

ガラス火加工作業における技能レベルの異なる作業者間での手作業の解析

Analysis of burner works in glass processing among technicians with different skill levels

梅村浩之^{1*} 石川 純¹ 遠藤 博史¹
黒須 隆行^{2,1} 阿部 健太郎¹ 松田 次郎¹
Hiroyuki Umemura¹ Jun Ishikawa¹ Hiroshi Endo¹
Takayuki Kurosu^{2,1} Kentaro Abe¹ Jiro Matsuda¹

¹ 産業技術総合研究所デジタルものづくりセンター

¹ Digital Manufacturing Research Center

National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST)

² 産業技術総合研究所ネットワークフォトンクス研究センター

² Network Photonics Research Center, AIST

Abstract: In the present research, we investigated skills on burner works in glass processing. Three technicians with different skill levels were participated in three types of skill measurement. Firstly, they performed a practice of a rotating movement of a glass bar, which is regarded as the essential skill in the glass processing, and their movements and rotations of the bar were analysed. Then, the technicians actually manufactured products with each of two manufacturing processes; stretching and widening processes. In these processes, we monitored temperature changes and measured accuracy of their products as well as their movements. Results obtained from these analyses indicate that the skill level in the rotating movement affected the production speed and the accuracy of their products.

1 はじめに

少子高齢化によりものづくりの現場では後継者の不足が問題となってきている。そのため、技能の継承のためには現有人材の技能と技術力を効果的に向上させる必要がある。しかし、企業をあげての技能継承に取り組んでいる大企業に比べ、規模が小さい企業では技能の継承に割くリソースを確保することは容易ではない。また、暗黙知という言葉が示すようにこれら技能は多くの場合、遂行できる技能者自身にも言語化することは容易ではなく、どこをどのように鍛えればより高度な技能が体得できるのかが分からないのが現状であり、これも効果的な技術力の継承の上での壁となっている。本研究ではガラス火加工作業をとりあげ、熟練者と初心者の作業を比較することにより、どのような作業の可視化・数値化が有効であるか、そして、その

結果がどのように熟練者と初心者の違いの理解に貢献することができるかを検討することを目的としている。さて、上では「技能」とひとことで述べたが、この技能は階層化した複数の要素に分けて考えることができる。図1は熟練技能者が有する様々な能力についてまとめたものである([1]をもとに作成)。これらの能力は同一の技能者が有する場合もあれば、単一の能力に長けている場合もある。しかし、技能の形成においては図1に示すようにそれぞれの要素はリンクしていることが予想される。

本研究で特に取り上げるガラス火加工とは、ガスバーナーを用いてガラスを温め、変形させる作業である。この作業は機械化が難しく熟練技能者の手業に頼る部分が多い。このガラスを温める際に重要となる行為がガラス棒の「まわし」とよばれる動作である。これはその名の通り均一にガラス棒を温める際にガラス棒を指で回転させる動作であり、熟練技能者達はこの動作をガラス火加工における基本動作と認めている。しかし、ガラス棒は細く透明であることからその回転は見

*連絡先：産業技術総合研究所デジタルものづくりセンター
〒305-8564 つくば市並木1-2-1 産業技術総合研究所 つくば東
E-mail:h.umemura@aist.go.jp

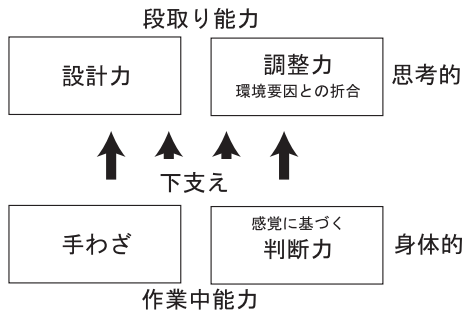


図 1: 技能の階層構造

づらく、また、指の動きも単純なようで複雑である。ここではこのガラス棒のまわしについてその運指、ガラス棒の回転に加えて、作業中の温度や所要時間を比較し、熟練者と初心者の差異について検討を行った。

