は、経営企業における知識マネジメント、特に日本の製造業を分析するキーワードとして暗黙知を定義し、個人と集団の暗黙知と形式知が知識スパイラルとして内容を変化させ発展させるというSECIモデルを提案した。ここでSECIとは共同化(Socialization)、表出化(Externalization)、連結化(Combination)、内面化(Internalization)の頭文字である。我々が興味をもつのは暗黙知で表現されている技能の内容そのものである。新たな状況に対応して有効に作用する熟練技能の工学的な意味内容を知ることが重要である。この意味で経営学が対象とする暗黙知とは立場が異なっている。

認知科学では、技能の獲得のメカニズムについて研究が行われてきた。例えば、Ericsson氏らは熟練技能獲得のために訓練の重要性を指摘している<sup>[3]</sup>。大変興味深い内容であるが、本研究では熟練技能者がどのように技能を獲得していったかについては対象外である。

工学的な側面では、VR(Virtual Reality)を用いた技能継承の支援の提案<sup>[4]</sup>や、企業におけるTIG溶接の技能についてデジタル化と可視化の試み<sup>[5]</sup>などの報告がある。いずれの研究もOJT(On-the-Job Training)を補完し支援する技術の研究である。

我々の立場は、前節で述べたように多くの熟練技能が形式知で表現可能ではないかと想定している。すなわち、現在までに明らかになっている形式知を使い、熟練技能を表現することが、本研究における熟練技能の抽出手法確立のための基本方針である。

### 2.3 対象とする技能の種類

熟練技能というと、マスコミは町工場で熟練工が匠の技で見事な部品を作り上げる姿を伝え、これが日本の製造業を支えている、というメッセージを送っている。この件については後に議論するが、本研究で対象にする技能は、このような動作に関する技能というよりは、主に様々な判断に関する技能である。

加工作業と対象とする製造現場の技能を整理すると次のようになる（表1）。本研究で対象とするのは、段取りなど作業開始前に実施する作業に関する技能が中心である。特に、注目するのは判断に関する技能である。判断に関する技能とは、ある動作の可否の判断だけでなく、具体的な数値を決める技能である。例えば、鍛造において、引き合いがきた部品の図面と材料から、必要となる加工圧力を推定する技能がこれに相当する。自社の加工機で製造できるかどうかの判断は鍛造業において大変重要であり、熟練技能者の判断に負うことが多い。

判断の技能を対象にする理由の一つに、本研究のアウトプットが企業現場で利用可能な技能継承ツールである、ということがある。ツール化のためには、数値を入力して何らかの数値やグラフが出力される、など計算機で実装が可能となる必要がある。このため、数値で表現できる技能を対象にする必要があり、判断についての技能が本研究の主たる対象になっている。

本研究が実施された NEDO 事業の目標は、基盤的な加工技術である鍛造、鋳造、メッキ、熱処理の4加工法を選択し、それらの加工法について、それぞれ10種類の異なった技能を選び、個々の技能を抽出し現場で利用できる技能継承ツールを開発することである。本事業は、産総研と理化学研究所との共同の事業であり、理化学研究所では切削と金属プレスを対象に実施した。なお、これらの加工法は、中小企業の基盤技術として中小企業庁が定めた中小企業のものづくり基盤技術の高度化に関する法律で定められた中から選定されている。

表1 加工現場における技能

能力分類	熟練技能者の能力				
	段取り能力		作業中能力 (感知力に基づく)		その他
	設計力	調整力	状況判断力	手わざ	
現場技能の例	・加工方案設計 ・押湯配置設計	その日の天候に応じて添加剤の量を調整	・出湯タイミング「今、取り出せ」	・注湯作業 ・研磨作業 ・バリ取り作業	新たなトラブルに迅速に対応できる
測定の難易度	容易	比較的容易	比較的困難	困難	困難

← 作業前      作業直前      作業中 →

### 3 研究のシナリオ

熟練技能者の技能を抽出する方法を開発する、ということは、抽出された技能は熟練技能者とは独立に、自律的に動作することを意味する。すなわち、図1に示すように熟練技能の代替物として、計算機システムを構築することに他ならない。このことは、漠然とは理解していたのであるが、実際に研究開発を実施して初めて明確に意識された。この代替物を構築することが、本研究における技能の抽出の方法論となった。本章の以下の内容は、研究を後から振り返り、辿った道筋を説明する形で述べる。

