

博士論文

機械加工作業者の注視行動分析と
技能伝承への応用に関する研究

平成 25 年 9 月

東京農工大学大学院工学府
機械システム工学専攻（博士後期課程）
武雄 靖

目 次

第1章	序論	1
1.1	技能と技術	1
1.2	ものづくり技能の伝承に関する問題	1
1.3	技能伝承に関する従来の研究と取り組み	2
1.4	企業における技能伝承の実態	3
1.5	日本の伝統的な技能伝承と海外での技能伝承の事例	6
1.5.1	伊勢神宮の式年遷宮	6
1.5.2	徒弟制度	7
1.5.3	ドイツのマイスター制度	7
1.6	日本の技能検定による技能の評価	9
1.6.1	技能検定試験の概要	9
1.6.2	技能検定試験の問題点	11
1.7	注視行動分析による技能の評価に関する研究	11
1.8	本研究の目的	13
1.9	本研究の対象範囲	14
1.10	本論文の構成と要旨	15
	第1章の参考文献	17
第2章	普通旋盤作業者の注視行動分析	21
2.1	諸言	21
2.2	注視行動分析のための眼球運動計測	21
2.2.1	計測原理	21
2.2.2	アイカメラ	24
2.2.3	眼球運動計測の流れ	28
2.3	普通旋盤作業中の注視行動分析	29
2.3.1	被験者, 実験課題および実験機材	29
2.3.2	注視点移動時間と工具送り停止時間の採取	30

2.3.3	注視点移動時間と工具停止時間の実験結果	32
2.4	普通旋盤作業の作業経験時間と注視点移動時間との関係	33
2.4.1	実験の概要	33
2.4.2	被験者と実験方法	33
2.4.3	実験結果	34
2.4.4	練習を中断した被験者の注視点移動時間	34
2.5	普通旋盤作業中の注視行動分析の結果に関する考察	35
2.6	結言	37
	第2章の参考文献	38
第3章	普通旋盤加工における工具送り停止が加工性状におよぼす影響	39
3.1	緒言	39
3.2	工具送り停止時間が工具摩耗と加工表面性状におよぼす影響	40
3.3	実験機材と実験方法	40
3.4	表面うねり	43
3.5	実験の結果	45
3.5.1	工具送り停止時間と逃げ面摩耗幅の関係	45
3.5.2	工具送り停止時間と表面うねりの関係	47
3.6	工具送り停止中の工具刃先温度の変化	48
3.6.1	実験機材と実験方法	49
3.6.2	実験の結果	49
3.7	工具送り停止による加工への影響を調べた実験の考察	50
3.8	結言	52
	第3章の参考文献	53
第4章	寸法測定作業者の注視行動分析	55
4.1	緒言	55
4.2	寸法測定作業者の注視行動分析の実験方法	56
4.2.1	被験者	57
4.2.2	実験機材	57

4.2.3	実験データの採取と注視項目の決定	58
4.3	眼球運動計測の結果とデータの整理	60
4.3.1	注視項目変化表の作成	60
4.3.2	注視項目の注視回数と注視項目間の移動回数	61
4.3.3	各注視項目の注視時間と作業時間	63
4.4	寸法測定作業中の注視行動分析の結果に関する考察	67
4.4.1	注視点移動の時系列的パターン	67
4.4.2	各注視項目の注視時間と習熟度の関連	68
4.4.3	測定値の読み取り間違いについて	69
4.4.4	測定物への接触に関する確認実験	70
4.5	結言	73
	第4章の参考文献	74
第5章	外側マイクロメーターの測定力一定化のための技能訓練方法の開発	75
5.1	諸言	75
5.2	マイクロメーターの測定力測定装置の考案	76
5.3	生産現場での測定力測定調査	77
5.3.1	被験者および作業手順	77
5.3.2	実験結果	79
5.3.3	生産現場での測定力測定調査の考察	80
5.4	測定力測定装置を使った実習教育の試み	81
5.4.1	練習前後の比較結果	81
5.4.1.1	測定力とそのばらつき	81
5.4.1.2	練習時間	83
5.4.1.3	測定力差と測定値のズレの関係	84
5.4.2	実習についてのアンケート調査	86
5.4.3	測定力測定装置を使った実習教育の試みに関する考察	86
5.5	結言	87
	第5章の参考文献	89

第6章	結論	91
6.1	各章の結果	91
6.2	今後の展望	94
謝	辞	95
	本研究の一部を発表した研究論文および口頭講演	97
付録1	「職業能力開発大学校について」	99
付録2	「U 検定について」	101

第 1 章
序 論

第1章 序論

1.1 技能と技術

技能は、「技」のうち、行為・動作・働きの部分だけでなく、作業の迅速さや正確さ、仕事への探求心の高さ、異常時の適応力、技術を具現化する能力など様々なものが含まれる。そして、技能に対する高い習熟度を持つ人は、熟練技能者と呼ばれる。これに対して技術は「技」の表現・手段・方法の理論や知識的な部分をいう。

また、技能は、能力であるから、能力の概念をそのまま受け継いでいる。それは、人が発揮して初めて見ることができるものである。言い換えれば、人が保持していても、実際に発揮しないと、あるかどうかわからないものである。その能力は、獲得した後も、その人の経験や思考によって変質・変化し、発展したり衰退したりもする。つまり、現在ある状態は、瞬間の状態であって、明日変わる可能性もある。たとえば、ある機能を失えば、その瞬間から消滅してしまうものもあるが、ある機能を得れば、その時から新しい能力が生まれるということになる。このような能力の概念を技能はすべて受け継ぐ⁽¹⁰¹⁾。

すなわち、技能は、カンやコツが必要で、五感を駆使し、経験を積むことで培われ、文字や数値での表現が難しい「暗黙知」のもので、技術は、文字や数値で表現できる「形式知」のものといえる。

1.2 ものづくり技能の伝承に関する問題

熟練技能者不足は、各方面で問題となっており、日本の経済を支えるものづくりの分野も例外ではない。経済産業省の「2005年版ものづくり白書」⁽¹⁰²⁾にも懸念された、団塊世代の大量退職によるものづくり技能者の不足、いわゆる「2007年問題」は、熟練技能者の雇用延長などで、一応の落ち着きを取り戻した。しかし、これは単に問題の先送りでしかなく、「2012年問題」という議論⁽¹⁰³⁾もあり、現時点においても、しっかりとした対応が取られたとは言い難い。我が国の経済が再び発展していくためには、各種製造業をはじめとしたものづくり基盤産業の発展が不可欠であり、それを支える技能者の確保と育成、ものづくり技能の伝承、発展が重要な課題となっている。

一方で、熟練技能者が持つ技を受け継ぐべく若年者の技能離れについても大きな問題と

なっている。その背景には、幼少期の工作や粘土遊び、プラモデル作りや料理、裁縫など、遊びや家の手伝いなどを通したものづくり体験が少なくなったことと、ものづくりの現場を直接見る機会が減ったことなどが考えられる。その結果、ものを作る喜びや奥深さを実感できず、技能に対する関心や評価が低くなっている。また、少子高齢化の波は、ものづくりの現場にも当然押し寄せており、次代の担い手不足は、今後ますます深刻な問題となるであろう。

ものづくり技能の伝承に関する問題は、技能を伝承する側、伝承される側の双方にあるといえる。とくに、技能を伝承する熟練技能者は、ものづくりの魅力や素晴らしさを伝えることを怠り、自身の持つ技能を次世代へ繋ぐこと軽視していたといわざるをえない。これらの反省を踏まえ、ものづくりの魅力を伝えるだけでなく、入門しやすい環境を整えることが重要である。それには、予備知識が必要となるような訓練や教材ではなく、未経験者でも直感的に理解できる訓練手法が必要になる。これに付随して、短時間で技能を評価する方法も開発していかなければならない。

1.3 技能伝承に関する従来の研究と取り組み

熟練技能者が持つ高度なものづくり技能をどう伝承・教育し、評価していくのかという問題については、以前から多くの研究や取り組みがなされている。たとえば、板金作業熟練技能者の高度な技能を記録、分析、作業細部の映像化およびアニメーション化し、作業前後のヒアリングにより、カン・コツの部分についてもできる限り目に見える形に表現しようとしたもの⁽¹⁰⁴⁾や、技能伝承が難しいとされる「きさげ作業」について、熟練技能者の作業内容と思考のプロセスに関するインタビュー結果に基づき、人間の作業プロセスモデルを、知識、イメージ、モジュール、デバイスの4つのレベルからなるモデル化し、技能が向上するときに、そのモデルの内部で何が変化しているかについて検討したもの⁽¹⁰⁵⁾などがある。また、熟練技能者が持つ技能を容易に抽出・蓄積・共有することを目的とした技能継承支援ツールの開発⁽¹⁰⁶⁾や、個々の作業ごとにケーススタディ的に体系化し、共有をはかることにより、熟練者の技能を可視化し、体系化する検討⁽¹⁰⁷⁾もなされている。これらの内容は、暗黙知の塊といえる技能を数値化やモデル化するなどして、形式知に変換し、技能伝承や、技能の技術化に役立てようとするものである。

このような取り組みは、NC 工作機械やロボットなどを導入することで、個々の作業者が持つ技能は不要とされる「熟練技能不要論」のような、やや極端ともいえる議論⁽¹⁰⁸⁾に端を

発している感もいなめない。しかし、技能の暗黙知の部分をすべて形式知に置き換えるというのは不可能であるだけでなく、新しい技術を駆使するために、新しい技能が生まれ、従来の技能は、技術革新とともに変化していくという意見もある⁽¹⁰⁹⁾。たとえば、NC 工作機械が無人運転に入るまでの確認作業や監視作業は、生産性を維持しつつ、同時に意図しない動作を検出することが必要で、注意の払い方が作業者にとって重要な技能であること⁽¹¹⁰⁾や、生産設備に異常が生じた際に機動的に対応したり、機器にインプットする数値を判断・変更したりする際には、技能に裏打ちされた経験が必要となることが多い⁽¹¹¹⁾。

技能に限らず、すべての現象や事象は、暗黙知よりも形式知のほうが、数値や文字にして表現することが容易いため、他人に伝えることも容易である。しかし、技能の暗黙知については、すべてが形式知として置き換えられないという仮説のもと、熟練技能を分類することで、熟練技能の技術への置換の可能性を、体系的かつ視覚的に整理・分析しようとする試みもある⁽¹¹²⁾。また、技能の暗黙知を無理に形式知化することなく、技能伝承に取り組んだものもある。たとえば、技能は五感を駆使して培われ、実現されることから、五感の中でも、聴覚に注目し、普通旋盤の溝入れ加工を手動送りで行なったときの切削音の違いを分析・応用した技能伝承訓練を提案したもの⁽¹¹³⁾や、ひとつひとつの機器のオペレーションや技能を指導するのではなく、それぞれの類似点を整理し、概念的に学ばせるというアプローチをしたものがある⁽¹¹⁴⁾。

つまり、技術革新によって技能が不要になるという議論はまったくのナンセンスであり、時代とともに変化し続ける技能を、効率よく伝承していくことは永遠の課題といえる。

1.4 企業における技能伝承の実態

実際の企業における技能伝承は、OJT によるものがまだまだ多い。湯川らの調査⁽¹¹⁵⁾によると、人材育成についてどんな対策を行っているか、という問いかけに対し、調査対象としたすべての企業が「OJT による経験の引き継ぎ」と回答し、その半数は OJT のみで技能伝承を行っているという結果が出ている。

OJT (On the Job Training) とは、「職場内訓練」のことで、従業員が業務を行う上で必要となる技術や技能を、担当する業務についたまま、職場の上司や先輩から、教育を受けることである。OJT の原型は、第一次大戦中の造船業界をルーツとし、第二次大戦後、GHQ が招聘した経営学者 Deming により PDCA サイクルの概念とともに日本に紹介されたといわれている⁽¹¹⁶⁾。

最新のものづくり白書⁽¹¹⁷⁾によると、「技能者の確保・育成」については、企業規模に関係なく約 4 割が積極的に取り組んでおり、今後も積極的に取り組みたいと考えている。しかし、調査対象のほぼ 100%の企業が、技能系正社員を対象に技能伝承のための訓練を実施しているものの、その内容は、図 1-1 に示すように、「指導者を決めるなどして実施した計画的な OJT」と「上司が部下を、先輩が後輩を日常的に指導」が、企業規模に関係なく約 9 割を占める。

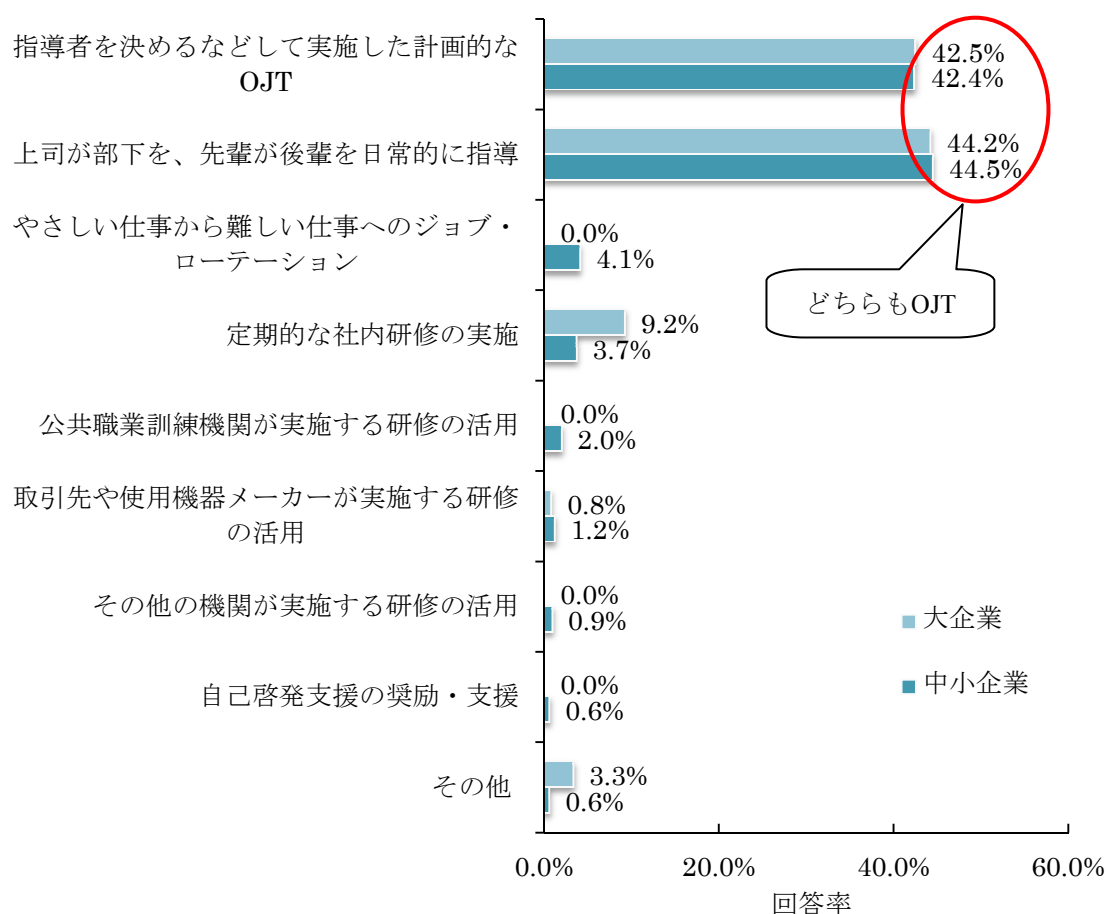


図 1-1 技能系正社員を対象にした技能伝承の方法のうちもっとも重要なもの⁽¹¹⁷⁾

技能者の育成を OJT だけに頼った場合、理論面や原理的知識の習得は、不十分になりやすい。それは、OJT が本来の業務の中での能力形成であるため、作業の裏付けとなる理論面の習得には向いていないからである。その内容は、作業のポイントや注意点の説明など、業務中に指導可能なことに限られてしまう。したがって、本格的な理論的な面の習得が必要となる場合は、現場を離れての OFF-JT や自己啓発などによることになる。

この OFF-JT (Off the Job Training) とは、「職場外研修」と呼ばれ、社外での研修による業務遂行上の能力訓練のことを指す。OFF-JT は、OJT を補完する研修やプログラムの和製英語として普及してきた⁽¹¹⁶⁾。OJT と OFF-JT についてそれぞれどのような特徴があるのかは、訓練方法と雇用形態という 2 つの視点から捉えることができる。

OJT の場合、各従業員が身につけなければならない職務遂行上の技術や技能は、現場の先輩が実際に作業をし、従業員と試行錯誤を繰り返しながら伝えていく方法がとられる場合が多い。OFF-JT の場合、現場から離れ、現場の先輩だけでなく、部外者などから訓練を受ける。つまり、基本的には、一般化された技能や知識についての教育を受ける場となる。

従来、日本では OJT が主流の教育訓練制度であるといわれてきた。OJT は、時間をかけて実践的で高度な技能を習得するものであり、終身雇用を雇用形態の前提としてきた日本の企業に合っていた。しかし、グローバル化や雇用の流動化が進み、コスト削減に伴う人員削減が一般的になった今日では、OJT の課題も顕在化してきた。現場の先輩が、部下の OJT に時間を割かれるのは、通常業務を遂行する中で、その先輩にとっても大きな負担となる。部下にとっては、片手間の教育訓練となってしまう、効率のよい技能伝承とならない。加えて、OJT を実施する先輩の能力によって、成果が大きく左右されてしまうこともあり、先輩が経験したことのない業務や、熟練していない技能の伝承には不向きである。

一方、現場を離れての OFF-JT は、現場で遂行しにくい業務や、指導できない業務を新たに習得させることが基本である。新たな業務が発生した場合、必然的に OFF-JT が行なわれることになる。

大企業など教育施設が整備されたところは別として、一般的な中小企業で、OFF-JT による人材育成を行なう環境は、必ずしも十分とはいえず、特に原理的なもの、理論的なものになると、自社内で実施することが難しい。このような場合は、大手の取引先企業への委託や、公的機関で実施されている職業訓練プログラムなどの利用が見られるが、前述した湯川らの調査や図 1-1 の結果からもわかるように、多くの企業において、後回しの案件になっているといえるだろう。

OJT で身に付けた作業パフォーマンスの裏付けとなるものを、OFF-JT で理論的に学ぶことは、作業者の自信につながるだけでなく、応用力や問題解決能力を高めることにもつながり、技能伝承の効率を上げる結果となる。したがって、技能者の育成についての育成方法は、現状では OJT が中心となっているが、OFF-JT をうまく取り入れて、技能伝承の効率を高めていくことが、今後の大きな課題であるといえる。

筆者は、自動車部品製造企業で12年間、機械加工技能の伝承と人材育成に携わってきた経験がある。その中での技能伝承もやはりOJTに頼るものが多く、技能を伝える側、受け取る側の経験や能力によって成果は、大きく異なっていた。

OJTによる技能伝承は、暗黙知を暗黙知のまま、人から人へ伝えることを意味しており、その効果効率は決して高いとは言えない。それでも、企業内での技能伝承にOFF-JTではなく、OJTによるものが多い理由には次のことが考えられる。

- (1) 言葉ですべて伝えることは困難なので、やり方を見せて覚えさせる。
- (2) OFF-JTをはじめとした、人材育成だけのための時間を確保することが困難。
- (3) 伝承する側の熟練技能者に、人材育成のためのスキルを持つものが少ない。
- (4) 教える内容が無数にあるため、教材などの開発が進まない。

すなわち、暗黙知を形式知化しただけでは、不足する部分が生じてしまうだけでなく、たとえ形式知化できたとしても、その内容は膨大となり、人材育成にかかる時間も膨大となってしまうことになる。したがって、OJTを中心とした技能伝承には、すべての技能を形式知化するのではなく、どうしても形式知化できない部分は、暗黙知のまま、効率よく伝承することを検討しなければならない。そのためにも、短時間で効率のよいOJTを実施するためにも、技能伝承をする際の明確な要点を抽出していく必要がある。

1.5 日本の伝統的な技能伝承と海外での技能伝承の事例

技能伝承は、現代日本のものづくり技能に限ったことではなく、過去にも存在していた。また、海外での技能伝承方法についても知っておく必要がある。ここでは、これらについていくつかの例をあげ、簡単に述べる。

1.5.1 伊勢神宮の式年遷宮

三重県の伊勢神宮では20年に一度、神々の引越しといわれる「式年遷宮（しきねんせんぐう）」が行なわれている。式年遷宮とは、神宮の内宮、外宮、別宮などの社殿を、20年ごとに作り替え、新しい神殿に神座を遷すことで、世界的にも稀有な神事である。第1回の式年遷宮が内宮で行なわれたのは、持統天皇4年（690年）のことで、その後1300年にわたって続けられ、昭和48年に第60回、平成5年には第61回が行なわれ、平成25年に第62回が予定されている。通常、世界的に見ても宮殿や神殿は、永遠を目指して頑健に建

立するが、伊勢神宮や出雲大社など、一部の神宮だけが同じものを新しくつくり替えることで、生物のような永遠の命を手に入れたといえる。1300年前といえば、世界最古の木造建築物で知られる法隆寺が建てられたころなので、長期に耐えうる建築技術がすでに存在していたにもかかわらず、20年に一度同じ建物を建立するという世界にも類を見ないシステムとなっている⁽¹¹⁸⁾⁽¹¹⁹⁾。

式年遷宮の第一の目的とされているのは、神が住まわれる社殿や神宝、装束が長年の期間を経て劣化し、また見苦しくなるのを防ぐためとなっているが、精神文化や建築技術・技能などの伝承も目的のひとつといわれている。20年に一度ということは、人生50年といわれた時代に、30～40歳代の熟練職人が10～20歳代の若者に技能伝承するということを考えると、20年に一度は、適切な間隔である。

このように、式年遷宮という神事プログラムの中に、あらかじめ技能伝承というプロジェクトを組み込んだシステムは、世界的にも稀で、現代のものづくりにおいても、大いに参考となるものである。

1.5.2 徒弟制度

徒弟制度とは、一定期間、親方の家に住み込み、雑用をしながらで商工業のノウハウを見習う制度のことをいう。親方制度とも呼ばれ、徒弟は「丁稚（でっち）」「小僧」「弟子」「奉公人」などといわれる。江戸時代以降徒弟制度は、手工業や商業だけでなく、芸術や落語などの伝統芸能分野においても親方（教師）に指導されて訓練を積み重ねる学習制度として広く行なわれていた⁽¹²⁰⁾。

もともとは中世ヨーロッパのギルド（商工業者組合）における手工業者養成制度を指し、後述するドイツのマイスター制度もこれに類似する。また、中世の中国においては、徒弟は親方たちの家内奴隷的な存在であり、同じ職業身分制の中でも、西洋中世のような契約的な実習制度とは違う従属的制度であった。

現在の技能伝承の多くを占めるOJTは、雇用形態が異なるものの、徒弟制度に類似するシステムであるといえる。ただし、制度として明文化されていない場合がほとんどで、これからの技能伝承の方法としては、望ましいものではないと考えられる。

1.5.3 ドイツのマイスター制度

マイスター制度⁽¹²¹⁾⁽¹²²⁾とは、ドイツの手工業、工業、農業、家政、公務、団体、巡盟、学校など、きわめて広範囲にわたり就業する卓越した技能を有し、責任を持って確実に、

しかも経済的に仕事をこなすことの出来る指導的能力を持った人（マイスター）を頂点とする職業資格の制度をいう。

現在の制度の法的基盤の中心になっているのは、1953年に制定された手工業規則と、1969年に制定された職業教育法である。マイスター制度において中核を占めているのが、手工業マイスターである。そして最近、とくに重要性を増してきているのが、工業マイスターである。また、数は圧倒的に少なくなるが、農業マイスター、家政マイスター、海運マイスターがある。以下、本論文と関連がある手工業マイスターと工業マイスターの二つについて述べる。

大工、家具製造、理髪師などの手工業で事業所を営むためには、必ずマイスターの資格を持たなければならない。また、後進の訓練をすることができるのも、マイスターの有資格者のみである。工業マイスターの場合には、自営業者としてよりも、企業の従業員として働くことが多く、その分野での現場管理職として働くことが多い。つまり、工業マイスターは計画立案と実施のあいだに立つ指導者として、生産手段の準備、設置に協力し、部下の従業員に指示を与え、訓練し、労働の成果とコストを管理し、工場災害、労働災害防止の責任の一端を担う。

手工業マイスター試験は、各地の手工業会議所にて行なわれる。まず受験資格であるが、通常は、3年間の職業教育修了試験に合格した者で、その後、基本的には最低3年間それまで学んだ職業に従事した者である。試験は、全部で4つの試験から構成される。

- (1) 自作品を提出する実技試験。
- (2) 専門分野に関する理論知識の試験。
- (3) 経済的、法律的知識の試験。主に、簿記、経理、原価計算、会社法、財務、クレジット、市場立地条件、店舗開業条件、支払条件、広告などについて試験。法律に関しては、商法、民法、労働法、社会保障法、税法についての試験。
- (4) 職業教育学的、労働教育学的知識の試験。受験者が職業教育をみずから受け、後進を指導する能力があるかどうか問われる。

(1)と(2)は、いずれも個々の職業に関するものであるが、(3)と(4)に関しては、すべての手工業分野の職業の応募者に共通の試験内容となる。とくに(4)は、職業養成訓練担当者の適性検査に対応し、工業界、商業界、その他の職業分野でも職業訓練生を教育するための前

提条件となっている。

また、訓練の方法について(1)に関しては、OJT のみでも対応可能と思われるが、その他の項目については、OJT と OFF-JT を組み合わせた訓練が必要であることから、徒弟制度のような訓練方法では対応不可能といえる。

工業マイスター試験は、各地の商工業会議所で行なわれる。受験資格は手工業マイスターと基本的には同じで、通常は 3 年間の職業教育修了試験に合格した者で、その後、基本的には最低 3 年間それまで学んだ職業に従事した者である。ただし、各商工会議所が独自の判断をし、これに該当しなくても例外的に受験資格を認めることが多々ある。試験内容について手工業マイスターとの違いは、マイスター課題作品の製造をする必要がないことと、将来自営業者になることを想定していないので、簿記、会社法などの試験がないことで、その他は、基本的に手工業マイスターと同じである。

マイスター制度は、前述した徒弟制度に近いが、その特徴は、後継者を育成することが条件であり、育成する能力も求められ、これが法律として明文化されていることである。また、マイスターの受験資格を得るまでには、多くのステップが存在しており、これらを実現するための職業教育も、とても充実している。さらに、マイスターは、ドイツ国内での社会的地位も高いことも参考にすべき点である。

1.6 日本の技能検定による技能の評価

技能伝承を検討していく際、伝承されようとしている技能が確実なものかを確認するための技能の評価についても、同時に考えていかなければならない。ここでは、我が国での一般的な技能の評価方法として、ものづくり技能のみならず、様々な分野で利用されている技能検定について述べる。

1.6.1 技能検定試験の概要

技能検定は、「働く人々の有する技能を一定の基準により検定し、国として証明する国家検定制度」で、技能に対する社会一般の評価を高め、働く人々の技能と地位の向上を図ることを目的として、職業能力開発促進法に基づき実施されている。つまり、働くうえで身につける、または必要とされる技能の習得レベルを評価する国家検定制度となっている。昭和 34 年に実施されて以来、年々内容の充実を図り、平成 25 年 4 月現在、114 職種が実施されている。技能検定の合格者は、平成 23 年度までに 359 万人を超え、確かな技能の証として各職場において高く評価されている⁽¹²³⁾⁽¹²⁴⁾。ものづくり企業や職業訓練などを行なう

学校では、この技能検定を利用して、技能の評価を行なうケースが多く見られる⁽¹²⁴⁾。技能検定試験は、検定職種ごとに実技試験と学科試験が行なわれていて、その両方を受検し、合格すること「技能士」となる。特級、1級、2級、3級に区分するもの、単一等級として等級を区分しないものがあり、それぞれの試験の程度は次のとおりとなっている。

特級：管理者または監督者が通常有すべき技能の程度

1級および単一等級：上級技能者が通常有すべき技能の程度

2級：中級技能者が通常有すべき技能の程度

3級：初級技能者が通常有すべき技能の程度

機械加工の代表的なものである普通旋盤作業や測定作業でも同様で、その評価方法は、「習熟度が高いものほど多くの技能要素を習得しており、その作業を早く正確に行うことができる。」という観点から成立している。例として、技能検定機械加工普通旋盤作業の実技試験問題⁽¹²⁵⁾⁽¹²⁶⁾⁽¹²⁷⁾から、各級に求められる技能要素を抽出し、まとめたものを表 1-1 に示す。この表からわかるのは、上級になるほどより多くの技能要素の習得を求められていることがわかる。また、課題の中で要求されている寸法精度（寸法公差の幅）も、上級であるほど、多くの部位で高い精度での加工が必要となる。

表 1-1 技能検定機械加工普通旋盤作業実技試験の各級別技能要素

	1級	2級	3級
使用チャック	四爪単動チャック	四爪単動チャック	三爪連動チャック
標準作業時間	3時間30分	3時間	2時間
寸法公差の幅 (0.05mm以下の み)	0.03mm×4箇所 0.04mm×5箇所 0.05mm×2箇所	0.03mm×3箇所 0.04mm×2箇所 0.05mm×1箇所	0.05mm×1箇所
技能要素	端面加工 外径加工 内径加工 面取り加工 外径テーパ加工 内径テーパ加工 溝入れ加工 偏心加工 外径ねじ切り加工 (切り上げ有) 内径ねじ切り加工 ローレット加工 突切加工	端面加工 外径加工 内径加工 面取り加工 外径テーパ加工 内径テーパ加工 溝入れ加工 偏心加工 外径ねじ切り加工 (切り上げ無)	端面加工 外径加工 内径加工 面取り加工 外径テーパ加工

1.6.2 技能検定試験の問題点

技能検定試験は、機械加工の分野に限らず、日本のものづくり産業すべての付加価値創造に寄与してきたことは言うまでもない。しかし、産業界の構造が多様化する中で、いくつかの問題点も表面化している。

技能検定受検者の多くは、実技試験のためだけの練習を行って試験に臨むことが一般的である。言い換えれば、普段の実作業で培った様々な技能を持ち合わせている者でも、実技試験のための準備を特別にしないと合格は不可能である。つまり、実際の生産現場や作業内容と技能検定試験とのあいだに、乖離している部分があるといえる。また、その練習時間は、就業時間中であることはまれで、終業後の時間や休日などを利用し、練習をしているケースが多い。また、試験のための特別な機材や機器を用意しなければならないなど、受検者に対してだけでなく、受検者を抱える企業にも多くの負担がかかっている。この件については、平成18年度に厚生労働省主導で行なわれた「技能検定職種等のあり方に関する検討会」の中でも議論されている⁽¹²⁸⁾。その中で、実際の生産現場と検定試験との乖離に関する具体的な意見には以下のようなものがある。

- (1) 検定職種によっては、いわゆる基本技能を重視しすぎる結果、技術革新の進展等への対応がおろそかになっているものがあるのではないか。
- (2) 現場力を高め、中小企業の活用を促進するためにも、現場の実態に根ざした「実践的な」ものとするべきではないか。
- (3) 検定職種によっては、複数の作業に分かれているものもあるが、技能の複合化等を踏まえ、検定職種・作業の統合・再編を行うべきものがあるのではないか。

これらの意見は、機械加工職種にも当てはまり、中でも普通旋盤作業の実技試験課題については、昭和34年の検定試験開始直後から試験課題の大きな変更がなく、現在の社会的ニーズから離れているものになっている可能性がある。

以上のことより、特別な練習を必要とせず、短時間で技能の評価が可能な方法の確立は急務であるといえる。

1.7 注視行動分析による技能の評価に関する研究

暗黙知の塊といえる技能は、人間が持つ視覚、聴覚、触覚、味覚、嗅覚の五感を総動員

することで発揮されることはすでに述べた。とくに、手および指の感覚運動能力、目および耳の感覚判断能力に大きく依存する。その中の視覚において、注視行動分析による技能の評価が様々な分野で利用されている。

まず、注視行動分析を行なうための眼球運動計測は、Donders⁽¹²⁹⁾により 1847 年に最初の試みが行なわれているが、その後、1900 年に Dodge が、角膜反射による計測法⁽¹³⁰⁾を開発してから、心理学および医療の分野での研究⁽¹³¹⁾が進められてきた。近年では、眼球運動計測機器であるアイカメラの性能の向上とともに、小型化が進んでいるため、これまでは実験室などの屋内や、被験者が着座したままの状態での計測が主であったのに対し、屋外での計測や、身体を移動させての計測など、適用範囲が広がっている。

