

# 力感覚が必要な作業スキル解明に関する研究

久富 茂樹 張 勤 張 明

## Acquire Skillfulness of Force-Sensitive Operations Through Investigating the Mechanism

Shigeki KUDOMI Qin ZHANG Ming CHANG

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。しかしながら、このような熟練技術を習得するには一般に多くの時間が必要であるとされており、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、数値化や自動化が可能などところはできるだけ数値化、自動化を行い、技能伝承の効率化を試みるとともに、作業スキルの解明を目指す。本年度は歪み量測定装置を試作し、定性的にはあるが歪みの状態を作業者に提示することができた。また、熟練技能者への聞き取り、作業計測を行い、歪み矯正作業の解析を試みた。

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

岐阜県は多数の製造業が集積している地域である。製造工程の中には作業者の高度な判断と経験(熟練技能)を必要とする作業も数多く存在する。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く、その企業の大きな財産とも言えるものである。このような熟練技術を習得するには一般に多くの時間が必要であるとされている。しかしながら、近年の開発・製造のリードタイム短縮の追求でOJT(On-the-Job Training: 職場内訓練)による技能伝達の時間が十分に確保できない等の事情もあり、熟練技能者の育成、技能伝承が大きな課題となっている。

一方で、このような熟練技能を自動化・ロボット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々ある<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>。

以上のような背景に鑑み、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。また、同時に作業

者の個人差を排除することができ、技能の本質的な部分だけが残るため、作業スキルの解析が行いやすくなるのではないと思われる。本年度は、平板の曲がりの矯正に焦点をあて、歪み量の検出装置の試作および作業計測を行ったので報告する。

### 2. 歪み矯正作業

本作業は、前工程までに発生した数10~100[ $\mu\text{m}$ ]程度の歪みを研削削り代(20~30[ $\mu\text{m}$ ]程度のことが多い)以内になるように図1に示すようなハンドプレス機を使用して矯正する作業である。作業者はまず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。次に凸になっている面を上にしてワークをハンドプレス機の台にセットする。ハンドプレス機のハンドル操作の強さを加減することでプレス力を調整し歪みを矯正していく。製品の材質、形状、歪みの状態等を総合的に判断し、適切な位置に適切な力を加えることによって歪みを矯正していくところに作業者の高度な判断と経験が必要な作業である。本年度は、問題を簡単にするために、ねじれない一次元的な曲がりの矯正作業を考える。

この作業を理解するために、熟練技能者に作業を行ってもらいながら、その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。その結果から選ばれた歪み矯正作業のフローを図2に示す。作業者は<処理1>において、定盤上でワークを滑らしたり、回転させたりしながら歪みの状態を定性的に捉えているようであっ