本研究では、まず熟練技能者がどのような判断を行っているのか、ということを知ることから研究を始めた。すなわち、企業における判断の事例を集め、その重要性と質を調べることから開始した。判断結果、すなわちアウトプットの収集である。次に、その判断を行うために利用したと思われる情報の総体を推定した。すなわち、判断のためのインプットの収集である。

熟練技能者が脳内で行った思考プロセスを想定することは、興味深い内容ではあるが、非常に困難である。そこで、インプットとアウトプットからそれを成立させるアルゴリズムを構築することを試みた。既知の形式知を利用して、計算機システムを構築することである。アウトプットからアルゴリズムを想定し、そのアルゴリズムを成立させるインプットを推定する。企業でのヒアリングでこれを検証し、アルゴリズムとインプットを見直す。このようにして、熟練技能者の判断の代替物を作ることが、本研究で行った技能の抽出の方法である。

このようにインプットとアウトプットしか対象としないため、熟練技能者の思考プロセスは、結果として全く考慮しないことになった。技能抽出でありながら、熟練技能者は分析対象としていない。このことを明確に認識するようになったのも、研究の終盤であった。本研究では、熟練技能者の動作観察のための機器も開発しており、常に熟練技能者を観察しているという気になっていたが、実際にはそうではなかった。判断の技能と制御の技能という、異なる

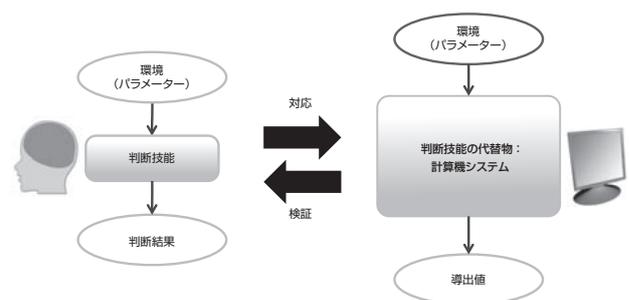


図1 判断技能の抽出モデル

技能の抽出の方法論の違いについての考察が、研究の初期段階では不十分であった。

経営学的な視点における暗黙知や技能に関する研究が、熟練技能者の役割やその知の創造過程に留意しているのと対照的に、我々の工学的な研究の立場は技能そのものに着目した。しかし、経営学的な研究も我々の方法も、熟練技能者の思考過程は考慮していない、という意味で同じであった。残された暗黙知の脳の問題は、認知科学や脳科学の課題と考えられる。

#### 4 研究の成果

本章では、最終的に整理された技能抽出の方法について述べる。正確にいえば、抽出するための枠組みを示す。この枠組は、抽出したい技能があったときに、その抽出を容易にするような技能抽出のメタ構造を提案できていない。しかし、技能の抽出を行う上で、そして、将来の製造業における熟練技能者の意味を考える上で、新たな視点を与えることはできたのではないかと考える。

##### 4.1 全体の構成

本研究の成果は図2に示すように整理できる。代替物としての計算機システムは、判断値を出力するための導出モデルをもつ。導出モデルは、作業環境から測定あるいは導出可能ないくつかの値を入力として判断値を算出する導出アルゴリズムから構成される。

この導出モデルを検討して明らかになった熟練技能者の優れた点は、「問題の簡略化の能力」であると考えられる。たとえば、鍛造では、対象とする製品を製造するために必要となる圧力を算出することが熟練技能者の重要な役割である。このとき、加工圧力を求めるという視点で、複雑な製品形状を熟練技能者は簡略化し類型化しているようである。これにより、考慮すべきパラメーターは大幅に削減し、

自社の加工機で鍛造可能かどうかを判断するために十分な精度で答えを出している、と推測される。我々が構築した代替物としての導出モデルは熟練技能者とは異なったものであるが、複雑な現象を簡略化しているという点において類似性がある。本研究を進める中で、このように物事を単純にして必要な精度の答えを迅速に出すことができる、というのが熟練技能者の大きな特徴であり、また、その単純化のプロセスを発見する能力こそが、熟練技能者の真の価値ではないだろうか、と考えている。