眼球運動計測による注視行動分析を用いて技能を検討しようとする研究で、まずあげられるのが、自動車の運転技能に関するもの⁽¹³²⁾であろう。これは、運転技能レベルの異なる熟練運転者、一般運転者、初心運転者間の運転行動を比較する観点から、実際の交通場面での運転課題を与えた走行実験や、模擬市街路などでの模擬走行実験などを実施し、前方の道路・交通状況、運転者の注視状況、運転操作、車両の走行状態などを総合的に計測し、得られたデータから、各運転課題に対応したこれら運転操作などを詳細に解析し、運転技能レベルの異なる運転者群間での差異を比較検討したものである。この中に、アクセル、ブレーキによる速度制御パターンおよび制御量、ハンドルによる方向制御パターンおよび制御量などとともに眼球運動計測と注視行動分析が行なわれている。その他にも、料理⁽¹³³⁾や茶道⁽¹³⁴⁾の熟練者と未熟練者の比較に注視行動分析を利用したものや、滑空機操縦中の注視行動を分析することで、外界から得られた資格情報の処理過程の一面を明らかにすることを研究の主目的にしたもの⁽¹³⁵⁾、金網職人の眼球運動を分析することにより、職人の作業中における特徴を見出そうとする試み⁽¹³⁶⁾ などもある。いずれも、それぞれの作業時の動作や技能の習熟度と注視行動には、関連があり、作業のポイントを抽出することや、技能の評価が可能と報告されている。また、動作と注視行動分析により、熟練技能者の目視検査手法を解明し、動作データと注目度マップをアームロボットの動作に変換して、「技能」と「感性」を持った検査システムを構築する試み⁽¹³⁷⁾も行なわれている。

一方、ものづくり技能の伝承や訓練に関連したものでは、先に述べた IT 技術を活用した技能のデジタル化に関する研究⁽¹⁰⁴⁾の中でもアイカメラを使用した眼球運動計測はなされているが、詳細な注視行動分析は行なわれていない。また、作業者の動作、力覚、触覚を計測し、旋盤作業におけるハンドル操作を分析しようとする取り組み⁽¹³⁸⁾が行なわれており、

この続報⁽¹³⁹⁾では、ものづくり技能ではないが、書写の技能を取り上げ、注視行動分析を行い、技能伝承への活用を示唆しているものがある。しかし、機械加工作業のような、ものづくり技能への利用を研究テーマとした報告は、筆者の調査では見当たらない。

1.8 本研究の目的

ここで、これまでに述べた技能伝承と技能評価に関する現状とその問題点をまとめる。

- (1) 技能伝承の方法は、OJT によるものが大多数を占める。しかし、今後は、技能者不足やコスト削減の観点から、OJT と OFF-JT を効果的に組み合わせ、技能伝承にかかる時間を短縮する必要がある。
- (2) 技能の評価は、技能検定によるものが主流である。しかし、試験の内容が、実作業と乖離していることから、受検準備に時間がかかり、試験そのものも長時間となるので、短時間で簡単に技能の評価が行なえる方法の開発が必要である。
- (3) 注視行動分析は、技能の評価方法として各方面で利用され、効果をあげているが、機械加工作業などのものづくり技能の評価に利用された例はきわめて少ない。したがって、実際に実験による調査を行ない、技能習熟度と注視行動の関係を明らかにし、技能の評価への利用を検討しなければならない。

一方、筆者は、自動車部品製造企業での経験と、職業能力開発大学校における機械加工に関する職業訓練指導員歴 13 年間の経験がある。その中で、人が行なう作業は、習熟度が上がるにつれ、その作業者の視点の動きは少なくなり、意識している視野は狭くなるのではないかと考えていた。これは、筆者自身が技能を習得していく過程で感じていただけでなく、みずからが指導者となり、技能の教育訓練を行う中で、訓練生からのヒアリングなどで感覚的に理解していたものである。つまり、技能の習熟度と注視行動には関連があることを、筆者のみならず、技能伝承された者や、その過程にある者の多くが感じ取っていることになる。しかし、技術的かつ論理的な裏付けはまったくない。

そこで本研究は、代表的な機械加工作業である普通旋盤作業と、ものづくり現場で多く使用されているマイクロメーターによる寸法測定作業を取り上げ、以下の研究項目を実施し、前記した問題を解決すると同時に、注視行動分析による技能評価の迅速化と教育訓練への応用を実現することにより、わが国、さらに世界のものづくりの発展に欠かせない技

能伝承に貢献することを目的とする。

- (1) 技能の習熟度に応じて作業者の注視行動が異なるという仮説のもと、注視行動分析を行ない、技能の習熟度と注視行動との相関を確認する。
- (2) 注視行動分析による技能の評価が可能かどうかを確認する。
- (3) 注視行動分析から、技能伝承期間を短縮するための要点を抽出する。
- (4) 抽出された要点を応用した技能伝承のための教育訓練を試行し、その有用性を実証する。

1.9 本研究の対象範囲

山本は、技能は基本の段階より出発し、習得期間を経て熟練技能に達するというプロセスを想定し、このときの習得過程は、基本技能習得レベル・実践技能習得レベル・熟練技能習得レベルの3段階と定義している⁽¹⁴⁰⁾。本研究でもこの定義を支持し、対象範囲を、筆者が勤務する職業能力開発大学校が目指す実践技術者育成に合致すると考えられる「実践技能習得レベル」とした。すなわち、本論文内での技能伝承とは、実践技能習得を目的としたものとする。ここで各技能習得レベルの詳細は以下のとおりである。

基本技能：

日常の作業に対して指導・指示を受けながら遂行できるレベル、すなわち教えられ、指示をしてもらってできるレベルの技能。

実践技能：

日常の作業に対して図面や標準書などによって遂行できるレベル、すなわち一人前に日常作業が遂行できるレベルの技能。

熟練技能：

実践技能に加えて、さらに経験を積み重ねによるカン・コツの部分があり作業方案・方法の工夫・改善や客先折衝ができるとともに、すべてにわたって後輩を指導できるレベルの技能。

ここで「習得」という表現であるが、前記した山本は、「修得」という表現を使用している。しかし、小学館発行の「使い方の分かる類語例解辞典⁽¹⁴¹⁾」によると、「修得」は、「大学院で経営工学を修得したい」や「修得単位数」など、おもに学問的なことを会得する場合に使用されとなっている。一方、「習得」は、「染色の技術を習得する」や「技（わざ）を習得する」など、技術的なことを会得する場合に使用されるとなっている。したがって、本論文では、技術に近い技能の会得を議論しているため、後者の「習得」を使用することにした。

1.10 本論文の構成と要旨

本論文は 6 章で構成されており、各章の関連を図 1-2 に示す。また、各章別に要旨をまとめると以下ようになる。

第 1 章は序論であり、研究の背景と本研究の目的と必要性について述べている。

第 2 章では、機械加工技能の場合でも、注視行動分析により技能の評価、すなわち作業の習熟度の評価が可能であるかを検討している。サンプルとして、機械加工の代表格ともいえる普通旋盤作業を取り上げ、その作業時の注視行動分析をアイカメラと専用分析ソフトを用いて行ない、注視行動と作業の習熟度には相関があることを確認した。

第 3 章では、第 2 章で明らかになった初心者によくみられた注視点移動中の工具送り停止は、加工結果にどのような影響をおよぼすかについて、工具摩耗、加工表面性状、加工中の刃先温度を、NC 旋盤を利用して調査している。これにより、技能習熟度と加工結果の関連から、抽出された技能伝承の要点の有用性を見出した。

第 4 章では、測定作業の代表格であり、ものづくり現場で多く使用されているマイクロメーターによる寸法測定作業を取り上げ、測定作業者の注視行動分析をアイカメラと専用分析ソフトを用いて行ない、習熟度の違いによる注視行動の相違点を明らかにした。さらに、作業者の注視行動分析結果から、初心者への測定技能の訓練を効率的に行い、その期間を短縮化することを目的とした新たな技能伝承の要点を抽出した。

第 5 章では、第 4 章で抽出された技能伝承の要点を応用し、測定器と測定物を接触させるときの測定力を、より早く一定化させることを目的とした訓練の試行を行なった。この目的を実現するため、まず、マイクロメーターの測定力を測定する装置を考案し、製作した。つぎに、この測定装置を用いて、実際のものづくりに携わる作業者のマイクロメーターの測定力を調査し、現状と問題点を把握した。さらに、マイクロメーターの取り扱いを

教育する現場に、開発した測定装置を持ち込み、実習を行ない、従来の実習教育の結果との比較により、考案・製作した装置の効果について検証した。

第6章は結論であり、各章において得られた主要な研究成果についてまとめるとともに、今後の展望について述べている。

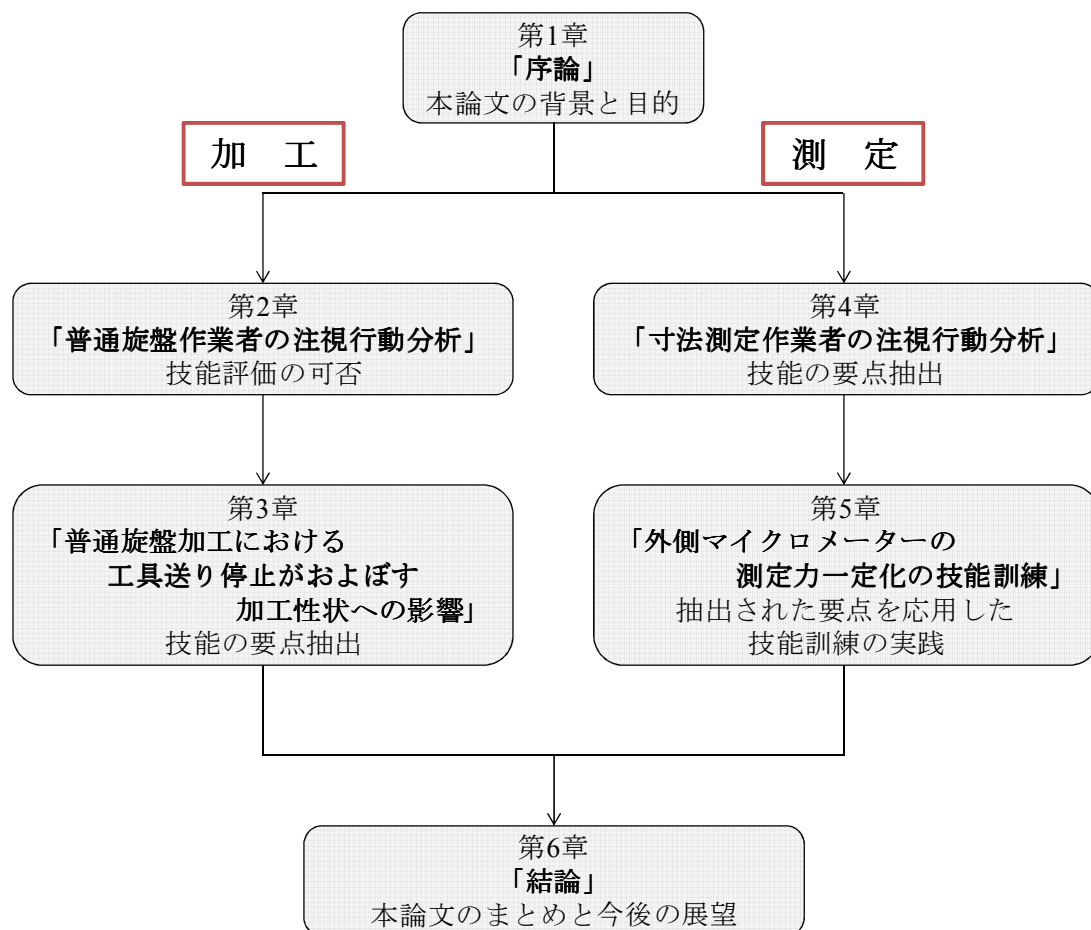


図 1-2 本論文の構成

第1章の参考文献

- (101) 森和夫, “技の学び方 教え方”, 中央職業能力開発協会 (2002).
- (102) 経済産業省編, “2005年版ものづくり白書(製造基盤白書)(ものづくり基盤技術振興基本法第8条に基づく年次報告)”, 経済産業省 (2005), pp.202.
- (103) 野中帝二, “先送りされた技術・技能伝承「2012年問題」”, 富士通総研, ホームページ, <http://jp.fujitsu.com/group/fri/column/opinion/201204/2012-4-6.html> (参照日 2013年9月23日).
- (104) 職業能力開発総合大学校能力開発研究センター編, “高度熟練技能者の作業分析とデジタル化 板金作業編(自動車板金, 曲げ板金) 調査研究報告書”, 職業能力開発総合大学校能力開発研究センター, No.121 (2004), pp.3.
- (105) 小野里雅彦, “きさげ作業における技能の分析とそのモデル化”, 計測と制御, 37-7 (1998), pp.495-498.
- (106) 亀山雄高, 成瀬哲也, 水谷正義, 狛豊, 佐々木慶子, 大森整, 澤田浩之, 松木則夫, “技能継承の支援を目的とした切削加工技能の抽出・体系化ツールの開発”, 日本機械学会論文集 C 編, Vol. 75, No. 757 (2009), pp.90-92.
- (107) 亀山雄高, 水谷正義, 成瀬哲也, 狛豊, 佐々木慶子, 大森整, 澤田浩之, 松木則夫, “技能継承ツール「加工テンプレート」の開発とそれを用いた特殊形状品の切削加工技能の可視化”, 砥粒加工学, 53-12 (2009), pp.741-744.
- (108) Harry Braverman, “Labor and Monopoly Capital”, Monthly Review Press. New York, (1974), pp.126-127.
- (109) 門脇仁, “日本人にしかできないモノづくり! 熟練技能をナレッジ化せよ”, 日刊工業新聞社 (2003).
- (110) 野本弘平, 島弘三, 若松正晴, 清水裕, “NC 工作作業のプログラムチェックにおける注意配分”, 知能と情報, 日本知能情報ファジィ学会誌, Vol.16, No.5 (2004), pp.452-462.
- (111) 経済産業省編, “平成 14 年度ものづくり基盤技術振興基本法第 8 条に基づく年次報告(製造基盤白書)”, 経済産業省 (2003), pp243.
- (112) 湯川恵子, 割澤伸一, “熟練技能の技術への置換可能性に関する予備的研究”, 日本機械学会, 生産システム部門研究発表講演会 2009 講演論文集, No.09-5 (2009),

pp.61-62.

- (113) Takashi Kawashimo, Noriaki Sato, Daisuke Doyo, Michiko Anse and Tsutomu Tabe, “A Skill Transfer Method for Manual Machine Tool Operation Utilizing Cutting Sound”, Human Interface, Part I, HCII 2009, LNCS 5617 (2009), pp.77-86.
- (114) Kevin L. Devine, “Improving the Knowledge Transfer Skills of Industrial Technology Students”, Journal of Industrial Technology, Vol. 22, No. 2 (2006).
- (115) 湯川恵子, 割澤伸一, “熟練技能に着目した人材育成促進に関する研究”, 日本機械学会, 生産システム部門研究発表講演会 2010 講演論文集, No.10-3(2010), pp.65-66.
- (116) 野村総合研究所, “経営用語の基礎知識 (第3版)”, ダイヤモンド社 (2008).
- (117) 経済産業省編, “2013 年版ものづくり白書 (ものづくり基盤技術振興基本法第 8 条に基づく年次報告)”, 経済産業省 (2013), pp.193.
- (118) 田代信雄, “下町の青空② 伊勢神宮と式年遷宮”, ツールエンジニアリング 2012(平成 24)年 10 月号, (2012).
- (119) 伊勢神宮, ホームページ, <http://www.isejingu.or.jp/> (参照日 2013 年 9 月 23 日).
- (120) 山田信隆, “職人氣質考”, 目白大学人文学研究, No.5 (2009), pp.27-39.
- (121) 清水敏允, “ドイツのマイスター制度 —崩壊か存続か—”, 高等専門学校の教育と研究, Vol.3, No.2 (1998), pp.8-20.
- (122) 厚生労働省, ホームページ, <http://www.mhlw.go.jp/> (参照日 2013 年 9 月 23 日).
- (123) 中央職業能力開発協会, ホームページ, <http://www.javada.or.jp/> (参照日 2013 年 9 月 23 日).
- (124) 杉本智洋, “技能士 —技能検定— デンソーにおける技能検定の取り組み”, 日本機械学会誌, Vol. 112, No. 1087 (2009), pp.497-500.
- (125) 中央職業能力開発協会編, “平成 23 年度技能検定 1 級機械加工 (普通旋盤作業) 実技試験問題”, 中央職業能力開発協会 (2011).
- (126) 中央職業能力開発協会編, “平成 23 年度技能検定 2 級機械加工 (普通旋盤作業) 実技試験問題”, 中央職業能力開発協会 (2011).
- (127) 中央職業能力開発協会編, “平成 23 年度技能検定 3 級機械加工 (普通旋盤作業) 実技試験問題”, 中央職業能力開発協会 (2011).
- (128) 厚生労働省, “「人財立国・日本」の基盤整備—技能・ものづくりが尊重される社会の実現に向けて—「技能検定職種等のあり方に関する検討会」報告書”, 平成 18

年 9 月 5 日報道発表資料 (2006).

- (129) Donders, F. C. , “Beitrag zur Lehre von den Bewegungen des menschlichen Auges.”, Holländ Beitr Anat Physiol Wiss 1 (1847), pp.104-145.
- (130) Dodge, R , “Visual perceptions during eye movement”, Psychological Review, VII (1900), pp.454-465.
- (131) Ditchburn, R. W. , “Eye-movements and visual perception” , Oxford, UK, Clarendon, XV (1973), pp. 421.
- (132) 自動車安全運転センター編, “高度な運転技能の評価方法に関する調査研究”, 調査研究報告書, 平成 3 年度調査研究報告 (1991).
- (133) 三林洋介, 上野俊夫, 野坂千秋, 川上満幸, 大久保堯夫, “調理時の眼球運動計測”, 人間工学, Vol.37, 特別号 (2001), pp.176-177.
- (134) 笹岡奈津美, 井植美奈子, 大田達, 濱崎加奈子, 久米雅, 吉田康行, 李思彤, 後藤彰彦, 仲井朝美, 芳田哲也, “茶道点前の帛紗捌き動作時における眼球運動解析”, 日本機械学会講演論文集, No.094-1 (2009), pp.14-11.
- (135) 市川博, 杉山篤司, 富島修司, 梅村守, “滑空機操縦における眼球運動の特性”, 人間工学, Vol.33, 特別号 (2001), pp.114-115.
- (136) 後藤彰彦, 芳田哲也, 仲井朝美, 辻賢一, 白土男女幸, 大西明宏, 久米雅, 田中辰憲, “金網職人の動作および眼球運動解析”, 日本機械学会 Dynamics and Design Conference 2007 CD-ROM 論文集, No.07-8 (2007).
- (137) 舟橋琢磨, “感性・技能を測る画像センシング 熟練作業員の動作/視線計測を基礎とした検査システム開発の試み”, O plus E, No. 367 (2010), pp.684-688.
- (138) 宗澤良臣, 梶原康博, 徳永修一, “技能の分析・伝承に関する総合的研究 (研究課題番号: 16310114) ”, 科学研究費助成事業 2004 年度研究実績報告書 (2004).
- (139) 宗澤良臣, 梶原康博, 徳永修一, “技能の分析・伝承に関する総合的研究 (研究課題番号: 16310114) ”, 科学研究費助成事業 2006 年度研究実績報告書 (2006).
- (140) 山本孝, “熟練技能伝承システムの研究 ー生産マネジメントから MOT への展開ー”, 白桃書房 (2004).
- (141) 小学館辞典編集部, “使い方の分かる類語例解辞典”, 小学館 (2003).

第 2 章

普通旋盤作業者の注視行動分析

第2章 普通旋盤作業者の注視行動分析

2.1 諸言

機械加工の技能伝承については、これまでも多くの議論がなされている。中でも、技能要素やノウハウを抽出し、体系化⁽²⁰¹⁾や可視化⁽²⁰²⁾、デジタル化⁽²⁰³⁾⁽²⁰⁴⁾といった技能の暗黙知の部分形式知とする手法についての研究は、古くから取り組まれてきた。一方、伝承された技能の習熟度評価には、技能検定の利用が多くみられるが、実作業との乖離が指摘され⁽²⁰⁵⁾、練習時間や試験時間が長く非効率であるため、問題である。

そこで、作業者の技能習熟度を簡単に、そして客観的に評価する手法が必要となる。このような手法の中に、注視行動分析を利用した技能の評価に関する検討がなされており、その多くは技能評価の有効な手段の一つとして結論付けられている。

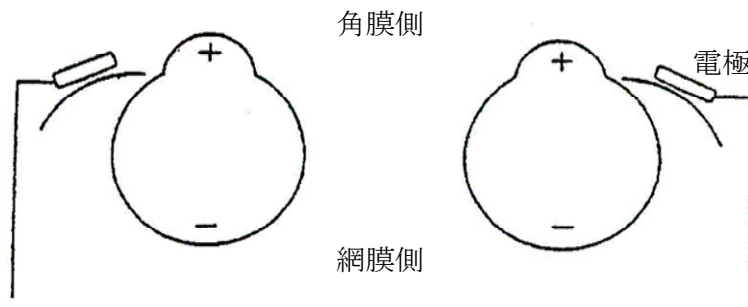
本章では、機械加工技能の場合でも、注視行動分析により技能の評価、すなわち作業の習熟度の評価が可能であることを明らかにすることを目的とした。その手段として、まず、機械加工の代表格ともいえる普通旋盤作業を取り上げ、その作業時の眼球運動を、アイカメラを用いて計測し、専用分析ソフトにより注視行動分析を行なった。つぎに、作業者の注視行動と、技能習熟度との関連を調べ、機械加工作業の技能評価に利用できることを立証した。

2.2 注視行動分析のための眼球運動計測

2.2.1 計測原理

注視行動分析は、人の眼球運動を計測することができる特殊な機器である「アイカメラ」を用いることによって、人がどこをどのように見ているのかといった特徴を明らかにするための手法である。主な眼球運動の計測原理⁽²⁰⁶⁾は以下のとおりである。

- (1) EOG 法：図 2-1 に EOG 法の概念図を示す。角膜部が網膜部に比べ $10\sim 30\mu\text{V}$ の正の電位を有することを利用し、目の回りに電極を貼り、生体アンプで増幅して測定する。外部の電磁ノイズに弱く、精度はあまりよくないが、検出範囲が広く、目を閉じてでも検出できる。



Electro-oculographyを利用
(角膜部が10~30 μ Vの正の電位を有する)

図 2-1 EOG 法

- (2) 強膜反射法：図 2-2 に強膜反射法の概念図を示す。目に弱い赤外光をあて、白目と黒目の反射率の違いにより目の動きを検出する。簡単で比較的安価に検出できる。外部光の影響に弱く、直接外部光が入らない状況で使用する必要がある。

角膜（黒目）と強膜（白目）の反射率の違いを利用

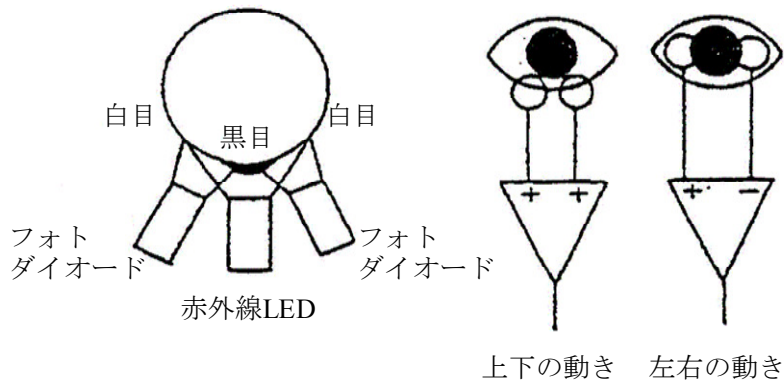


図 2-2 強膜反射法

- (3) 角膜反射法：図 2-3 に角膜反射法の概念図を示す。角膜上の近赤外 LED の虚像が、角膜と眼球の回転中心の違いにより、眼球運動に伴って平行移動するのを、赤外感度を持つビデオカメラで検出する。角膜上の角膜反射像をビデオカメラで確認でき、センサの装着が容易であるが、時間的・空間的解像度は、カメラの解像度とフレーム周波数に依存する。

角膜の曲率中心 O' と眼球の回転中心 O が異なることを利用

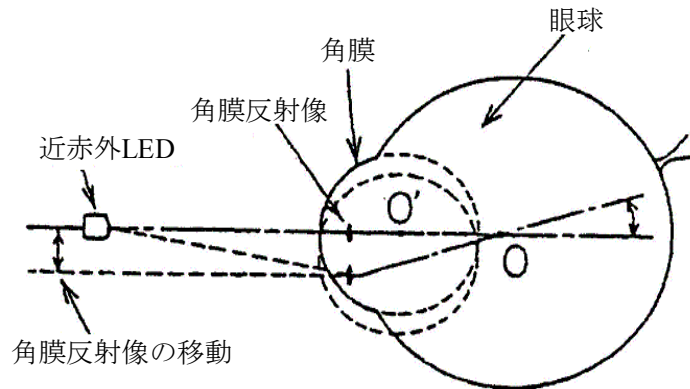


図 2-3 角膜反射法

- (4) 瞳孔／角膜反射法：図 2-4 に瞳孔／角膜反射法の概念図を示す．原理は角膜反射と同じであるが，瞳孔中心も同時に抽出する．瞳孔中心を基準として，虚像の中心の動きで眼球運動を検出するため，顔面からセンサが多少動いても検出可能である．

角膜反射法と同じであるが、瞳孔中心を基準とする

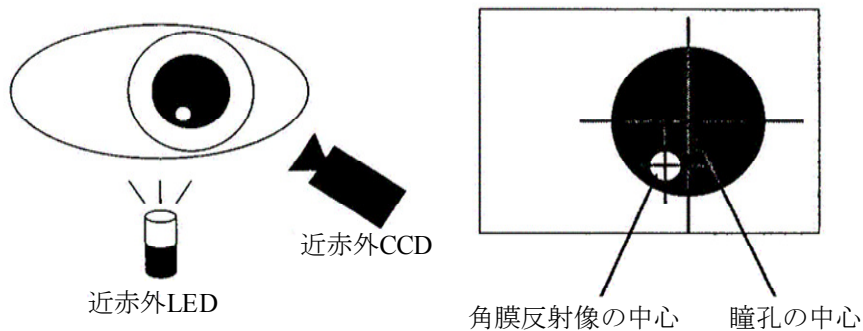


図 2-4 瞳孔／角膜反射法

- (5) サーチコイル法：図 2-5 にサーチコイル法の概念図を示す．被験者は，コイルを巻いたコンタクトレンズを装用し，磁場コイルにより発生させた磁界の中に入り，実験を行なう．眼球運動の検出は，被験者が装用したコンタクトレンズのコイルに，磁界となす角度に比例した電位が発生することを利用してしている．きわめて精度がよく，torsionと呼ばれる，眼球軸方向の回転も検出できる．しかし，特殊なコンタクトレンズを用いるため，被験者への負担が大きく，長時間の装着は困難となる．

コイルを埋め込んだコンタクトレンズの位置を計測し検出

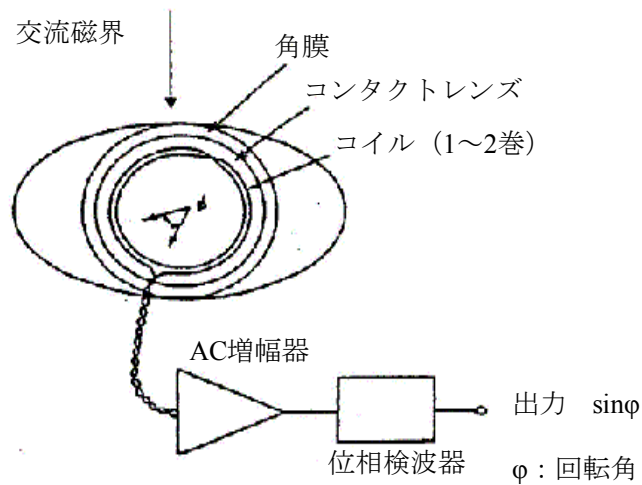


図 2-5 サーチコイル法

2.2.2 アイカメラ

眼球運動分析を行うために用いるアイカメラは、被験者がどこを見ているかをモニタ上に注視点（アイマーク）として表示する注視点計測装置で、測定機器を被験者の身に付ける接触型と、測定機器を身に付けない非接触型の2種類に分類される。図 2-6 の様な接触型は、測定器を取り付けた帽子やメガネなどを頭に被る、あるいは着用することにより測定を行うもので、被験者は自由に動き回ることができる。そのため適用範囲は非常に広がるが、眼球運動に頭部の回転運動が含まれてしまう。



図 2-6 接触型アイカメラ



図 2-7 非接触型アイカメラ

他方の図 2-7 のような非接触型は被験者が何も身に付けるものがないので、眼球運動計測を行っていることを意識させず、日常に近い状況で計測を行うことができる。しかし、

被験者に与える刺激は、頭部の動きが不要で、眼球運動のみで視対象に追従できる程度の視野範囲のものに限られるので、ディスプレイなどからが多い。また、機器の形態が据え置き型となるため、被験者が動き回って計測はきわめて困難となり、適用範囲は狭くなる。

本研究では、接触型アイカメラであるナックイメージテクノロジー社製の EMR-8 を用いた⁽²⁰⁷⁾⁽²⁰⁸⁾。この装置は、瞳孔/角膜反射法を採用しており、両眼の注視点位置と視野映像を同時に計測・記録が可能である。角膜反射像の位置、瞳孔中心位置、眼球の回転角度の関係は、原理的に図 2-8 のように表わされる。被験者の目に近赤外 LED 光を照射し、センサーカメラ（近赤外 CCD）で撮影すると、近赤外光が、図 2-9 の瞳孔映像内に示すような輝点として角膜反射像が写る。この瞳孔映像に画像処理を施し、図 2-10 に示すような瞳孔と角膜反射像のみを抽出する。角膜反射像と瞳孔の位置関係は、図 2-11 に示すように被験者の向いている方向により異なるので、角膜反射像の中心から瞳孔中心までの距離と方向から眼球角を算出し、注視点位置（アイマーク）を求めている。眼球の大きさや角膜の曲率半径などは人によって異なるため、正確な回転角度を求めるために、キャリブレーションを行なう。ゆえに、被験者が変わる毎にキャリブレーションは、必ず行なう必要がある。

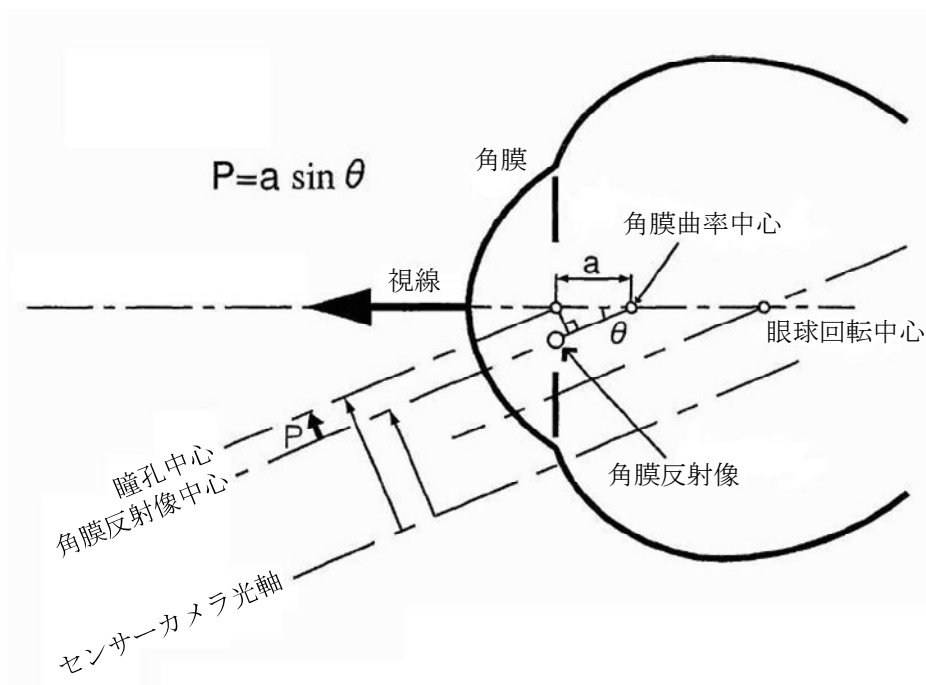


図 2-8 瞳孔/角膜反射法の計測原理

データの検出レートは 29.97Hz で、視野カメラ（水平画角 92deg、垂直画角 69deg）の映

像と両眼の注視点位置を同時にデジタルビデオカメラに記録する。記録されるデータは、視野映像、瞳孔映像、そして、アイマークと呼ばれる注視点位置などがデジタルビデオテープに記録される。これらのデータは、アイカメラと同じナックイメージテクノロジー社製の解析ソフト「EMR-dFactory」を用いることで、実験後に様々な解析が行なえる。EMR-8のシステム構成を図 2-12 に、主な仕様を表 2-1 に示すとともに、図 2-13 に得られたデジタルビデオテープに記録されたデータの一例を示す。なお、図 2-13 中の「□」と「+」はアイマークであり、「□」が右目、「+」が左目を表わす。