図1 ハンドプレス機

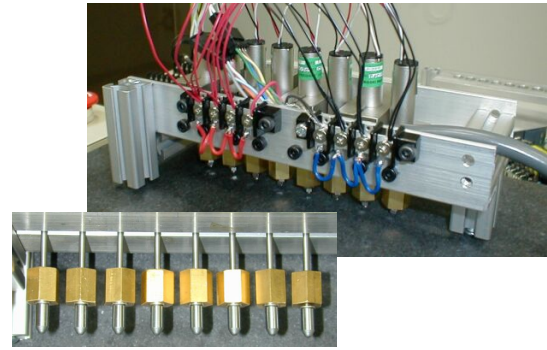


図3 ひずみ量測定装置の外観

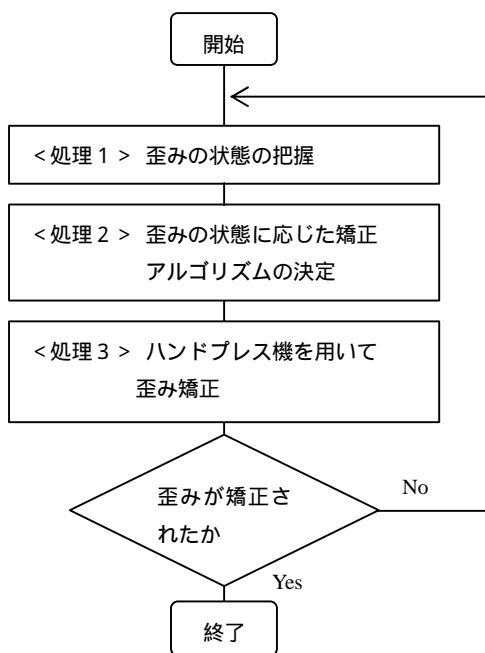


図2 ひずみ矯正作業のフロー

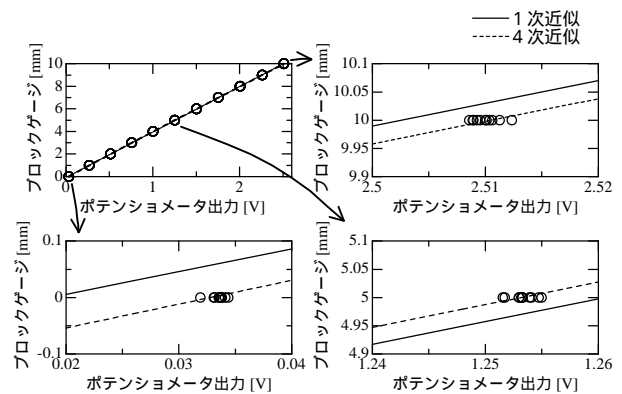


図4 歪み量測定装置の線形性

### 3. 歪み量測定装置

#### 3.1 装置の試作

た．また，ダイヤルゲージを用いて測定を行うことで歪み量を定量的に捉えていた．<処理2>の部分はこの作業の根幹をなす部分で，ワークの状態，環境の状態，過去の経験等を熟練技能者が総合的に判断して決定している．ここでは一つの処理として表しているが，実際にはいくつかの処理や判断が繋がった複雑なフローになると思われる．<処理3>は実際に作業を行う部分で，作業者はこれまでに培われてきた経験によって適切な力でハンドプレス操作を行うテクニックとして熟練を要する部分である．この中で<処理1>について，歪み量測定装置を試作し歪みの状態を数値化して作業者への提示を行う．

歪みの状態を数値データ化するために歪み量の測定装置を試作した．図3に試作した装置の外観を示す．ワークの歪み量すなわち表面形状を測定するセンサとして各種変位センサが市販されているが，本研究ではワークの測定面の反射状態等に影響されない接触式で，比較的安価なりニアポテンシオメータ（以下ポテンシオメータと記述）を用いた．8個のポテンシオメータ（ストローク：20[mm]，印可電圧：5[V]）を直線状にならべて配置し，先端には接触部が球状をした接触子を取り付けた．その上部には重りを取り付け，常に一定荷重で鉛直下向きに押さえつけられるようにしている．隣接するポテンシオメータが接触しないように配置した結果，測定点の間隔は17[mm]となった．定盤（平面度：2.0[ $\mu$ m]）上にワークを置き接触子がワークの上面に接触するように歪み量測定装置を下ろすと，ワークの歪みに応じてポテンシオメータが変位し，変位量に応じた電圧が出力される．その電圧はAD変換器（入力レンジ：0～+5[V]，分解能：12bit）を介してPCに取り込まれる．さらに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ている．

