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*

武雄 靖^{*1}, 夏 恒^{*2}

Experimental Study on Gaze Point Movement in Size Measurement Skill with Micrometer for Skill Succession

Yasushi TAKEO^{*1} and Wataru NATSU

^{*1} Chiba Polytechnic College, Narita. Dept. of Production Technology
Namiki-choi 221-20, Narita-city, Chiba, 286-0045 Japan

Since a technician usually watches the work point while confirming his hand-tip's movement and the state of the tool and the equipment, it leads us to wonder if there exists the relationship between the gaze point movement of the technician and his skill proficiency. If the relationship is clarified, it would be effectively used in the skill education and the evaluation. In order to find out the relationship between the gaze point movement and the skill proficiency, in this research an eye camera and analysis software were used in the size measurement with a micrometer. The analysis of the gaze point movement was observed, and the relationship of the gaze point movement and the skill proficiency was discussed based on the experimental results. It was found out that the technician's gaze point movement relates with his skill proficiency. The result and discussion also showed that it is effective to put emphasis on the contact between the micrometer and the measured object, in the technical training for the size measurement with a micrometer.

Key Words : Skill Succession, Personnel Training, Skill Assessment, Gaze Point Movement Analysis, Measurement, Technology Transfer and Education, Human Engineering

1. 緒 言

技能とは、「経験や訓練により獲得された目的行為の達成能力」であるといわれる⁽¹⁾。この能力とは、作業の迅速や正確さ、仕事への探求心の高さ、異常時での適応力、技術を具現化する力など様々なものが含まれる。これらのすべてを、一個人の中で専門的に高度化された人が、技能に対する高い習熟度を持つ熟練技能者と呼ばれる。今、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」⁽²⁾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、雇用延長などで一応の落ち着きを取り戻したが、これは、単に問題の先送りではなく、しっかりとした対応が取られたとは言えない。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、それを支える熟練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。

ものづくりの技能は、先にも述べたとおり、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全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

* 原稿受付 2012 年 1 月 23 日

^{*1} 正員, 千葉職業能力開発短期大学校成田校 生産技術科 (〒286-0045 千葉県成田市並木町 221-20)

^{*2} 正員, 東京農工大学大学院 工学府

E-mail: Takeo.Yasushi@jeed.or.jp

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)」⁽³⁾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こでの経営課題を、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 56.2% と最も多かった。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。

このような中、測定技能に限らず、熟練技能者が持つ高度なものづくり技能をどう教育・伝承し、評価していくのかという問題については、以前から多くの取り組みがなされている。例えば IT 技術を活用した技能のデジタル化⁽⁴⁾⁽⁵⁾や技能継承支援ツールの開発⁽⁶⁾、加工技能の可視化⁽⁷⁾などがあげられる。それらの内容は、暗黙知の塊といえる技能を数値化するなど、形式知に変換する試みから、教育訓練や、技能の技術化による自動化、ならびに技能伝承に役立てようとするものであった。また、熟練技能は、すべて技術に置き換え可能では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き換え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行われている⁽⁸⁾。そして、ものづくり技能の評価については、国家検定制度として実施されている「技能検定」⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾の利用が、ものづくり企業での技能者の評価や職業訓練などを行う学校で多く見られる。

一方、検査や工作などの感覚運動系技能は、技能者の手及び指の感覚運動能力、目及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、眼球運動分析による注視点移動の評価が様々な分野で利用されている。眼球運動の測定は、Donders⁽¹¹⁾により 1847 年に最初の試みが行われているが、その後、1900 年に Dodge が、角膜反射による測定法⁽¹²⁾を開発してから、心理学および医療の分野での研究⁽¹³⁾が進められてきた。近年では、眼球運動分析の測定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。

眼球運動分析を用いて技能を検討しようとする研究で、特に知られているのが、自動車の運転技能に関するもの⁽¹⁴⁾であろう。その他にも、滑空機操縦⁽¹⁵⁾や調理⁽¹⁶⁾、茶道⁽¹⁷⁾や金網⁽¹⁸⁾の熟練技能の検討に眼球運動分析が用いられ、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点移動には、関連があると報告されている。また、動作と視線の計測により、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⁽¹⁹⁾も行われている。一方、ものづくり技能の伝承に関連したものでは、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⁽²⁰⁾が行われており、この続報⁽²¹⁾では、ものづくり技能ではないが、書写の技能を取り上げ、眼球運動分析を行い、技能伝承への活用を示唆している。しかし、測定技能の習熟度と注視点移動との関係や、眼球運動分析を利用した測定技能の評価の可能性についての研究報告が、筆者らの調査では見当たらない。