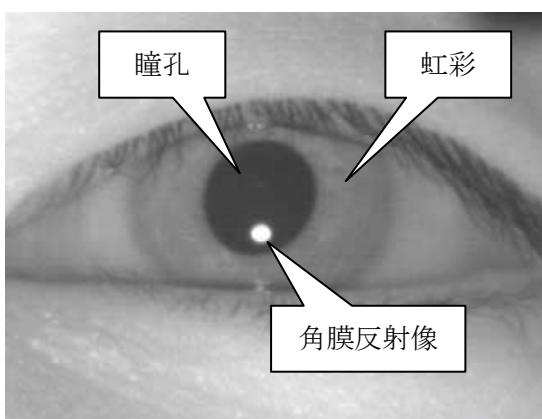


図 2-9 瞳孔映像

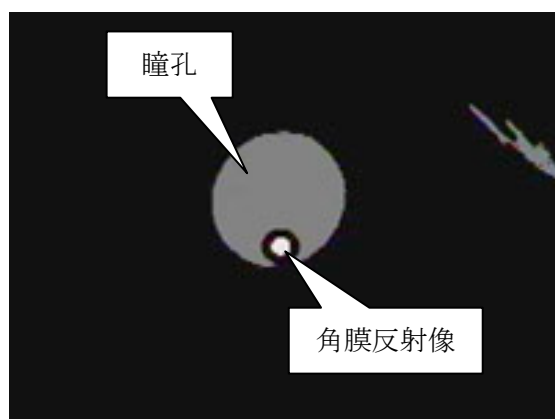
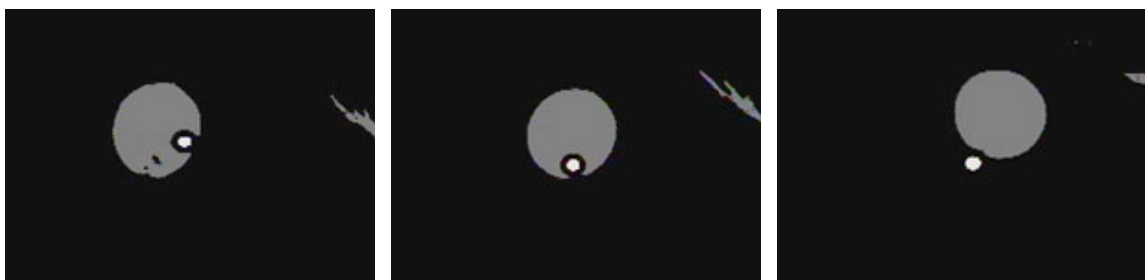


図 2-10 画像処理した瞳孔映像



(a) 右方向

(b) 正面

(c) 左方向

図 2-11 角膜反射像の位置

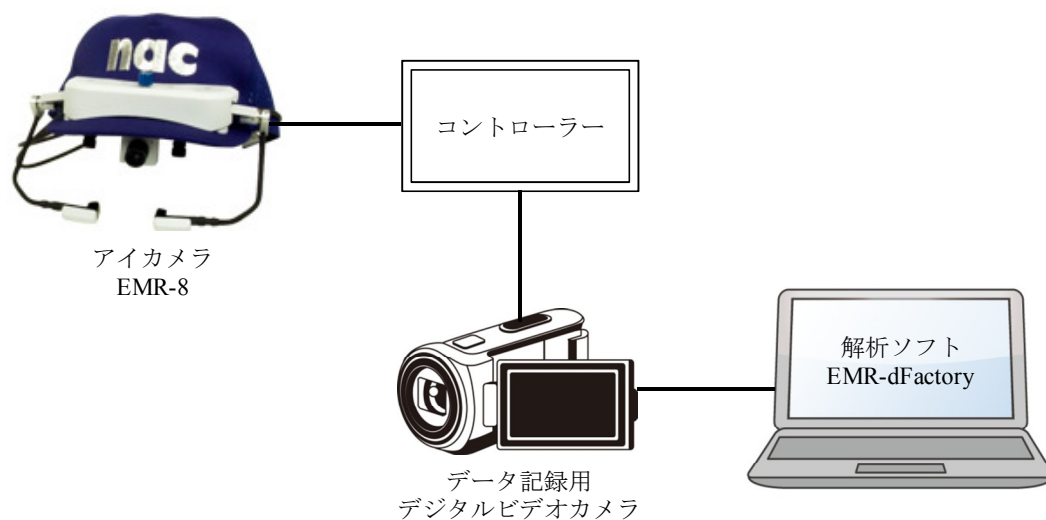


図 2-12 EMR-8 のシステム構成

表 2-1 EMR-8 システムの主な仕様

ヘッドユニット（装着部）	
視野カメラ	検出センサ：1/4インチカラーイメージセンサ，有効画素数：512(H)×492(V)
	レンズ水平面角：44°，62°，92°，115°（レンズ交換式）
アイマーク 検出ユニット	検出センサ：1/4インチB/Wイメージセンサ，有効画素数：320(H)×240(V)
	測定範囲：40°円（44°，62°，92°視野カメラレンズ装着時）
	検出方式：瞳孔／角膜反射方式
	検出レート：29.97Hz（両眼検出時）
	検出分解能：眼球運動：0.1° 瞳孔径：0.02mm
重量	約300g
コントローラー	
出力信号	視野映像／瞳孔映像信号，XY座標，瞳孔径，フレーム番号
外形寸法	約186（W）×100（H）×250（D）mm
重量	約2.7kg
解析ソフトEMR-dFactory	
解析項目	アイマーク／瞳孔径時系列表示，停留点データ解析，輻輳角時系列表示，瞬目解析，注視領域，注視項目
OS	Windows XP



図 2-13 アイカメラデータ

2.2.3 眼球運動計測の流れ

本研究中のアイカメラを使った眼球運動計測は、図 2-14 に示すような流れで行なった。被験者には、実験の目的、内容を十分に説明し、インフォームドコンセントを得るとともに、アイカメラのケーブルなどが作業の妨げにならないように十分配慮した。

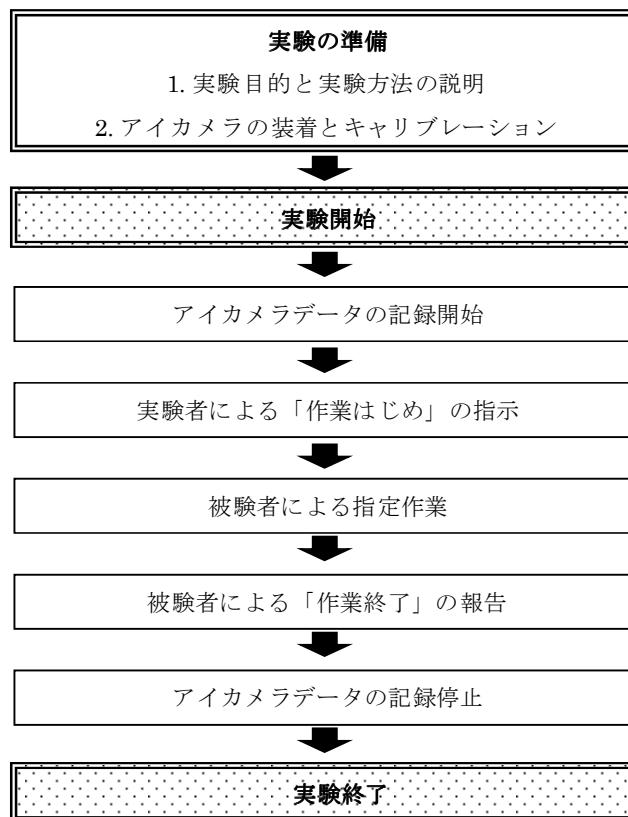


図 2-14 アイカメラを使った実験の流れ

2.3 普通旋盤作業中の注視行動分析

実験は、普通旋盤作業の技能の習熟度と、作業者の注視行動との関係を調べるために、実際の作業を行っている時の作業者（被験者）の眼球運動を計測し、注視行動分析を行った。被験者は、技能の習熟度が明確となるような基準により上級者と初心者に分け、アイカメラにより記録されたビデオデータを比較した。加工課題は、初心者でも簡単に加工できるような外径切削加工のみの課題を設定した。

2.3.1 被験者、実験課題および実験機材

被験者には、初心者のグループとしては、職業能力開発大学校の学生7名（すべて19歳男性）を選び、一方の上級者のグループは、技能五輪全国大会の現役選手2名（21歳，22歳，ともに男性）を被験者とした。実験課題は、図2-15に示すようなS45Cの黒皮丸棒材を、3回の外径切削加工を行うもので、表2-2に示す切削条件や切削工具を使用した。

被験者の眼球運動の計測は、先に述べた接触型アイカメラ（ナックイメージテクノロジー社製EMR-8）を用いた。また、採取したデータの分析には、アイカメラと同じナックイメージテクノロジー社製の解析ソフト「EMR-dFactory」を用いた。また、被験者の着衣は、図2-16に示すような安全作業に適したものとし、切り屑飛散による眼球損傷を防止するための保護メガネを着用することとした。

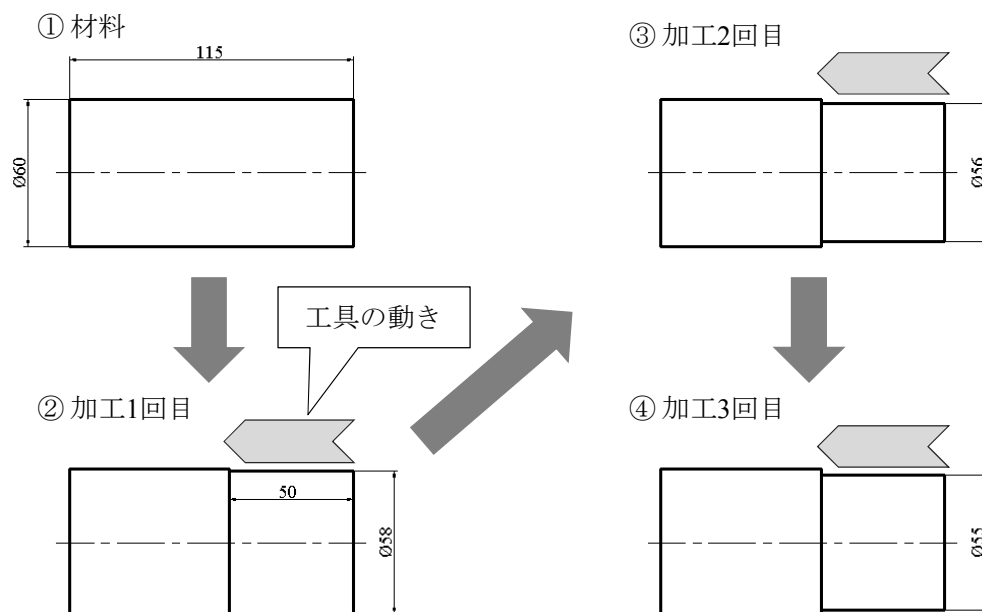


図 2-15 実験課題の加工手順

表 2-2 切削条件

材料	S45C φ60×115 (黒皮材)	
主軸回転数	1200rpm	
送り速度	0.2mm/rev	
切込量	1, 2回目	1mm
	3回目	0.5mm
チップ	超硬コーティング	
切削油剤	乾式	



図 2-16 実験中の様子

2.3.2 注視点移動時間と工具送り停止時間の採取

通常の普通旋盤作業において、自動送り装置を使用している時の作業者の主な役割は、正常な加工が行なわれているか確認するための監視作業となる。加工状況の監視中にも上級者と初心者の注視行動の差が見いだせる可能性もあったが、加工中に飛び散る切り屑により、細目で監視している被験者が多く、アイカメラのビデオデータに記録されるアイマークが消失してしまい、エラーとなる場合があった。そこで今回は、自動送りから手動送りに切り替わる時の注視行動に注目した。

本実験では、普通旋盤で自動送り装置のレバーを操作し、自動送りから手動送りへと切り替わり、作業者の注視点、加工点から縦送りハンドルへ移動するまでの時間を注視点移動時間 Δtm とした。また、自動送りから手動送りへ切り替わり、被験者が縦送りハンドルを操作するまでの時間は、工具の送りが停止しているため、これを工具送り停止時間 Δts とした。注視点移動時間の計測は、アイカメラのビデオデータを1コマ毎に目視で確認し、

自動送り装置のレバーを操作することで、工具の送りが停止したコマから、縦送りハンドルの目盛にアイマークが移動するまでのコマ数をカウントすることで行なった。工具送り停止時間の計測も同様に、ビデオデータのコマ数でカウントしたが、カウント始めを工具送り停止のコマとし、カウント終わりを縦送りハンドルの操作開始のコマまでとした。なお、自動送り装置の操作レバーは、被験者の視界から外れている位置にあり、手探りでの操作となるため、その操作の様子は、ビデオデータに記録されない。したがって、工具送り停止は、ビデオデータで切り屑の排出停止を目視で確認できたコマからとした。ここで、自動送り装置のレバーを操作したときを $th1$ 、切り屑の排出停止のコマを tc 、被験者の注視点が加工点から縦送りハンドルへ移動し始めたときを $te1$ 、縦送りハンドルの目盛に被験者の注視点が移動したコマを $te2$ 、縦送りハンドルを手動で操作し始めるコマを $th2$ としたとき、注視点移動時間 Δtm と工具送り停止時間 Δts の関係を、記録されたビデオデータと時間的流れとともに図 2-17 に示す。

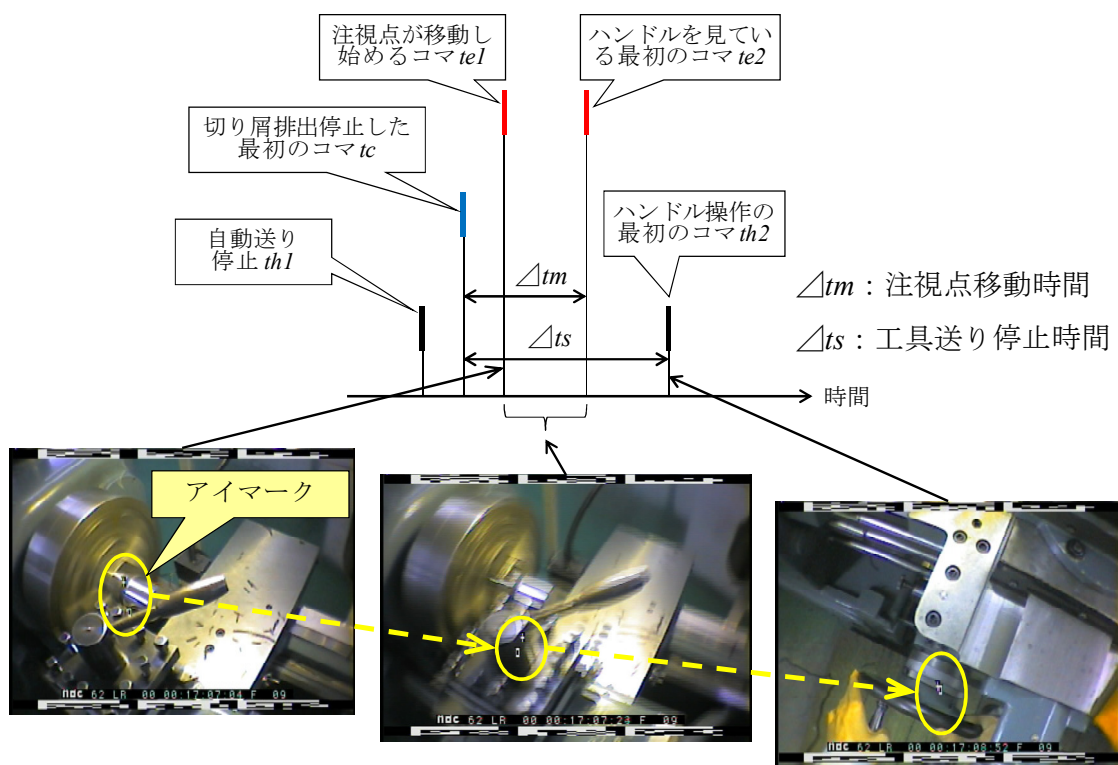


図 2-17 計測した注視点移動時間

今回の加工課題では、S45C の丸棒材を 3 回の外径切削加工を行うものなので、課題を 1 回加工することで、3 つの注視点移動時間データが得られることになる。また、各被験者の

データの採取は、日をずらして 2 回ずつ行い、アイマークの消失などで採取できなかったデータは、破棄した。

2.3.3 注視点移動時間と工具停止時間の実験結果

本実験の結果をとめたものを、図 2-18 に示す。まず、技能五輪全国大会の選手を被験者とした上級者のグループの実験結果は、注視点移動時間 Δtm の平均が 0.19 秒で最大が 0.23 秒、最小が 0.17 秒であった。一方、初心者のグループの注視点移動時間 Δtm の平均は 0.50 秒で、最大が 0.80 秒、最小が 0.33 秒であった。

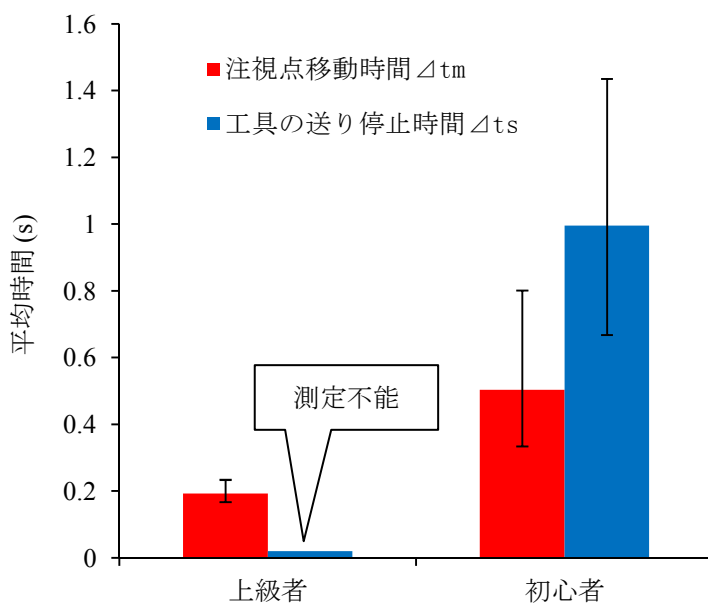


図 2-18 上級者と初心者の平均注視点移動時間と工具送り停止時間

つぎに、上級者と初心者の注視点移動時間は、明らかな差があるかを確認するため、マン・ホイットニーの U 検定により、危険率 5% で有意差検定を行った。その結果、有意差が確認されたので、上級者の注視点移動時間と初心者のそれとは明らかな差があり、上級者の方が短時間で注視点が移動していることが確認された。

また、上級者のグループは、最大値と最小値の差が 0.06 秒であったのに対し、初心者のグループの最大値と最小値の差は、0.55 秒となった。この結果から、上級者の注視点移動時間 Δtm のばらつきは、きわめて小さいといえる。

一方、工具送り停止時間 Δts については、注視点縦送りハンドルの目盛に移動してから、

縦送りハンドルを操作し始めるまで若干のタイムラグがあり、工具停止時間は、注視点移動時間よりもさらに長くなっていることがわかる。初心者の工具送り停止時間 Δt_s は、注視点移動時間 Δt_m よりも明らかに長く、注視点移動時間が、縦送りハンドルの目盛に移動してから、ハンドルを操作し始めるまでに、かなりのタイムラグがあることがわかる。ところが、上級者の工具送り停止時間は、アイカメラのビデオデータからは採取できなかった。これは、上級者は、注視点移動時間が縦送りハンドルに移動したとき、すでにハンドルを操作し始めていたため、上級者の工具送り停止時間は、注視点移動時間よりもきわめて短いと考えられる。

2.4 普通旋盤作業の作業経験時間と注視点移動時間との関係

2.4.1 実験の概要

普通旋盤作業中の注視行動分析では、自動送りから手動送りに切り替える際に加工点から縦送りハンドルへ注視点移動する時間は、習熟度が高いとされる上級者のほうが初心者より明らかに短いという結果を得た。

習熟度が高いということは、低いとされる人よりも作業を経験する時間が多いとするのが妥当である。すなわち、作業を経験するにつれて、注視点移動時間は短くなることが考えられる。そこで、普通旋盤作業の作業経験時間と注視点移動時間の関係を確認するための実験を行った。

2.4.2 被験者と実験方法

被験者は、職業能力開発大学の学生の中から、技能検定普通旋盤作業 2 級の受検を予定している者 3 名（すべて 20 歳男性）を選んだ。そして、技能検定試験準備のための練習時間の累積を作業経験時間とし、練習時間の計測は、技能検定普通旋盤作業の実技試験受検のための練習をする中で、被験者みずから記録してもらった。この練習時間には、実加工時間だけでなく、加工機の始業前点検や工具の準備、練習終了前の清掃や給油などの日常行なわれる自主的なメンテナンスの時間も含まれる。このような普通旋盤にかかわるすべての作業を行った時間の増加にともない、注視点移動時間がどのように変化するかを調査した。実験に用いた加工課題、および実験機材は、普通旋盤作業における注視点移動時間の違いを調べた実験と同様のものを使用した。なお、本実験期間中、被験者は技能検定試験準備のための練習以外では、普通旋盤作業を行っていない。

2.4.3 実験結果

実験から得られた作業経験時間と平均注視点移動時間の関係を図 2-19 に示す。平均注視点移動時間は、1 回のデータ採取で 3 つの注視点移動時間データが得られるので、その平均値を求めたものである。この図から、3 名の被験者とも、作業経験時間が増加すると、平均注視点移動時間が短くなっていることがわかる。そこで作業経験時間と平均注視点移動時間に相関があるかを明らかにするために、回帰直線の算出と、相関係数に関する検定を行った。その結果、すべての被験者について危険率 5% で、作業経験時間と平均注視点移動時間には有意な相関があると認められた。

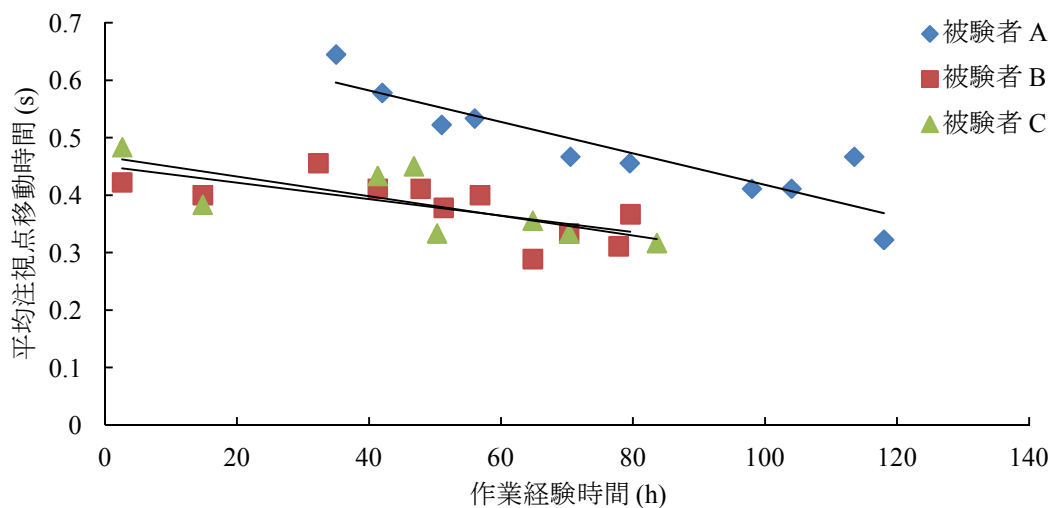


図 2-19 作業経験時間と平均注視点移動時間の関係

2.4.4 練習を中断した被験者の注視点移動時間

普通旋盤作業の作業経験時間と注視点移動時間の関係を調べた実験では、作業経験時間として技能検定試験の受検準備のための練習時間を利用したので、技能検定試験までは日常的に練習を繰り返していたが、試験後は、その目的がなくなるため、被験者は、練習をしなくなる。作業の練習により習熟度が向上した被験者でも、作業をしなければ、習熟度は低下し、それに伴って注視点移動時間も長くなることが推察できる。そこで、試験後、練習を中断した被験者の注視点移動時間を測定することにした。

実験の方法や実験課題は、作業経験時間と注視点移動時間の関係を調べた実験とまったく同じものを使用し、被験者には図 2-19 に示した被験者 B と被験者 C に協力してもらった。その結果を図 2-20 に示す。この実験では、間隔をあけて、実験のためだけに 1 回のみ加工

したので、横軸には測定日を用いた。

試験前の平均注視点移動時間は両被験者とも、0.3 秒台にまで小さくなっていった。しかし、練習をしなくなった被験者の平均注視点移動時間は、被験者 B が約 0.62 秒、被験者 C が約 0.64 秒と、繰り返し練習を重ねていた試験前よりも明らかに長くなった。

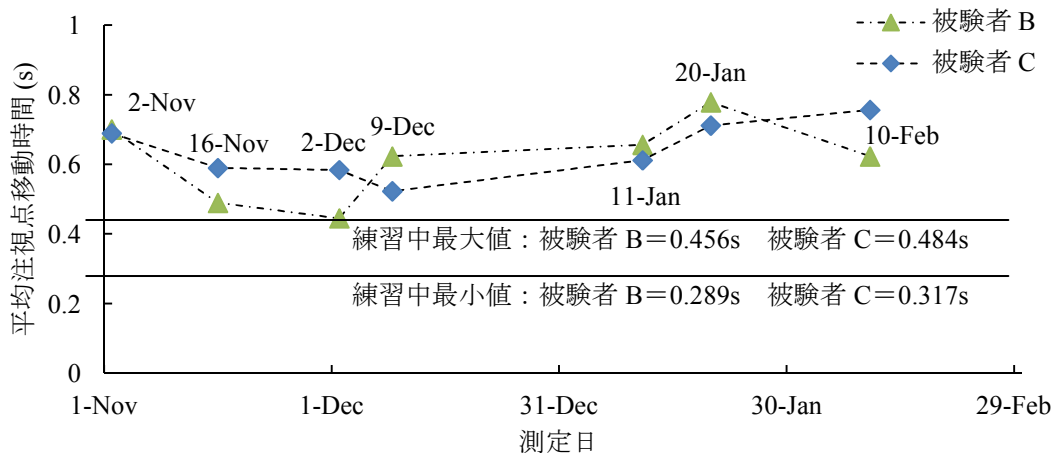


図 2-20 練習を中断した被験者の注視点移動時間

2.5 普通旋盤作業中の注視行動分析の結果に関する考察

二つの実験をとおして、普通旋盤作業時の注視点移動時間は、その習熟度が高くなるにつれ、短くなることがわかった。作業を繰り返し行うことでも、注視点移動時間が短くなることも確認された。また、上級者の注視点移動時間は、ばらつきがきわめて小さく、常に一定の注視点移動時間を維持しながら、作業を進めていたことが明らかになった。

しかし、被験者がそのまま練習を続ければ、上級者の被験者である技能五輪選手と、同程度の習熟度となるのであろうか。技能五輪選手の平均注視点移動時間の 0.193 秒になるにはどの程度の練習が必要かを図 2-19 で求めた回帰直線から算出したところ、160～185 時間となり、国内最高峰の技能を持つといわれる技能五輪選手に、この程度の練習時間で同程度の習熟度を持てると考えると、あまりに短い。

一般的に、普通旋盤の技能五輪選手の多くは、技能の伝承や企業の PR を目的として組織された企業内技能五輪チームに所属している。そして、彼らは業務として技能五輪に参加し、好成績を収めることを目的に、日々練習に取り組んでいる。今回の実験で被験者となった技能五輪選手たちも同様である。そこで、このような条件を前提に技能五輪選手になるまでの時間を試算した。1 日の勤務時間を 8 時間、1 ヶ月の稼働日数を 20 日として計算

すると、1ヶ月の練習時間は160時間となる。初出場を目指す選手が4月から練習を開始したとして、技能五輪全国大会は毎年10月に開催されているので、6ヶ月間は技能五輪全国大会のための練習を行なっていることになり、その時間は約960時間におよぶ。

通常、技能の練習を繰り返し行なうと、その成果は上昇していく。技能が上達する様子をグラフで示すと、図2-21のようになる。このような曲線を「技能習熟曲線⁽²⁰⁹⁾」と呼ぶが、この図は、典型的な技能習熟曲線をモデル的に示したもので、練習に伴って習熟度がどのように変化するかを描いている。練習初期のころは、習熟度の伸びは著しく現れる。このころの習熟度の伸びは、急上昇する。さらに練習を続けると中期には、伸びはやがて緩やかになり、そして後半になると曲線は、水平に近く直線的になる。すなわち、いくら練習をしても習熟度がほとんど向上しなくなり、飽和した状態となる。一般的に、どのような技能においても同様の経過をたどることが知られている。

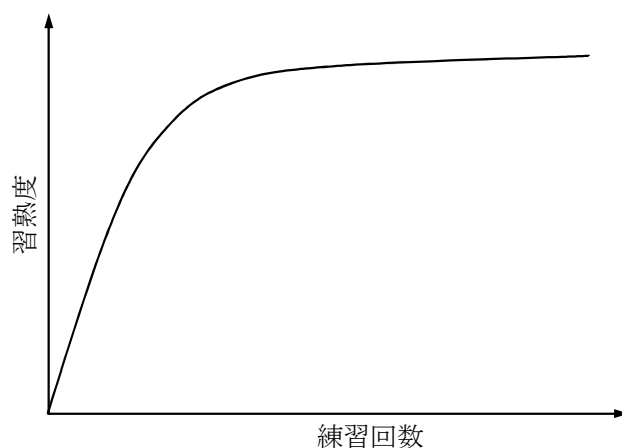


図 2-21 技能習熟曲線

そこで、今回の被験者たちがこのまま練習を続けた場合、どのような経路をたどって技能五輪選手と同レベルになるのかを考えてみた。その結果を図2-22に示す。この図のように、練習時間（作業経験時間）に対する平均注視点移動時間の減少は比例関係が続くのではなく、図2-19で求めた回帰直線は、ある時点からなだらかになり、平均注視点移動時間は、徐々に技能五輪選手のそれに近づいていくと予想した。これは、図2-22で示した技能習熟曲線に近似し、今回の初心者グループの被験者が、練習初期の段階であるため、練習を重ねることで急激に習熟度が向上し、それにともない、注視点移動時間も短くなったといえる。さらに、技能五輪選手の注視点移動時間のばらつきがきわめて小さかったことか

ら、初心者グループの被験者がそのまま練習を続けた場合、ある一定の注視点移動時間に近づき収束していくことで、そのばらつきも小さくなっていくと考えられる。

一方で、練習をまったくしなくなる、すなわち、練習を続けなければ習熟度も低くなることになり、注視点移動時間も大きくなることも明らかになった。

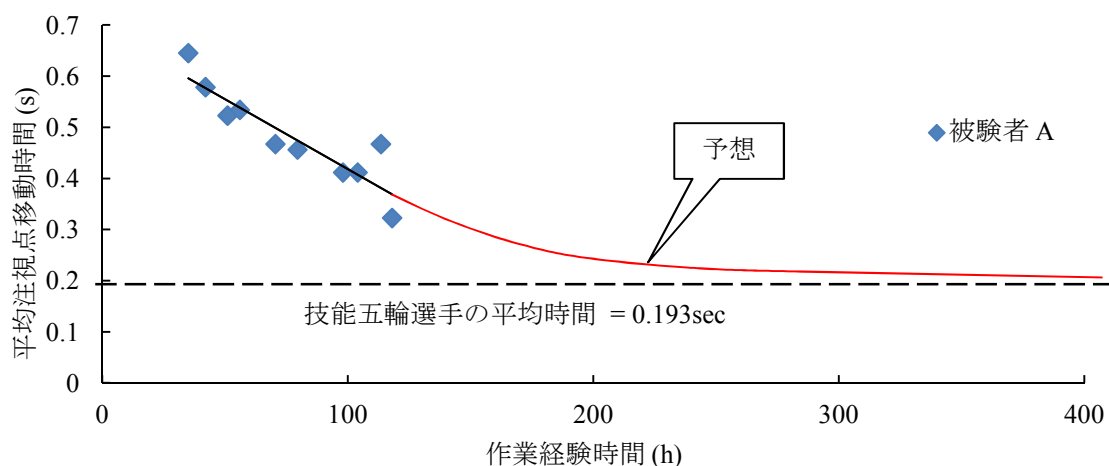


図 2-22 平均注視点移動時間の変化の予想（被験者 A のみ）

2.6 結言

普通旋盤作業者の注視行動分析により、以下のことが明らかになった。

- (1) 普通旋盤作業時の注視点移動時間は、作業者の習熟度が高いほうが短い。
- (2) 上級者の注視点移動時間は、ばらつきがきわめて小さく、一定の注視点移動時間を維持しながら作業を進めている。
- (3) 初心者は、工具送り運動の停止が明らかに確認できたのに対し、上級者は、今回の実験方法では送り停止時間が確認できないほどの短時間で、スムーズに自動送りから手動送りに切り替えている。

以上より、普通旋盤作業者の注視行動と技能習熟度には関連があることが明らかとなったので、本章の目的である注視行動分析による機械加工作業の技能評価は、十分可能であるといえる。

第2章の参考文献

- (201) 職業能力開発総合大学校能力開発研究センター編, “高度熟練技能者の作業分析とデジタル化 板金作業編 (自動車板金, 曲げ板金) 調査研究報告書”, 職業能力開発総合大学校能力開発研究センター, No.121 (2004), pp.3.
- (202) 小野里雅彦, “きさげ作業における技能の分析とそのモデル化”, 計測と制御, 37-7 (1998), pp. 495-498.
- (203) 亀山雄高, 成瀬哲也, 水谷正義, 狛豊, 佐々木慶子, 大森整, 澤田浩之, 松木則夫, “技能継承の支援を目的とした切削加工技能の抽出・体系化ツールの開発”, 日本機械学会論文集 C 編, Vol. 75, No. 757 (2009), pp. 90-92.
- (204) 亀山雄高, 水谷正義, 成瀬哲也, 狛豊, 佐々木慶子, 大森整, 澤田浩之, 松木則夫, “技能継承ツール「加工テンプレート」の開発とそれを用いた特殊形状品の切削加工技能の可視化”, 砥粒加工学, 53-12 (2009), pp. 741-744.
- (205) 厚生労働省, “「人財立国・日本」の基盤整備－技能・ものづくりが尊重される社会の実現に向けて－「技能検定職種等のあり方に関する検討会」報告書”, 平成 18 年 9 月 5 日報道発表資料 (2006).
- (206) 東海大学情報通信学部情報メディア学科山田研究室 HP, “眼球運動”, <http://www.ds.u-tokai.ac.jp/mymd/eyemovement.htm> (参照日 2013 年 9 月 23 日).
- (207) 水野重智, 細谷 昭三, “近赤外を使った眼球運動計測技術”, 映像情報メディア学会技術報告, Vol.23, No.17 (1999), pp. 7-10.
- (208) 株式会社ナックイメージテクノロジー編, “EMR-8 取り扱い説明書”.
- (209) 森和夫, “技の学び方 教え方”, 中央職業能力開発協会 (2002).