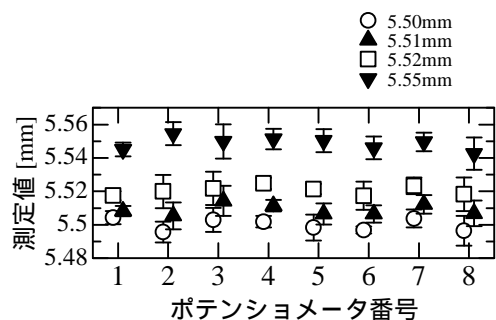


図5 歪み量測定装置の精度確認

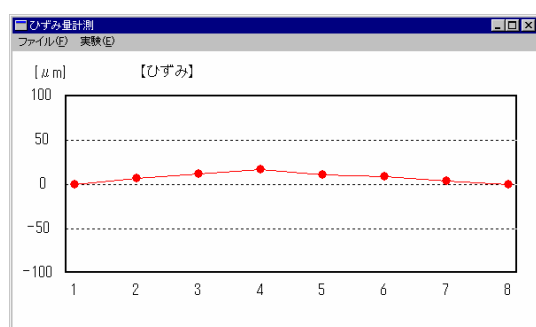


図6 歪み量表示画面

### 3.2 装置の特性評価

装置の特性を明らかにするため、標準試料として1[mm]から10[mm]まで1[mm]おきのブロックゲージを測定し、各ポテンシオメータの出力電圧を計測した。図4に測定結果の一例を示す。実線は全測定点を最小二乗法により1次式で近似した直線、破線は4次式で近似した曲線を示す。1次式で近似した場合は実際の測定データと50[μm]程度差異が生じている箇所もあり、ポテンシオメータ出力から正しい変位量に変換することができない。一方、4次式で近似した場合は、全測定範囲において測定データとほぼ一致している。そこで、ポテンシオメータ出力から変位量への変換式はポテンシオメータ毎に測定データから4次の近似式を求めた。求めた変換式を用い、5.50[mm]、5.51[mm]、5.52[mm]、5.55[mm]のブロックゲージを測定した結果を図5に示す。プロット値は11回測定した値の平均値で、エラーバーは標準偏差を示す。ポテンシオメータの固体差もあるが、±10[μm]程の精度で測定でき、20[μm]程度の差があればその差を検出することがわかった。測定値がばらつくのは、装置及びポテンシオメータの機械的なガタやヒステリシスが原因ではないかと思われる。

### 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6に表示画面を示す。表示の

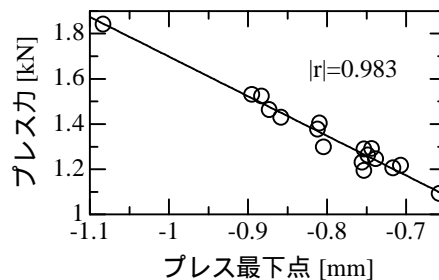


図7 プレス位置最下点とプレス力との関係

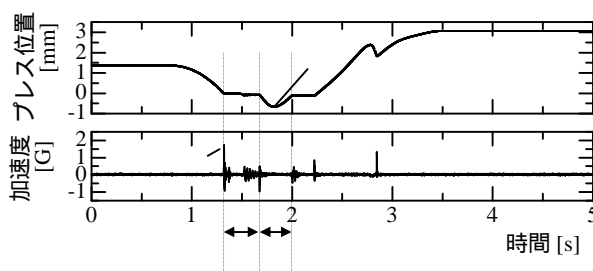


図8 ひずみ矯正作業測定例

際には両端のポテンシオメータの変位を基準としたときのの変位に変換した。本作業では熟練技能者は5~10[μm]単位で歪み量を捉えており、表示画面によって歪みの状態を定性的に捉えることはできるが、定量的に捉えることは難しく、装置の測定精度を向上させる必要がある。また、曲がりのみ的一次元的な歪みの状態は作業者にとってイメージしやすく、歪み形状をモニタで表示するメリットはそれほどないように思われた。今後歪み量測定装置の精度向上と共にねじれも含んだ二次元的な歪みを測定、作業者への提示ができるように改良していく予定である。

## 4. 作業計測

歪み矯正作業の計測にあたり、次のセンサを用いて予備測定を行った。

- (1)加速度センサ：プレスハンマ部に固定してプレス時の加速度を計測する。
- (2)歪みゲージ：ワーク裏面に取り付け、プレス時にワークに加わる曲げ歪み量を測定することにより、間接的にプレス力を求める。
- (3)ポテンシオメータ：プレスハンマ部の位置を計測する。プレス時の力は非常に重要な項目であると考えられる。しかしながら、ワーク一つ一つに歪みゲージを貼付するのは煩雑であり、また、歪みゲージ貼付面をプレスできない等の制約が生じることから好ましくない。予備実験の結果、図7に示すように歪みゲージ出力から求めたプ

