

# 力感覚が必要な作業スキル解明に関する研究(第2報)

久富 茂樹      張 勤      張 明      田中 泰斗

## Acquisition of Force-Sensitive Skills through Investigating the Underlying Mechanisms ( II )

Shigeki KUDOMI    Qin ZHANG    Ming CHANG    Taito TANAKA

**あらまし** 製造工程の中には作業者の高度な判断と経験(熟練技能)を必要とする作業が数多くある。この熟練技能は製品の善し悪しを左右したり製品に付加価値を与えたりすることも多い。しかし、熟練技能の習得には一般的に多くの時間が必要とされ、熟練技能者の育成、技能の伝承が大きな課題となっている。本研究では金属製品精密加工における研削工程前の歪み矯正作業を対象として、数値化や自動化による技能伝達の効率化を試みるとともに、作業スキルのメカニズム解明を目指す。本年度は、まず、熟練技能者への聞き取り調査によりねじれ矯正作業手順を理解した後、ねじれの状態を作業者に提示できる測定装置を試作した。次に作業者の技能計測を行い、熟練技能者と非熟練技能者の違いを検討した。さらに、プレス作業の数値化、半自動化を行うためにプレス試験機の試作を行った。

**キーワード** 熟練技能, スキル, 歪み, 矯正, 技能伝達, プレス

### 1. はじめに

製造工程の中には作業者の高度な判断と経験(熟練技能)を必要とする作業が数多くあり、この技能習得には一般に多くの時間を必要とする。しかし、近年の開発・製造のリードタイム短縮の追求で技能伝達の時間が十分に確保できない等の状況の中で、熟練技能者の高齢化、後継者不足が進み、熟練技能者の育成、技能伝承が大きな課題となっている。

一方、このような熟練技能を自動化する試みもなされており、有効な結果が得られたものも多くある<sup>[1~3]</sup>。しかし、技術的には可能であってもそれに要する費用対効果が悪ければ自動化は進まない。また、自動化はこれまでに蓄積された技能に対しては有効に作用するが、突発的な事象への対応が困難となることや、新たな技能の創出を阻害してしまう恐れがあるという問題点も指摘されている<sup>[4]</sup>。

本研究では歪み矯正作業を対象として、数値化や自動化が比較的容易に低コストで実現できる部分ではできるだけ数値化・自動化して、技能の本質的な部分のみ人から人への伝承を行い、技能伝達が効率良く行える支援システムの開発を目的とする。昨年度は曲がり歪みの測定装置試作および矯正作業計測を行った。本年度は、ねじれをともなった歪み矯正まで範囲を広げ検討を行う。

本報告の構成は以下のとおりである。2章でねじれの矯正作業手順を説明した後、3章で歪み状態の把握が難

しいねじれの状態を作業者に提示できる測定装置について述べる。4章では作業者の技能特性について述べ、5章ではプレス作業の数値化、半自動化を行うために試作したプレス試験機について述べる。

### 2. ねじれ矯正作業

前報で曲がりの矯正作業について報告したが<sup>[5]</sup>、ねじれの生じている加工対象(以下ワークと記述)の場合も作業者は初めにダイヤルゲージを用いてワークに生じている歪みの場所と大きさを把握する。ねじれの場合は曲がりのみの場合に比べて形状が複雑になるため歪みの状態を把握するのが困難であり、歪みを矯正するための手順も複雑になる。

まず作業を理解するために、熟練技能者に作業行動の判断基準やポイントについて質問形式で聞き取り調査した。図1にねじれの矯正作業の基本手順を示す。ねじれのパターンはいくつか考えられるが、ここでは代表的なものを示す(I)。ねじれの状態によりワークの角が上を向いていたり下を向いていたりするが、まず、局所的にプレスすることにより4つの角がすべて同方向、同程度に反っている状態にする(II, III)。この時、ねじれの状態に応じてプレスの位置、方向、強さを調整しながら作業を行う。次に全体をプレスして(IV)ワークの反りを矯正していく(V)。ただし、これは基本手順であって、実際にはワークの材質、形状、状態、矯正作業中のワー