代替物の導出モデルも、この簡略化が重要である。現場の環境は複雑で、関連する要因の影響を全て考慮すると非常に複雑かつ不安定なシステムになることが多い。これら要因の中から、現時点で本当に優位な因子を選択して判断を行うことができるように、導出モデルを構築する必要がある。また、簡単な入力で有効な結果が得られる、ということは現場での操作が容易であることを意味する。「現場で使える技術を開発せよ」という制約は、実は、この簡略化を発見する上で重要な役割を果たしているように思われる。研究において現場で使えるという制約は、実は研究活動を健全にする上で有効であった。

これらの視点を踏まえて作成した技能継承ツールを見ると、いくつかの類型に整理できることが分かってきた。以下、その類型を説明する。

##### 4.2 理論式による導出

冷間鍛造の処理では、金属を高圧でプレスして求める部品形状を作製する。この金属の変形の過程で、図3に示すような変形抵抗と拘束係数が重要な役割を果たしていることが知られている。また、部品形状はそれぞれ異なった形状をしてはいるが、鍛造圧力という視点で見るといくつかの類型に部品形状をあてはめることで、十分有効な近似値を得ることができる、ということが様々な経験から推測

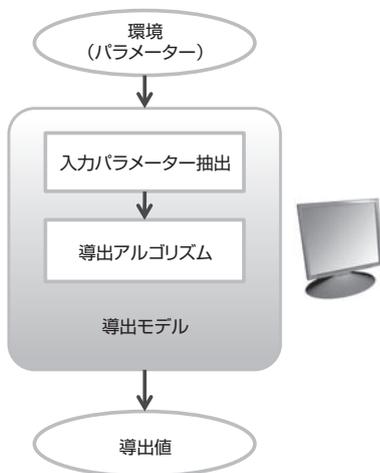
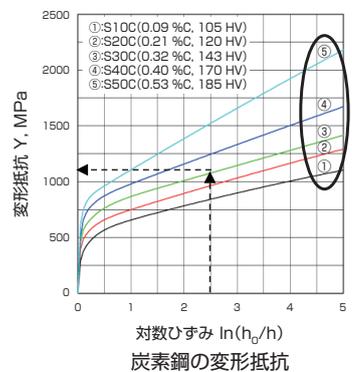
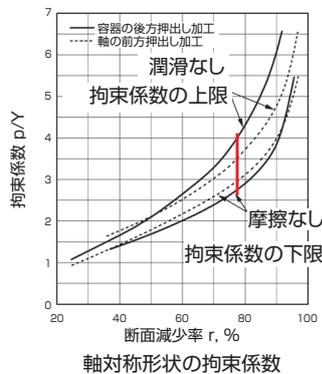


図2 判断技能の対応物の構造



$$\text{加工圧力} = \text{拘束係数} \times \text{変形抵抗}$$

図3 鍛造における加工圧力算出モデル

できた。材料も鉄を基準にして物性値を想定することでマグネシウムやアルミニウムの材料に適用可能であることが分かった。

これらの企業の経験と金属塑性の知識、さらに作成すべき部品の図面情報と材料から、冷間鍛造で必要となる圧力値の導出モデルが作成できた。これを計算機システムとして実装したもののインタフェースを図4に示す。鍛造中の被加工物の温度上昇についても導出モデルを作ることができた。

このように、加工圧力が拘束係数と変形抵抗の積で表現されるといった理論的なモデルと、経験に基づいた製品形状の簡略化モデルを融合することで、従来、熟練技能者の判断に頼っていた判断値を代替する計算機システムを構築することができた。さらに、この計算機システムには、実際に加工したときの圧力計測値を入れ、蓄積することができる。これにより、工場環境あるいは加工機械の特性と思われる値を推定することもできる。

この計算機システムは冷間鍛造シミュレーションの一種である。技能の継承において、この冷間鍛造シミュレーションは次のような役割を果たすことができる。まず、熟練技能者の代替物として利用することができる。仮にこのシミュレーションが完璧ならばそれで終りであるが、実際は材料も潤滑剤も時代とともに変化する。状況が変化すると以前と同じ処理では正しい結果が得られない。そこで後継者