2 実験

2.1 データ収集・使用機材

実験では技能者が実際に作業している風景をビデオカメラ、サーモグラフィーを用いて撮影した。この撮影時に指の動きが分かりやすいように、被験者の指の各関節及び爪には油性ペンによりマーカーが描かれた。得られた動画像内のマーカーを運動分析ソフト（株式会社ディテクト社製、Dipp Motion XD）を用いて追跡し指の軌跡を得た。これらの追跡は自動追跡機能等を用いて行われたが、最終的には全てのフレームに対してマーカーの追跡が正確に行われていることを筆者自身が確認したのちに分析を行っている。また、できあがった製品の精度測定に円筒形状測定機 RONDCOM65A（東京精密製）を用いた。

2.2 被験者

被験者として共同研究先（ガラス加工会社）により選定された熟練技能者（経験 30 年）、中堅技能者（経験 17 年）、初心技能者（経験 1 年）、の計 3 名が参加した。また、まわし試技条件（下記参照）においてのみ一般人 5 名が参加した。

2.3 対象作業

今回分析の対象とした作業はまわし動作の試技、円筒延伸加工作業、内側円錐加工作業の 3 作業である。特に円筒延伸加工作業及び内側円錐加工作業については技能者との懇談により（1）その作業がガラス加工に

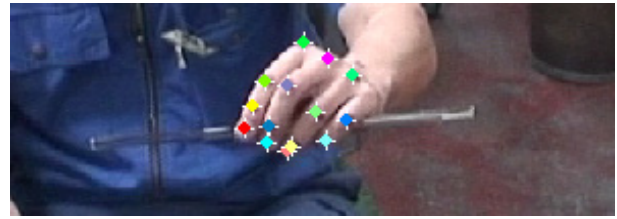


図 2: まわし作業時の 1 場面及び解析に使用されたマーカー部位

において基本的である（2）比較的短時間で製品が仕上がるため分析がしやすい（3）今回分析の対象となるまわし作業の巧拙が製品の出来に影響を与えると予想される、という理由から選定されている。以下にそれぞれの作業の説明及び解析対象を述べる。

2.3.1 まわし動作（試技）

まわし動作の試技（まわし試技）では半径 5mm のガラス棒をバーナーにくべずにまわし動作のみを十数秒間行ってもらった。同動作の解析においては 10 秒間のガラス棒の回転、各指第 2 関節及び親指腹面の運動軌跡を対象とした。ガラス棒には回転を追跡するために幅 2 ミリほどの色テープ 2 種を向かい合わせに貼り付けた。また、本条件においては一般人が 5 名参加している。彼らは、実験に先立ち熟練技能者に 5 分程度のレクチャーおよび 3 分程度の個人指導を受けた後に録画に参加した。ただし、一般人においては継続して 10 秒間のまわし作業が遂行できた被験者がいなかったため、比較的継続して廻し動作ができていた 2 名の結果から 7 秒間の作業を抽出して分析を行った。

ここで、一般人が熟練作業から受けたまわし動作に関して簡単に記述しておく、左手で軽くガラス棒を握り人差し指を押し出す方向へ回転させ、その指を戻すときに先の回転の半分程の角度だけ逆方向へ回転させる、というものであった。

2.3.2 円筒延伸加工作業

この作業と次に紹介する内側円錐加工作業は実際の加工作業であり、通常業務と同じ環境下で作業およびその撮影を行った。円筒延伸加工作業は円柱状のガラス棒を回転させながらバーナーで温め、柔らかくなったら伸ばしながら円錐状に加工する作業である。このとき、片側の円錐については円柱と軸を共有するように精度を出している。これを確認するために精度の測定では円錐部分における同軸度を指標とした。

今回の実験では一本の長い棒（長さ 1m 程度、直径 15mm）から 5 本の製品を作成してもらったが、今回は

そのうちの4本目を加工しているときのガラス棒の回転，指の動き，材料の温度及び製品の中心が出ているかを計測・分析した．ここで4本目を分析した理由はこの作業で用いる材料はまわし試技のそれに比べて太く長いので，材料が長い間は支えとなる台を用いているが，4本目では全ての作業者がこの台を外したため，まわし動作の巧拙の影響が観察しやすいとの推定に基づくものである．また，左手のみで行われるまわし試技と異なり，作業時には右手をガラス筒を支えるために添えて作業を行っていた．

2.3.3 内側円錐加工作業

内側円錐加工作業では直径15mmのガラス筒（上記延伸加工作業で作成されたものを切断した形状）の太い側を温めつつ，その内側に鉄棒をあてて円錐状（漏斗状）に加工する作業である．このとき，円錐の頂点の角度については45度になるように精度を出してもらった．実験では3本の製品を作成してもらったが，そのうちの一本について指の動き，温度の分析を行った．