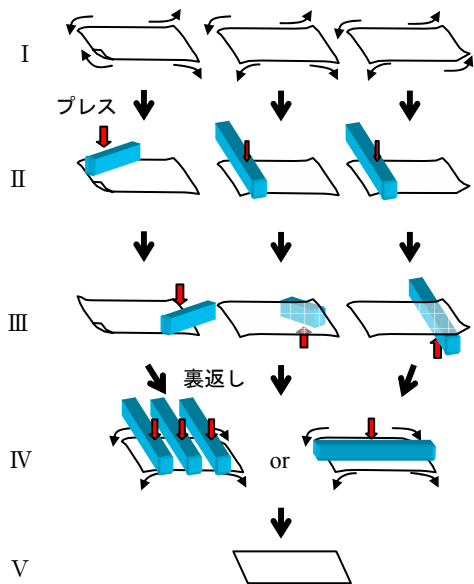


図1 歪み矯正作業手順

クの反応を見ながら、そのワークにあった矯正手順を判断し、プレス位置、プレス力などを調整しながら矯正作業を行っていた。

### 3. 歪み量測定装置

#### 3.1 装置の試作

前報で、曲がりのみの歪み状態を測定できる装置の試作について報告した。本年度はワークのねじれの状態も測定できるように、センサを面状に配置した装置に拡張した。図2に試作した装置の外観を示す。センサにはリニアポテンシオメータ（楢緑測器，LP-20FP，以下ポテンシオメータと記述）を7点（20[mm]ピッチ）×3列（33[mm]ピッチ）で配置した。本体の3点の足を基準面（定盤面）に接地させ、センサの接触子をワーク表面に接触させることで、ポテンシオメータからは各点での基準面からの高さに応じた電圧が出力される。その電圧をAD変換器（株コンテック，ADA16-32/2(CB)F，分解能：0.31[mV]）を介してPCに取り込み、ノイズ成分を除去するためにソフトウェアで平滑化処理を行った。ポテンシオメータは、測定軸に対してせん断方向の荷重によって、精度が劣化する可能性があるため、リニアブッシュを用いてシャフトを案内した。また、シャフトには摺動摩擦が生じるため、シャフトと本体の間にばねを入れて接触子を常にワークに押しえつけるようにした。さらに、センサをワークに接触させるときの傾き具合によりデータにばらつきが見られたため、リニアガイドを用いて装置本体を案内した。

#### 3.2 装置の測定性能評価

今回対象としたワーク厚さである5[mm]付近の装置の特性を明らかにするため、4.8 [mm]，5.0[mm]，5.2[mm]のブロックゲージを測定した。ポテンシオメータの出力