第 3 章

普通旋盤加工における

工具送り停止が加工性状におよぼす影響

第3章 普通旋盤加工における工具送り停止が加工性状におよぼす影響

3.1 緒言

第2章で述べた実験により、普通旋盤作業中の注視点移動時間は、その習熟度が高くなるにつれ、短くなることがわかった。そして、上級者の注視点移動時間は、ばらつきがきわめて小さく、常に一定の注視点移動時間を維持しながら、作業を進めていたことが明らかになった。また、工具送り停止時間については、さらに大きな差があることがわかった。

工具送り停止中は、加工作業の進捗が止まっている状態となるだけでなく、工作物や工具へ様々な影響が考えられる。筆者の経験では、自動送りを停止させた瞬間に、工具の刃先から火花が発生し、刃先が欠損する場合があった。また、加工面の表面性状は、自動送り部分と手動送り部分で目視によっても明らかな差が見られ、工具送り停止部分の加工面は、指で触れただけでも凹凸の有無がはっきりとわかることがある。このような現象は、ある程度の経験を持つ熟練技能者であれば知っている場合が多い。熟練技能者たちは、この理由を探求するよりも、どうしたらこのような悪影響を低減できるかという観点から、彼ら自身が、自動送りから手動送りへの移行を円滑かつ短時間で行うことを、習熟度を向上させる過程で必然的に身に付けたものである。ゆえに、熟練技能者が、経験によって身に付けた理由を明らかにすることは、技能伝承の際の要点となりうるだけでなく、注視行動分析を技能の評価に適用することの有意性を示すことにもなる。

一方で、経済的な機械加工を実現する上で、工具寿命の延長は大きな課題となる。工具寿命は、切削速度に強く依存する⁽³⁰¹⁾ことは広く知られていて、その判定は、工具刃先の摩耗状況によって行なわれるのが一般的である⁽³⁰²⁾。しかし、実際の加工では、切削速度以外の切削条件、被削材、使用機械、工具の取り付け方、切削油剤の有無など、多くの加工環境条件の変化により、ばらつきが見られることもよく知られている⁽³⁰³⁾。

また、工具摩耗は、工具刃先の温度に依存し⁽³⁰⁴⁾、工具刃先の温度についての研究⁽³⁰⁵⁾⁽³⁰⁶⁾も古くから行なわれている。近年では、高速断続切削時の工具摩耗と切削温度の関係を取り扱ったもの⁽³⁰⁷⁾や、高硬度材を加工したときの工具摩耗と切削温度の関係を取り扱ったもの⁽³⁰⁸⁾⁽³⁰⁹⁾など、広範囲での議論が展開されている。

さらに、加工面の表面性状については、加工品の性能面に関する要求だけではなく、美観

からもその製品の価値が左右される重要な機械加工の評価指標のひとつであるが、これについても切削条件や加工環境条件の影響を強く受けることがわかっている⁽³¹⁰⁾⁽³¹¹⁾。

本章では、第 2 章で明らかになった初心者に多く見られる注視点移動中の工具送り停止は、加工結果にどのような影響をおよぼすかについて、NC 旋盤を用いて、工具摩耗、加工表面性状、加工中の刃先温度を調査することにより明らかにすることにした。そして、機械加工作業者の技能習熟度と加工結果の関連から、技能伝承の要点を抽出し、その有用性を確認することを目的とした。

3.2 工具送り停止時間が工具摩耗と加工表面性状におよぼす影響

工具の送りの停止による工具の刃先への影響は、刃先と被削材とのあいだに擦れが起きることで、工具摩耗が急激に進行することが考えられる。また、加工表面性状については、螺旋状の切削痕から円周状の切削痕に変化することや、図 3-1 のように、工具送り停止により送り分力が失われ、弾性変形していたバイトが元に戻ることで、工具刃先が被削材に食い込み、凹凸が発生すると予想できる。しかし、これらの詳細については、過去の研究報告を調査したが、筆者らでの調査では見当たらなかった。そこで、工具送り停止時間による工具摩耗や表面性状への影響を明らかにするための実験を行った。

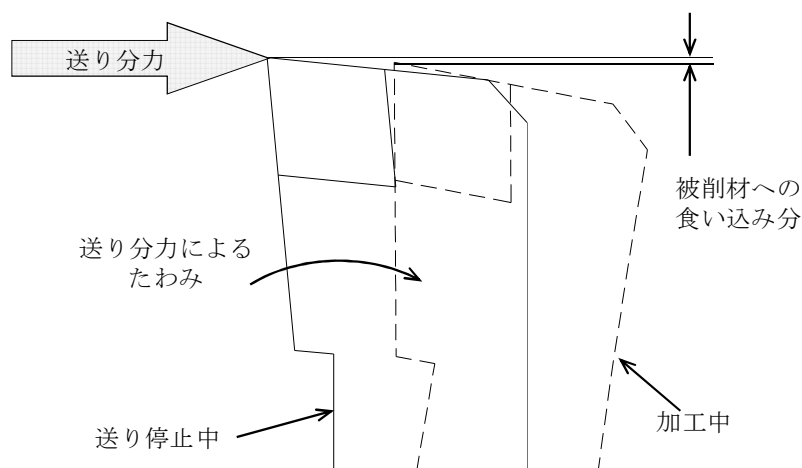


図 3-1 送り分力によるバイトのたわみ

3.3 実験機材と実験方法

この実験では、工具送り停止時間や送り速度をできるだけ正確に管理する必要があったので、普通旋盤ではなく、森精機製 CNC 旋盤 NL2000 を用いた。被削材は、これまでの実

験同様φ60mmのS45C黒皮丸棒材とした。その他の切削条件は、表3-1のとおり。加工内容は、図3-2に示すように、長さ10mm加工した後、NCプログラムのドゥエルモーションにより工具を停止させ、その後再度加工することを繰り返した。工具送り停止時間は、ドゥエルモーションのドゥエルタイムにより変化させた。加工後、工具摩耗と表面性状の測定し、それぞれのデータを採取した。実験の評価に用いたデータは、同一条件で3回加工したものの平均値とした。

表 3-1 切削条件

材料	S45C φ60×115 (黒皮材)
切削速度	200m/min
送り速度	0.2mm/rev
切込量	1mm
チップ	超硬合金
切削油剤	乾式
切削長	750mm
送り停止回数	75回
1回の停止時間	0~3sec

工具摩耗の評価は、工具寿命の指標として一般に使用される逃げ面摩耗幅によるものとした。ここで、1回あたりの工具停止時間を t_s (sec)とし、逃げ面摩耗幅を VB (μm)とする。この VB の測定には、キーエンス製のハイスピードマイクロスコープ VW-9000 を用いた。逃げ面摩耗面と非摩耗面の境界線は、一様ではなかったため、マイクロスコープのモニターから、目視で確認できる最大の部分と最小の部分の平均値を逃げ面摩耗幅とした。

刃先の摩耗の状態と測定の様子の一例を図3-3に示す。なお、図3-3内の各測定値は、 a が逃げ面摩耗幅最大部分、 b が逃げ面摩耗幅最小部分、そして、 c は境界摩耗幅である。なお、境界摩耗幅については、停止時間が0.1秒以下の場合や、連続加工の時などは観察できないものもあったので、ここでは参考値として取り扱った。

加工表面性状の測定は、実験当初、表面粗さによるものを検討したが、指で触れただけでも表面の凹凸を確認できたにもかかわらず表面粗さの値には、加工表面の送り停止部分を跨いで測定したものと跨がずに測定したものとに、ほとんど差が見られなかった。そこ

で今回は、表面うねりの W_a (μm)と W_z (μm)⁽³¹²⁾により評価を行うことにし、その測定には、東京精密製の表面粗さ測定機 SURFCOM 1500SD3 を用いた。

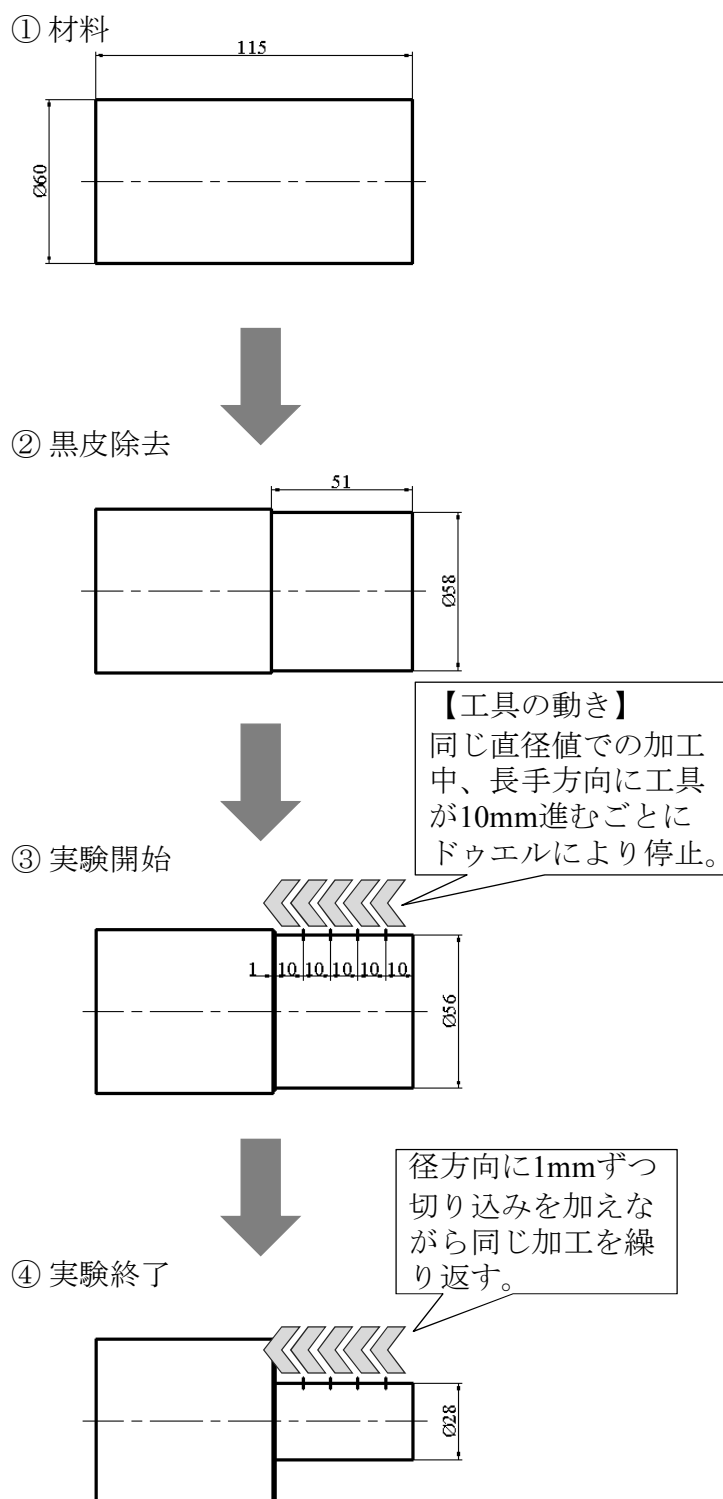


図 3-2 加工手順

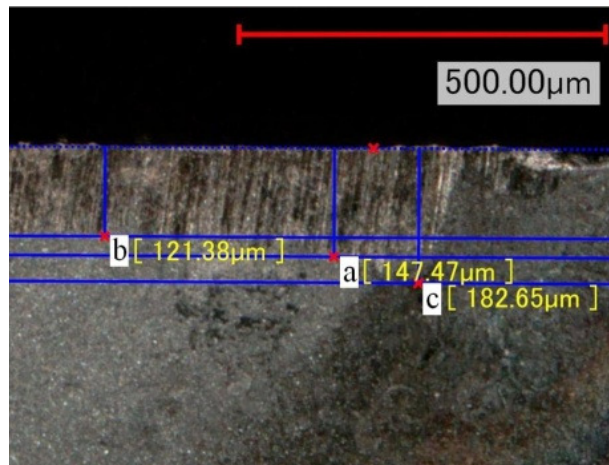
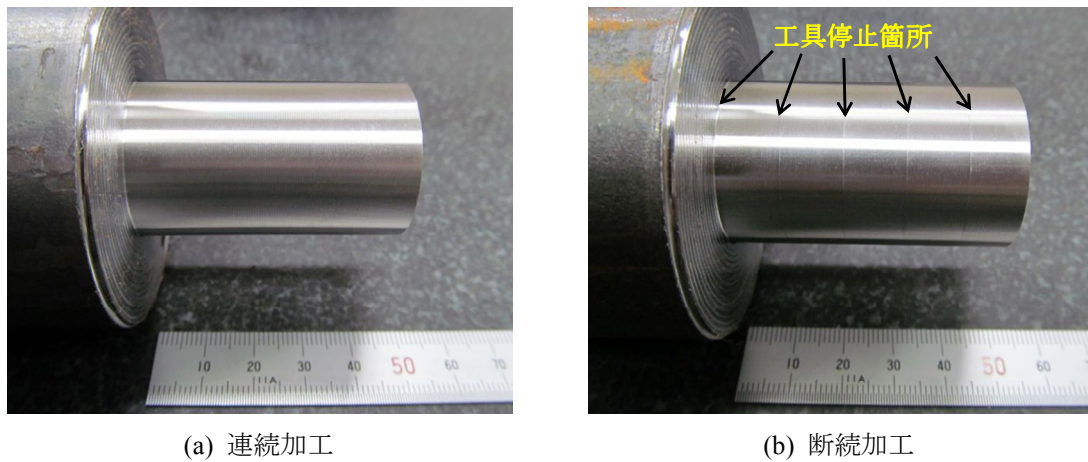


図 3-3 逃げ面摩耗幅の測定

加工した試験片の様子を図 3-4 に示す. 図 3-4(a)は送りの停止を行わなかった連続加工のもので, 図 3-4(b)は, 送り停止の動作を行った断続加工のものであり, 送りを停止した部分には, 円周方向の切削痕が確認できる. 表面うねり W_a と W_z は, 切り屑の絡みつきや, 加工中の切り屑飛散により加工面に衝突することで生じる傷が見られたものもあったので, 4つの切削痕のうち, 傷の少ない3つを跨ぐように表面粗さ測定機の測定子を走査させて測定した.



(a) 連続加工

(b) 断続加工

図 3-4 試験片の加工面

3.4 表面うねり

表面うねりは, 表面粗さより低い周波数を持ち, 幾何偏差よりは高い周波数をもつ幾何形状で, 表面粗さと同じようなパラメータで定義されるうねり曲線と, ろ波うねり曲線と

転がり円うねり曲線がある。ろ波うねり曲線は、断面曲線から波長が短い表面粗さの成分を低域フィルタによって除去して得られる曲線であり、転がり円うねり曲線は、一定の半径の円板（転がり円）で断面曲線をたどったときの円の中心の軌跡である。図 3-5 にうねり曲線の抽出手順を示す。また、断面曲線から粗さ曲線とうねり曲線を抽出する際の帯域通過フィルタの伝達特性を図 3-6 に示す。さらに、断面曲線から粗さ曲線とうねり曲線を抽出した例を図 3-7 に示す。

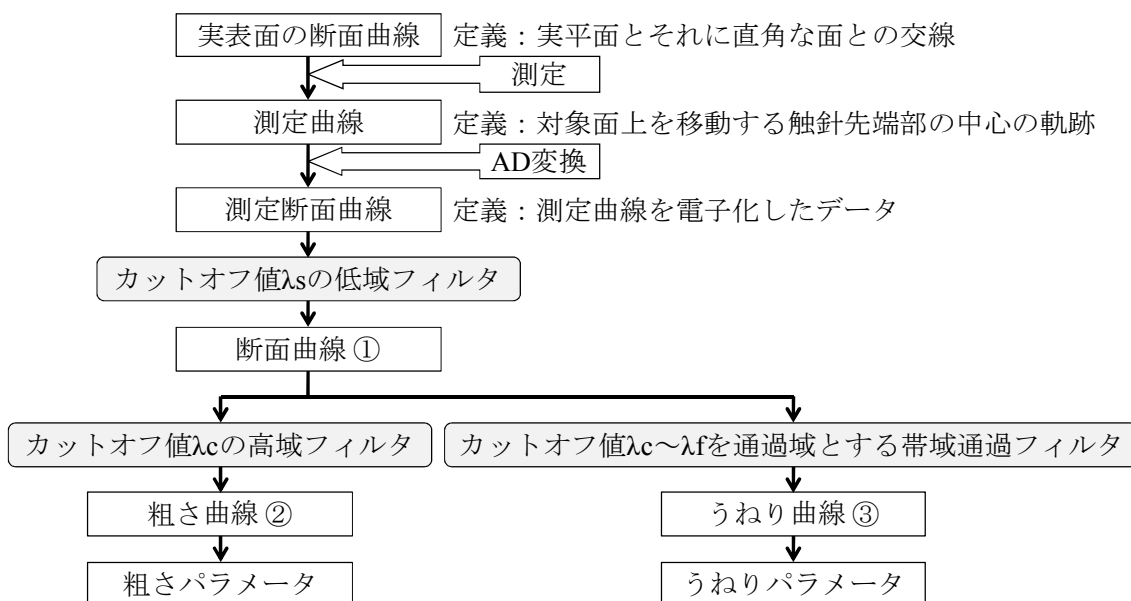


図 3-5 粗さ曲線とうねり曲線の抽出

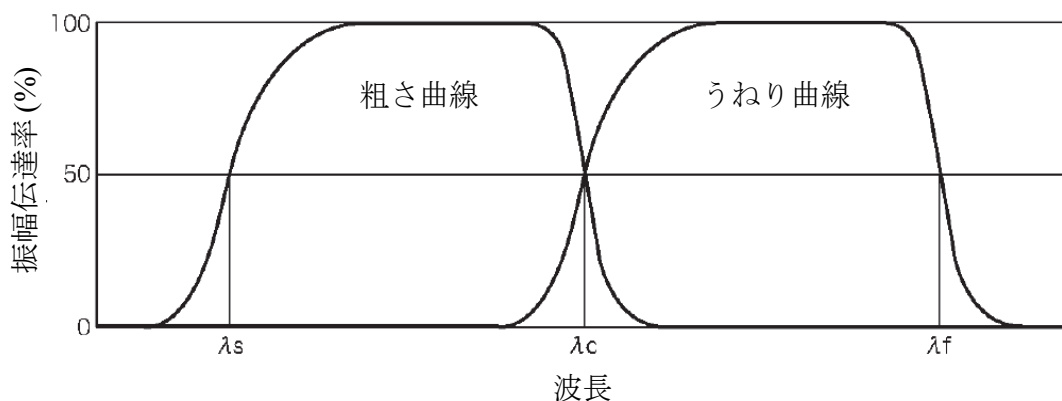
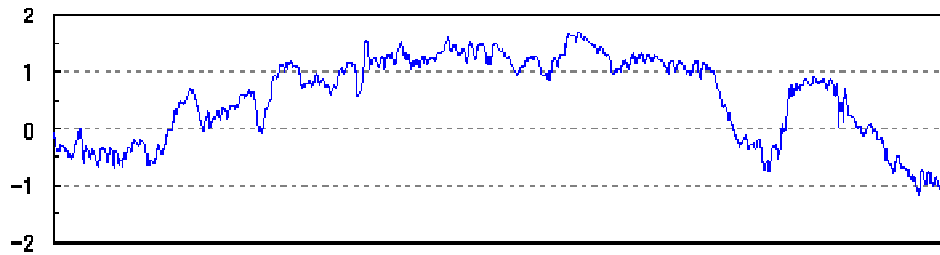
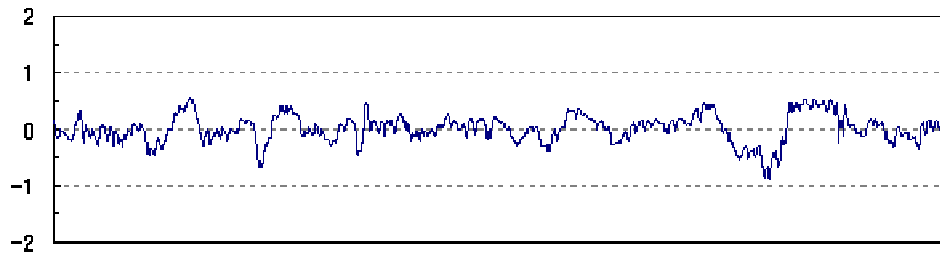


図 3-6 粗さ曲線とうねり曲線の伝達特性

① 断面曲線（断面曲線＝粗さ曲線＋うねり曲線）



② 粗さ曲線



③ うねり曲線

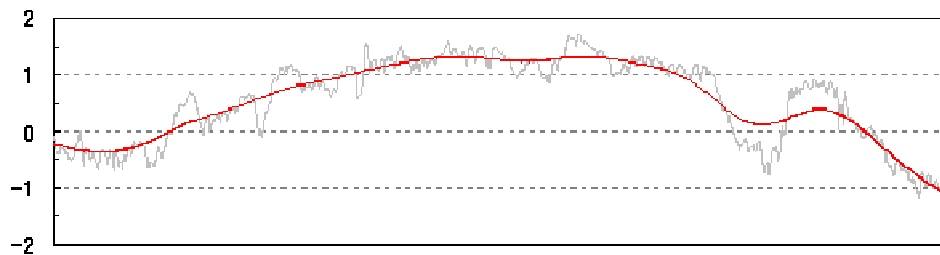


図 3-7 断面曲線，粗さ曲線およびうねり曲線の関係

得られたうねり曲線から，うねりパラメータを求める．本研究で使用したうねりパラメータは，算術平均うねり W_a と最大高さうねり W_z である． W_a と W_z は粗さパラメータの算術平均粗さ R_a と最大高さ粗さ R_z と同じもので，粗さ曲線から求めるか，うねり曲線から求めるかの違いのみである．

3.5 実験の結果

3.5.1 工具送り停止時間と逃げ面摩耗幅の関係

実験で得られた1回の工具送り送り停止時間 t_s と逃げ面摩耗幅 VB の関係を図 3-8 に示す．この図からもわかるように，工具送り停止時間が長くなるにつれて工具摩耗が進行したが，とくに 0.1 秒以内は急激に摩耗が進行していた．一方で，0.1 秒を超えると摩耗の進行は穏やかになり，1 秒を超えたあたりから，摩耗は，ほとんど進行しなかった．また，図 3-8 の

横軸を対数目盛りとすると，図 3-9 のようになり，1 回の送り停止時間に対し，直線的に逃げ面摩耗が進行していることがわかる。

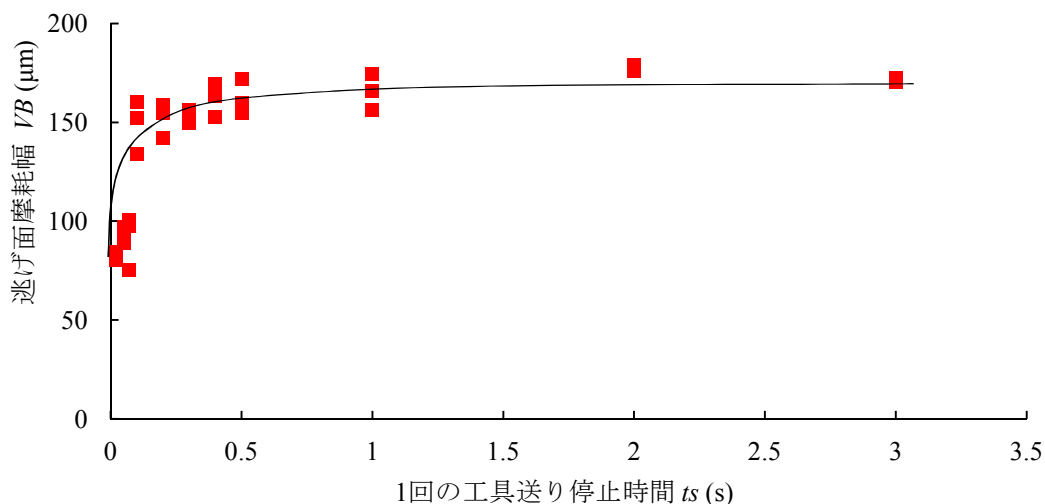


図 3-8 送り停止時間と逃げ面摩耗幅の関係

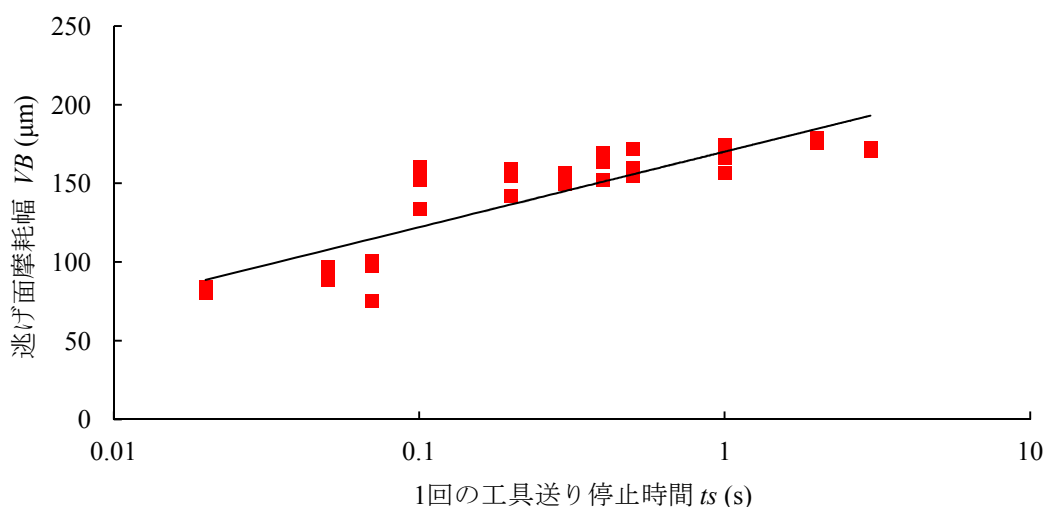
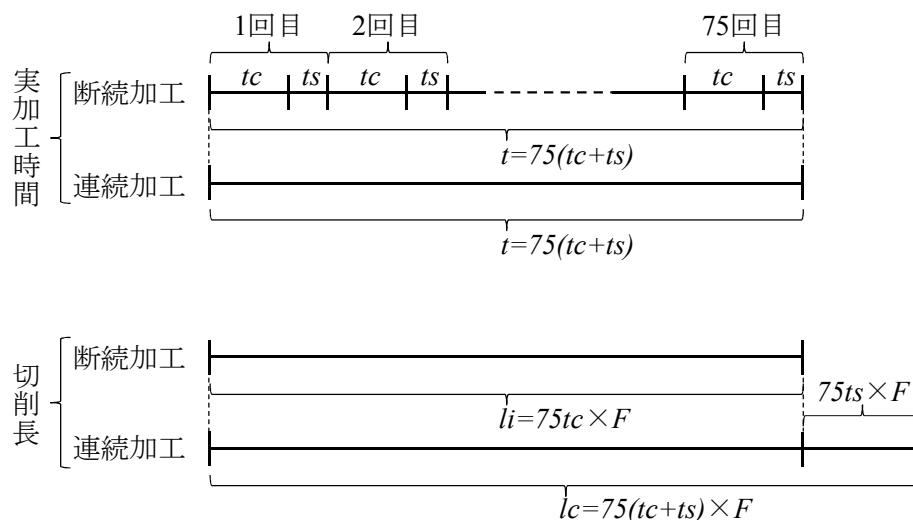


図 3-9 送り停止時間と逃げ面摩耗幅の関係（横軸対数目盛）

しかし，この工具摩耗の進行は，切削長の影響ではなく，停止時間が長くなる分，単純に工具刃先と被削材が擦れる時間が増加するためではないかと考えられた．そこで，これまでの断続加工に対し，図 3-10 に示すような実加工時間は同じであるが，送り停止時間の合計分だけ切削長を増加させた連続加工を設定し，逃げ面摩耗幅を測定した．その結果を図 3-11 に示す．この図から，工具を停止させても 0.1 秒未満では，連続加工の場合と逃げ面摩耗幅の進行に大きな差は見られなかったが，0.1 秒を超えたところから，断続加工は，

連続加工に対し、摩耗が約 50%増で進行した結果となった。



t_c : 1回の加工時間 t_s : 1回の工具送り停止時間 t : 実加工時間 F : 送り速度
 l_i : 断続加工時の切削長 l_c : 連続加工時の切削長