は、このシミュレーションの元になる導出モデルとアルゴリズムそのものを理解する必要が生じる。計算の手順と原理を理解することで、新しい状況に対応することが可能となる。競争の激しい製造業において、昔と同じ作業ができるだけでは不十分で、新たな課題に対応できる能力が求められている。この意味で原理と処理内容が明らかになったシミュレーションは、技能継承を支援する大変有効な手法の一つであると考えられる。

#### 4.3 実験式による導出

鍛造では金属の凝固プロセスが重要な役割を果たす。鍛造技術とは、この金属凝固のプロセスを制御しつつ精度の良い形状を作成する方法といえる。このため、部品の詳細形状、製造条件や温度環境、鑄型の湿度や温度、溶融した金属の諸性質など、膨大なパラメーターを入力することで理論的な導出はある程度可能である。しかし、作業現場でそれらを測定し入力して理論式から求めるシミュレーションを導入することは大変困難である。また、鍛造では一回の注湯作業で何個の部品を作成できるか、ということが生産効率、結果としてコストに大きく影響する。品質だけを重視しては企業運営はできない。

このような諸条件を考慮すると、シミュレーションという形態ではなく、ある程度の推測に基づく実験式作成のアルゴリズムを含んだデータの取得と蓄積の仕組みが有効と考えられた。同様に、熱処理においては処理中に材料が変

