

普通旋盤のチャッキングにおける匠の締付け姿勢について

吉川貴士* 伊藤龍一** 山崎哲哉***
辻中健史**** 後藤彰彦***** 濱田泰以*****

About Stance of Tightening at Chucking by the Takumi on Lathe Working

Takashi YOSHIKAWA* Ryuichi ITO** Tetsuya YAMASAKI***
Takeshi TSUJINAKA**** Akihiko GOTO***** Hiroyuki HAMADA*****

We weigh the movement between the expert of career of 70 years and a non-expert of career of two years to usually visualize techniques of the experts in the processing with the lathe. We clarified differences in consciousness between experts and non-experts about the finished products. We examined postures in which they chucked materials. As a result, it became clear in all steps that Takumi changed posture into unconsciousness depending on a process from the rough-planed processing to final processing. While, as for the non-experts, the change of angle of elbows were approximately constant in both arms. In addition, how to grasp of a chuck steering and how to use elbow are different due to change of the posture. We report the difference in detail.

1. はじめに

旋盤加工は機械加工方法のひとつであり、技能検定種目の一つである。しかし、近年はプログラムによるNC（数値制御）旋盤も広く使われ、技能オリンピックにおいても、国内では汎用普通旋盤を用いた競技であるが、世界大会はCNC旋盤を用いた大会のみである。一方、産業界における多品種少量生産の現場においては、図面をみて形状や材質などから、加工の順序だけでなく、回転数や送り、切込み量、被削材のチャッキング圧力など加工条件を的確に判断し、入力しなければならない。その際、初めての加工における設定条件の良否は、加工終了後におこなう各種検査により、設定条件等の妥当性を検証するしかない。そのため、最適条件を見つけるには複数回の試加工による時間と材料のロスを伴う。しかしながら、普通旋盤による加工では、加工中の異常音や切粉の状態などにより、逐次、切込み量や回転数を変化させながら最適条件を見つけながら製品を仕上げていくことができる。また、日本の産業界においては、これ

まで「高品質を保ちながらいかに安く作るか」に重点が置かれていたが、生産現場の人件費等を考えると、これからは「何のための、何を作るか」が大切となっている。その代表的な企業が米・アップル社であり、企業は製品開発のみで、生産は中国、販売は全世界、という企業である。この産業のイノベーションにおいては、大量生産前の試作等が重要であり、普通旋盤の熟練者の技能の伝承は非常に重要な役割を担っている。

そこで、普通旋盤加工の熟練者の暗黙知（コツ・勘・感覚）を可視化することで、技能の伝承（非熟練者の早期熟練化）やNC旋盤等の自動化への最適化のヒントを見出すことができると考える。しかしながら、普通旋盤における「匠の技」として重要なコツや意識下の思考をマニュアルなどに表わすこと（可視化）はケースバイケースであり、非常に困難である。

そのような中、現在、我々は「3次元動作解析システムを用いて匠の加工技術を数値化することで技術の伝承（暗黙地の可視化）すること」に取り組んでいる。

これまで著者らは、旋盤加工歴70年を超える現役の匠と旋盤

平成24年9月28日受付 (Received Sep. 26, 2012)

新居浜工業高等専門学校 機械工学科 **生産工学専攻 ***機械工学科 (現 新井産業(株), 西宇和郡)

(Dep. of Mechanical Engineering, Niihama National College of Technology, Niihama, 792-8580, Japan)

**** 西条市 産業経済部 (Dept. of Industry and Economy, Saijo City, Saijo, 793-8601, Japan)

***** 大阪産業大学デザイン工学部, 大東市 (Osaka industrials of Technology, Daito, 572-8530, Japan)

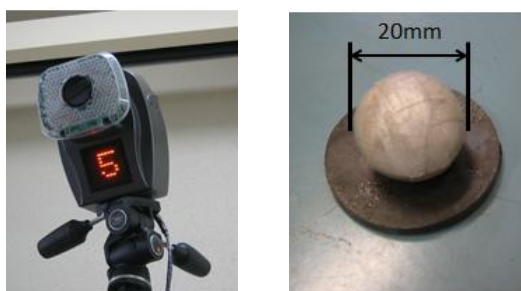
***** 京都工芸繊維大学大学院, 京都市 (Kyoto Institute of Technology, Kyoto, 606-8585, Japan)