図 3-10 連続加工の条件

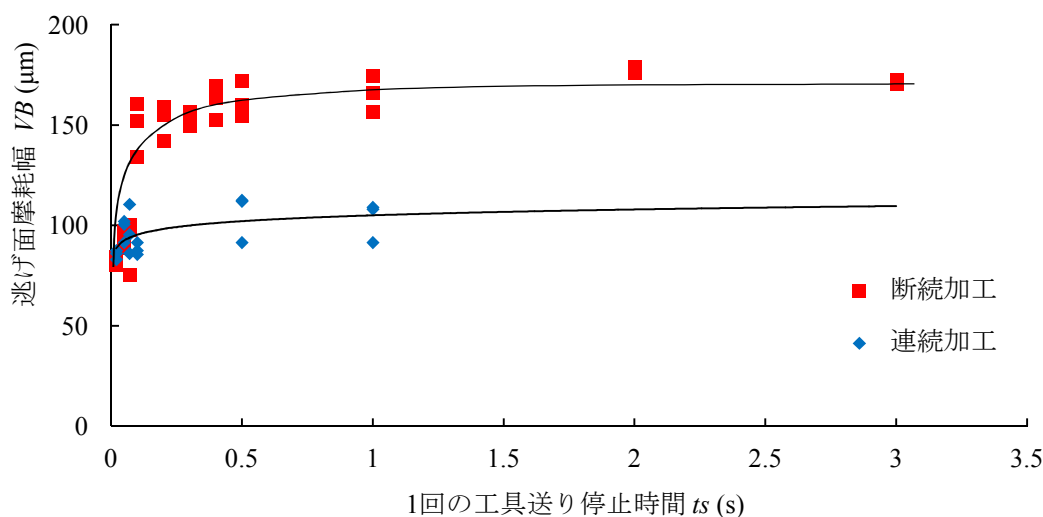


図 3-11 断続加工と連続加工の比較

3.5.2 工具送り停止時間と表面うねりの関係

工具送り停止時間の表面性状への影響について調べた実験の結果を図 3-12 に示す。この図からもわかるように、工具送り停止時間が長くなるにつれて表面うねりは、 W_a 、 W_z ともに増加しており、とくに W_z については、0.5 秒くらいまでは急激に大きくなっている。そ

の後、その増加はなだらかになる。一方、 W_z については、増加傾向にあるものの、その傾きは小さく、緩やかに増加した。この関係は、図 3-12 の横軸を対数目盛りとすると顕著に表れる。 W_a は、近似直線の傾きが小さいことから、 T に対する W_a の増加は緩やかであるが、 W_z は傾きが大きく、 T が小さいときは、とくに大きくなっている。

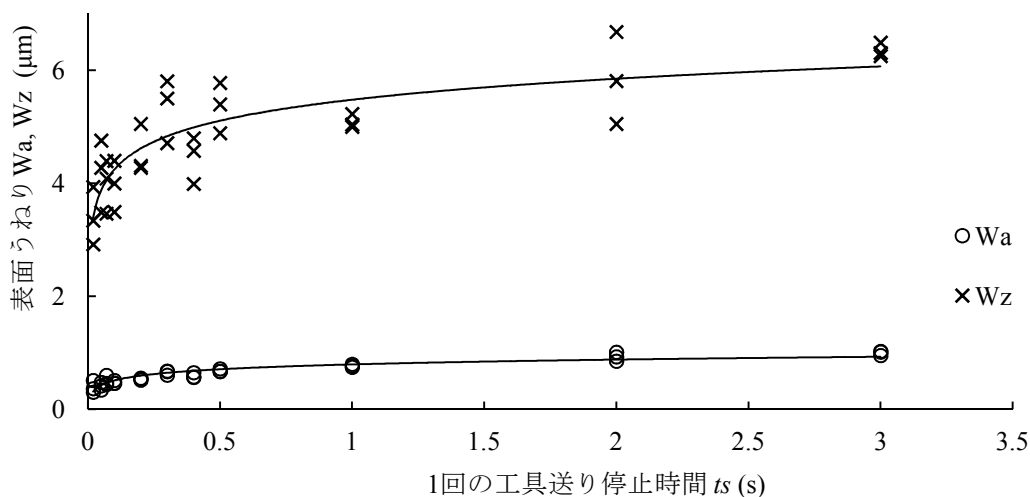


図 3-12 表面うねりの変化

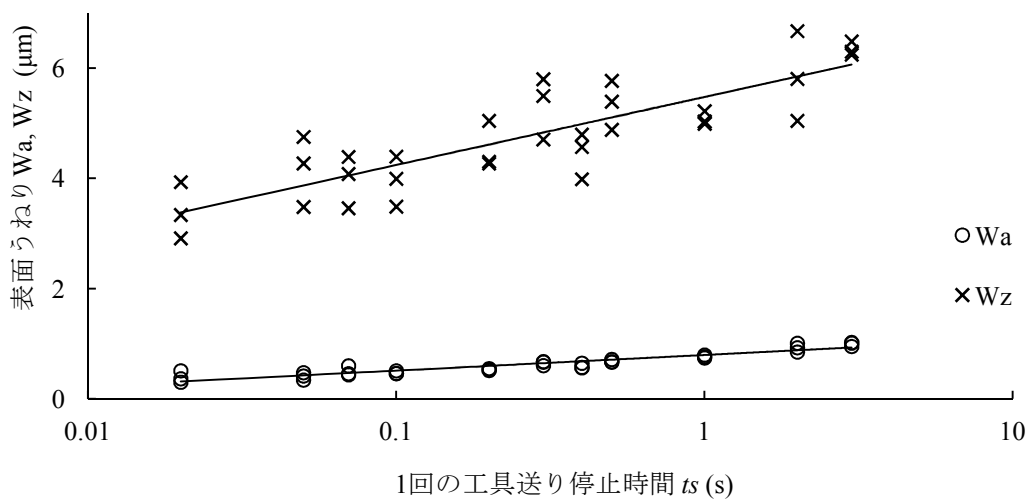


図 3-13 表面うねりの変化 (横軸対数目盛)

3.6 工具送り停止中の工具刃先温度の変化

工具送り停止は、工具摩耗を進行させることがこれまでの実験で明らかになったが、その理由までわかっていない。工具摩耗の進行は、刃先温度と密接な関係があり、刃先温度

の上昇は、工具摩耗を著しく進行させることが一般的に知られている。そこで、工具送り停止中の刃先温度をサーモグラフィにより測定し、工具送り停止による工具摩耗の進行の原因を解明する。

3.6.1 実験機材と実験方法

図 3-14 に実験中の様子を示す。実験の加工内容は、工具送り停止時間が及ぼす工具摩耗と表面うねりへの影響を調べた実験と同じものとしたが、加工機については、森精機製 CNC 旋盤 NL2000 では切り屑飛散防止のカバーや、工具を取り付ける構造のため、サーモグラフィによる刃先温度測定は困難である。そこで、この実験では、普通旋盤と同じ構造を持ち、CNC 制御による加工が行えるアマダワシノ製 CNC 旋盤 C-5D を使用した。サーモグラフィは FLIR 製 SC640 を用い、設定した温度測定範囲は 200～1500℃、フレームレートは 30Hz とした。工具送り停止時間は、3 秒間としてこの停止時間中の刃先温度の変化を測定した。同一直径での加工 1 回に対し、5 回の工具送り停止があるが、5 回目は、刃先が材料の影に隠れ、カメラで観察できなかつたので、材料先端から 4 回のデータを採用することとし、これを 3 回繰り返す、合計 12 回の工具送り停止時の刃先温度の測定を行った。ここで、刃先温度を T_e (℃) とする。

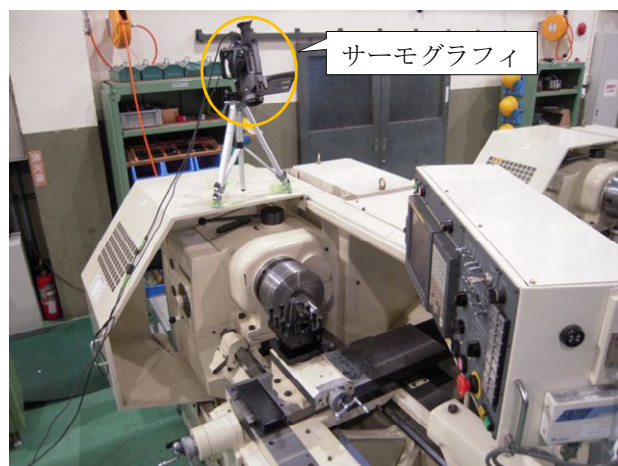


図 3-14 サーモグラフィによる刃先温度の測定

3.6.2 実験の結果

工具刃先温度の測定結果の一例を図 3-15 に示す。工具の送り運動を停止後 0.03 秒程度までは、一旦刃先温度は減少し、その後急激に上昇する。そして、送り運動停止後 0.1 秒から 0.15 秒程度で最高温度に達し、その後は急降下する。今回の 12 回の温度測定で観測された

刃先の最高温度は、平均で約 1130°C、その中でも最大は、設定した測定範囲の 1500°C を超える値も見られた。一方で、連続加工時の刃先温度は、約 850°C 程度となっているので、工具の送りを停止させることは、連続加工時と比較して、約 70% 増となる高温下に工具の刃先をさらす原因になることがわかった。

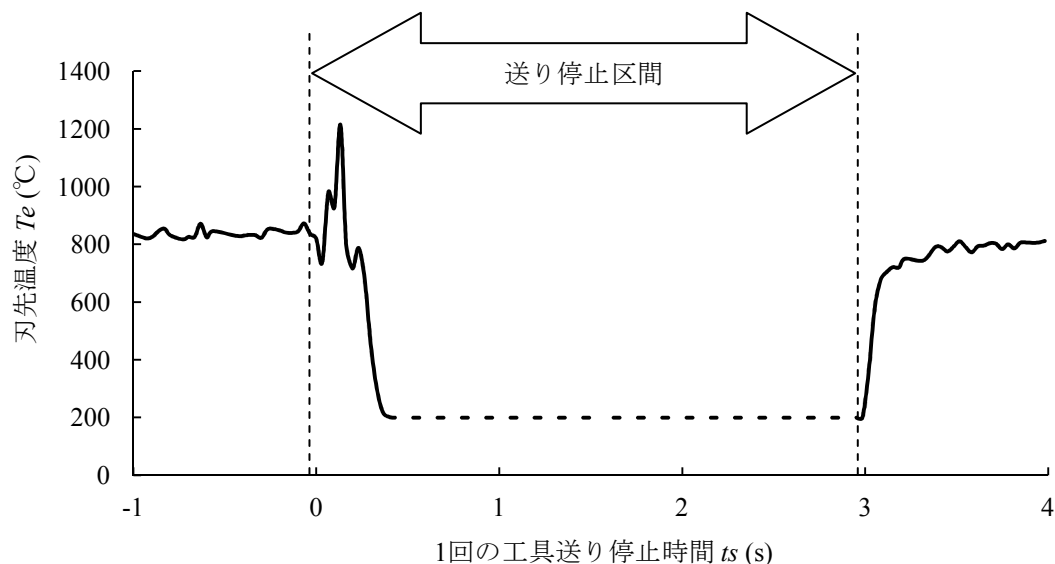


図 3-15 工具送り停止中の刃先温度の変化（一例）

3.7 工具送り停止による加工への影響を調べた実験の考察

実験により、工具の送りを停止させることは、明らかに工具摩耗を進行させ、工具寿命に大きな影響を及ぼすことがわかった。また、加工面の表面性状についても、切削時の切削抵抗の 3 分力間のバランスが崩れたことで、刃先が加工面に食い込み、連続加工時の表面性状とは異なる状況となり、これが表面うねりとなって現れた。

送り停止中の温度については、工具を停止した直後から急激に刃先温度は上昇し、1500°C を超える温度も記録された。送りが停止した瞬間に、それまで加工点に作用していた切削抵抗の 3 分力のひとつである送り分力が消滅する。加工中はこの送り分力により、バイトは、弾性変形を生じているが、この力がなくなることで、弾性変形していたバイトがもとに戻ろうとすることで、刃先が被削材に押しつけられるため、摩擦熱が発生し、工具摩耗を著しく進行させる結果となった。そして、ある一定時間が過ぎると、バイトの弾性変形がなくなるため、刃先が被削材に押しつけられなくなり、摩擦熱も小さくなるので、工具摩耗の進行はゆるやかになった。すなわち、工具を停止させることは、刃先が高温下にさらすことになり、その結果、急激に工具摩耗が進行させたと考えられる。しかし、上昇し

た刃先温度はその後、急激に降下し、今回の測定範囲を下回る 200℃以下の値となった。また、工具の送りが停止すると、送り方向の切込みがゼロになるので、刃先は被削材と擦れているだけの状態となり、刃先は、摩擦熱により刃先温度が上昇し、工具摩耗の進行を促進する結果となったと推察した。そこで、図 3-15 に示した結果に、図 3-8 で示した、工具送り停止時間と逃げ面摩耗幅の関係を重ね合わせたものを図 3-16 に示す。この図からは、工具送り停止後 0.1 秒付近で刃先温度が、急上昇するのとほぼ同時に逃げ面摩耗幅も急激に進行していることがわかる。すなわち、刃先温度がもっとも上昇するとき、工具摩耗がもっとも進行する時間が同じであることから、工具送りが停止することで局所的な摩擦が起こり、高温下に刃先がさらされることにより、工具摩耗の進行が促進されたといえる。

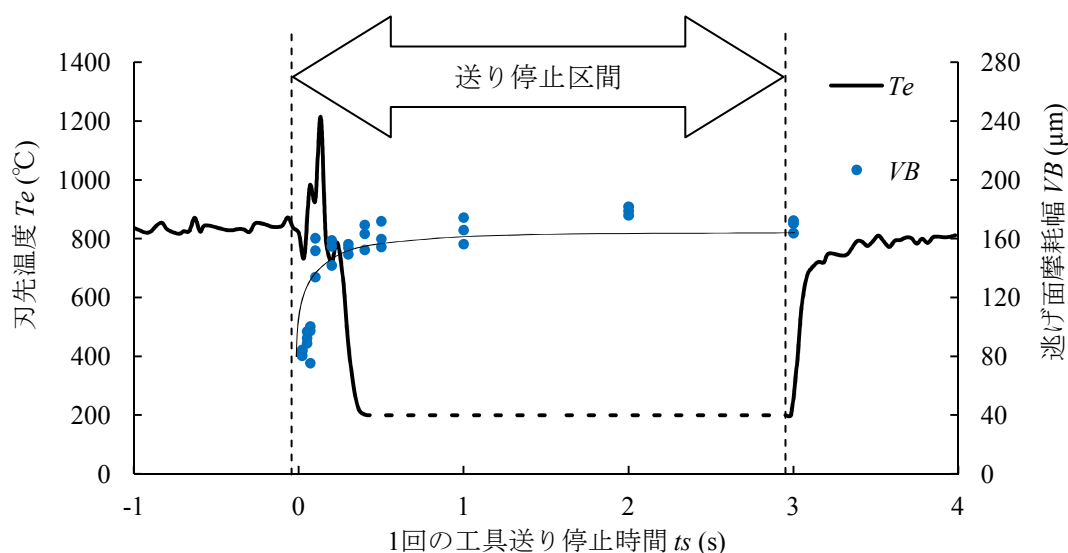


図 3-16 刃先温度と逃げ面摩耗幅

以上のことから、上級者が、工具の送りを自動から手動に短時間で移行するのは、工具摩耗を抑え、工具寿命を延長させるためであるとともに、表面性状への影響を極力低減させるためのものであると考えられる。そして、これを経験的に身につけており、工具寿命の延長や加工品の品質向上だけでなく、加工作業を短時間で完了させる効果にもつながり、さらなるコストダウンを実現する結果となっている。初心者への技能伝承の際は、このような理由とともに、意識的な旋盤操作を心がけた訓練を行なうことで、早期に技能習熟度を向上させることができる。

3.8 結言

工具の送り運動を停止が，加工結果にどのような影響を及ぼすかを検討した結果，以下のことがわかった．

- (1) 工具送り停止は，工具の刃先温度を急上昇させることになり，その結果，工具摩耗を著しく進行させる．
- (2) 工具の送り運動停止後 0.1 秒付近がもっとも工具刃先の温度が高く，工具の摩耗も著しく進行する．
- (3) 工具の送り運動停止は，わずかな時間でも加工表面性状にも明らかな変化をもたらし，その表面うねり Wz は，工具送り停止直後が急激に大きくなり，その後の変化は比較的なだらかである．

したがって，普通旋盤作業の上級者は，旋盤操作が加工結果にもたらす影響を体験的に知っていて，悪影響を防ぐためにスムーズな動作で作業を進めていることが示唆された．また，自動送りから手動送りへ切り替える際の工具送り停止は，加工結果への影響を最小限にするように，できるだけ短時間で行うことが望ましく，これが技能向上のための要点となる．さらに，本実験により，上級者の注視行動が，加工結果への影響を少なくするためのものであることが明らかになり，注視行動分析により抽出した技能伝承の要点が，有用であることを確認した．

第3章の参考文献

- (301) F. W. Taylor: “On the Art of Cutting Metals”, ASME, 28 (1907).
- (302) 小林輝夫, 水沢昭三, “旋盤作業の実技”, 理工学社 (2004), pp. 27.
- (303) 宮崎勝実: “工具学”, 大川出版, (2001), pp. 15.
- (304) 竹山秀彦, 村田良司, “工具摩耗の温度依存性”, 精密機械, Vol.27, No.312 (1961), pp.33-38.
- (305) E. G. Loewen, M. C. Shaw, “On the Analysis of Cutting Tool Temperature”, Trans. ASME, 1, 76 (1954), pp.217.
- (306) 奥島啓式, 下田隆二, “工具の刃先温度について”, 日本機械学会論文集, Vol.23, No.126 (1957), pp.73-77.
- (307) 臼杵年, 山根八洲男, 鳴瀧則彦, “高速断続切削時の工具摩耗と切削温度”, 精密工学会誌論文集, Vol.71, No.10 (2005), pp.1303-1308.
- (308) 由井明紀, 松岡浩司, 奥山繁樹, 北嶋孝之, 岡畑豪, “単結晶ダイヤモンド工具によるコバルトレス超硬合金の切削加工—第2報 加工雰囲気切削点温度と工具摩耗に及ぼす影響—”, 砥粒加工学会誌, Vol.54, No.10 (2010), pp.613-618.
- (309) 升田雅博, 野上輝夫, 溝渕啓, 長濱司, “焼入れ合金工具鋼の高速エンドミル加工時の工具寿命と切削温度”, 精密工学会誌, Vol.66, No.11 (2000), pp.1745-1749.
- (310) 狩野勝吉, “切削加工のトラブルシューティング”, 工業調査会 (2005), pp. 40.
- (311) 井上孝司, 伊藤哲朗, “仕上げ面あらさにおよぼす工具摩耗の影響に関する研究”, 大同工業大学紀要, Vol.23 (1987), pp.113-119.
- (312) JIS B0601-2013: 製品の幾何特性仕様 (G P S) —表面性状: 輪郭曲線方式—用語, 定義および表面性状パラメータ.

第 4 章

寸法測定作業者の注視行動分析

第4章 寸法測定作業者の注視行動分析

4.1 緒言

ものづくりの技能は、第1章でも述べたとおり、経験により人が身に付けたもので、「カン」・「コツ」といった、いわゆる暗黙知で支えられている場合が多く、その技能は主に、「切る」「削る」「曲げる」「みがく」「接合する」「測る」といったものがあげられる。この中でも、「測る」に当たる測定技能は、その他の主要な技能すべてに付随する共通の要素を有しており、測定技能がなければ、他の技能は成立しない。つまり、ものづくり技能者を育成する場合、測定技能の習得は、避けて通ることができないといえる。このことは、独立行政法人労働政策研究・研修機構（JILPT）の調査報告書「ものづくり産業における人材の確保—機械・金属関連産業の現状—（2008年度）」⁽⁴⁰¹⁾からも確認できる。この調査は、ものづくりの現場における環境変化とその中での経営課題を、各企業がどのように認識し、人材育成の方向性をどのように考えているのかを明らかにするために実施されたものである。これによると、ものづくりの現場が必要不可欠としている技能として「測定・検査」であると回答する企業が図4-1に示すように56.2%ともっとも多かった。つぎに回答が多かった「切削」が36.7%であったことを考えると、技能者育成において測定技能の習得は、産業界でも重要な課題であることがわかる。

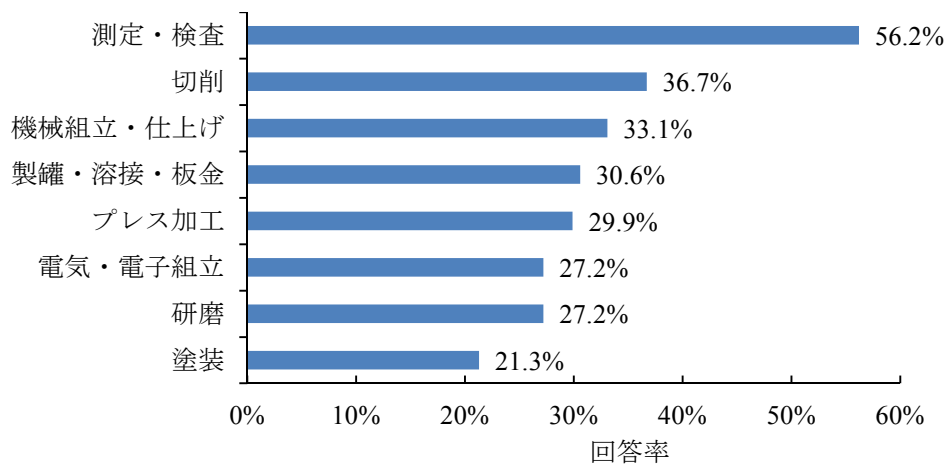


図 4-1 ものづくりの現場が必要不可欠としている技能（複数回答）⁽⁴⁰¹⁾

ものづくりのための測定技能と一言にいても、様々なものがあるが、ここでは、機械加工作業において、もっとも重要と思われる寸法測定作業に関する技能とする。この作業で求められるのは、ただしい寸法を短時間で得ることができ、それは何度繰り返しても、同一の結果となる技能である。すなわち、早く、正確に、何度でもできてこそ習熟度の高い測定の熟練技能者といえる。これは、機械加工工程における品質、コスト、納期のすべてに影響し、決して無視できないものであるだけでなく、機械加工作業者に必須とさせるものである。しかし、筆者の経験では、マイクロメーターなどによる寸法測定作業は、機械加工作業の中心ではなく、どちらかという付随的な作業と位置づけられ、残念ながら、軽視されてきた感がある。

そこで本章では、機械加工作業に含まれる寸法測定作業の代表格であり、ものづくり現場で多く使用されているマイクロメーターによる測定作業を取り上げ、測定作業者の注視行動分析をアイカメラと専用分析ソフトを用いて行ない、習熟度の違いによる注視行動の相違点を明らかにした。さらに、作業者の注視行動分析結果から、初心者への測定技能の訓練を効率的に行い、その期間を短縮化することを目的とした新たな技能伝承の要点を抽出することを目的とした。

4.2 寸法測定作業者の注視行動分析の実験方法

マイクロメーターによる測定技能の習熟度を示す目安に、技能の評価として広く一般に利用されている技能検定機械検査実技試験⁽⁴⁰²⁾の基準を利用するとともに、実験に使用する測定課題や測定のルールもこの内容を参考に設定した。技能検定機械検査実技試験は、マイクロメーターやノギスといった一般的な測定器を用いた測定の実技試験が含まれる。そして、その採点には測定器の正しい取り扱いとともに、迅速に正確な測定値が得られるかを問われることになっている。この試験の課題の一部や試験の合格者を被験者に選定することで、実験に使用する測定課題や被験者のマイクロメーターによる測定技能のレベルが明確になると考えられる。

実験は、測定作業の習熟度と注視点移動の関連を調べるために、実際の作業を行っているときの作業員（被験者）の注視点移動の計測を行った。具体的には、簡単な外側マイクロメーターによる長さ測定の作業を行っている被験者の注視行動を、アイカメラを用いて計測し、被験者はどの部分を注視していたかを、注視点の移動パターンや注視時間を分析し、上級者と初心者にとどのように差が表れるかを検証した。

4.2.1 被験者

被験者は、職業能力開発大学の教員および学生の中から、技能検定機械検査作業試験の1級、2級、3級の合格者11名（19歳から43歳、すべて男性）を選定した。前記したとおり、技能検定試験は、技能の評価によく利用されており、技能の習熟度を判断する目安として適当である。また、技能検定試験の受検資格として1級は7年以上、2級は2年以上の実務経験（職業訓練歴を含む）を要するのに対し、3級は6ヶ月以上の実務経験（職業能力開発大学の学生については実務経験不要）となっている。このことから、主な受検対象が、1級および2級は、実際のものづくり現場での作業員であり、3級は、ものづくりを学ぶ学生や、外国人研修生などとなるので、1級および2級の合格者を上級者、3級の合格者を初心者とした。したがって、今回の被験者は、1級（教員 A1, A2）2名、2級（学生 B1, B2）2名の合格者4名を上級者、3級の合格者（学生 C1～C7）7名を初心者と位置付けた。被験者には、実験の目的、内容を十分に説明し、インフォームドコンセントを得た。作業のやり方については、迅速かつ正確な測定値を得ることも重要であるが、できるだけ普段とおなじような作業を心掛けるよう指示した。ただし安全な作業を行うこととといった測定のルールは技能検定試験に準ずることとしたが、作業時間や作業手順については、試験中のような緊張が生じ、普段とは異なる作業とならないようにするためとくに限定をせず、被験者の自由とした。

4.2.2 実験機材

実験に使用した機材を図 4-2 に示す。実験の測定課題は、技能検定機械検査実技試験の中の一部を用いた。具体的には、被験者が、図 4-3 に示す円筒状の測定物の外径3箇所を外側マイクロメーターで測定し、その測定値を記録用紙に記入するという作業である。測定箇所は、測定物のもっとも寸法の小さい箇所から、1箇所目、2箇所目、3箇所目とし、記録紙には、①、②、③と番号付けした解答欄を記しておいた。しかし、作業手順は被験者の自由としたため、測定する3箇所の測定順序はとくに指定していない。

図 4-4 に実験中の様子を示す。被験者の注視点移動の計測は、接触型アイカメラ（ナックイメージテクノロジー社製 EMR-8）を用いた。また、採取したデータの分析には、アイカメラと同じナックイメージテクノロジー社製の解析ソフト「EMR-dFactory」を用いた。

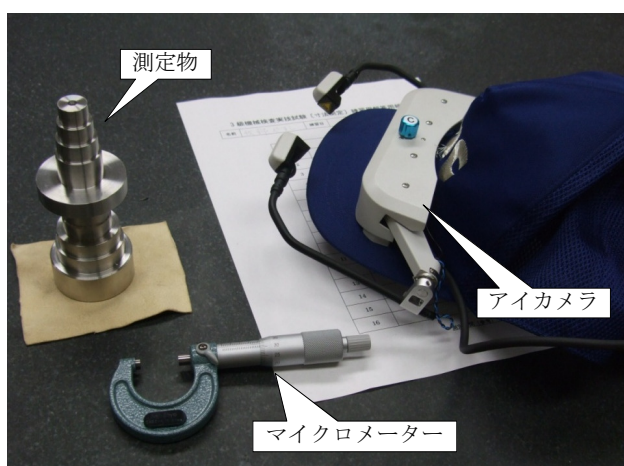


図 4-2 実験機材

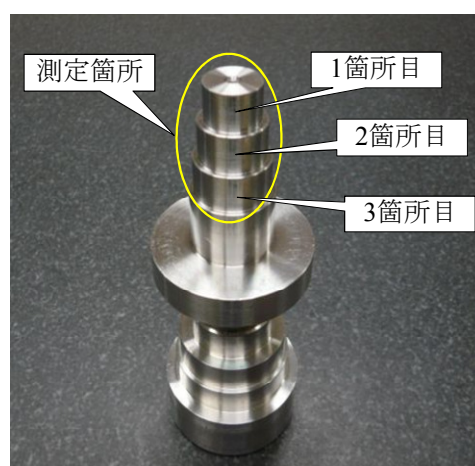


図 4-3 測定物と測定箇所



図 4-4 実験中の様子

4.2.3 実験データの採取と注視項目の決定

実験では、図 4-3 に示した円筒部の 3 箇所を、それぞれ 1 回ずつすべての被験者に測定してもらい、その作業中の被験者の注視点変化をアイカメラで記録した。各測定箇所の測定の開始と終了までの時間、つまり作業時間は、測定の開始と終了をビデオデータの映像のみで明確に判断できることから、1 箇所目は、マイクロメーターが測定物と接触したときから測定値を記録する筆記具を手放したときまでとし、2 箇所目以降は、まえの箇所の測定値を記録し終わり、筆記具を手放したときから、次の箇所の測定値を記録し終わり、筆記具を手放したときまでとした。

被験者はどこを見ているか、の判断に用いる注視項目を決めるにあたり、マイクロメーターによる寸法測定の作業手順と必要要素について検討した。ものづくり現場でとくに多

く使用されているマイクロメーターによる寸法測定作業を分解すると図 4-5 のようになる。この中で、測定技能の高い習熟度の要素である作業の早さを向上させるには、すべての作業要素を早める必要があるが、正確さという部分では、⑤から⑧の作業要素（図中水色に着色）が重要となる。また、繰り返しても同じ結果を得るためにも、⑤から⑧の作業要素が重要である。したがって、注視項目は、図 4-6 に示すように、⑤と⑥に関連する測定器と測定物の「接触点」、⑦に関連する測定器の「目盛」、⑧に関連する測定値を記録する「記録紙」と、それ以外の部分を注視したときの分類として「その他」の4つを設定した。

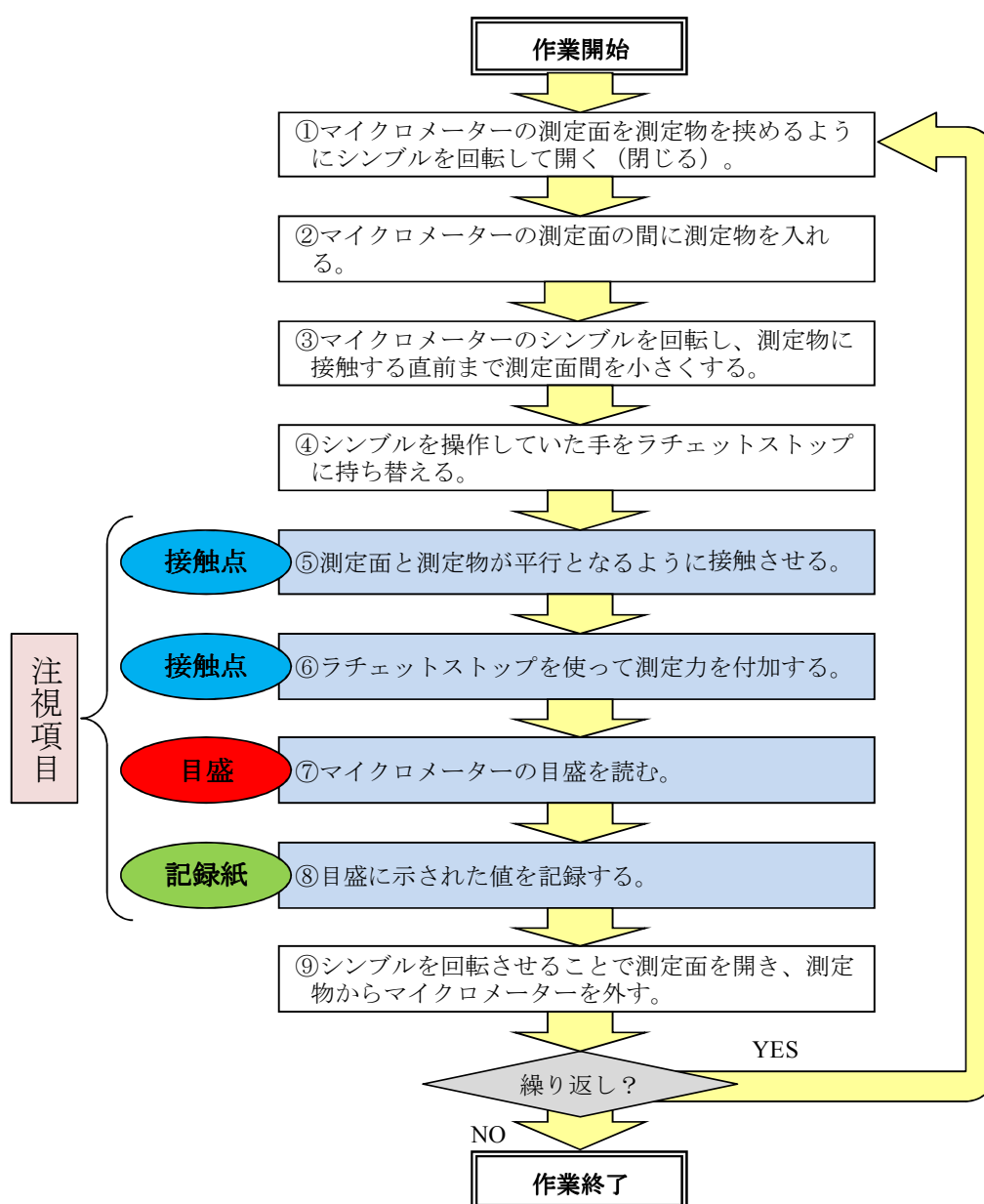


図 4-5 マイクロメーターによる寸法測定の作業手順

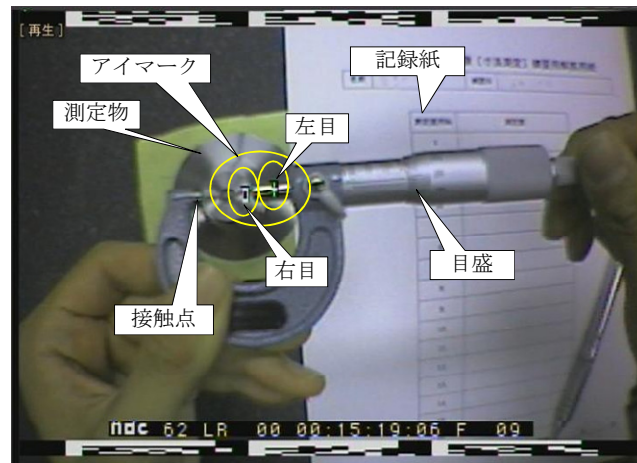


図 4-6 ビデオデータの映像と注視点項目の設定

4.3 眼球運動計測の結果とデータの整理

実験では、測定箇所の測定順序を指定していないにもかかわらず、すべての被験者が、測定箇所のもっとも寸法の小さい箇所から寸法の大きい箇所へと測定を行っていた。この理由としては、測定値を記録する記録紙の測定値記入欄がもっとも小さい箇所から①、②、③と番号付けしていたため、被験者は、その順序で測定したのではないかと考えられる。