3 結果と考察

3.1 まわし動作

図3に各作業者におけるガラス管垂直方向への各指第2関節の運動軌跡を，図4に技能者3名のガラス棒に添付したシールの軌跡から推定したガラス棒の回転角度を示した．技能者3名における指の運動が一般人に比べて安定していることが見て取れる．この運動について作業者間での比較を行うと，わずかに初心技能者でピーク間にばらつきが見られるが大きな差は見受けられない．しかし，ガラス棒の回転軌跡（図4）を比較すると，熟練技能者が約270度の正の方向への回転から90度の負の方向への回転を規則正しく繰り返すのに対して，他の2名ではリズムが崩れていることが分かる．

3.2 円筒延伸加工作業

ここからは通常の作業環境下でデータ収集が行われたため，製品1品を作成するための所要時間・作業中のガラスの最高温度・できあがった製品における精度についても言及する．まず，表1に3名の技能者における所要時間，精度（ともに5作製品の平均）及び最高温度を示した．図5は完成前7秒間の管の回転角度を示した．

まず，経験に応じて精度が実際に良くなっていることが表1から確認できる．実際に筆者らグループのよ

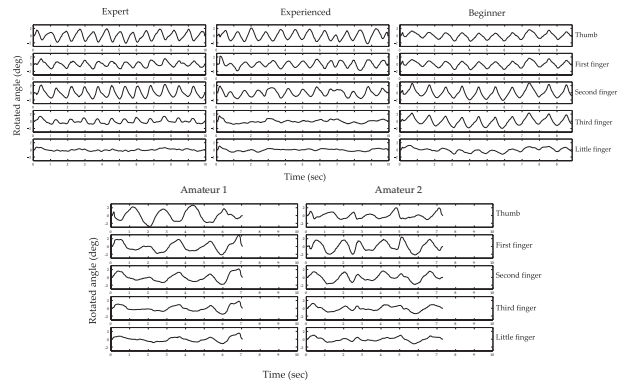


図3: まわし動作における各指第2関節の上下運動．上段左から熟練作業者・中堅作業者・初心作業者，下段は一般人2名

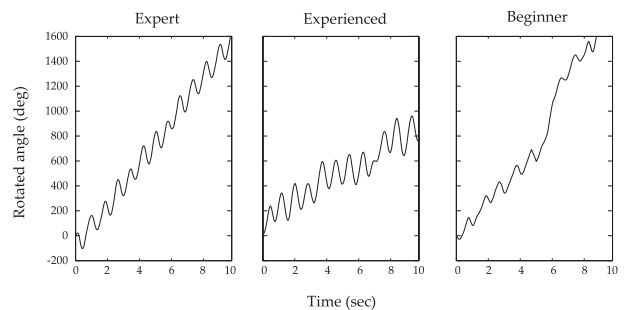


図4: まわし動作におけるガラス管の回転角度．左から熟練作業者・中堅作業者・初心作業者

うな慣れない人間が目視しても全くと言っていいほど差異は分からないのであるが，測定の結果は経験に応じていた．

一方，所要時間，回転の安定性については技能の向上と連関していないように見られる．この点について以下に考察を加えておく．この作業では伸ばす直前まで右手を添えていたため，ガラスが固い段階では上のまわし試技よりまわし作業自体は行いやすいくらいであった．しかし，温め続けることでガラスが柔らかくなると左手のみでガラスを保持し回転させる必要が出てくる．このガラス管が不安定となる状態を避けるため，初心作業者はガラスが十分に柔らかくなる前に伸ばしてしまう傾向にあったと推測される．実際表1に見られるように初心作業者におけるガラスの最高到達温度は他の2名の技能者に比べて低かった．その結果，作業時間が短く，運動の規則性も高いが精度が低いという現象が見られたのだと考えられる．また中堅技術者については小刻みにガラスを回して念入りに温めを続けているが，このため所要時間が増加したのだと考えられる．