加工を学んでいる高校生（以下非熟練者と称す）が同じ図面で部品の加工・製作し、その製作工程における動作の差異や製品の差異について検討した。その結果、特に、非熟練者の最終製品は訓練の成果もあり、早く、きれい（光沢のある）に仕上がったが、製品の表面にはチャックによる圧痕がみられた。その他、チャッキング時に意識していることがらや計測時の立ち位置および製品の精度についての違いが明らかになった^[14]。それら匠と非熟練者との加工工程における差異や成果物に関して疑問に感じたことについて、被験者以外の現場の職人（プロ）および教育機関職員、機械工学科学生（2年生）にヒアリングおよびアンケートを行った結果で、生産現場と教育現場との意識の違いが明らかとなり、新入社員教育における留意点などを示唆した^[2]。また、筆者らは、加工工程において被削材をチャックに締め付けて固定する（チャッキング）時の匠と非熟練者との立ち位置（姿勢）の違いを明らかにしてきた^[2]。

そこで今回、熟練者と非熟練者の被削材を旋盤にチャッキングする際の姿勢、特に、上半身の動きに着目し、その動作を比較した結果、熟練者の無意識下における行動を可視化することができたので報告する。

2. 実験方法

旋盤加工歴71年の匠（現役職人、84歳）および非熟練者（東予高校1年、全国若年者ものづくり競技大会参加）の2名が、同じ普通旋盤（MAZAK-MATE S マザック社）を用いて同一の部品加工を行い、その加工・製作における全工程を2台のカメラを用いてビデオ記録し、同時に3次元動作解析システム（MAC 3D SYSTEM）によって、6台の赤外線カメラを用いて身体に取り付けた赤外線マーカークの位置座標などのデータ収集も行った。図1（a）に示す赤外線カメラから赤外線を発光照射し、人体に取り付けた同図（b）に示す赤外線マーカークからの反射波を赤外線カメラ自身が受光する。



(a) 赤外線カメラ (b) 赤外線マーカーク

図1 赤外線カメラと赤外線マーカーク

図2に赤外線カメラ6台、ビデオカメラ2台等を設置した実験風景を示す。

今回の実験における赤外線マーカークの取り付け位置を、図3に簡易的に示す。頭頂部・前頭部・側頭部（左右）・肩：肩甲骨肩峰（左右）・肘：上腕骨外側上顆（左右）・内側手首：尺骨茎

状突起（左右）・手の甲（左右）・外側手首：橈骨茎状突起（左右）・ウエスト：上前腸骨棘（左右）などの体の各部位、16箇所に取り付けた。



図2 工場内でのカメラの設置状況

実際に被験者の体の各部位16箇所に赤外線マーカークを取り付けた状態を図4に示す。

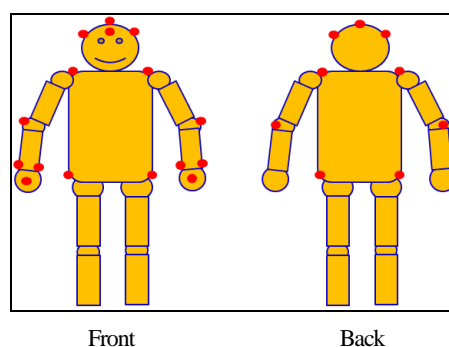


図3 赤外線マーカークの取り付け位置



図4 被験者にマーカークを取り付けた状態（front）

今回製作する加工部品は図5に示す平成21年度技能試験旋盤加工3級（技能検定）の課題における部品Aに準じた。被削材は同一素材（S45C黒皮）であるが、バイト（切削工具）は使い慣れたバイトを被験者それぞれに持参して行った。なお、検定では加工時間も評価対象になっているが、今回、加工時間は意識せずに行うように伝えた。