ビデオデータを観察したところ、上級者より初心者の方がアイマークの移動が多く感じられた。また注視点移動以外の被験者の測定中の特徴的な行動として、上級者は、「接触点」を注視しているときのみに測定圧を付加するためのラチェットストップを回す行動が行なわれていたが、一方の初心者は、目盛を注視しているときにもラチェットストップを回し続ける様子が見られた。

4.3.1 注視項目変化表の作成

上級者と初心者の注視点移動の違いをより明確にするために、ビデオデータから図 4-7 のような注視項目変化表を作成した。これは、記録されたアイカメラのビデオデータを 1 コマ毎（コマ間隔 1/29.97 秒）目視により被験者がどの注視項目を注視しているかの確認を行う Frame by Frame 分析法⁽⁴⁰³⁾により、各注視項目を注視しているコマ数から注視時間を算出したものである。この図の中で、横軸は、作業にかかった時間を示し、横棒は、注視した項目と注視点が停留した時間を示す。また、「エラー」は、瞬目や視野カメラの画像からアイマークがフレームアウトして、アイマークが消失してしまった時間を示す。

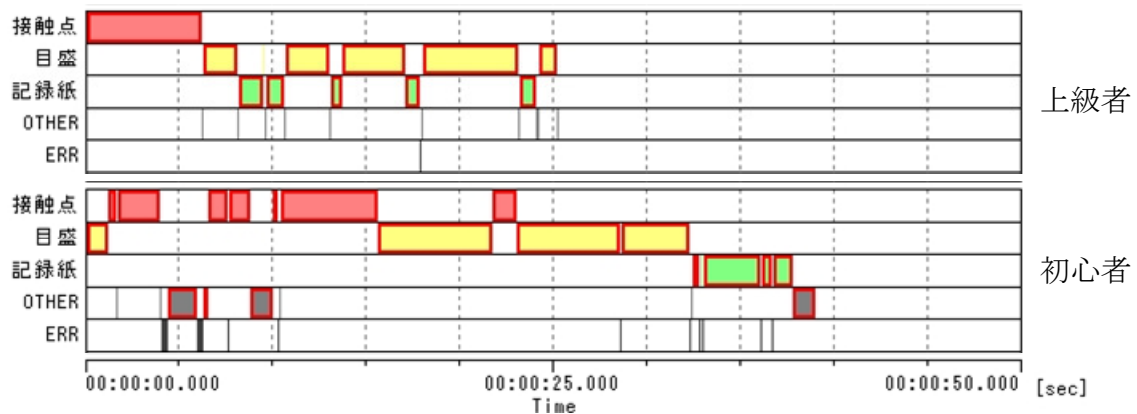


図 4-7 上級者と初心者の注視点項目変化表の代表的な一例

4.3.2 注視項目の注視回数と注視項目間の移動回数

Frame by Frame 分析法による注視点の確認では、被験者が、本当に注視しているかどうか不明な短時間の注視も、注視している時間として注視時間に含まれてしまう。そこで、注視しているかどうかの判断には、先行研究⁽⁴⁰⁴⁾を参考に、同じ注視項目を 165ms 以上見ている状態となったときを注視状態とし、それ以外の時間は「未注視」と分類した。ここで、作成した注視項目変化表より各注視項目の注視回数をカウントし、1 測定箇所あたりの上級者と初心者グループのそれぞれの平均値を求めたものを表 4-1 に示す。また、注視点移動パターンを明らかにするためにどの注視点項目からどの注視項目へ何回移動しているかをカウントし、注視項目間の移動回数を求めた。

表 4-2 に上級者、表 4-3 に初心者のそれぞれの 1 測定箇所あたりの注視項目間の平均移動回数を示す。さらに、表 4-1、表 4-2、表 4-3 の結果をまとめ、図 4-8 に上級者、図 4-9 に初心者の注視点経路を視覚化したものを示す。ここで、図中の楕円の大きさと楕円内の数値は、1 測定箇所あたりの各注視項目の平均注視回数を示し、矢印は注視点の移動方向、矢印の太さと矢印内の数値は注視点の移動回数を示している。なお、「その他」は注視項目以外の場所であるので、図中に示した部分ではなく、注視回数や注視点が移動した回数を示すため、便宜上に示したものである。図 4-8 と図 4-9 を比較すると、上級者は注視点の移動が少なく、測定とは無関係な「その他」が、まったくないことがわかる。一方、初心者は注視点の移動が多く、注視点とは無関係な「その他」が見られる。すなわち、初心者は、いわゆる「余所見」が多いことがわかった。

表 4-1 各注視項目の平均注視回数

	上級者	初心者
接触点	1.6	3.4
目盛	5.4	8.0
記録紙	4.2	4.3
その他	0	1.3

表 4-2 上級者の注視項目間の移動回数

注視項目		どこへ			
		接触点	目盛	記録紙	その他
どこから	接触点		1.3	0	0
	目盛	0.5		3.8	0
	記録紙	0.2	3.5		0
	その他	0	0	0	

表 4-3 初心者の注視項目間の移動回数

注視項目		どこへ			
		接触点	目盛	記録紙	その他
どこから	接触点		1.8	0	0.5
	目盛	1.1		3.3	0.2
	記録紙	0.4	2.2		0.4
	その他	0.2	0.5	0.3	

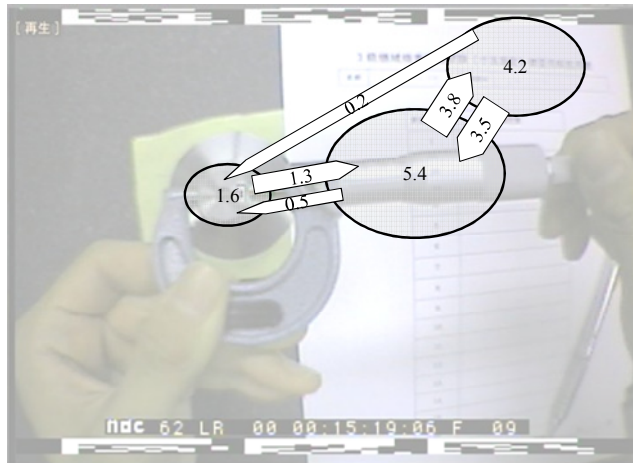


図 4-8 上級者の注視点移動経路

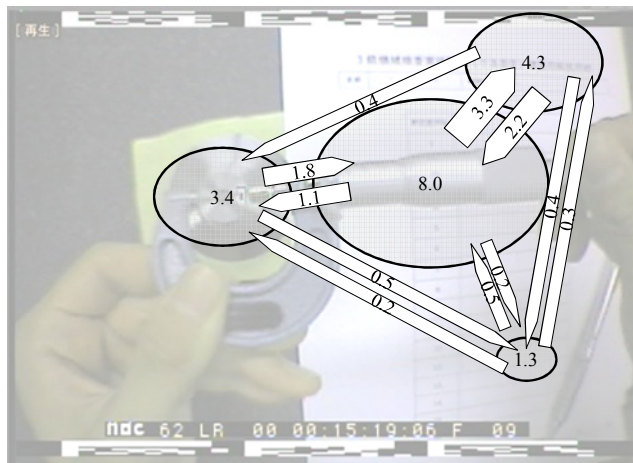


図 4-9 初心者の注視点移動経路

4.3.3 各注視項目の注視時間と作業時間

それぞれの注視点の移動パターンと注視項目を注視している時間に差があるかを比較した。まず、ビデオデータのコマ数をカウントすることで得られた各測定箇所での測定時間と測定物の測定結果、ならびに総作業時間を表 4-4 と表 4-5 に示す。

つぎに、注視項目変化表より得られた各注視項目の注視時間を上級者と初心者のグループに分け、注視状態の判断を行った後に求めた各グループの各注視項目の平均注視時間と平均総作業時間、および平均総作業時間の最大値と最小値を図 4-10 に示す。また、平均総作業時間に対する各注視項目の平均注視時間の割合を図 4-11 に示す。さらに、各グループにおける各注視点項目の測定箇所別平均注視時間を図 4-12 に示す。なお、図 4-10 の誤差範囲は各グループの総作業時間の最大値と最小値の範囲を示し、図 4-12 中の誤差範囲は、

各注視項目の注視時間の最大値と最小値の範囲である。また、図 4-7 に示した「エラー」は、アイマークが視野カメラの画像から消失してしまう時間なので、注視していない状態と判断できるので、前記した「未注視」に分類した。

表 4-4 各上級者の測定時間と測定値および総作業時間

測定箇所	被験者	A1	A2	B1	B2
1箇所目	測定時間 (s)	15.115	13.547	17.284	15.215
	測定値 (mm) (正解値:15.479)	15.480	15.478	15.980	15.480
2箇所目	測定時間 (s)	17.251	20.120	26.460	21.445
	測定値 (mm) (正解値:18.960)	18.958	18.959	18.960	18.960
3箇所目	測定時間 (s)	25.259	20.787	25.592	21.555
	測定値 (mm) (正解値:22.085)	22.083	22.084	21.587	22.087
総作業時間 (s)		57.625	54.454	69.336	58.215
平均総作業時間 (s)		59.901			

表 4-5 各初心者の測定時間と測定値および総作業時間

測定箇所	被験者	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
1箇所目	測定時間 (s)	35.369	24.825	20.187	19.720	19.653	50.817	21.788
	測定値 (mm) (正解値:15.479)	15.481	15.480	15.048	15.985	15.471	15.470	15.474
2箇所目	測定時間 (s)	35.369	30.063	25.993	32.666	21.788	39.006	30.964
	測定値 (mm) (正解値:18.960)	19.961	19.961	19.960	18.985	19.960	19.960	19.959
3箇所目	測定時間 (s)	29.363	54.087	24.591	24.324	20.854	53.453	29.193
	測定値 (mm) (正解値:22.085)	22.089	22.089	22.008	22.095	22.089	22.085	22.082
総作業時間 (s)		100.101	108.975	70.771	76.710	62.295	143.276	81.945
平均総作業時間 (s)		91.582						

測定技能に求められるものは、正しい寸法を短時間で得ることができ、それは何度繰り返しても、同一の結果となる技能である。したがって、各注視時間および作業時間については、より短時間であるほうが、より習熟度が高いといえ、上級者のほうが短いことが予測できる。図 4-10 で示した平均総作業時間だけを比較すると、上級者のほうが短時間で作

業を終えているように見える。しかし、最大値と最小値の範囲を見ると、上級者よりも短時間で作業を終えている初心者もいることから、本当に上級者のほうが短時間であると言いきれるか疑わしい部分がある。各注視項目の注視時間を比較しても同様である。そこで、明らかに差が認められるかどうかを判断するため、統計的手法である有意差検定を実施した。有意差検定は、図 4-12 に示した注視状態と判断された時間のみを取り扱い、実験データ数があまり多くないことからマン・ホイットニーの U 検定⁽⁴⁰⁵⁾⁽⁴⁰⁶⁾を用いて、危険率 5%を有意水準として有意差を確認した。マン・ホイットニーの U 検定を行って求められた p 値を表 4-6 に示す。

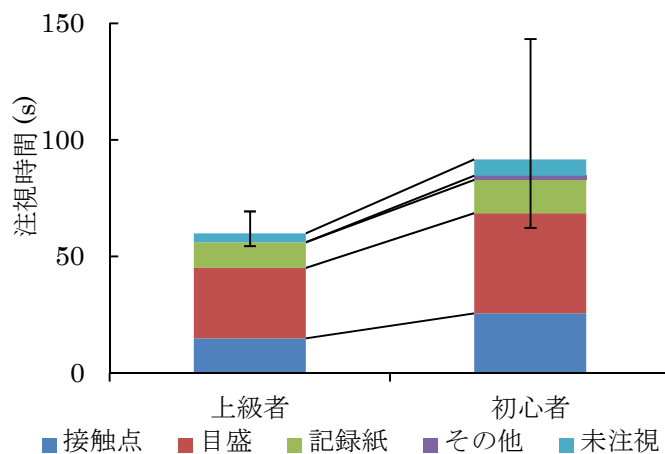


図 4-10 各注視項目の平均注視時間と平均総作業時間

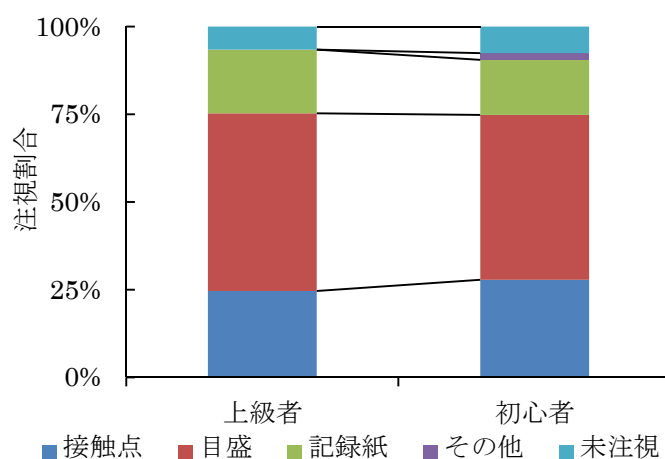


図 4-11 平均総作業時間に対する各注視項目の平均注視時間の割合

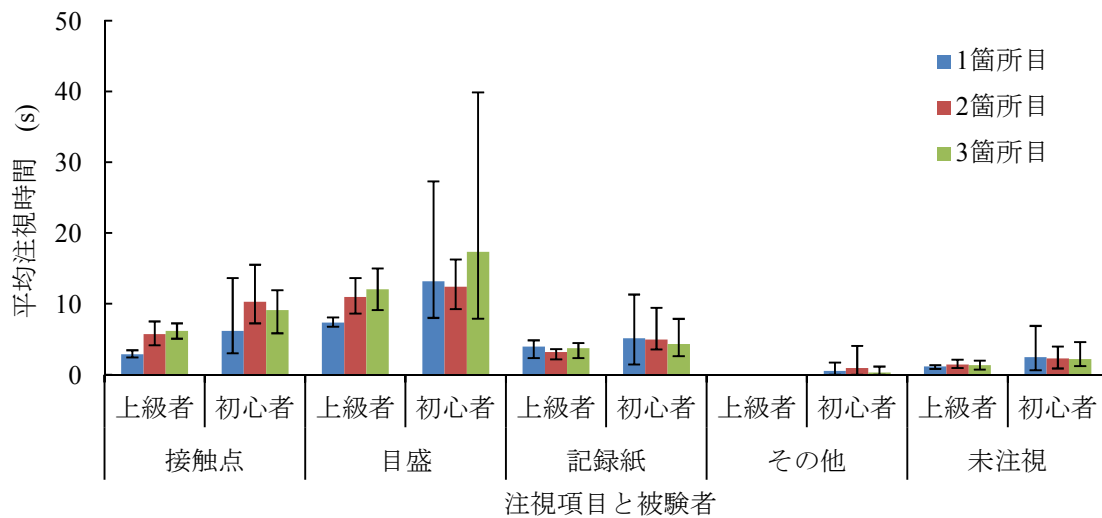


図 4-12 各注視項目の測定箇所別平均注視時間

表 4-6 マン・ホイットニーの U 検定結果 (p 値)

平均注視時間			
注視項目	1st	2nd	3rd
接触点	<0.05	<0.05	<0.05
目盛	<0.05	0.345	0.571
記録紙	0.450	0.059	0.463
その他	<0.05	<0.05	0.080
未注視	0.449	0.131	0.218
測定時間			
項目	1st	2nd	3rd
作業時間	<0.01	<0.05	0.185
総作業時間	<0.05		

注. あみかけは有意差を確認

各被験者が3箇所を測定するのに要した総作業時間については、U検定の結果、有意差が見られ、上級者のほうが初心者より明らかに総作業時間が短いことがわかった。各注視点項目の平均注視時間と平均作業時間のU検定結果の中で、「記録紙」については、3箇所とも有意差は見られなかったが、「接触点」については、すべての測定箇所でも有意差が見られ

た。その他の項目では、1箇所目では「目盛」、「その他」および「作業時間」に有意差が見られ、2箇所目では「その他」および「作業時間」に有意差が見られた。したがって、「接点」を注視している時間は上級者のほうが明らかに短く、これが影響して、上級者のほうが早く作業を進めている結果となった。なお、表 4-6 の中で、あみかけがある部分は、有意差が確認できた項目である。

一方、図 4-10 や、図 4-12 に示されている誤差範囲、すなわち、ばらつきについては、傾向として上級者はばらつきが少なく、初心者には多くのばらつきが存在していることがわかる。

4.4 寸法測定作業中の注視行動分析の結果に関する考察

今回の実験で取り上げた簡単な測定作業については、短時間で正確な測定結果を得ることがもっとも求められる技能である。したがって、作業時間が短く、正しい測定結果を導き出せることが、習熟度の高さを示す目安となる。

4.4.1 注視点移動の時系列的パターン

注視点移動の時間的な流れについて検討する。図 4-7 に示した注視項目変化表は、上級者と初心者の注視点項目変化表の代表的な一例である。

この図からは、上級者が接点を注視したのちに、目盛と記録紙を交互に注視し、作業を終えていることがわかる。このことから、上級者は、測定物とマイクロメーターを短時間で接触させ、その後、目盛と記録した数値を何度も確認し、目盛の読み間違いや測定値の記録ミス防止していることが考えられる。一方の初心者は、接点と目盛を交互に注視した後に記録紙を注視しているだけでなく、余所見である「その他」も見られる。とくに初心者の作業中の余所見は、さまざまな注視項目から「その他」へ注視点が移動していることが図 4-9 からも明らかで、測定作業の内容とは無関係に、余所見をしていることがわかる。

また、図 4-10 からは、初心者と比較して上級者のほうが、作業時間が短くばらつきが少なく、各注視項目の平均注視時間も小さいことがわかる。ところが、図 4-11 を見ると、上級者のほうが目盛と記録紙を注視している割合が大きい。すなわち、上級者は、短い作業時間の中で、目盛の読み取りと記録に時間をかけ、目盛りの読み間違いと記録ミスがないように作業をしていることが、ここからもわかる。

マイクロメーターと測定物がしっかりと接触していなければ、マイクロメーターと測定

物とのあいだに隙間が存在する状態となり目盛を読んでも無意味であるし、接触後に目盛を読み始めた以降は接触点を見ることも無意味である。上級者は、接触点から目盛に注視点が移動した後は、接触点に注視点が戻っていないが、初心者は、目盛に注視点が移動した後も接触点に注視点が移動している。これは、目盛を読み始めた後も、マイクロメーターと測定物がしっかりと接触できているかどうか気になっているからで、初心者が作業に不慣れなため、マイクロメーターと測定物をスムーズに接触させることができないと考えられる。さらに初心者は、目盛と記録紙の往復が少ないことから、目盛の読み取り間違いがないかどうかの確認をあまり行っていないことになる。以上の結果から、マイクロメーターによる測定作業は、目盛の読み間違いを防ぐこととともに、測定物とマイクロメーターを、ただしくしっかりと接触させることも、たいへん重要となることがわかる。

4.4.2 各注視項目の注視時間と習熟度の関連

以上より、各注視項目の平均注視時間の有意差検定結果と習熟度の関連をまとめたものを表 4-7 に示す。すべての測定箇所では有意差が確認されたのは、「接触点」で、「総作業時間」においても有意差が確認できた。すなわち、接触点を注視していた時間は、上級者より初心者のほうが明らかに長く、総作業時間も初心者のほうが長かったということになり、マイクロメーターの測定技能の習熟度との関連がある。一方で、「記録紙」の平均注視時間には、どの測定箇所においても有意差は確認できなかったため、記録紙を注視している時間と習熟度との関連は薄いといえる。また、その他の注視項目においては、二つの測定箇所において有意差が確認できた「その他」、「作業時間」と、一つの測定箇所において有意差が確認できた「目盛」がある。これらについては、より多くの測定箇所では有意差が確認できた注視項目のほうが習熟度との関連は深いと考えられるが、さらなる精査が必要である。しかし、「その他」については、3箇所目の有意差検定では有意差が確認されなかったものの、上級者は3箇所ともまったく「その他」を検出できなかったことから、両グループの差として注目すべき点であり、「その他」の有無が、習熟度の高さを示す目安となりうると思われる。

これらの結果から、初心者は長い時間をかけて、接触点を注視しながらマイクロメーターと測定物を接触させているが、上級者は短時間で接触させていて、この時間の差が、作業時間の差となって表れている。また、上級者からは、「その他」を注視していないのに対し、初心者には、すべての測定箇所では「その他」が観察された。これは初心者が、慣れな

い作業を行うにあたり、どうしたらよいかわからないというような戸惑いを感じながら作業をしていたことがうかがえる。一方の上級者は、慣れている作業であるため、戸惑うことなく作業をしていたことになる。

さらに、各注視項目におけるデータのばらつきを見ると、初心者は大きく、上級者は少ないことがわかった。これは、初心者の場合、これまで培ってきた測定に関する作業経験や生まれもった才能といえる部分の個人差によりばらつきが大きくなるものの、訓練や作業経験を重ねることにより、ある一定の注視時間に収束していくことが考えられる。また、とくに初心者のばらつきが多くみられた「目盛」の平均注視時間については、マイクロメーターの目盛の読み取り方法が、初心者にとってこれまで経験が少ないため、その習得には個人差が顕著に表れることが結果として表れたためである。

表 4-7 各注視項目の平均注視時間の有意差検定結果と習熟度の関連

	明らかな有意差あり	有意差あり	僅かに有意差あり	ほとんど有意差なし
注視項目	・接触点 ・(総作業時間)	・その他 ・作業時間	・目盛	・記録紙 ・未注視
技能習熟度との関係				

4.4.3 測定値の読み取り間違いについて

ここでは、表 4-4 と表 4-5 に示した測定値の読み取り間違いについて述べる。一般的なマイクロメーターの場合、測定者の目測により $1\mu\text{m}$ 台の読み取りは行なわれる。JIS B 7502 によれば、今回使用した測定範囲 $0\sim 25\text{mm}$ の外側マイクロメーターの総合誤差は $\pm 4\mu\text{m}$ であり、また誤差はさらに大きいとの報告⁽⁴⁰⁷⁾もあるので、真値との違いが $\pm 4\mu\text{m}$ 程度では誤差範囲内とし、正解とすべきである。これを考慮した上で測定値が正解であったか、不正解であったかを判断すると、初心者だけでなく、上級者と位置付けた被験者までもが不正解値を記録している場合がみられた。この不正解値は、マイクロメーターの目盛の読み違いによるもので、シングル 1 回転である 0.5mm 、あるいは 2 回転である 1mm に相当し、測定ミスとなって現れた。とくに初心者の 2 箇所目の測定値については、 1mm の読み間違いが多くみられた。そこで、被験者にこの件について聞いたところ、「スリーブ上の目盛の 19mm の線が見え、それ以下の値だとわかったが、 $1\mu\text{m}$ 台を読み取っているうちに『 19mm 』

という数字だけが頭に残ってしまい、読み間違ってしまった。」と実験中の作業を振り返っていた (図 4-13 参照).

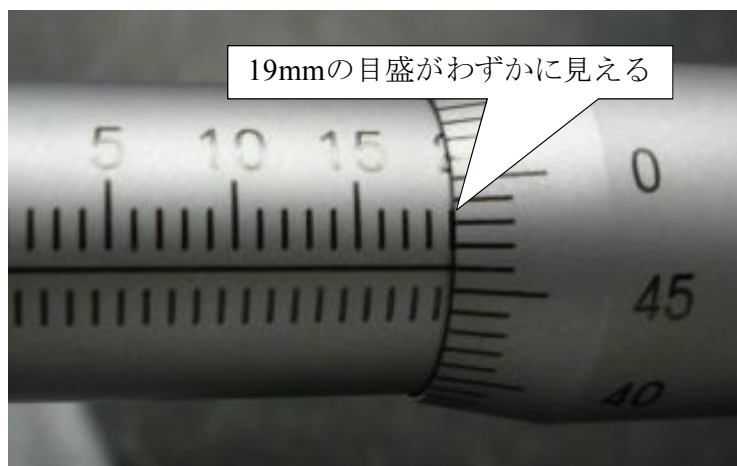


図 4-13 18.960mm を示すマイクロメーターの目盛

この測定値の読み間違いは、迅速な作業を目指すあまり、焦りなどの心理的な影響によるものと考えられる。これらを防止し、作業全体の効率を向上させるには、作業者が、マイクロメーターと測定物を短時間でスムーズに接触させることが重要となる。その結果、心理的な余裕が生まれ、たとえ目盛読み取り時間が多少長くなっても、結果的には、短い作業時間で正しい測定結果を得ることができるようになる。

今回のようなシンプル 1 回転、あるいは 2 回転の読み間違いによる測定ミスは、アナログ目盛式マイクロメーターの古くからの問題点で、改善を急がれている部分であることが知られている⁽⁴⁰⁸⁾。しかし、測定値が直読できるデジタル式マイクロメーターや、カウンター付きマイクロメーターなどの普及により、測定値の読み間違いは激減できるため、とくに重要な問題とはならないといえる。ところが、どのようなマイクロメーターを用いても測定物への接触については、差がなく、短い時間で、なおかつ一定の測定圧で測定器の接触子の端面と測定物の測定面を平行に保ちながら測定物へ接触させることが、目盛の読み間違いを防ぐためにもとくに重要な技能要素となる。

4.4.4 測定物への接触に関する確認実験

これまでのマイクロメーターの取り扱いについての技能伝承は、目盛の読み取りに多くの時間を割いてきた。マイクロメーターの目盛の読み取りは、慣れが必要で、迅速で正確

な測定結果を得るためには、繰り返し訓練を行うことの意義は大きい。しかし、本研究では、前節までの実験結果に基づいた分析により、正しい測定物の接触をより短時間で行うことにより、測定時間を短縮できだけでなく、目盛の読み取りミスの低減も図れるため、測定物の接触をスムーズに行うための訓練の重要性を主張した。ここで、この主張について、さらなる確認を行うため、簡単な確認実験を行なった。

実験は、目盛の読み取りに関する影響を少なくし、マイクロメーターと測定物との接触についてのみ検証できるようにするために、0.001mm 単位まで直読可能なデジタル式マイクロメーターを用いた。また、簡易な実験とするため、アイカメラは使用しなかった。

被験者は、先に行なった実験の被験者が、技能の上達により初心者として被験者になれないため、同様の条件を持つ別の被験者の協力を得ることにした。上級者グループとして位置づけたのは、測定に関する講義や実習を担当できる職業能力開発大学の教員 4 名、初心者グループとしては、技能検定機械検査作業 3 級合格者の職業能力開発大学の学生 17 名を選定した。測定物や測定方法については、これまでの実験と同様にし、被験者による 3 箇所の測定値と、総作業時間をストップウォッチにより計測しデータとした。なお、総作業時間は、アイカメラを使用しなかったため、時間計測者の「はじめ」の合図から、被験者の申告による「終わりました」の合図までを計測した。

この実験で得られた各測定部位の測定値と総作業時間のグループごとの平均値、および、それぞれの最大値と最小値を表 4-8 に示す。測定値については、初心者グループのばらつきが若干あるものの、平均値は、両グループ間に大きな差はなく、両グループとも正しい測定値を読みとっている。しかし、平均の総作業時間については、図 4-14 に示すように、約 20 秒の差があり、マン・ホイットニーの U 検定の結果も危険率 5% で有意差が認められ、上級者のほうが確実に短時間で作業を終えている結果となった。また、ばらつきについて上級者は、最大値と最小値の幅が 12 秒であったのに対し、初心者の幅は、54 秒と非常に大きかった。

なお、この総作業時間には、マイクロメーターと測定物の接触、測定値の読み取り、測定値の記録、測定部位間の移動などの作業要素が含まれるが、デジタル式のマイクロメーターを用いていることから、マイクロメーターと測定物の接触以外の作業内容に、特別な訓練は必要ない。ゆえに、平均総作業時間の約 20 秒の差は、マイクロメーターと測定物の接触に要した時間の差が主となるので、確認実験からも、作業時間を短縮するためには、この時間を短縮することが重要であることになる。一方、測定値の結果からは、両グルー

プ間に問題となるような差がないことから、初心者でも、時間をかけさせれば、マイクロメーターと測定物をただしく接触させることができていることを示している。したがって、マイクロメーターの取り扱いに関する訓練は、目盛の読み取りだけでなく、測定物との接触にもより重点を置いた指導が必要となる。具体的な訓練の方法としては、ブロックゲージやピンゲージをはじめとした正確な寸法部位を持つ測定物を、デジタル式マイクロメーターを用いて測定し、既知の寸法を示すよう接触させる練習を繰り返すなどがあげられる。

表 4-8 デジタル式マイクロメーターによる確認実験結果

		測定結果 (mm)			測定時間 (s)
		1箇所目	2箇所目	3箇所目	
上級者	平均値	15.4775	18.9573	22.0828	50.8
	最大値	15.478	18.958	22.083	54
	最小値	15.477	18.957	22.082	42
初心者	平均値	15.4772	18.9572	22.0832	69.1
	最大値	15.479	18.959	22.085	106
	最小値	15.474	18.955	22.081	52

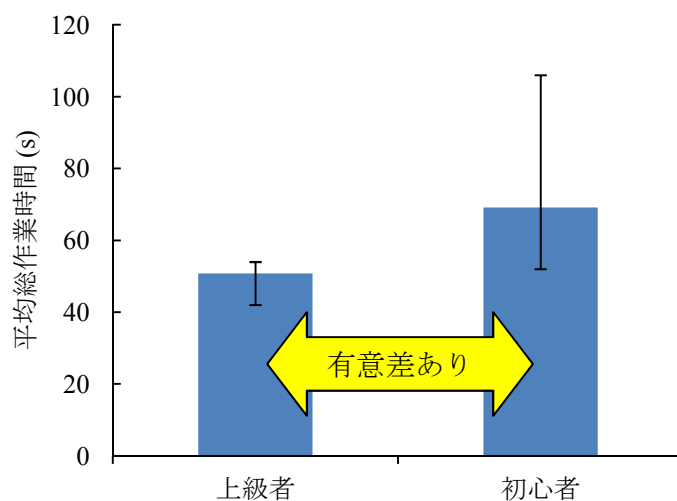


図 4-14 確認実験の平均総作業時間の比較

4.5 結言

マイクロメーターによる寸法測定を行なう作業者の注視行動分析により、以下のことが明らかになった。

- (1) 注視点移動と測定技能の習熟度には関連がある。
- (2) 作業の上級者は注視点移動が少なく、注視する項目が限定されている。
- (3) 上級者は、作業中の余所見がなく、作業に集中している。
- (4) 寸法測定作業全体の効率を向上させるには、作業者が、マイクロメーターと測定物を短時間でスムーズに接触させる技能を獲得することが重要である。
- (5) マイクロメーターの測定作業の技能伝承では、マイクロメーターを測定物へ接触させる部分に重点を置いて指導すべきである。

ゆえに、測定作業の上級者と初心者の注視行動は明らかに異なっており、それを分析することで、技能向上のための要点を抽出可能であることがわかった。さらに、第1章の「本研究の目的」の中で、「人が行なう作業は、習熟度が上がるにつれ、その作業者の視点の動きは少なくなり、意識している視野は狭くなるのではないか」という疑問についても、実験結果の(2)が、その回答を示唆していると考えられる。

第4章の参考文献

- (401) 独立行政法人労働政策研究・研修機構編, “ものづくり産業における人材の確保—機械・金属関連産業の現状—”, JILPT 調査シリーズ, No.44, 独立行政法人労働政策研究・研修機構 (2008), pp.59.
- (402) 中央職業能力開発協会編, “平成24年度技能検定 3級機械検査実技試験問題”, 中央職業能力開発協会 (2012).
- (403) 福田忠彦, 人間工学ガイド, サイエンティスト社 (2009), pp.245.
- (404) 福田亮子, 佐久間美能留, 中村悦夫, 福田忠彦, “注視点定義に関する実験的検討”, 人間工学, Vol.32, No.4 (1996), pp.197-204.
- (405) 青木繁伸, “パラメトリックな手法とノンパラメトリックな手法”, <http://aoki2.si.gunma-u.ac.jp/lecture/Kentei/nonpara.html> (参照日 2013年6月25日).
- (406) 石村貞夫, 統計解析のはなし, 東京図書 (2001), pp.264.
- (407) 池田進, 矢野宏, “マイクロメーターの操作過程による個人誤差の発生機構”, 精密機械, Vol. 50, No. 11 (1984), pp. 108-112.
- (408) 宮崎正吉, “マイクロメーターの歴史”, 日本機械学会誌, Vol. 85, No. 769 (1982), pp.20-26.