そこで本研究では、ものづくり現場で多く使用されているマイクロメータによる寸法測定作業を取り上げ、その習熟度に応じて作業者の注視点移動に差があるという仮説のもと、実験とその結果の検証を行なった。そして、技能の習熟度が高いとされる上級者と、低いとされる初心者との相違点を明らかにし、初心者への測定技能の教育訓練を効率的に行い、その期間を短縮化するための指導ポイントを見出すことを目的とした。

2. 実験方法

本研究では、マイクロメータ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⁽²²⁾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者（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による長さ測定の作業を行っている

被験者の注視点移動を、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。

2・1 被験者

被験者は、職業訓練系短期大学の教員及び学生の中から、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と考えたからである。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（職業訓練系短期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者であり、3級は、ものづくりを学ぶ学生や、外国人研修生等となるので、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。従って、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。正しく安全な作業を行うこ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特に限定をせず、被験者の自由とした。

2・2 実験機材

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1に示す円筒状の測定物の外径の3箇所を外側マイクロメータで測定し、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、測定物の最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箇所の測定順序は特に指定していない。

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。この装置は、瞳孔／角膜反射方式を採用しており、両眼の視点位置を同時に測定が可能である。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）の映像と両眼の視点位置を同時にデジタルビデオカメラに記録した。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。

Fig.1 Measurement work and measurement part and the experiment situation

2・3 実験データの採取と解析方法

アイカメラからのデータは、デジタルビデオデータとして記録され、図2のように、左右の目の注視点はアイマークと呼ばれる「□（右目）」と「+（左目）」で表示される。

実験の流れを図3に示す。今回使用したアイカメラは、近赤外照明による被験者の角膜反射像の位置と、瞳孔中心位置の相対的な距離からアイマークを検出している。しかし、角膜反射像の位置に影響する眼球の大きさや、瞳孔中心位置には個人差があるため、キャリブレーションにより、個人の眼球の特性を吸収する必要がある。従って、アイカメラのキャリブレーションについては、被験者が変わる毎に必ず行なわなければならない。

実験では、図1に示した円筒部の3箇所を、それぞれ1回ずつ全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、前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。注視項目は、測定器と測定物の「接触点」、測定器の「目盛」、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。

3. 注視点変化の測定結果

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、全ての被験者が、測定箇所の最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最も小さい箇所から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。

つぎに、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1コマ（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⁽²³⁾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。

しかし、Frame by Frame 分析法による注視点の確認では、瞬間的に発生する注視していない時間も含まれてしまう。そこで、注視しているかどうかの判断には、先行研究⁽²⁴⁾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2に上級者、表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1、2、3の結果をまとめ、図5に上級者、図6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5と図6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、全く無いことがわかる。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。

Fig.2 The image of a video data and the set-up gaze point items

Fig.3 The flow of the experiment

Fig.4 Gaze item change table of typical expert and beginner

Table 1 The average gazing number for each gaze item

	Expert	Beginner
Contact point	1.6	3.4
Scale	5.4	8.0
Chart	4.2	4.3
Other	0	1.3

Table 2 Expert's average moving number between different gaze items

Gaze items		To			
		Contact point	Scale	Chart	Other
From	Contact point		1.3	0	0
	Scale	0.5		3.8	0
	Chart	0.2	3.5		0
	Other	0	0	0	

Table 3 Beginner's average moving number between different gaze items

Gaze items		To			
		Contact point	Scale	Chart	Other
From	Contact point		1.8	0	0.5
	Scale	1.1		3.3	0.2
	Chart	0.4	2.2		0.4
	Other	0.2	0.5	0.3	

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。従って、「接触点」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ことが考えられる。