また、製品の仕上がり精度については、マイクロメーターによる外形寸法の計測および粗さ計（surfcom 130A 東京精密社製）

を用いて表面仕上げ状態を計測した。

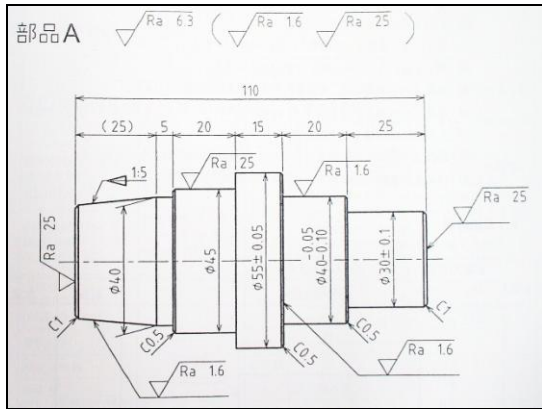


図5 加工部品の寸法および仕上げ精度

3. 実験結果

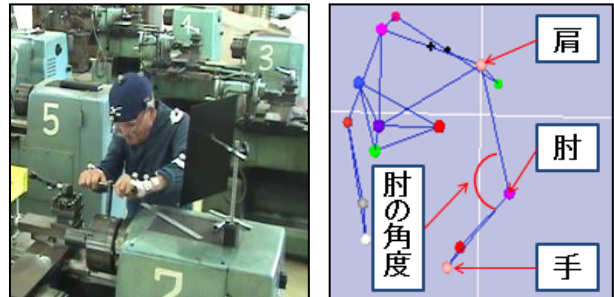
匠および非熟練者が製品を仕上げるのに要した時間は、それぞれ1時間40分および45分であった。すなわち、非熟練者は非常に早く完成することができた。これは、非熟練者はこの図面での試作を50時間以上行っていることによる差である。一方、匠にはこの実験当日3時間前に、初めて図面を見せて加工手順を考えていただいた。この手法は以下の2つの観点から取り入れた。(1)非熟練者の場合、慣れるまで、加工手順や動作が毎回異なることで、データの信憑性に影響するので、作り込んでから、実験データを採取すること。(2)匠は同じ部品を作る場合、ほとんど工程等をかえることはない。そのため、初めて図面を見て、加工手順やバイトの選択など考えながら行い、それらも記録して、後に「この場面では何を思案・懸念されていたのか？」など思考を可視化するために、そのような時間も撮影することを目的とした。なお、今回、結果として、匠のチャッキング3回目のデータを採ることができなかった。

本稿では、熟練者と非熟練者のチャッキング動作の違いを比較・検討するために、肘の角度やチャッキング姿勢に着目し、その結果について重点的に述べる。

図6(a)にチャックハンドルを握り、被削材をチャッキングしている匠の様子を示し、3次元動作解析システムを用いて、そのマーカーのみの画像を鉛直方向からみた図に変換し、同図(b)に示す。今回、被削材をチャックに取り付ける際にキープポイントになると考えられる肘の動きについて調べた。ここで、同図(b)に示すマーカーにおける肘と肩および、肘と手を結ぶ直線のなす角度を肘の角度と定義する。

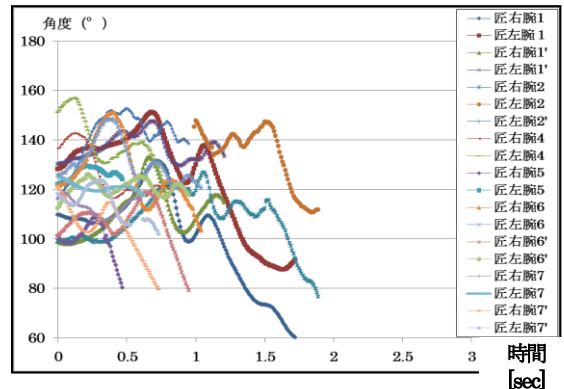
被削材をチャックに固定するためにチャックハンドルで締め付ける際の匠(a)および非熟練者(b)の、左右の肘の角度について図7に示す。両手でハンドルを握り、力を入れようとする瞬間から、チャックハンドルをチャックの穴から抜くまでの肘の角度の変化を調べた。