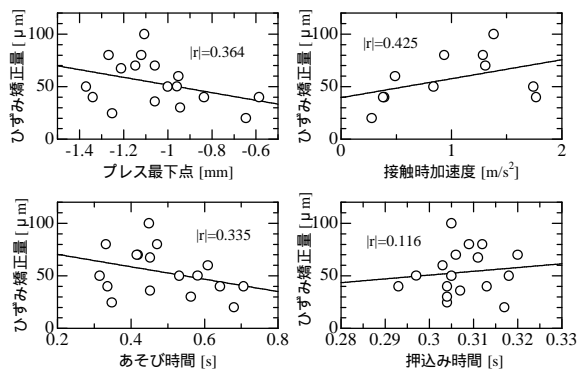


図9 歪み矯正量との相関

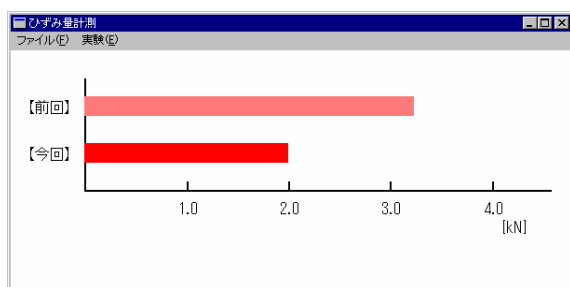


図10 プレス力の表示画面

プレス力とプレス位置最下点との間に高い相関が認められたので、プレス位置最下点からプレス力を求めることにした。

図8に歪み取り作業の計測例を示す。ワークは125×25×5[mm]スチール(S45C)の平板を用いた。作業者がハンドプレスのハンドルを回すとプレス部が下降し、やがてワークに接触する。プレスのネジ部分のあそびがあるためしばらくの間プレス部はほとんど変位せず、その後ワークを強く押し込み歪みを矯正している。計測データから プレス位置最下点、接触時加速度、あそび時間、押し込み時間を求め、歪み矯正作業による歪み矯正量との相関をそれぞれ求めた。図9にその結果を示す。これらの因子と歪み矯正量との間には何らかの相関があるのではないかと予想したが、今回の計測データからは特に相関は認められなかった。作業を行ってもらった熟練技能者の方に話を聞いてみると、同じ材質、形状のワークでもそれまでの履歴により一つ一つ歪みの状態は異なっており、同じ力を加えれば同じ量だけ矯正できるというものではないらしい。初めはやや弱めに力を加え、自分の加えた力と矯正された量からそのワークの矯正のしやすさを判断して、残りの歪みを矯正していくとのことであった。しかしながら、歪み矯正作業の技能を伝達

する際、プレス力を非熟練技能者に提示することは有効であると考え、プレス位置最下点から算出したプレス力をグラフとして画面に表示した。図10に表示画面を示す。前回作業時のプレス力も表示し比較できるようにした。ただし、この表示画面を用いることにより技能伝承が効率良く行えるかどうかの評価はまだ行っていない。プレス作業は熟練技能者がイメージした力で正確にプレスできればよく、機械化に適していると思われる。今後、プレス部分は数値入力によって正確な力でプレスできる装置を試作し、歪み矯正作業の本質的な部分のスキル解明を目指す予定である。

## 5. まとめ

金属製品の研削加工前の歪み矯正作業を対象として、歪み量測定装置を試作した。歪みの状態を定性的に作業者に提示することはできたが、まだ作業に必要な精度で作業者に提示することはできていない。精度の向上とねじれを含んだ歪みの測定ができるように改良することが今後の課題である。また、歪み矯正作業を計測しプレス力と歪み矯正量との相関を調べた。今回の計測データからは両者間にはっきりした相関を得ることができなかった。しかしながら、熟練作業者への聞き取り調査を通して、わずかではあるが作業手順、判断のポイントを理解することができた。今後、プレス力等の作業情報を作業者に提示したり、プレス装置を導入したりすることにより技能伝承を支援すると共に作業スキルの解明を進める予定である。

## 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いた(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.