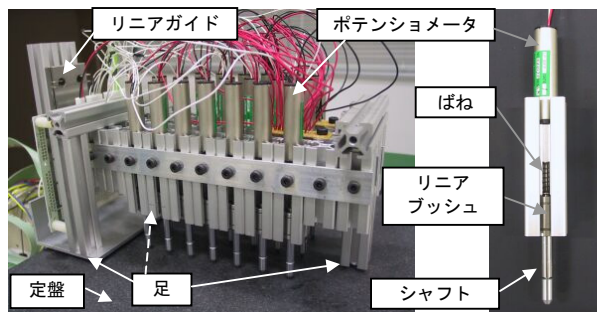


図2 歪み量測定装置

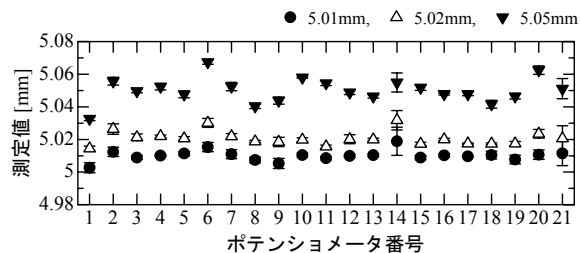


図3 歪み量測定装置の精度確認

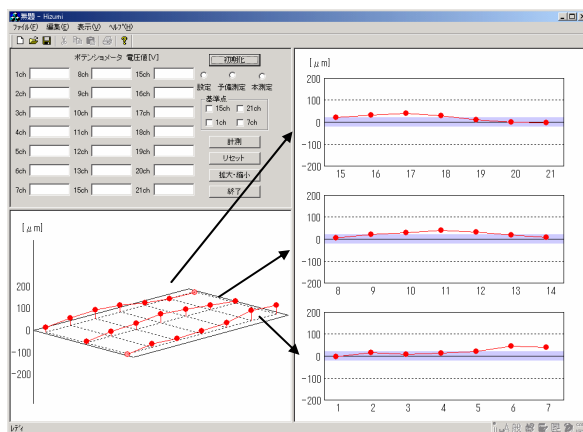


図4 歪み量の提示

電圧とゲージ厚の関係を最小二乗法により1次式で近似し、ポテンシオメータ出力から変位量への変換式を求めた。

求めた変換式を用い、5.01[mm]，5.02[mm]，5.05[mm]のブロックゲージを測定した結果を図3に示す。プロット値は9回測定した値の平均値で、エラーバーは標準偏差を示す。ポテンシオメータによってはばらつきが大きいものもあるが、20[μm]程度の差があればその差を検出できることがわかった。

#### 3.3 歪み量の提示

本装置で測定した歪み量をモニタ上に表示し、作業者に提示することを試みた（図4）。画面左下にワーク全体の凹凸状態がわかる表示とした。また、画面右側にはワークの奥から順に列ごとの各点のデータを表示した。前節で述べたように、測定のばらつきが大きいポテンシオメータがあるため、まだ測定精度が十分ではないが、同じワークを3回計測し、平均値を使用することにより歪

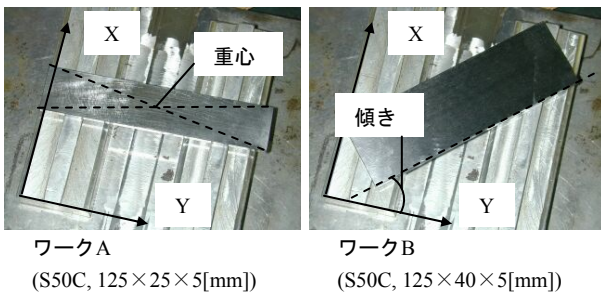


図5 ワークの位置測定

み形状の作業への提示と、ワーク形状の数値データ化を行うことができた。熟練技能者がダイヤルゲージを使用して得た歪形状のイメージと本装置によって提示した歪形状とがほぼ一致していることを確認した。

#### 4. 作業者の技能計測

矯正作業を行う場合、作業者は(1)プレス位置と向きを考慮して、ワークをプレス台に両端支持の状態にセットする、(2)プレス機のハンドルに加える力を調整することで適切なプレス力で矯正を行う、という2つの動作を行う。この2つの動作に関して、どの程度の正確さで作業者が作業を行っているかを調べた。

##### 4.1 ワークのセット

曲がり歪みがあるワークAとねじれ歪みがあるワークBに対して、矯正作業を行う時と同じように、熟練技能者にプレス台にセットしてもらった。このとき、プレス台の上方に固定したデジタルカメラを用いてワークを撮影した。2種類のワークを交互に9回ずつセットしたときに、得られた画像データからワークの重心位置とワークの傾きを求め、熟練技能者がワークをセットする場合の繰り返し精度を調べた。

撮影した画像例を図5に示す。この時の画像分解能は0.1mm/pixであった。得られた画像のデータはカメラの撮影角度等の影響でゆがみが生じているので、以下の変換を行うことによって補正を行った。