図7(a)から匠は右腕および左腕の締め付け始めの肘の角度が100°~150°の間で入り乱れ、締め付けに要する時間も1秒未満から2秒近くと、不規則な結果とみえる。一方、非熟練者は同図(b)に示すように、ハンドルを握った当初は右肘が100°~110°、左肘が120°~130°と一定で、かつ、右肘は0.05~0.1秒の間は角度が大きくなるが、その後、一度角度を小さくし、再び角度を大きくすることで締め付けている。また、左肘は0.15秒間大きくなり、0.15~0.2秒の間、角度が小さくなっている。その後、再び角度が徐々に大きくなるのがわかる。また、両肘とも0.8秒後、約1秒間はほぼ一定の角度を保ったままチャッキングしていることがわかる。さらに、チャッキングの時間も2.0秒程度で一定であることが明らかとなった。

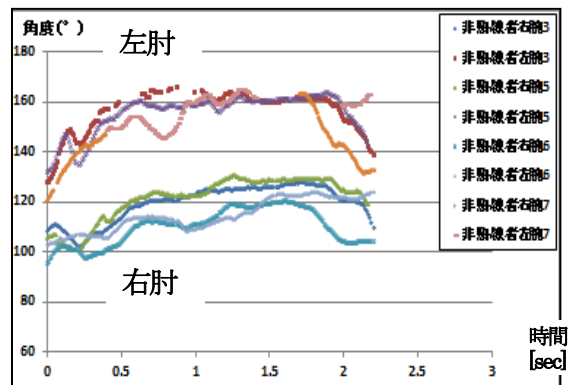


(a) チャッキング時の姿勢 (b) 鉛直方向から見たマーカ

図6 肘の角度の定義



(a) 匠



(b) 非熟練者

図7 チャッキング中の肘の角度変化

図8 (a) および (b) に非熟練者の3回目と7回目のチャッキング姿勢をそれぞれ示す。まず、同図 (a) および (b) はほとんど同じ姿勢であることがわかる。すなわち、非熟練者の姿勢はチャックの正面に立ち、肘を伸ばしてチャッキングをしていて、回数を重ねても姿勢（チャックに対する立ち位置及びチャックハンドルの握り方）にほとんど変化はなく一定である。このことから、非熟練者はチャッキングの所要時間、肘の角度の変化、姿勢がほぼ一定であるため、いつも同じ力を被削材に加えて締め付けているとみなせる。



(a) 3回目 (b) 7回目
図8 非熟練者のチャッキング姿勢

4. 考察

4-1 チャッキング姿勢について

非熟練者はチャッキング姿勢においてほぼ同じ姿勢であったが、匠のチャッキング姿勢は図9 (a)、(b) および (c) に示すように異なる。匠のチャッキング姿勢は立ち位置やチャックハンドルの持ち方の違いで大きく3つのグループに分けることができ、それぞれをグループ1~3とする。

グループ1は図9 (a) に示すように、チャックのやや右側からハンドルの左右を均等に持っているものとする。このグループ1は脇を締めて右肘を引いて締め付け、同時に左手を押し付けることによって大きな力を加えることができると考えられる。また、グループ1はチャッキング番号が1、1'、2と作業工程の始めのチャッキングであることがわかった。すなわち、グループ1のチャッキング姿勢は黒皮削りの段階である粗加工時のチャッキング姿勢であることがわかる。