第 5 章

外側マイクロメーターの

測定力一定化のための技能訓練方法の開発

第5章 外側マイクロメーターの測定力一定化のための技能訓練方法の開発

5.1 諸言

前章では、マイクロメーターによる測定作業において、目盛の読み取りよりも、短時間で、なおかつ一定の測定力で、ただしく測定物へ接触させることが、とくに重要な技能要素であり、技能伝承の要点であることを、注視行動分析により明らかにした。しかし、実際のマイクロメーターに関する技能訓練では、初心者にとっては、特徴的ともいえる目盛の読み取りの説明に多くに時間を費やしており、測定器と測定物の接触についての説明は、あまり多いとはいえない。たとえば、職業能力開発大学校などで使用されている実技教科書⁽⁵⁰¹⁾でも、各部の名称の解説、校正、測定手順といった項目の説明がなされている中で、目盛の読み方については、もっとも多くの紙面が費やされている。一方、測定器を測定物へ接触させるときの記述としては、「ゆっくり」や「静かに」という表現での解説や指導が一般的である。これは、ように、曲がりなく、一定の測定力で、ただしく測定物へ接触させることを目的とした表現であるが、初心者にとっては、どの程度が“ゆっくり”なのか、“静かに”とはどんな状況なのかという、自身の中でただしく作業が遂行できているかの判断を難しくしている。すなわち、暗黙知の塊である技能に、さらなる暗黙知を付加している可能性もあり、技能訓練の妨げとなり問題である。

ここで、測定物へ測定器を接触させるときに重要となる作業の要点を、図 5-1 に示す。大きくは二つに分けられ、測定したい寸法と測定器の測定面を直角にすることと、常に一定の測定力を付加することとなる。技能検定機械検査作業 1 級の取得者である筆者は、マイクロメーターと測定物の接触については、常に一定の測定力を付加することがもっとも重要であると考えている。その理由としては、測定したい寸法部位に対し測定面を直角に当てるには、ある程度の測定力が必要で、しっかりと測定力が付加できれば、自動的に直角となると考えられるからである。また、常に一定の測定力を維持するには、正しい測定器の取り扱いとともに、正しい接触位置で測定を行なわなければならないこともあげられる。このマイクロメーターの測定力は、JIS において外側マイクロメーターの場合、測定範囲の大小にかかわらず 5~15N で、そのばらつきは 3N とされ、測定力の測定方法にも規定がある⁽⁵⁰²⁾。しかし、この測定方法は、定圧装置であるラチェットストップが作動する力の

測定方法であって、測定物にかかる測定力ではないという指摘がある⁽⁵⁰³⁾。したがって、測定物にかかる測定力を、簡単に測定する装置の考案・開発が必要となる。

そこで本章では、測定器と測定物を接触する際の測定力を一定化させる技能訓練に注目した。まず、マイクロメーターの測定力を測定する装置を考案し、製作した。つぎに、この測定装置を用いて、実際のものづくりに携わる作業者のマイクロメーターの測定力を調査し、現状と問題点を把握した。さらに、マイクロメーターの取り扱いの教育現場に開発した測定装置を持ち込み、実習を行ない、従来の実習教育の結果との比較により、考案・製作した装置の効果について検証した。そして、注視行動分析から導かれた技能伝承の要点により、スムーズな技能訓練が実現できるだけでなく、注視行動分析が技能伝承の要点抽出にも有効であること証明した。



図 5-1 測定物と測定器の接触

5.2 マイクロメーターの測定力測定装置の考案

マイクロメーターの測定技能を身につけようとする者が、測定力と測定誤差の関係を理解し、早期に一定の測定力を付加できる技能を習得することを補助する目的で、マイクロメーターの測定力測定装置を考案した。装置の特徴は、測定力が直読でき、実際の訓練や実習などでの導入をより現実的なものとするため、安価で簡単な機器構成で、誰でも容易に取り扱えるものとなるようにした。

装置全体の構成を図 5-2 に示す。マイクロメーターの測定力測定装置の基本的機器構成は、ロードセルと動ひずみ測定機の組み合わせで、ひずみー電圧変換により行なった。測定力を検出するロードセルには、(株)共和電業製の小型圧縮型ロードセル「LMA-A-200N (定格容量 200N)」を用い、動ひずみ計には、同社の DPM-700B を使用し、ロードセルとの接続にはブリッジボックスを用いた。JIS において、マイクロメーターの測定力は、5～15N と規定されているので、ロードセルは、定格容量の 10% で使用することにした。ロー

ロードセルを用いたマイクロメーターの測定力測定装置は、過去の研究⁽⁵⁰³⁾の中でも考案されているが、本研究では、取り扱いを簡単にするために、ロードセルのダイヤフラム突起部から、台座までの厚さを、マイクロメーターで直接測定することで測定力を測定することとした。しかし、ロードセルの台座は、非常に薄く、アンビルより中央部のみに測定力に加わると、たわみが発生し、たどしい測定ができないと考えられる。そこで、台座部分に厚さ3mmの鋼板を瞬間接着剤で張り付け、補強し、図5-3に示すように、この鋼板とロードセルを同時に測定するようにした。使用する際は、機器の暖気運転を十分に行ない、ロードセルを保護するため、被験者が測定力検出部に触れるときは、貼り付けた鋼板部を保持するよう指示した。被験者が作業をするマイクロメーターは、測定範囲0~25mmのデジタル式（ミツトヨ製）で、マイクロメータースタンドに固定した。測定値データは、マイクロメーターと測定値記録用PCを、専用USBケーブルにより接続し、デジタルカウンタに表示される値を直接PCにデータとして取り込むようにした。

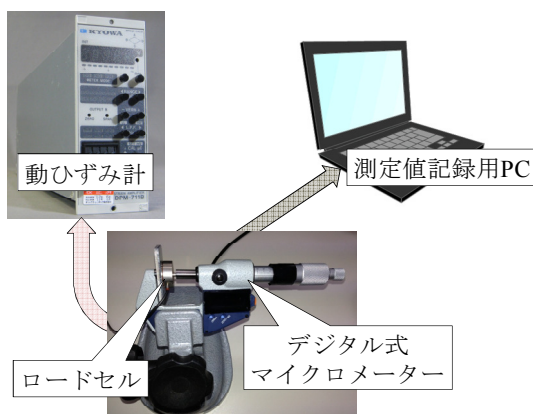


図 5-2 マイクロメーター測定力測定装置の構成

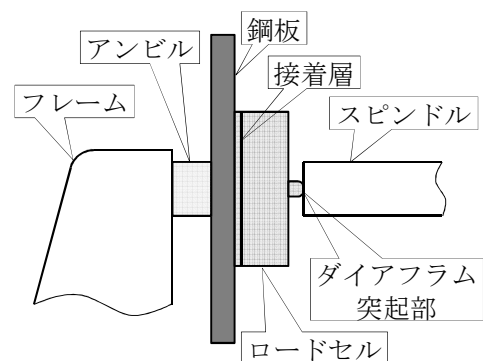


図 5-3 測定力検出部の詳細

5.3 生産現場での測定力測定調査

マイクロメーターの測定力が、実際のものづくり企業において、どの程度の大きさなのか、および、どの程度のばらつきがあるのかの実態を把握するため、調査のための実験を行なった。

5.3.1 被験者および作業手順

被験者は、普段の業務の中で、測定に関する知識が必要とされる社員を対象とした堀口エンジニアリング株式会社成田工場における社内研修に参加した方にご協力いただいた。人数は20名、すべて男性で、年齢は22歳から50歳（20歳代7名、30歳代8名、40歳代

4名、50歳代1名、平均33.2歳）、生産現場での作業経験年数は、0年から25年（平均約7年）となっている。

実験での測定作業手順を図5-4に示す。実験課題は、被験者1人につき測定作業を4回行なうものとした。1回目の測定を「校正」と位置付け、被験者は、普段の作業と同様に測定力測定装置の測定力検出部の厚さを測定し、マイクロメーターのデジタルカウンタをゼロセットするよう指示した。そして、この時の測定力を「校正時測定力」とし、2回目以降の測定は、被験者がデジタルカウンタや目盛を見ることによる測定力の過不足をなくすために、マイクロメーターのデジタルカウンタとシンプルな目盛に目隠しをした。この状態で、被験者には、校正時と同じ測定力を与えて測定力検出部の厚さを測定するよう指示し、その時の測定力と目隠しされたマイクロメーターのデジタルカウンタに示されている値を「測定値のズレ」として記録した。

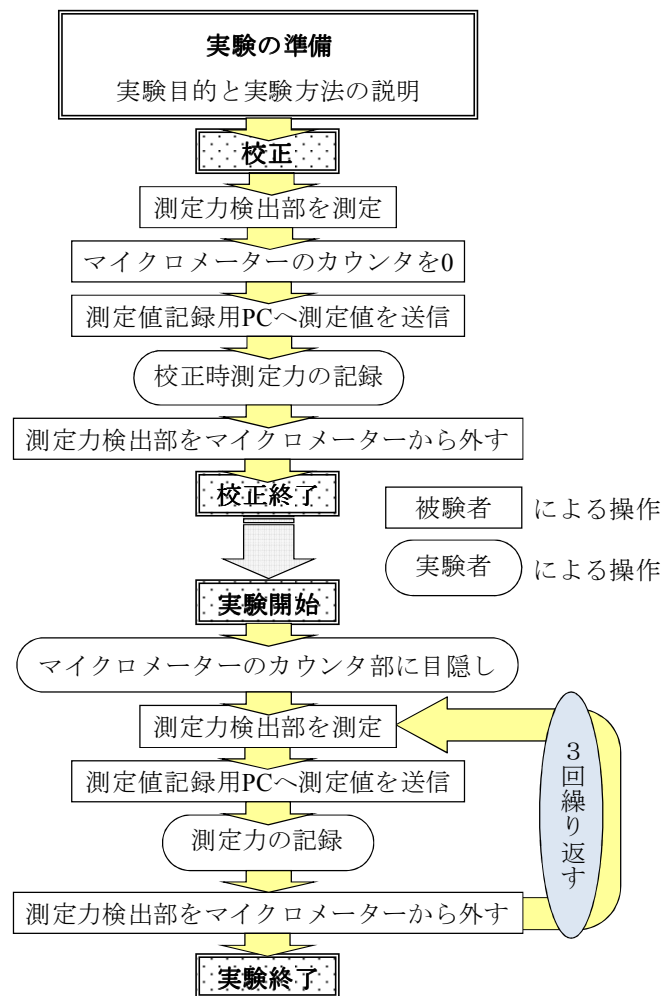


図 5-4 測定力調査実験の作業手順

5.3.2 実験結果

本実験で得られた各被験者の測定力とそのばらつきを表 5-1 に示す。校正時を含めた測定力は、データ数 80 個中 10 個が JIS 規格である 5~15N の範囲を下回る値が観測され、2 個において同範囲を超える値が観測された。被験者ごとに見ると、被験者 B については、校正時を含めた 4 回の測定作業において、すべてが JIS 規格以下の測定力であった。また、被験者ごとの校正時を含めた測定値のばらつきを見ると、6 人の被験者が JIS で規定されたばらつき 3N を上回る結果となった。さらに、被験者ごとのばらつきは、測定回数とは無関係であり、JIS の規格範囲を超えて上下している被験者があった。なお、表 5-1 の中で、着色しているセルは、ピンクが JIS の規格範囲 5N を下回る測定力で、黄が JIS の規格範囲 15N を超える測定力、オレンジが JIS で規定された測定力のばらつき範囲 3N を超えるものを示している。

表 5-1 生産現場での測定力測定結果

被験者	年齢	経験年数	測定力 (N)				測定力のばらつき
			校正時	1回目	2回目	3回目	
A	34	6	6.6	12.8	7.3	15.8	9.2
B	47	1	4.6	4.6	3.9	4.6	0.7
C	30	5	3.2	4.7	6.3	5.3	3.1
D	33	6	4.3	5.6	7.5	8.4	4.1
E	26	5	5.7	6.1	6.5	6.3	0.8
F	22	0	6.5	7.0	5.2	5.0	2
G	47	5	2.3	5.2	5.2	4.2	2.9
H	34	12	5.1	4.7	6.0	5.4	1.3
I	26	4	7.9	5.0	7.5	5.8	2.9
J	46	25	6.6	6.7	6.5	6.8	0.3
K	28	1	7.9	12.5	13.8	8.3	5.9
L	39	18	5.9	15.5	5.8	6.2	9.7
M	31	7	5.4	5.2	5.6	5.2	0.4
N	28	5	6.0	9.3	6.3	5.8	3.5
O	23	5	6.0	5.8	6.3	6.0	0.5
P	29	8	5.6	6.0	5.8	6.5	0.9
Q	31	8	6.0	6.5	6.5	6.5	0.5
R	40	20	5.5	5.3	5.1	5.5	0.4
S	50	1	5.0	6.0	7.5	7.5	2.5
T	31	1	6.8	7.0	6.6	6.0	1

JIS規格を下回る測定力

JIS規格を超える測定力

JIS規格を超えるばらつき

つぎに、被験者ごとに、校正時測定力と測定力の差（以下「測定力差」とする）と測定値のズレを計算し、プロットしたものを図 5-5 に示す。この図からは、測定力が校正時測定力より小さい、すなわちマイナスの値となったときは、得られた測定値のズレはプラスとなり、逆の場合はマイナスの値となる。

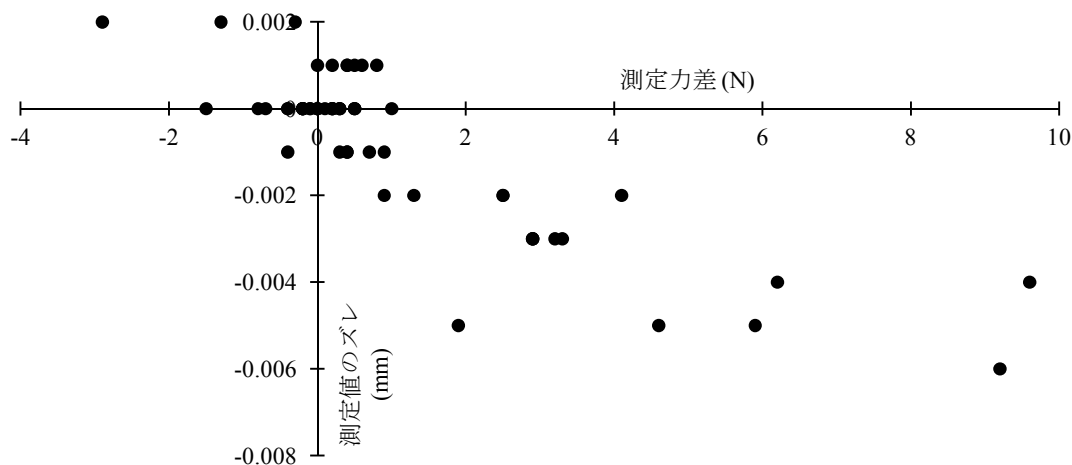


図 5-5 測定力差と測定値のズレ

5.3.3 生産現場での測定力測定調査の考察

今回の実験では、全データの 15%が JIS に定められた測定力で測定を行っていないという結果となった。また、測定力のばらつきも、被験者全体の 30%が JIS の規定である 3N を上回っていた。測定力が大きくなるということは、被験者が校正時よりスリーブを回しすぎていくということになり、その結果、出力された測定値が校正時よりも小さい値を示す。そのため、測定値のズレもすべての被験者では、0.008mm の幅があった。

参考値ではあるが、JIS にはマイクロメーターの総合誤差も規定されており、最大測定長 50mm 以下のものは 0.004mm 以下となっている⁽⁵⁰²⁾。今回の測定値のズレは、個人誤差に該当し、系統誤差に分類できる⁽⁵⁰⁴⁾ことから、作業経験や訓練を重ねることにより、小さくできるものである。ものづくり企業としては、この結果を重く受け止め、JIS に規定の総合誤差以下を維持できるよう社員教育を実施していくべきである。さらに、計測器の管理は、測定器だけではなく、測定者のスキルも管理していかなければならないことが、この調査から明らかとなった。また、一定の測定力を付加するためのラチェットストップを使用しても、一定の測定力とならないことは、たいへん問題である。

5.4 測定力測定装置を使った実習教育の試み

マイクロメーターの測定力測定機を使い、測定力の一定化を目指した実習を実験的に行なった。被験者は、職業能力開発大学校の学生 18 名（18 歳から 27 歳、すべて男性）を選定した。測定力測定装置を用いた実習教育の効果を検証するため、被験者を無作為に選んだ 9 名ずつの 2 グループに分け、それぞれ A グループ、B グループとした。そして、A グループは従来の方法で、B グループは測定力測定装置を用いた方法で、それぞれ実習教育を行なった。実験は、まず、練習前の状態を把握するため、前節で示した測定力調査実験と同じ作業を被験者に指示し、測定力と測定値のズレのデータを採取した。つぎに、デジタルカウンタとシンプルの目盛の目隠しを外し、測定力が一定になるよう 3 分間の練習をさせた。この時、A グループにはブロックゲージのみを与えて練習（以下「従来方法」と呼ぶ）させ、B グループにはブロックゲージとともに、測定力測定装置の出力値を見せて練習（以下「新方法」と呼ぶ）させた。なお、この練習時間の 3 分間は、被験者本人が練習完了と判断した場合は、3 分間に達しなくても練習終了としてよいことにした。練習後、もう一度、練習前と同様の手順にてデータを採取し、練習前後のデータの比較した。

5.4.1 練習前後の比較結果

実験の結果を表 5-2 に示す。表中で着色しているセルは、ピンクが JIS の規格範囲 5N を下回る測定力で、オレンジが JIS で規定された測定力のばらつき範囲 3N を超えるものを示している。また、赤で着色したセルは、他のデータと比較すると大きく離れているので異常値として取り扱い、以下のデータ処理からは除外することとした。したがって、被験者 A1 から採取された測定力データ数は 3 となり、ばらつきは、1.1 となる。

5.4.1.1 測定力とそのばらつき

全データの中で、JIS 規格範囲から外れるものは、練習前の測定力は両グループとも、A グループは 23%、B グループは 25%のデータであった。そして、JIS 規格範囲から外れる測定力データは、すべてが規格を下回る値で、ばらつきは、JIS の規格範囲を超えるものはなかった。一方、練習後の測定力は、A グループの 25%が JIS の規格範囲外となったのに対し、B グループは、すべてが JIS の範囲内となった。練習後の測定力のばらつきは、両グループとも、練習前よりも大きくなった被験者もあったが、すべてが JIS で規定される 3N の 50%以下の値となっていた。

つぎに、グループごとに計算した平均測定力を比較した。図 5-6 にその結果を示す。まず、A グループの練習前の平均測定力は、5.36N で、練習後も、5.36N となり、ほとんど変化は見られなかった。一方の B グループは、練習前は、5.84N であったの対し練習後は、6.73N となり、若干増加した。ここで、平均値の検定である t 検定を用いて、練習前後の平均測定力の有意差をグループごと確認したところ、A グループは、当然ながら有意差が認められなかったが、B グループは危険率 5% で有意差が認められた。

表 5-2 測定力測定装置を使った実習教育の試みの結果

グループ	被験者 No.	練習前					練習時間 mm:ss	練習後				
		測定力 (N)				測定力のばらつき		測定力 (N)				測定力のばらつき
		校正時	1回目	2回目	3回目			校正時	1回目	2回目	3回目	
A (ブロックゲージ)	A1	6.4	10.3	7.5	6.6	3.9	02:19	6.0	6.8	6.6	6.0	0.8
	A2	5.0	4.7	4.7	4.8	0.3	01:10	4.9	5.0	5.6	4.5	1.1
	A3	4.6	5.5	5.5	5.0	0.9	00:30	5.6	5.8	5.9	5.8	0.3
	A4	4.7	5.1	5.2	5.3	0.6	00:38	4.5	5.0	5.5	4.8	1.0
	A5	5.5	5.1	4.9	5.5	0.6	00:20	4.6	5.1	5.9	4.7	1.3
	A6	4.7	4.7	5.6	6.0	1.3	03:00	5.0	5.2	4.8	5.3	0.5
	A7	5.5	5.5	5.5	5.7	0.2	00:29	4.5	5.6	4.8	5.8	1.3
	A8	5.0	5.0	5.3	5.5	0.5	00:40	5.5	5.1	5.5	5.6	0.5
	A9	5.4	5.5	5.4	5.6	0.2	00:58	5.4	5.5	5.2	5.6	0.4
B (ロードセル)	B1	3.9	5.2	5.8	5.7	1.9	03:00	5.6	5.5	6.4	6.2	0.9
	B2	6.7	6.5	6.5	6.2	0.5	03:00	6.5	6.3	6.3	6.7	0.4
	B3	5.7	5.7	6.3	6.5	0.8	03:00	6.6	6.3	6.1	6.5	0.5
	B4	6.3	6.5	6.9	7.1	0.8	03:00	7.5	7.1	7.0	6.9	0.6
	B5	4.4	4.4	4.1	4.4	0.3	03:00	7.0	7.2	7.9	7.6	0.9
	B6	6.4	7.5	7.2	5.5	2.0	03:00	6.8	6.8	7.1	7.1	0.3
	B7	6.2	6.8	6.0	5.9	0.9	03:00	7.0	6.6	6.3	6.8	0.7
	B8	4.5	4.5	4.3	4.0	0.5	03:00	6.5	6.2	7.5	6.8	1.3
	B9	6.5	6.5	6.5	7.0	0.5	03:00	6.5	7.2	7.0	6.7	0.7

JIS規格を下回る
測定力

JIS規格を超える
測定力のばらつき

異常値

さらに、グループごとのばらつきについても検討するため、グループごとに練習前後の分散の計算を行なった。図 5-7 にその結果を示す。A グループは、練習前が 0.35 であったのに対し練習後は、0.31 と微減となった。一方の B グループは、練習前が 1.07 であったのに対し練習後は、0.27 と激減していた。ここから、練習前の B グループは、A グループと比較して、非常にばらつきが大きかったことを示すが、練習後は、A グループの練習前後よりもともに小さくなっており、新方法の効果が認められる。また、グループごとの有意差

は、分散の検定である F 検定を用いて確認を行なったところ、A グループは、有意差が認められなかったが、B グループは危険率 5%で有意差が認められ、ここでも新方法の効果が認められた。

したがって、測定力について A グループは、練習前後で平均値もばらつきも変化はなかったが、B グループは、練習をしたことで、平均値は大きくなったうえに、ばらつきは小さくなっていった。すなわち、平均値はグループおよび練習前後を問わず、JIS の規格範囲内であったのでとくに問題はないが、ばらつきについては、B グループが激減したことになり、測定力を一定化するという目的により近づいた結果となった。

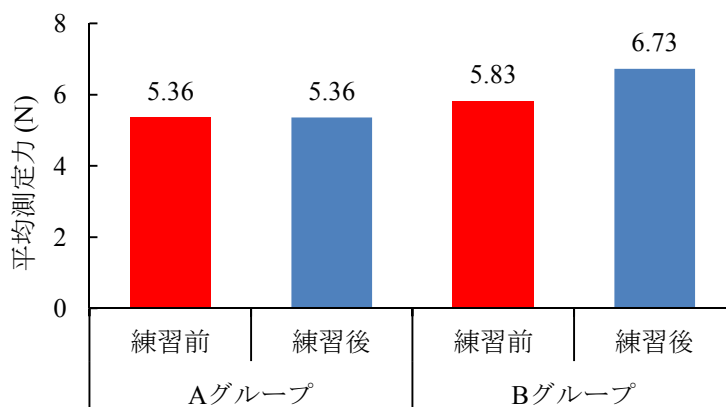


図 5-6 平均測定力の比較

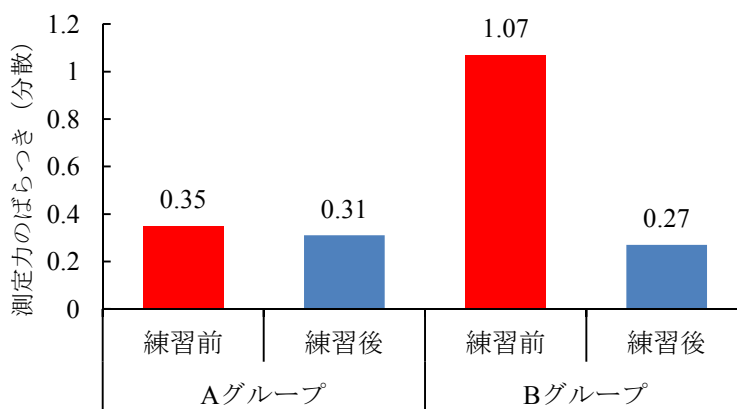


図 5-7 測定力のばらつきの比較

5.4.1.2 練習時間

練習時間については、A グループは被験者 9 名中 8 名が規格された練習時間である 3 分を待たずに練習を終了した。さらに、6 名の被験者が 1 分以下の練習時間となっており、短

時間で「練習は十分した」という判断を下していることがわかる。一方の B グループは、すべての被験者が、与えられた 3 分間すべてを使って練習をしていた。

5.4.1.3 測定力差と測定値のズレの関係

前節と同様に測定力差と測定値のズレを計算し、プロットしたものをグループごとに分けて作成した。この結果を図 5-8 に A グループ、図 5-9 に B グループを示す。両グループとも練習前の測定値のズレは、A グループのすべての被験者では、0.005mm、B グループでは、0.004mm の幅があったが、ばらつきは、右肩下がりの傾向で、縦軸と横軸の交点を中心にばらついていて、B グループのほうが大きいことがわかる。

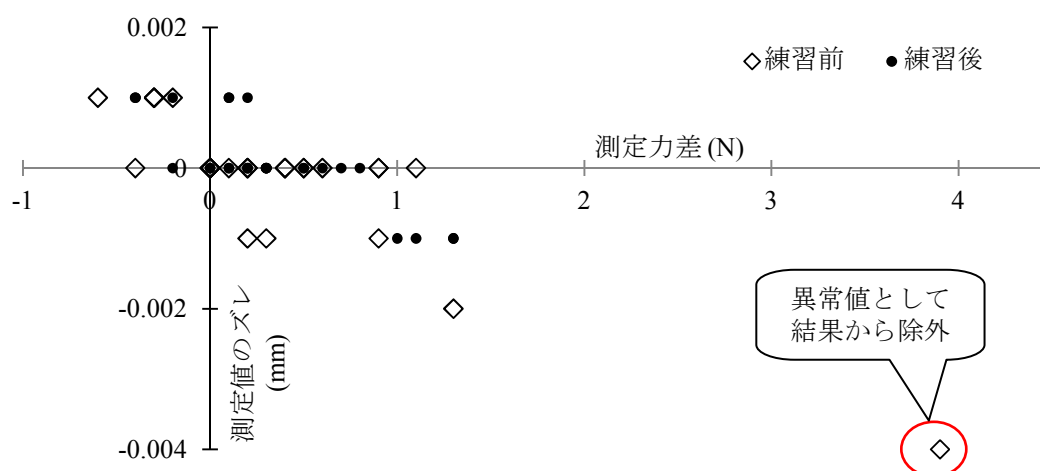


図 5-8 A グループの練習前後の測定力差と測定値のズレ

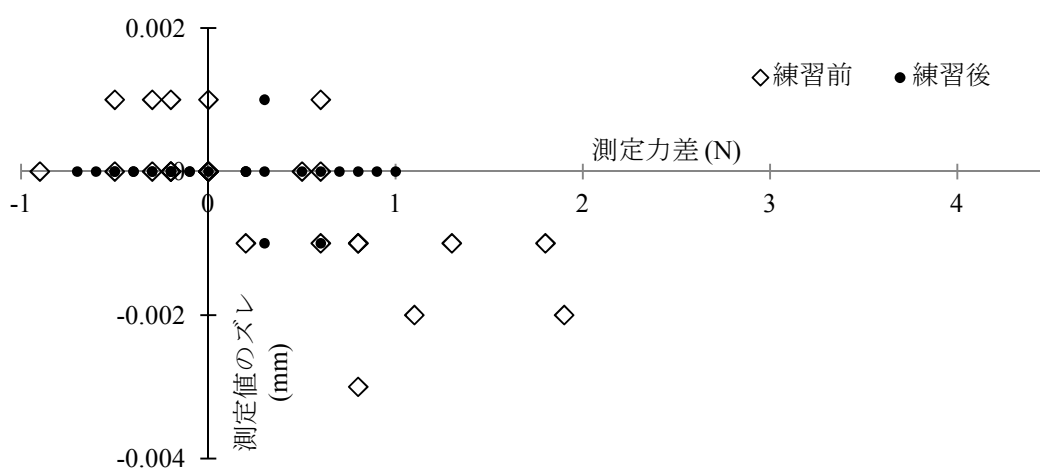


図 5-9 B グループの練習前後の測定力差と測定値のズレ

練習後の測定値のズレの幅については、両グループとも 0.002mm と練習前よりも小さくなり、どちらの練習方法でも効果があったことが認められる。しかし、測定力差については、それぞれの条件ごとに平均をとった平均測定力差を計算すると、図 5-10 に示すように、A グループの練習前が 0.26N だったのに対し、練習後は 0.33N と、約 27%の増加となり、B グループは、練習前が 0.29N であったのに対し、練習後は 0.08N と、70%以上の減少となり、大きな効果を上げたことがわかる。しかし、測定力差は、プラスの値とマイナスの値が混在しているので、測定力差をそのまま計算したのでは信頼性が薄い。そこで、すべての測定力差データの絶対値をとり、再度計算を行なった。図 5-11 にその結果を示す。A グループの練習前が 0.39N だったのに対し、練習後は 0.42N の約 5%増と、ほとんど変化が見られなかったが、B グループは、練習前が 0.53N であったのに対し、練習後は 0.41N と、約 23%以上の減少となった。