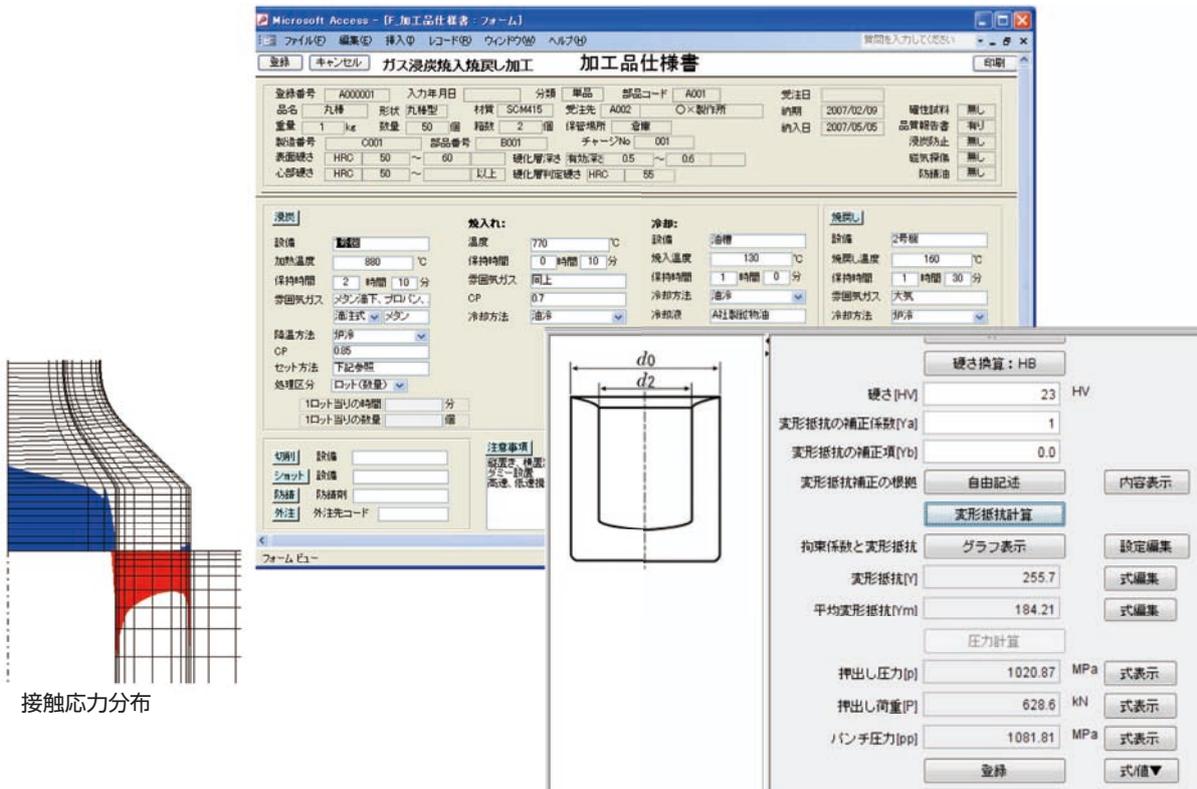


図4 判断技能に対応するシステム例

形する。その変形の度合を推定することも重要である。このためには、事前に研究所や企業で実験を行い、その曲がりの程度とそれを支配する主なパラメーターを想定し、その実験式を作成する必要がある。熱処理の曲がり予測という熟練技能の代替物として実験式に基づく導出モデルを採用した(図5)。

新しい状況に対応するために、後継者が実験式を導出モデルとする方法を発展させる必要がある。このためには、実験式の背景にある金属材料に関する物理的な知識の獲得と、どのような簡略化を実施しているのか、という工学的理解が必要である。これが、後継者が継承すべき技術化された技能であると考えている。

#### 4.4 データマイニングによる導出

製造業において、様々なトラブルへの対応というのは重要な技能である。メッキでは、発生したメッキの不具合を整理し、その不具合の原因と思われる候補群と、過去に実施した是正処置との関係を取得、蓄積する仕組みを構築した。

トラブルを類型化し、実際にトラブルが起こると、起きた不具合がどの類型に対応するかを判定し、不具合が発生した状況を付帯的なパラメーターとして、過去のデータを検索して対処する。これは、一種のデータマイニングである。すなわち、理論式も実験式も推定できないが、過去の膨大なデータから適切な情報を得る方法である。本研究では実施していないが、クラスタ分析、ニューラルネットワーク、遺伝的アルゴリズムなども有効になる可能性がある。鋳造では、過去の事例を検索するために、図6のようなインタフェースをもった検索手法を利用している。これは、セ

ンターで開発したイーグルサーチという手法で、検索キーを柔軟に変更できる特徴を持っている。

導出モデルがデータマイニングによるということは、対象としている導出モデルが十分に解明できていないということを示している。起きたトラブルから、常にその原因を理論的に追及し、対応関係が明らかにできるのであればデータマイニングではなく理論的な導出モデルを構築できる。しかし、実際のトラブルには、理論的な追及ができない、再現性がない、再現するためのコストが膨大でとても追及できない、ということが少なくない。このため、トラブル対応の技能については、過去の事例と解決方法の関係を蓄積し、それらを検索するデータマイニングによる方法は有効である。

以上、3種類の導出モデルを示したが、これらを比較すると、理論式に基づく方法が最も有効であり信頼性も高いと考えられる。それは、導出方法を理論的に説明できるからである。実験式による方法は、前提となるパラメーターとその相互関係が明らかになっているという点で、理論式に基づく方法の次に信頼性があるように見える。データマイニングによる方法は、因果関係が不明であるため最も信頼性が低いと思われる。したがって、導出モデルを常に見直し、できるだけ理論式に基づく方法に向かうことが望ましいと考える。

ただ、これらの方法の差は明確とはいえない面もある。理論式による導出と実験式による導出の差は、理論化が成されているか否かの違いである。データマイニングも、問題領域の次元が明らかになり、データが蓄積されれば実