図9 (a) グループ1のチャッキング姿勢

次に、グループ2のチャッキング姿勢を図9 (b) に示す。ここでは、チャックに対して左側に立っていて、ハンドルの左右を持っている。そして、チャッキング番号が2'、4、6、6'と作業工程の中間辺りのチャッキングである。このように、グループ2はチャックの左側に立つことで左手が伸びた状態になるため、右手の引きだけで締め付ける体勢となり、グループ1と同じ力を加えたとしても被削材に加えられる力は小さくなると思われる。このことから、グループ2のチャッキング姿勢が通常の加工時のチャッキング姿勢であると考えられる。



図9 (b) グループ2のチャッキング姿勢

図9 (c) に示すように、チャックに対して左側に立ち、右手はチャックハンドルを持ち、左手はハンドルの軸部分を持っているものをグループ3と分ける。グループ3はグループ2と同様にチャックの左側に立っていて、さらに左手は軸を持ち、被削材にトルク(締め付け力)をほとんど加えることができない持ち方である。



図9(c) グループ3のチャッキング姿勢

この姿勢は、チャッキング番号が5、7、7'と作業工程の終盤のチャッキングであることがわかる。そのため、グループ3のチャッキング姿勢は仕上げ加工時のチャッキング姿勢であると考えられる。

以上のように匠はチャッキングの際に3タイプの姿勢でチャッキングを行っていることがわかる。

これらを、立ち位置、ハンドルの持ち方、および加工工程をまとめたものを表1に示す。

匠の掴み換え回数は全8回であり、番号は何回目のチャッキングであるかを示す。また、匠のチャッキングは1回で2ヶ所締め付けるため、1ヶ所目は番号だけ、2ヶ所目は番号に「'」を付けて示している。

表1 グループ分けと工程の関係

立ち位置	チャックハンドルの持ち方	グループ	工程
チャックに対し正面	ハンドルの左右	1	1
			1'
			2
チャックに対し左側	左手がハンドルの軸部分	2	2'
			4
	ハンドルの左右	3	5
			6
	左手がハンドルの軸部分	2	6'
			7
		3	7'

グループ1のチャッキング姿勢は加工工程の初期のチャッキング姿勢とわかる。また、グループ2のチャッキング姿勢は加工工程の中盤のチャッキング姿勢となっている。さらに、グループ3のチャッキング姿勢は加工工程の終盤辺りのチャッキング姿勢となっていることがわかる。以上のように、匠は加工工程（粗加工から仕上げ加工）によって適したチャッキング姿勢に変化させていることが明らかとなった。

すなわち、匠は製品を加工する上で、チャックに対する立ち位置およびチャックハンドルの持ち方を変化させているということが明らかとなった。しかしながら、チャッキング姿勢（チャック部に対する立ち位置）およびチャックハンドルの持ち方を意識的に変化させているのか、ということ匠にヒアリングを行った結果、「無意識で行なっている」ということがわかった。

4-2 肘の角度変化について

匠のチャッキング中における肘の角度の変化（図7(a)）をグループ1~3のものを抜き出し、それぞれ図10~12に示す。

図10のグループ1において、左肘は始め0.7[sec]は角度が大きくなり、最大値（約150°）を示し、その後減少に転じる。そして約1[sec]後、肘角度は最小値（約120°）に戻る。一方、右肘は約0.3[sec]までは角度一定のまま締め付け、その後、角度は大きくなり、左肘同様約0.7[sec]でピークを示す。

また、同図において右肘の締め付け始めの角度は100°~110°であり、一方、左肘の角度は130°程度で一定であることがわかる。その後、角度変化は左右の違いはあるが、それぞれの変化の傾向はほぼ一定であり、両肘とも20°~30°程度の角度変化である。また、チャッキング姿勢（図9(a)）はチャックの正面に立ち、チャックハンドルの左右を持つ力の入りやすい姿勢となっている。さらに、チャッキングの所要時間が2秒程度で一定であるといえる。このことは、グループ1では加工初期段階で