画像上での点を $P=(x,y)$ 、変換後の点を $P'=(x',y')$ とすると、

$$P'T = R P^T + S \dots\dots\dots (1)$$

$$R = \begin{pmatrix} a & b \\ c & d \end{pmatrix}, \quad S = \begin{pmatrix} s \\ t \end{pmatrix}$$

R, Tの各要素は位置が既知の点を16点撮影し、画像上での位置関係からムーアペンローズの逆行列<sup>6)</sup>を用いて求めた。この変換を用いて他の測定位置での点を変換すると±1.2[mm]程度の誤差で位置を測定することができていた。

表1に本測定方法を用いて、各ワークをセットした時の重心位置の標準偏差(X軸方向, Y軸方向)と傾きの標準偏差を示す。曲がり歪みのワークAの場合は繰り返し

表1 ワークセット時のばらつき

	X軸方向 [mm]	Y軸方向 [mm]	傾き [deg]
ワークA	1.62	1.17	0.73
ワークB	2.52	5.76	5.09

セットした場合のばらつきが測定誤差程度であるが、ねじれ歪みのワークBの場合は重心位置、傾きともにばらつきが大きくなった。2章で述べたように、ねじれ矯正を行う場合、まず4つの角がすべて同方向、同程度に反った状態にするが、熟練技能者はこの作業はそれほど正確に行う必要がないと捉えているため、ワークのセットの仕方にばらつきが生じたと考えられる。また、ワークをプレス台に対して斜めに置かなくてはならないこともばらつきが大きくなった要因の一つと考えられる。ねじれの矯正は曲がりの矯正に比べてより難しいとされるが、熟練技能者にとって特に意識していない動作や判断基準が明確になっていない動作が存在することも技能教育を困難にしている要因の一つだと考えている。このワークのセットもその一例で、正確なワークの位置調整を支援することで技能教育の際に作業への負担を軽減できると考える。

##### 4.2 プレス力

熟練技能者への聞き取り調査によると、プレス作業では、自分の加えた力と矯正された量からそのワークの曲がりやすさを判断して、最初に加えた力を基準にして力を調節して残りの歪みを矯正していく。それには、同じ力で繰り返しプレスできる技能が必要であると考え、できるだけ同じ力で10回プレス作業を行ってもらい、プレス力のばらつきを求めた。プレス力の測定にはプレス機にロードセルのようなセンサを取り付け、力を測定することも考えられるが、ロードセルの取り付けによりプレスストロークが変化するなど通常作業との違和感が生じる可能性がある。そのため、前報においてプレス力と相関が高かったプレス最下点位置をプレスヘッド部分に取り付けたリニアポテンシオメータで測定し、プレス力に変換した。加える力の大きさは40[μm]の曲げ歪みがある場合に必要な矯正の力と、100[μm]の曲げ歪みがある場合に必要な矯正の力の2種類とした。比較のために、熟練技能者の他に、矯正作業を行ったことはあるが熟練していない非熟練技能者にも同様の作業を行ってもらった。この矯正作業では熟練技能者、非熟練技能者ともに、一度のプレス作業につき2回ずつプレスをする方法を採用していたため、プレス力は2回の合計として求めた。

図6にプレス力の平均値を示す。エラーバーは標準偏差である。40[μm]矯正時も100[μm]矯正時も熟練技能者のほうが大きな力を加えているが、標準偏差は両者間で差異は認められず、同じ大きさのプレス力を加えるとい