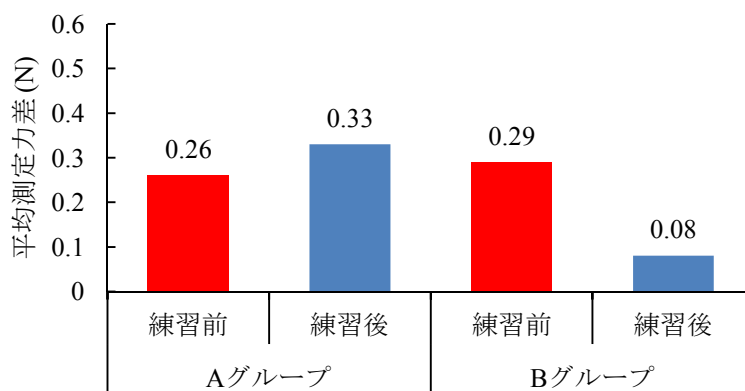


図 5-10 平均測定力差の比較

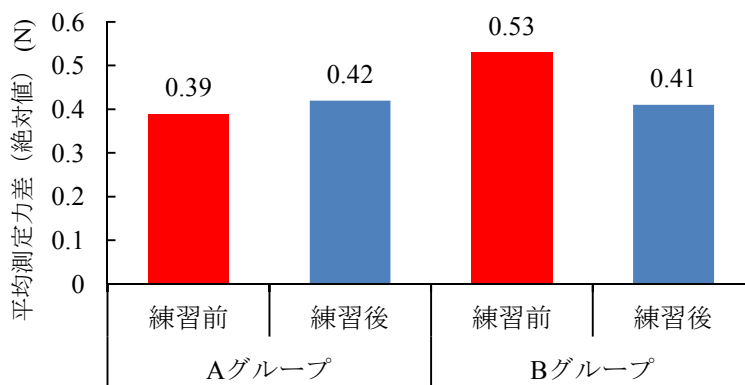


図 5-11 平均測定力差（絶対値）の比較

5.4.2 実習についてのアンケート調査

測定力測定装置について、被験者がどう見ているかを調べるため、アンケート調査を実施した。実験後は、被験者 18 名全員を対象に実験結果を示すと同時に、マイクロメーター測定力測定装置を 3 日間（約 24 時間）にわたり自由に触れる環境を与えた。その後、マイクロメーターを使った測定と測定力測定装置に関する無記名式のアンケートを実施した。その設問の内容と結果を図 5-12 に示す。

マイクロメーターを使った測定作業は、半数以上の 55%が得意（好き）と答えた。しかし、取り扱いに不安を感じているものが 67%と多数を占めた。その不安要素は目盛の読み取りが 40%、測定力の加え方 30%となった。つぎに、測定力測定装置に関する設問では、否定的な意見は皆無で、すべての被験者がその有効性を認めている結果となった。また、設問 5 に関しては、改良の必要があると答えたものが 33%を占めたが、具体的な内容については、自由記述式の回答を求めた。その内容の主なものは以下のとおりである。

- (1) 円筒形や球体の測定物を測定するときの測定力も知りたい。
- (2) マイクロメーターを手持ちで用いた場合でも使えるようにしてほしい。
- (3) JIS などの規格値を超えた場合、ブザーなどの警告音が鳴るとよい。

5.4.3 測定力測定装置を使った実習教育の試みに関する考察

測定力測定装置を使った実習教育の試みについてまとめると、A グループは、B グループと比較して、練習前の測定力のばらつきも小さく、平均測定力差も小さかったことから、もともとある程度の技能を持った集団であったともいえる。しかし、習熟度が低かったと考えられる B グループは、被験者全員がすべての測定において、JIS で規定された測定力で測定できていたため、練習後のばらつきも小さくなり、被験者個々においても測定力差が小さくなった。また、特筆すべきは、B グループのすべての測定力が JIS 規格である 5~15N の範囲内となったことにある。これらの結果から、新方法を使った B グループのほうが、従来方法である A グループより、教育効果が高かったといえる。さらに、与えられた時間のすべてを使って練習していたことから、集中して実習に取り組んでいたこともうかがえる。これは、測定力を実際に自分の目で確認できるようにしたこと、被験者各個人なりの試行結果を容易に確認することできるようになったため、被験者に対し、実習内容に強い興味を持たせつつ、実習に取り組ませることに成功したといえる。その結果、被験者が

集中して長時間練習したことで、技能の習熟度をさらに向上させることに繋がった。

測定力のばらつきは、JISにおいて3Nであることや、図 5-9 からわかるように、2N 程度のばらつきでは測定値に影響がおよばないことから、0.1N 単位の測定力の違いを議論することは無意味である。しかし、今回の測定力測定装置は、0.1N 単位まで読み取れるようにしたことは大きな意味を持つ。被験者にとって 1N の違いが大きく感じられ、より安定的な測定力での測定を目指す意識付けになったからである。

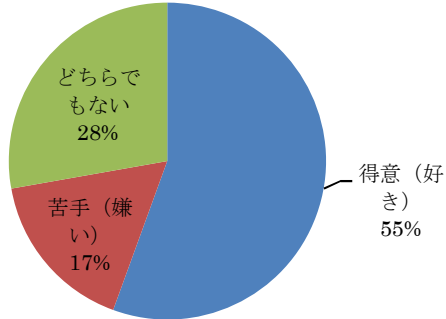
アンケートの結果からは、被験者たちは、今回の実習教育の試みは有効であるとの印象を持っていることがうかがえる。しかし、測定力測定装置に対するいくつかの改良点が指摘されている。とくに手持ち使用での測定力測定については、今回のような方法ではなく、測定器に装置を組み込む形式がよい。たとえば、マイクロメーターのフレームやスピンドル部のたわみを測定する方法やシンプル部の回転トルクを測定する方法などがあげられる。手持ち仕様での測定力が測定できれば、測定物の形状を選ぶことなく測定力を測定できる。

5.5 結言

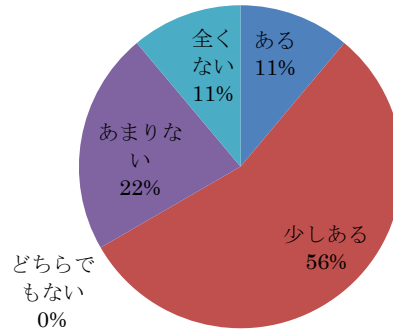
本研究により以下が明らかになった。

- (1) 実際の製造現場で作業に従事する作業者の測定力は、予想以上のばらつきがあり、製品品質に何らかの影響を与えていることが考えられるので、作業者の測定力の確認が必要である。
- (2) マイクロメーター測定力測定装置を用いた実習教育は、たいへん効果的である。
- (3) 測定機器そのものに測定力測定装置を組み込むほうが理想的である。
- (4) 測定作業者の注視行動分析から抽出された技能伝承の要点は、有用であることが実証された。

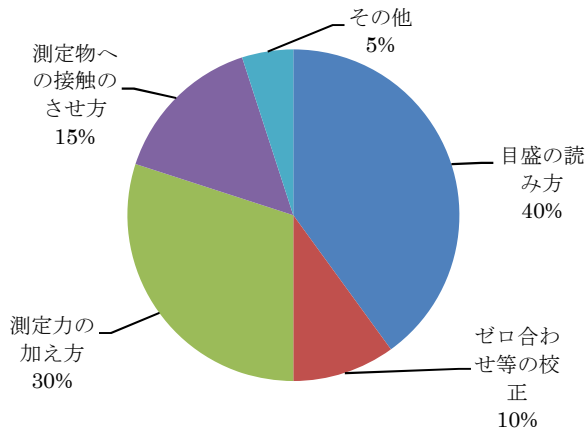
設問1 マイクロメーターを使った測定は得意(好き)ですか？



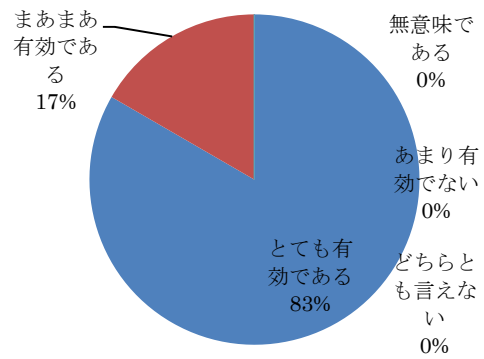
設問2 マイクロメーターの取り扱いに不安を感じることはありますか？



設問3 設問2において、「ある」、「少しある」と答えた方へ...不安を感じるのはどの部分ですか？(複数回答可)



設問4 マイクロメーター測定力測定器は実習の訓練機材として有効だと思いますか？



設問5 マイクロメーター測定力測定器は改良の必要はありますか？

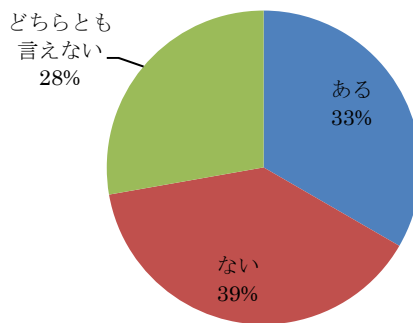


図 5-12 マイクロメーターの測定に関するアンケート結果

第5章の参考文献

- (501) 独立行政法人高齢・障害・求職者雇用支援機構 職業能力開発総合大学校 雇用開発研究センター, “機械加工実技教科書”, 社団法人雇用問題研究会 (2012), pp.36-37.
- (502) JIS B 7502-1994: “マイクロメーター”
- (503) 池田進, 矢野宏, “マイクロメーターの操作過程による個人誤差の発生機構”, 精密機械, Vol.50, No.11(1984), pp.1798-1802.
- (504) 社団法人日本機械学会, “機械実用便覧 改訂第6版”, 社団法人日本機械学会 (2005), pp.775.

第 6 章
結 論

第6章 結論

機械加工作業の多くは、作業者の感覚に依存するものがあり、これらを数値や言語に置き換えることは非常に困難である。このような人間の行動を研究する手法として注視行動分析がある。本論文は、普通旋盤作業者と寸法測定作業者の注視行動分析を行い、技能の上級者と初心者の相違点を明らかにするとともに、短時間で技能を評価する方法を提唱し、技能伝承のための要点を見出した。また、その要点を応用した技能伝承のための訓練を試行した。以下に得られた成果について各章ごとに要約する。

6.1 各章の結果

第1章では、序論として、研究の背景と本研究の目的と必要性について述べた。

第2章では、機械加工技能の場合でも、注視行動分析により技能の評価、すなわち作業の習熟度の評価が可能であるかを明らかにすることを目的とした。その手段として、まず、機械加工の代表格ともいえる普通旋盤作業を取り上げ、その作業時の眼球運動を、アイカメラを用いて計測し、専用分析ソフトにより注視行動分析を行なった。つぎに、作業者の注視行動と、技能習熟度との関連を調べ、機械加工作業の技能評価に利用できることを立証した。その結果、以下に示すように、普通旋盤作業者の注視行動と技能習熟度には関連があることが明らかとなったので、本章の目的である注視行動分析による機械加工作業の技能評価は、十分可能であることがわかった。

- (1) 普通旋盤作業時の注視点移動時間は、作業者の習熟度が高いほうが短い。
- (2) 上級者の注視点移動時間は、ばらつきがきわめて小さく、一定の注視点移動時間を維持しながら作業を進めている。
- (3) 自動送りから手動送りに切り替える際、初心者は、工具送り運動の停止が明らかに確認できたのに対し、上級者は、今回の実験方法では工具送り停止時間が確認できないほどの短時間で、スムーズに自動送りから手動送りに切り替えている。

第3章では、第2章で明らかになった初心者によく見られる注視点移動中の工具送り停止は、加工結果にどのような影響をおよぼすかについて、NC旋盤を用いて、工具摩耗、加

工表面性状，加工中の刃先温度を調査することにより明らかにすることをした．そして，機械加工作業者の技能習熟度と加工結果の関連から，技能伝承の要点を抽出し，有用性を確認することを目的とした．その結果，工具送り停止は，工具摩耗を著しく進行させるだけでなく，加工表面性状へも悪影響をおよぼすことがわかった．その詳細は，以下のとおりである．

- (1) 工具送り停止は，工具の刃先温度を急上昇させることになり，その結果，工具摩耗を著しく進行させる．
- (2) 工具の送り運動停止後 0.1 秒付近がもっとも工具刃先の温度が高く，工具の摩耗も著しく進行する．
- (3) 工具の送り運動停止は，わずかな時間でも加工表面性状にも明らかな変化をもたらし，その表面うねり Wz は，工具送り停止直後が急激に大きくなり，その後の変化は比較的なだらかである．

したがって，普通旋盤作業の上級者は，旋盤操作が加工結果におよぼす影響を体験的に知っていて，悪影響を防ぐためにスムーズな動作で作業を進めていることが示唆された．また，自動送りから手動送りへ切り替える際の工具送り停止は，加工結果への影響を最小限にするように，できるだけ短時間で行うことが望ましく，これが技能向上のための要点となる．さらに，本章により，上級者の注視行動が，加工結果への影響を少なくするためのものであることが明らかになり，注視行動分析により抽出した技能伝承の要点が有用であることを確認した．

第 4 章では，機械加工作業に含まれる寸法測定作業の代表格であり，ものづくり現場で多く使用されているマイクロメーターによる測定作業を取り上げ，測定作業者の注視行動分析をアイカメラと専用分析ソフトを用いて行ない，習熟度の違いによる注視行動の相違点を明らかにした．なお，作業者の注視行動分析結果から，初心者への測定技能の訓練を効率的に行い，その期間を短縮化することを目的とした新たな技能伝承の要点を抽出した．さらに，初心者への測定技能の伝承を効率的に行い，その期間を短縮化するための技能伝承の要点を抽出した．その詳細は，以下のとおりである．

- (1) 注視点移動と測定技能の習得度には関連がある

- (2) 作業の上級者は注視点移動が少なく、注視する項目が限定されている。
- (3) 上級者は、作業中の余所見がなく、作業に集中している。
- (4) 寸法測定作業全体の効率を向上させるには、作業者が、マイクロメーターと測定物を短時間でスムーズに接触させる技能を獲得することが重要である。
- (5) マイクロメーターの測定作業の技能伝承では、マイクロメーターを測定物へ接触させる部分に重点を置いて指導すべきである。

ゆえに、測定作業の上級者と初心者の注視行動は明らかに異なっており、それを分析することで、技能向上のための要点を抽出可能であることがわかった。さらに、第1章の「本研究の目的」の中で、「人が行なう作業は、習熟度が上がるにつれ、その作業者の視点の動きは少なくなり、意識している視野は狭くなるのではないか」という疑問についても、実験結果の(2)が、その回答を示唆していると考えられる。

第5章では、第4章で抽出された技能伝承の要点を応用し、測定器と測定物を接触させるときの測定力を、より早く一定化させることを目的とした訓練の試行を行なった。この目的を実現するため、まず、マイクロメーターの測定力を測定する装置を考案し、製作した。つぎに、この測定装置を用いて、実際のものづくりに携わる作業者のマイクロメーターの測定力を調査し、現状と問題点を把握した。さらに、マイクロメーターの取り扱いを教育する現場に、開発した測定装置を持ち込み、実習を行ない、従来の実習教育の結果との比較により、考案・製作した装置の効果について検証した。その詳細は、以下のとおりである。

- (1) 実際の製造現場で作業に従事する作業者の測定力は、予想以上のばらつきがあり、製品品質に何らかの影響を与えていることが考えられるので、作業者の測定力の確認が必要である。
- (2) マイクロメーター測定力測定装置を用いた実習教育は、たいへん効果的である。
- (3) 測定機器そのものに測定力測定装置を組み込むほうが理想的である。
- (4) 測定作業者の注視行動分析から抽出された技能伝承の要点は、有用であることが実証された。

上記各章の結果をまとめると、以下のことがいえる。

(1) 注視行動分析による技能の評価の短時間化

注視行動分析により技能の評価を行なう場合は、ある注視項目からある注視項目へ移動するときにかかる時間を用いるとよい。これは、できるだけ迅速な作業を求められる部分を選択する必要があるが、短時間で評価が可能である。また、どの部分の注視点移動時間を用いて評価を行なっていると被験者が知ったとしても評価は可能であったことから、繰り返し利用できる。しかし、卓上での作業など、注視点の移動範囲が狭い作業の場合、注視点移動時間が短くなるため、技能の評価に利用できない場合もある。

(2) 技能伝承の要点抽出

技能伝承の要点抽出には、各注視項目を注視する時間を、上級者と初心者で比較することで可能である。しかし、その根拠となる別方法での実験が必須となる。

6.2 今後の展望

本研究をとおしての今後の展望を述べる。

(1) 多くの被験者でのさらなる確認

本研究では、同程度の技能習熟度の被験者を最大限用意したが、決して十分とは言えない。また、習熟度も上級者と初心者という 2 階層に分けたのみで、多階層での検討は行っていない。これには、多数の被験者が必要となるので、今後の課題としたい。

(2) 機械加工作業での注視行動の共通点の抽出

本研究では、普通旋盤作業とマイクロメーターによる測定作業を取り上げた。しかし、一言に機械加工といっても、無数の作業があるので、すべてに共通する分析結果を得る必要がある。これには、多くの作業での注視行動分析を行ない、共通点を見出す必要がある。

(3) 他のものづくり技能での適用

ものづくり技能は機械加工ばかりでなく、多くの工程が存在する。たとえば、目視検査や組立工程、機械保全作業などがある。とくに今後取り組んでみたいものに、目視による部品の外観検査である。こういった工程には、女性のパート社員が担当しているケースが多く、高速でベルトコンベア上を流れる部品を、瞬時に目視で判別して取り除く作業などがある。このような工程の分析には、注視行動分析が最適であると考えられ、作業の標準化に高い効果を上げることが期待できる。

謝 辞

本研究を進めるにあたり、指導教員である東京農工大学大学院工学府機械システム工学専攻 夏恒教授には、技術経営研究科技術リスクマネジメント専攻入学当初から 5 年間という長きにわたり、理論的な研究の進め方、現象の捉え方や考え方など、研究の初歩的な部分から、懇切丁寧なご指導ご鞭撻を賜りましたことに深く感謝いたします。

学位論文審査において、あたたかいご指導とご教示を賜った東京農工大学大学院工学府機械システム工学専攻 桑原利彦教授、同 安藤泰久教授、同 笹原弘之教授、同 中本圭一准教授に深甚なる謝意を表します。

さらに、本研究を進める過程で、貴重なご意見およびご鞭撻を賜りました東京農工大学大学院工学府産業技術専攻 亀山秀雄教授、株式会社スキルメイト代表取締役 宇野和彦氏に厚く御礼を申し上げます。

本研究の工具刃先温度測定実験を遂行するにあたり、たくさんのご指導とご協力を賜りました東京農工大学工学部技術専門員 茅野雅久氏、同 木下淳氏、ならびに同 笹原研究室の皆様に感謝申し上げます。

また、普通旋盤作業に関する実験の被験者役をご快諾頂きました埼玉県東松山市のボッシュ株式会社技能五輪チームの皆様、そして、マイクロメーターの測定力調査にご協力を賜りました千葉県成田市の堀口エンジニアリング株式会社成田工場の皆様に厚く御礼申し上げます。

本研究の実験の一部は、関東職業能力開発大学校附属千葉職業能力開発短期大学校成田校生産技術科の総合制作実習で行なわれ、関東職業能力開発大学校附属千葉職業能力開発短期大学校 柿栖昇元校長、同 前校長 平塚剛一博士、同 秋葉守正前能力開発部長、同 大野誠一能力開発部長、ならびに同 教員諸氏の多大なるご協力を頂きました。厚く御礼を申し上げます。

本論文をまとめるにあたり、ご意見およびご協力を賜りました関東職業能力開発大学校生産機械システム技術科 伊藤昌樹能開教授、同生産技術科 上坂淳一能開教授、同生産技術科 藤田秀樹博士をはじめ、同 教員諸氏に厚く御礼申し上げます。

最後に、これまで長きにわたり私を応援してくれた亡き祖母、そして、最後まで私を励まし続けてくれた両親と家族、友人に心から感謝します。

本研究の一部を発表した研究論文および口頭講演

1. 学会誌等論文（査読有り）

- (1) 武雄靖, 夏恒：技能伝承のためのマイクロメータによる寸法測定作業中の注視点移動に関する実験的検討, 日本機械学会論文集（C編）, Vol.79, No.799, pp.814-826, 2013（第4章）
- (2) 武雄靖, 夏恒：普通旋盤加工の送り停止時における工具摩耗と加工面うねりにおおよぼす作業者の技能習熟度の影響に関する研究, 砥粒加工学会誌, Vol.57, No.9, pp.588-593, 2013（第3章）
- (3) Yasushi Takeo, Wataru Natsu, Study on influence of skill level on tool wear during feed mode change in lathe work, Advanced Materials Research, Vol.774-776, pp.1085-1089, 2013（第2章, 第3章）
- (4) 武雄靖, 夏恒：外側マイクロメータの測定力一定化の教育実践に関する研究, 工学教育, 掲載決定（第5章）

2. 口頭講演

- (1) Yasushi Takeo, Wataru Natsu, Education and Evaluation of Measurement Skill with Correlation between Proficiency and Viewpoint, Proceedings of International Symposium on Standardization Education and Research 2010, pp.144-155 (March, 2010, Hangzhou, China)
- (2) 武雄靖, 夏恒：測定技能の習熟度と注視点の変化に関する実験的検討, 国際 P2M 学会, 研究発表大会予稿集 2010（秋季）, pp.212-221（2010/9/4, 東京工業大学）
- (3) Yasushi Takeo, Wataru Natsu, Development of Evaluation Method for Measurement Skill Training, Proceedings of International Symposium on Standardization Education and Research 2011, pp.130-145 (January, 2011, Tokyo, Japan)
- (4) 武雄靖, 夏恒：眼球運動分析による機械加工技能の評価と技能伝承に関する研究, 日本 MOT 学会, 2011 年度第 3 回年次研究発表会予稿集, pp.40-43（2012/3/17, 名古屋工業大学）
- (5) 武雄靖, 夏恒：眼球運動分析による普通旋盤加工技能の評価に関する研究, 精密工学会大会学術講演会講演論文集, pp.265-266（2013/3/14, 東京工業大学）

付 録

付録1「職業能力開発大学校について」

本研究では、実験における被験者のほとんどが、職業能力開発大学校の教員と学生の協力を得て行なわれた。そこで、職業能力開発大学校について簡単に述べることにする。

我が国が技術立国として持続的な経済成長を実現していくためには、新技術の開発、製品などの高付加価値化や新分野への展開などが必要であり、自動車、機械、電機などの基幹産業を各地域で支える中小ものづくり企業における技能・技術者の存在が不可欠である。とくに、中小企業を中心として技能・技術の伝承やものづくり技術を支える人材の確保・育成が困難となっている。

こうした要望に応えるために、国、都道府県、および認定を受けた事業主が行う高度職業訓練のうち、長期間の訓練（専門課程、応用課程）および短期間の訓練（専門短期課程、応用短期課程）を行う職業訓練施設が職業能力開発大学校である。普通職業訓練のうち、短期課程を行うこともでき、高度技能者の養成を目的とする厚生労働省所管の職業能力開発促進法で規定されている省庁大学校である。このうち、厚生労働省が設置しているものは、独立行政法人高齢・障害・求職者雇用支援機構（以下「機構」と呼ぶ）が運営しており、職業能力開発大学校（10校）および職業能力開発短期大学校（1校）を全国に設置し、技術革新に対応できる高度な知識と技能・技術を兼ね備えた実践技能者（テクニシャン・エンジニア）の育成を目的とした2年制の専門課程、さらに、産業界や地域のニーズに応じて、新製品の開発、生産工程の構築などに対応できる将来の生産技術・生産管理部門のリーダーを育成することを目的とした2年制の応用課程を実施している。

その沿革は、1970年代から1990年代にかけて、雇用促進事業団（機構の前身）により職業訓練短期大学校として全国に設置され、1993年には職業能力開発促進法の改正により、職業能力開発短期大学校（専門課程のみ。以下、短大校と呼ぶ）と改名した。1999年から2001年にかけて、10の短大校に応用課程が新設されて2年制+2年制となり、これらが職業能力開発大学校となった。同時に、13の短大校はこれらの職業能力開発大学校（北海道、沖縄を除く）の付属校となり、茨城、群馬の2の短大校は閉校、横浜、神戸の2の港湾短大校はそのまま短大校として存続した。1校（東京職業能力開発短期大学校）は、応用課程を新設した上で職業能力開発総合大学校に統合された。

付録2 「U 検定について」

(1) 統計的検定とは

統計的検定とは、ある仮説が正しいとってよいかどうかを統計学的・確率論的に判断するためのアルゴリズムである。仮説が正しいと仮定した上で、それに従う母集団から、実際に観察された標本が抽出される確率を求め、その値により判断を行う。その確率が十分に（予め決めておいた値より）小さければ、「仮説は成り立ちそうもない」と判断できる。

統計的検定は次のような手順で実施する。

①仮説の設定

仮説が正しいと仮定した場合にその標本が観察される確率を算出できるように、仮説を統計学的に表現する。通常、証明したい仮説の反対の仮説（帰無仮説）をたてる。これに対し、証明したい仮説を対立仮説という。

②統計量の算出

母集団からサンプリングした標本データから、仮説に関係した情報を要約する検定統計量を計算する。

③統計量の確率分布

仮説に基づき、検定統計量の確率分布を明らかにする。

④危険域の設定

可能なすべての値の集合の中で、仮説に反する極端な範囲（分布関数をグラフ表示した場合には、裾に当たる部分）を選ぶ。これは検定統計量の危険域と呼ばれる。仮説が正しい場合に検定統計量が危険域内に入る確率を検定の危険率（有意水準） α と呼ぶ。危険率は、一般的に 0.05（5%）を用いることが多いが、医学や薬学の分野など、より高い精度での検定結果を得たい場合は、0.01（1%）を用いることがある。また、仮説が「平均が等しい」と主張するタイプであれば、分布関数の裾として左右両側を用いる（両側検定）。また「…の方が、平均が大きい（小さい）ということはない」と主張するタイプであれば、片側の裾だけを用いる（片側検定）。検定の種類によっては、両側検定または片側検定のみということもある。

⑤判定

データから算出した統計量が危険域内にあるかどうかを判定する。通常は、統計量が仮定した分布の中で、算出した統計量と同じかそれよりも極端な（仮説に反する）値となる確率（これを p 値という）を数表などにより求め、これと α とを比較し、 $p < \alpha$ ならば危険域の内部にあると判断する。検定統計量が危険域内にあれば、結論としては、仮説はただしくない。したがって、帰無仮説を棄却する、あるいは、 α 以下の確率しかない事象が起こった、のいずれかになる。この場合を α 水準で統計学的に有意であるという。一方、検定統計量が危険域の外側にあれば、仮説を棄却するに足る証拠はないというのがただ一つの結論となる。

(2) 尺度水準

データには、名義、順序、間隔、比率の 4 つの尺度がある。

①名義尺度

「はい」と「いいえ」、「男」と「女」など、単に分けることにのみ使っているデータ。たとえば、刺激が「あった」か「なかった」かなどは名義尺度である。

②順序尺度

「1 位」「2 位」「3 位」や「たいへん良い」「良い」「ふつう」「悪い」「たいへん悪い」のように、順序関係で分類されるもの。名義尺度の変数は数直線上に並べることは出来ないが、順序尺度の変数は並べることが可能。その間の差は定義されない。したがって、中央値には意味があるが、平均値には意味がない。

③間隔尺度

温度など、測定値のあいだの差が意味を持つが、比は意味を持たないもの。たとえば、 10°C と 20°C の差は意味があるが、2 倍の温度であるわけではない。

④比率尺度

長さや重さなど、測定間の距離とともに、その比率も意味を持つもの。真の 0 を持つデータであるとも言える。尺度は比率、間隔、順序、名義の順で上位に位置し、上位の尺度は下位の尺度の性質も備える。前節で述べたように、パラメトリックな方法は、上位の間隔、比率尺度にのみ適用可能であり、順序、名義尺度には適用できない。というのも、パラメトリックな方法の場合には、正規分布の平均、分散を考えるからであり、名義、順序

尺度はその平均値が意味を成さないからである。なお統計では比率，間隔尺度は同じ手法で扱えるため，それほど厳密に区別する必要はない。

(3) パラメトリックな検定とノンパラメトリックな検定

パラメトリックな検定とは，母集団の特性を規定する母数についてある仮説を設けるもので，平均値の差の検定（t 検定と略称されることが多い）や分散分析（F 検定と略称されることがある）などがこれに該当する。これらの検定手法では，母集団の正規性や等分散性が仮定される。一方，ノンパラメトリックな検定とは，母集団の分布型（母数）について一切の仮定を設けない。このため，分布によらない手法と呼ばれることもある。とくに，標本サイズが小さい場合には，それから求められた統計量の分布型は不正確なことが多く，パラメトリックな手法を適用することは不適切になりやすい。しかし，ノンパラメトリックな手法は常に適用可能である。

このほかにも両者の相違点は数多く，パラメトリックな検定とノンパラメトリックな検定の比較しまとめたものを表 付-1 に，のようにまとめられる。検定目的で分類したものを表 付-2 に示す。尺度水準については，パラメトリックな方法は，上位の間隔，比率尺度にのみ適用可能であり，順序，名義尺度には適用できない。なぜなら，パラメトリックな方法の場合は，正規分布の平均，分散を考えるからであり，名義，順序尺度はその平均値が意味を成さないからである。なお統計では比率，間隔尺度は同じ手法で扱えるため，それほど厳密に区別する必要はない。

表 付-1 パラメトリックな検定とノンパラメトリックな検定の比較

項目	パラメトリックな検定	ノンパラメトリックな検定
対象とする統計量	・平均値	・代表値
	・分散	・散布度
	・積率相関係数	・関連性係数，順位相関係数
		・度数
尺度水準	・間隔尺度，比例尺度	・名義尺度，順序尺度 ・間隔尺度，比例尺度
母集団の分布型	・正規分布を仮定 ・等分散性を仮定	・不問
標本サイズ	・小さすぎてはいけない	・不問

表 付-2 検定目的による検定の分類

検定目的	パラメトリック	ノンパラメトリック	
		名義尺度	順序尺度以上
適合度		・ χ^2 検定	・ χ^2 検定 ・ 1標本コルモゴロフ・スミルノフ検定
独立性	・ 相関係数の検定	・ χ^2 検定 ・ フィッシャーの正確確率検定	・ χ^2 検定 ・ フィッシャーの正確確率検定
比率の差		・ χ^2 検定 ・ フィッシャーの正確確率検定 ・ マクネマー検定 ・ コ克蘭のQ検定	・ χ^2 検定 ・ フィッシャーの正確確率検定 ・ マクネマー検定 ・ コ克蘭のQ検定
母比率		・ 二項検定	・ 二項検定
対応のない2標本の代表値の差	・ 平均値の差のt検定		・ マン・ホイットニーのU検定 ・ 2標本コルモゴロフ・スミルノフ検定 ・ ファン・デル・ワーデン検定 ・ 中央値検定
対応のある2標本の代表値の差	・ 平均値の差のt検定		・ 符号検定 ・ 符号付順位和検定
対応のないK標本の代表値の差	・ 一元配置分散分析		・ クラスカル・ウォリス検定 ・ 中央値検定
対応のあるK標本の代表値の差	・ 乱塊法		・ フリードマンの検定

(4) マン・ホイットニーのU検定

マン・ホイットニーのU検定は、ノンパラメトリックな統計的検定でもっともよく知られるもののひとつである。また、の順位和検定と呼ばれるのも実質的に同じ方法であり、まとめてマン・ホイットニー・ウィルコクソン検定とも呼ばれる場合もある。

独立な2組の標本の有意差検定として用いられ、変数は順位としてとれば（つまり二つを比較してどちらが大きいかが分かれば）よい。二つの観察された分布のあいだの重なり具合が偶然で期待されるよりも小さいかどうかを、「両標本が同じ母集団から抽出された」との帰無仮説に基づいて検定する方法である。

マン・ホイットニーの U 検定の手順

①仮説の設定

帰無仮説 H_0 : 「2 群の母代表値に差はない」

対立仮説 H_1 : 「2 群の母代表値に差がある」

有意水準 α で両側検定を行う (片側検定も定義できる) .

②2 群のデータ数をそれぞれ n_1, n_2 とし, $n = n_1 + n_2$ とする.

③2 群をひとつにし, データを小さい順に並べ, 小さい方から順位をつける. 同順位がある場合には平均順位をつける.

④各群に付けられた順位の和 R_1, R_2 を求める.

⑤次式で U_1, U_2 を求め, 検定統計量 $U = \min(R_1, R_2)$ を求める.

$$U_1 = n_1 n_2 + \frac{n_1(n_1 + 1)}{2} - R_1$$

$$U_2 = n_1 n_2 + \frac{n_2(n_2 + 1)}{2} - R_2$$

⑥検定統計量 U より, 期待値 $E(U)$, 分散 $V(U)$ を求め, 検定統計量 Z_0 を求める.

$$E(U) = \frac{n_1 n_2}{2}$$

$$V(U) = \frac{n_1 n_2 (n + 1)}{12}$$

$$Z_0 = \frac{|U - E(U)|}{\sqrt{V(U)}}$$

⑦有意確率を $p = Pr\{|Z| \geq Z_0\}$ とする.

⑧帰無仮説の採否を決める.

• $p > \alpha$ のとき, 帰無仮説 H_0 を採択する.

すなわち, 「2 群の母代表値に差があるとはいえない」.

• $p \leq \alpha$ のとき, 帰無仮説 H_0 を棄却し, 対立仮説 H_1 を採択する.

すなわち 「2 群の母代表値に差がある」.