のチャッキングであり、粗加工として大きな切り込み量と高い回転数での加工のため、被削材が滑らない（空回りしない）よう強く締め付ける必要があるとみなせる。そのため、肘の角度変化を大きくし、さらにチャッキングの所要時間を長くすることによって強い力で締め付けていると考えられる。これは図7に示した非熟練者の肘の使い方に非常に似ていることが明らかとなった。

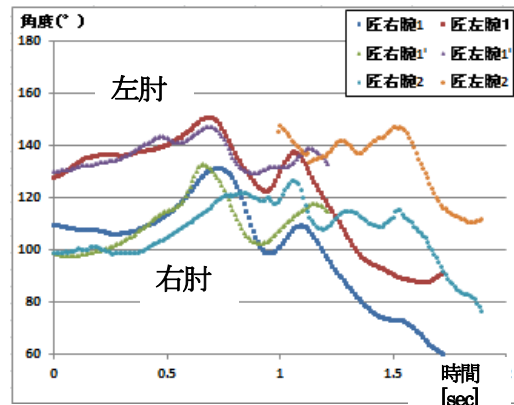


図10 グループ1における肘の角度変化

グループ2においては、図11から右肘および左肘とも締め付け始めの角度が100°~150°と不規則であることがわかる。また、チャッキングの所要時間が1[sec]とほとんど一定であり、グループ1より短いことがわかる。また、図9(b)からチャッキング姿勢はグループ1と同じようにチャックハンドルの左右を持っているが、チャックに対して左側に立っているために、グループ1と比べ力が入りにくい姿勢であることを述べた。これらのことから、グループ2では、粗削りを終え、その後の切り込み量が粗削り加工(グループ1)の時より小さく、グループ1より強く締め付ける必要がないことを意味すると考えられる。

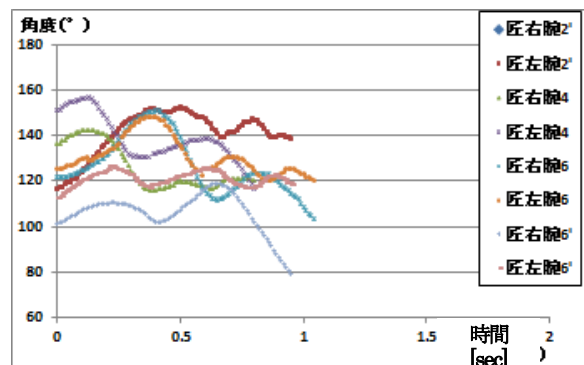


図11 グループ2における肘の角度変化

図12に示すグループ3においては、右肘の締め付け始めの角度が100°~120°程度であり、一方、左肘の締め付け始めの角度は120°とほぼ一定であることがわかる。その後の肘の角度変化で急激な変化もなく、手首による締め付けは行えても腕力

(特に左腕)で締め付けていないと判断できる。また、チャッキングの所要時間は0.5[秒]でほぼ一定である。これらから、匠は無意識にグループ3では加工の最終段階(仕上げ加工)であり、切り込み量が小さくなるため、締め付ける力も他の加工に比べ小さくても良いと判断していることを裏付けている。

実際、仕上げ加工を行った部位をチャッキングして反対側の形状を加工しなければならないとき、製品に傷を付けないように小さな力でのチャッキングを行わなければ、非熟練者が犯したミス(最終製品にチャックの圧跡が残る)を生じてしまう。そのため、これまでの3つのグループの中で角度変化が最も小さく、かつ、チャッキングの所要時間も最も短くなっていたことが明らかとなった。

以上より匠は加工工程(粗加工、通常加工、仕上げ加工)において、力を加える時間(所要時間)を変化させることで最適な締め付けをしているといえる。また、無意識にチャッキング姿勢(チャック部に対する立ち位置)およびチャックハンドルの持ち方を変化させることによって、仮に同じ力を発揮していたとしても被削材に加わる力の加減をしていたことが明らかとなった。