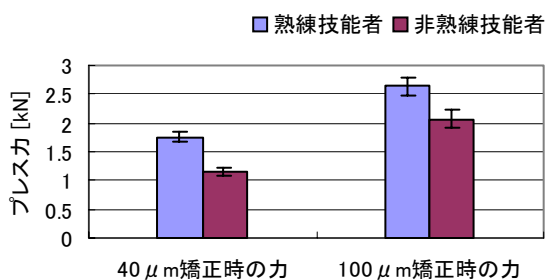


図6 プレス力

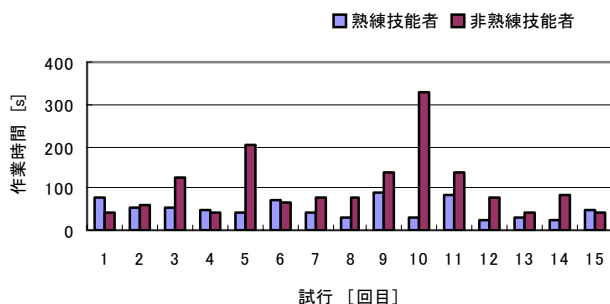


図7 歪み矯正時間

う能力に関しては熟練技能者も非熟練技能者も差がないという結果になった。

#### 4. 3 歪み矯正作業時間

次に熟練技能者と非熟練技能者の矯正作業に要する時間を測定した。作業内容は、約50[μm]の曲り歪みがあるワークを20[μm]以内の歪みになるようにする矯正作業とした。図7にそれぞれの作業者が15回試行したときの作業時間を示す。平均作業時間は熟練技能者が50[s]、非熟練技能者は103[s]であった。また、熟練技能者は1回の矯正作業を常に100[s]以内に終了させているが、非熟練作業者は100[s]以上必要であった試行が15回中5回あり、作業時間が安定していなかった。前節の結果から熟練技能者と非熟練技能者で同じ大きさのプレス力を加えるという技能に差異は認められなかったため、矯正しやすさなどのワーク状態の捉え方に差が現れたと考えている。

#### 5. プレス試験機の試作

プレス作業の数値化、半自動化を行うために、電動リニアアクチュエータ（株式会社ハーモニック・ライフシステムズ、LBC-25A-5D6K）を用いたプレス試験機の試作を行った。図8にプレス試験機の外観を示す。また、表2に装置の仕様を示す。本アクチュエータはサーボドライバにより速度制御が可能である。また、ロッドとプレスヘッドの間にロードセル（日計電測㈱、LCT-5KNE353）を取り付け、10[ms]のサンプリング周期でプレス力を計測している。設定した速度指令値で速度制御を行い、プレス力が



図8 プレス試験機

表2 プレス試験機の仕様

最大推力 [N]	2000
シリンダストローク [mm]	50
プレス速度 [mm/s]	0.5~20

設定値になるとプレスを止め、移動方向を反転する制御を行った。今後、熟練技能者が本プレス試験機を使用して矯正作業を行うことにより、プレス作業のデータ収集を進めていきたい。

#### 6. まとめ

本研究では金属製品精密加工における研削工程前の歪み矯正作業を対象として、ねじれの状態を作業者に提示できる測定装置を試作した。また、歪み矯正作業に必要な作業者の基礎的な技能特性を測定した。さらに、プレス作業の数値化、半自動化を目的としたプレス試験機を試作した。今後、これらの装置、手法を用いて、歪み矯正作業データを取得し作業解明を進めると共に、作業支援、技能教育に使用できるように改良を加えていきたい。

#### 謝辞

本研究を遂行するにあたり、歪み矯正作業の調査および計測にご協力いただきました（株）小森精機の関係者の方々に感謝いたします。

#### 文献

- [1] 水川真, “センサベースロボットにおける作業スキルの教示—バリ取り作業事例—”, 計測と制御, 第37巻, 第7号, pp.499-503, 1998.
- [2] 神野誠, 永滝真太郎, “仕上げ作業技能の自動化”, 計測と制御, 第37巻, 第7号, pp.504-507, 1998.
- [3] 幸田盛堂, “金型磨き作業技能の自動化”, 計測と制御, 第37巻, 第7号, pp.508-511, 1998.
- [4] 富岡恒憲, “ノウハウが危ない”, 日経デジタル・エンジニアリング, 6月号, pp.70-89, 2000.
- [5] 久富茂樹, 張勤, 張明, “力感覚が必要な作業スキル解明に関する研究”, 岐阜県生産情報技術研究所研究報告, 第4号, pp.75-78, 2003.
- [6] 現代数理科学事典, 大阪書籍発行, 1992.