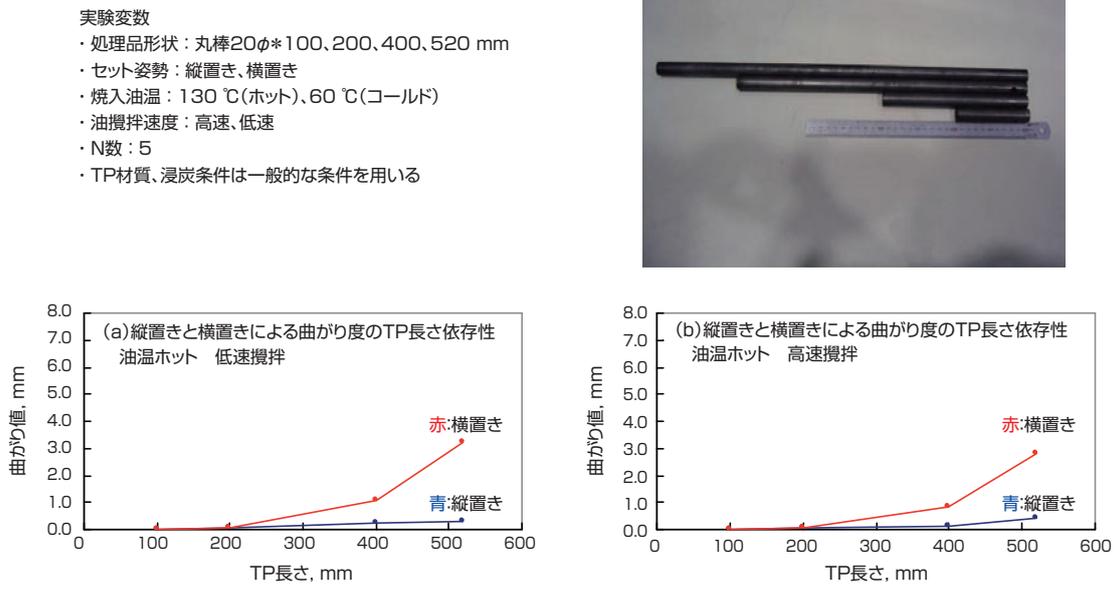


図5 熱処理における実験式の導出例

験式の推定も可能であろう。本研究成果を利用するとき、状況の変化に応じて導出モデルそのものを見直し、より信頼性の高い方法を探り続けることは有効であると考ええる。

#### 4.5 その他の導出法

判断技能については、上記の三つの方法が典型的であると考ええる。しかし、継承すべき技能は判断技能以外にもある。理化学研究所が担当した金属プレスにおいては、対象とする部品種類に応じて、採用すべき加工法案が異なる。すなわち、部品の特徴から加工法案を選択する技能、選択された加工法案において留意すべき点とその検討方法などが最も重要な熟練技能である。加工法案設計の選択は、単純な判断の連鎖というには複雑過ぎる。本事業ではメタフローモデルの作成による技能継承に取り組んだが、上記の三つの方法論の範囲で議論することは困難である。これは、今後の研究課題である。

#### 4.6 熟練技能者の動作計画

熟練技能者の動作に関する技能については、本研究で次のような取組みを行った。一つは鑄造における注湯作業の可視化である。図7のように、注湯を行うときに使用する取鍋（とりべ）の付け根にひずみセンサーを取り付け、溶融した金属の流量を測定する装置を開発した。これにより、「はじめは早く、途中はゆっくり、最後は押し込め！」と現場で云われている熟練技能の可視化を行った。

可視化は可能になったが、作製する部品の個数や部品を連結する形状などの状況により微妙な調整が行われていることが分かっていて、その制御のメカニズムは単純ではない。動作の解析のためには、何をどのように制御しようとしているのかの熟練技能者に対する、聞き取り調査と、実際の溶融した金属の流量や温度の関係の解析を行うことで、はじめて動作の意味が判明する。このように、動作の技能の解析は、制御の意味を明らかにすることが本質的に必要であるが、本研究においても、類似の溶接動作の研究においても、まだその段階には至っていない。

### 5 将来の製造業における技能

熟練技能者の判断技能の抽出のための研究シナリオと成果について議論を行い、判断技能と動作の技能の可視化の例について述べた。このような研究が進めば、企業における熟練技能者は不要になるのであろうか。将来の熟練技能者の育成、熟練技能の在り方を議論したい。

熟練技能の問題は、中小企業だけではなく大企業における問題でもある。例えば、自動車産業において塗装や溶接はほとんどロボットが行っている。動作の設定は、ティーチングと呼ばれる方法であり、その動作を決めるのは熟練技能者であった。しかし、実際の現場がロボット化することで熟練技能者の職場が無くなり、気がついてみると新しい材料、新しい塗料に対して適切な塗装条件や溶接条件を決められる人材が見当たらない、という問題に直面している。これは、企業がそれらの動作の制御の仕組みが十分理解できていない、ということに由来している。