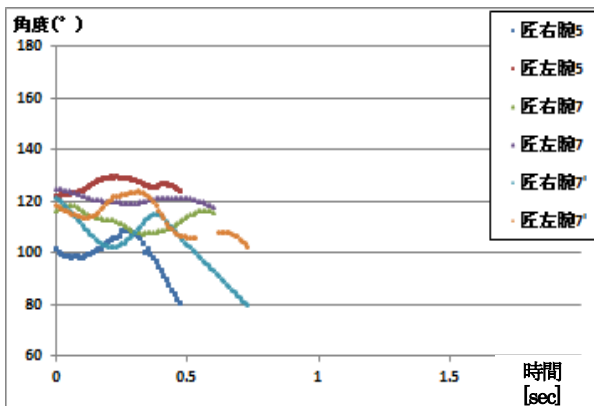


図12 グループ3における肘の角度変化

一方、非熟練者のチャッキング(図7(b))は所要時間、肘の角度変化、姿勢がいつも一定であるため、いつも同じ力で締め付けていると考えられる。そのため、大きな力が必要な粗加工時においては滑らないが、特に黒皮の初期のチャック締め付け時と同じ大きな力を仕上げ加工時にも加えていることが製品に圧痕がついた原因だと考えられる。しかしながら、非熟練者のチャッキング姿勢は匠の粗削りの姿勢と同様であり、基礎・基本の締め付け姿勢であると言える。すなわち、これまでチャッキングの仕方を教えている教育者が加工工程に応じて、3段階程度の力の加減ができるチャッキング方法を意識して伝えることが必要であることがわかった。

今後、匠のチャッキング時の肘や腰・肩などの動きを詳細に解析し、被削材への負荷の加わり加減などについて調べていく予定である。

5. 結言

今回、普通旋盤加工におけるチャッキング動作について、匠と非熟練者の動作を比較し、匠のコツを見出すことを目的として調査した結果、以下の結言が得られた。

- (1) 匠は加工工程に応じて、無意識にチャッキングの姿勢(チャック部に対する立ち位置)およびチャックハンドルの持ち方を変化させている。
- (2) 匠は加工工程が粗加工から仕上げ加工に進むにつれて締め付けに要する(チャッキング)時間が2[sec]弱から0.5[sec]と小さくなる。
- (3) 匠は、粗加工・通常加工・仕上げ加工の工程別に、チャッキングの姿勢(チャック部に対する立ち位置)およびチャックハンドルの持ち方を変化させることによって、仮に一定の力を発揮してチャッキングしていたとしても被削材に加わる力の加減をしている。さらに、力を加える時間においても変化させることで被削材に対して最適なチャッキングをしている。
- (4) 非熟練者のチャッキング動作において、所要時間および肘の角度変化、チャッキング姿勢(チャック部に対する立ち位置)がいつも一定であるため、いつも同じ力で締め付けている。これは、匠の粗削りの際のチャッキング姿勢とほぼ同じであった。

参考文献

- [1] 吉川貴士、辻中健史、佐伯宣孝、真鍋和弘、越智三義、越野哲史、芳田哲哉、久米雅、濱田泰以、普通旋盤加工における熟練者(プロ)と学生の製品における相違、日本人間工学会関西支部大会講演論文集、pp.101-102 (2010).
- [2] 越野哲史、吉川貴士、伊藤龍一、松田陽一、小田健二、辻中健史、越智三義、後藤彰彦、濱田泰以、普通旋盤加工における匠の技の見える化について、日本機械学会2011年度年次大会、J23023、(2011).
- [3] 吉川貴士、辻中健史、越智三義、松田陽一、小田健二、濱田泰以：旋盤加工における西条市の匠の経験知について、新居浜工業高等専門学校紀要、Vol. 47、pp.61-66 (2011).

謝辞

本研究は実験実施においては(有)タカヨシ工業所：曾我部善男会長、曾我部善生社長ならびに愛媛県立東予高校の皆様のご協力のもと遂行することができましたことを深く感謝いたします。