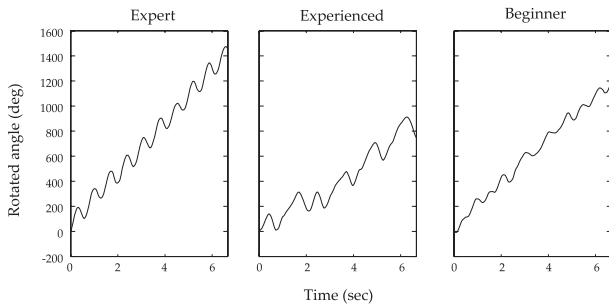


図 5: 円筒延伸加工作業中のガラス管の回転角度

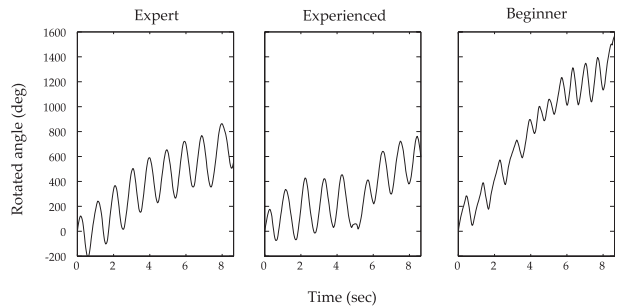


図 6: 内側円錐加工作業中におけるガラス管の回転角度

	熟練	中堅	初心
延伸加工			
所要時間 (秒)	37.8	45.8	30.5
精度 (mm)	0.57	0.77	1.36
最高温度 (度)	1100	1050	950
円錐加工			
所要時間 (秒)	36.7	68.7	57.3
精度 (deg)	37.3	32.7	29.8
最高温度 (度)	1000	1020	960

表 1: 円筒延伸加工作業及び内側円錐加工作業における所要時間・精度・及び最高温度

3.3 内側円錐加工作業

まず、表 1 下部に 3 名の技能者における所要時間、精度 (ともに 5 作製品の平均) 及び最高温度を示した。図 6 に完成前 9 秒間の管の回転角度を示した。

この作業においては、精度については円筒延伸加工作業同様に経験に応じた精度の上昇が見られた (この作業では開いた円錐の角度を 45 度にすることが求められており、角度で見ると差が大きいガラス端の円の直径で比較すると円筒延伸加工作業同様に 1mm 以下の誤差である。)

この作業についての作業者間の注目すべき相違点もほぼ円筒延伸加工作業と同じであった。つまり、初心作業での所要時間が短縮の一方で到達温度の低下、中堅作業での所要時間の増加などである。また、回転角度においても、熟練作業者が安定した回転を行っているのに対して、初心作業では回転速度にムラがあることが分かる。加えて、まわし試技同様に初心作業における回転の往復での速度の違いが見られた。この作業では内部に押しつけた棒を利用してガラス管を開くためにガラス管の安定性が重要であるが、初心作業ではこの回転速度の往復での違いがガラス管の安定を乱していることがまわし試技から予想され、この不安定さが結果として精度が出せないことにつながっ

ている可能性がある。

4 むすび

ここではまわし作業及びまわし作業の正確さの寄与が特に大きいと思われる作業を中心に解析を加えた。熟練作業では試技のみではなく延伸加工中にも安定した回転を行っていたが、他の作業では延伸加工中にはまわしが不安定になる傾向が見られた。これが中堅作業における作業時間の増大や初心作業における精度の低下と関係していると推定される。精度という点では中堅作業は熟練作業と大きく変わらない作業も見られたが、現場からの観点では精度もさることながら速度も非常に要求度の高いファクターである。その意味ではまわしという最も基本的な作業において三者間で差が見られ、その差が現場での作業力と関連したという結果は非常に興味深い。もちろん、作業においては他のファクターも寄与しており、まわし作業の巧拙が作業力の全てであるというわけではないが、その一方で基礎が大切であるというよく耳にする言葉通りの結果であったとも言える。

また、今回の作業分析においては単に動画を解析するのみではなく、できあがった加工物の比較、温度測定からの知見などが解釈に重要であった。ものづくりの現場においてはスポーツなどと異なり目的や手法についての予備知識が乏しいことが多く、その意味では作業、測定方法の選定も含め作業自身との対話や作業からの提案が重要となる反面、あくまで外部からの視点を失わないように心がけることが重要であると考えられる。

参考文献

- [1] 岡根利光, 服部光郎, 松木則夫, 加工技術・技能継承支援ツール「加工テンプレート」の開発, 人工知能学会第 2 種研究会資料, (2007)