理論式による導出のところで議論したように、判断技能の継承における後継者が、その動作の物理的工学的な意味を十分理解することが重要である。将来の熟練技能者は、少なくとも関連する分野において十分な工学的な知識をもった上で、判断や動作を行う必要があると考える。自らの動作を客観的に観察するとともに、自分自身が熟練技能者として、新たな環境に適応して、新たな技能を創出する役目を担うべきであると思われる。すなわち、現場における高度なエンジニアであることが熟練技能者の将来像ではないだろうか。

十分に解析された技能は技術化され、ロボット等による自動化を行い、自らは次の課題に取り組む。このようなエンジニアとしての役割こそが将来の技能者の姿であると筆者は考える。企業も、社会も、このような人材の地位、収入において優遇することがなければ、現在優位であるといわれている日本の製造業の未来が心配である。

現在の熟練技能者のもつ技能は、「金の卵」といわれて

欠陥事例検索	
Select	List
外観:	外観の穴   微細な孔   外観の凹凸   外観の線状欠陥   形状が不完全   異物混入   その他
工程:	鑄造後   加工後
発生位置:	全体   堰・押湯近傍   肉厚変動・交差部   中子接触部   冷し金接触部
材質(CAC**):	100   200   300   400   500   600   700   800   900
名称:	引け巣   湯廻り   フロ噛み   砂落ち   吹かれ   堰前引け   外引け   隅引け   内引け巣   ピンホール   ブローホール   ざく巣   収縮巣   砂噛み   錆こぶ   異物噛み   型ずれ   型割れ   打痕   亜鉛噛み   焼きつき   すくわれ   肌あれ   差込   面引け   湯境   熱間割れ   引き割れ   引け割れ   割れ   錆バリ   くいち   身食い   入れ干し   中子割れ   酸化物   非金属介在物   錫汗   汗玉   偏析   年輪模様
原因:	鑄物砂   中子   方案   造型   材料   溶解   注湯作業   冷却
対策:	鑄物砂   中子   方案   造型   材料   溶解   注湯作業   冷却
種別:	標準   社内例登録   社内例参照   統計データ
266件のデータが選択されました。	
リセット	

図6 データマイニング操作画面例

地方から都会に上京し、その中の優秀な人材が長い時間、必死に働いた成果である。高校卒業生を技能者、大学や大学院卒業生を技術者として分けて育成する製造業の時代は終焉を迎えていると思われる。同時に、町工場における匠の技が日本の製造業を支えるというマスコミのメッセージも修正が必要であろう。要求精度とコストの関係において、それらの果たす役割は決して小さいものではないが、匠の技のイメージを増幅しても、何ら将来を切り拓く原動力とは成り得ないとする。

最後に、熟練技能は誰のものであるか、という議論を行う。青色ダイオードを契機に企業研究者の発明について、その帰属に対する考え方が整理されてきているが、熟練技能者のもつ技能の帰属については、整理されているとはいえない。必死に生み出した加工技術の技能が技術化されたとき、熟練技能者には何も残らないのであろうか。企業OBが海外の企業に招聘され現地教育を行うことによる技能流出が近年問題にされているが、技能の帰属についての議論を初めに行うべきであろう。様々な関係者が参加して議論を深める必要があると考える。

## 6 おわりに

熟練技能の抽出に関する研究の研究シナリオの概要と、研究結果について述べた。本研究で得られた成果は、

- (1) 技能抽出のため、技能を代替する計算機システム構築による方法を提案したこと、
- (2) 代替する計算機システムとして、理論式に基づくもの、実験式に基づくもの、データマイニングによるものがあることを示したこと、

である。また、将来の製造業における熟練技能の在り方についても議論を行った。

デジタルものづくり研究センターでは、「ものづくりを科学する」ということを目標として研究を行ってきた。熟練技能の抽出手法と可視化の研究開発は、熟練技能とものづくりの関係を、今まで以上に明確にできたのではないかと考えている。

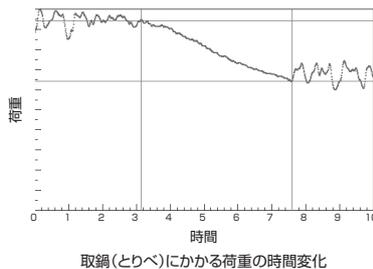


図7 铸造における熟練技能とその可視化

## 参考文献

- [1] P. Michael: 暗黙知の次元, 筑摩書房 (2003). (原著 “*The Tacit Dimension*”, 1966).
- [2] 野中郁次郎ほか: 知識創造企業, 東洋経済新報社 (1996).
- [3] K. A. Ericsson, R. T. Krampe and C. T. -Romer: The Role of Deliberate Practice in the Acquisition of Expert Performance, *Psychological Review*, 100 (3), 363-406 (1993).
- [4] 綿貫啓一: VR技術を用いたものづくり基盤技術・技能における暗黙知および身体知の獲得, *人工知能学会誌*, 22 (4), 480-490 (2007).
- [5] 浅井知ほか: 溶接技能のデジタル化と溶接士支援システムへの展開, *溶接学会論文集*, 20 (1), 185-190 (2002).

## 執筆者略歴

松木 則夫 (まつき のりお)

1980年早稲田大学理工学研究科数学専攻修士課程修了。日本ユニバック(現日本ユニシス)を経て、2000年に工業技術院機械技術研究所入所。博士(工学)。2001年産業技術総合研究所ものづくり先端技術研究センターシステム技術研究チーム長。2006年よりデジタルものづくり研究センター長。専門は形状モデリングであるが、センターでは、加工技術、技能継承技術、ものづくりを支援するIT技術の研究開発プロジェクトを率いる。



## 査読者との議論

### 議論1 本論文の構成

質問 (上田 完次: 産業技術総合研究所)

本論文のタイトル・目的・方法・成果・主張は、NEDO事業研究「技能抽出の手法」と全く同じなのか、前者は後者の一部なのか、あるいは別の視点から考察し直したもののかが不明です。

回答 (松木 則夫)

本論文は、研究シナリオの紆余曲折という視点で、NEDO事業研究「技能抽出の手法」を述べたつもりです。ただ、その視点がどの時点のものであるかは曖昧となっていましたので書き直しました。

### 議論2 現場に即したシナリオの設定変更

質問 (五十嵐 一男: 産業技術総合研究所生産計測技術研究センター)

当初想定したシナリオを現場の要望を無視して実行することはできない故に、当初のシナリオ以外の方法も許容して、有効なツールに専念することに方向転換をした、と記述されていますが、変化要因の内容から推定すると、ここで記載されている事項は、プロジェクト提案時の検討対象として当初から調査・議論されていなければならない重要なもののように思えます。

回答 (松木 則夫)

ご指摘のとおり、事前調査すべき内容であったと思います。ただ、企業における技能の実際の状況は複雑で、プロジェクトを開始しなければ判らなかったことが多数ありました。本研究では、当初の想定でも十分有効な現場で活用できるツールになったと思いますが、開始後の状況に応じてシナリオを変更したことが、さらに良い結果となったと考えています。

### 議論3 構成要素の明確性

質問 (上田 完次)

導出モデルに関して「導出モデルとして、理論式・・・、実験式、・・・データマイニング・・・がそれに続く」の内容は、本研究で得られた

結果ですか、それとも仮説または自明のことでしょうか。

回答（松木 則夫）

これらは本研究の仮説です。できれば技能の研究を続け、この仮説の検証を続けていきたいと思えます。

#### 議論4 熟練技能者の将来像

質問（五十嵐 一男）

結論として、判断技能に関しては、熟練技能者を継承することは十分な工学的な知識を持った上で、判断や動作を行う必要がある。また、現場における高度なエンジニアであることが熟練技能者の将来像としている。確かに、ここでの結論は1つの方向ではあると考え

ますが、人材確保の観点から、中堅・大企業には当てはまっても本研究が対象とした中小企業において必ずしも当てはまる状況ではないように思いますが、本論文のように一律的に結論を置くことは妥当でしょうか。

回答（松木 則夫）

製造業においては、企業規模に関係せず世界との競争下にあります。極端な結論のような印象があるかもしれませんが、中小零細企業においても、従来のような単純労働者の雇用の場という時代では無くなってきている、このような方向にならざるを得ないのではないかと考えています。