一方、図7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。

Table 4 Each expert's measurement time and result of a measurement

Measurement place	Subjects	A1	A2	B1	B2
1st	Measurement time (sec)	15.115	13.547	17.284	15.215
	Measurement result (mm) (True value:15.479)	15.480	15.478	15.980	15.480
2nd	Measurement time (sec)	17.251	20.12	26.46	21.445
	Measurement result (mm) (True value:18.960)	18.958	18.959	18.960	18.960
3rd	Measurement time (sec)	25.259	20.787	25.592	21.555
	Measurement result (mm) (True value:22.085)	22.083	22.084	21.587	22.087

Table 5 Each beginner's measurement time and result of a measurement

Measurement place	Subjects	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
1st	Measurement time (sec)	35.369	24.825	20.187	19.720	19.653	50.817	21.788
	Measurement result (mm) (True value:15.479)	15.481	15.480	15.048	15.985	15.471	15.470	15.474
2nd	Measurement time (sec)	35.369	30.063	25.993	32.666	21.788	39.006	30.964
	Measurement result (mm) (True value:18.960)	19.961	19.961	19.960	18.985	19.960	19.960	19.959
3rd	Measurement time (sec)	29.363	54.087	24.591	24.324	20.854	53.453	29.193
	Measurement result (mm) (True value:22.085)	22.089	22.089	22.008	22.095	22.089	22.085	22.082

Fig.7 Average gaze time of each gaze item

Table 6 Result of Mann-Whitney's U-test

Total gaze time			
Gaze items	1st	2nd	3rd
Contact point	<0.05	<0.05	<0.05
Scale	<0.05	0.345	0.571
Chart	0.450	0.059	0.463
Other	<0.05	<0.05	0.080
Ungazed	0.449	0.131	0.218
Measurement time and the total number of times of a gaze			
Items	1st	2nd	3rd
Measurement time	<0.01	<0.05	0.185
The total measurement time	<0.05		

4. 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最も求められる技能である。従って、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・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。

図4からは、上級者が接触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を防止していることが考えられる。一方の初心者は、接触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。特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5、図6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。

マイクロメータと測定物がしっかりと接触していなければ、マイクロメータと測定物との間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あると思われる。初心者が不慣れなため、マイクロメータ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といえる。以上の結果から、マイクロメータによる測定作業は、目盛の読み間違いを防ぐことと共に、測定物とマイクロメータを正しくしっかりと接触させることも大変重要となる。

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7に示す。全ての測定箇所でも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、マイクロメータの測定技能の習熟度との関連があると考えられる。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箇所とも全く「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。

Table 7 Experimentally concluded significance of the relation between the average gaze time and the skill level

	With significant difference	With some difference	With litter difference	Without significant difference
Gaze items	<ul style="list-style-type: none"> • Contact point • (The total measurement time) 	<ul style="list-style-type: none"> • Other • Measurement time 	<ul style="list-style-type: none"> • Scale 	<ul style="list-style-type: none"> • Chart • Ungazed
Relation with skill proficiency

以上の結果から、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」を注視していないことが明らかであるのに対し、初心者には、全ての測定箇所では「その他」が観察されたのは、初心者が、慣れない作業を行うにあたり、どうしても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。

つぎに、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、特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と思われる。

4・3 測定値の読み取り間違いについて

ここでは、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の場合、測定者の目測により1 μ m台の読み取りは行われる。JIS B 7502によれば、今回使用した0~25mmの外側マイクロメータの総合誤差は $\pm 4\mu$ mであり、また誤差はさらに大きいとの報告⁽²⁷⁾もあるので、真値との違いが $\pm 4\mu$ 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、マイクロメータの目盛の読み違いによるもので、シンプル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。特に初心者の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 μ 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8参照)。

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といえる。

Fig.8 Scale of micrometer that shows measurements “18.960mm”

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⁽²⁸⁾。しかし,測定値が直読できるデジタル式マイクロメータや,カウンター付きマイクロメータなどの普及により,測定値の読み間違いは激減できるため,特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特に重要な技能要素となる。

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の取り扱いについての教育訓練は,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を用いて行なった。また,簡易な実験とするためアイカメラの使用も中止した。

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とした。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訓練系短期大学の教員4名,初心者グループとしては,技能検定機械検査作業3級合格者の職業訓練系短期大学の学生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,総作業時間については,約20秒の差があり,Mann-WhitneyのU検定の結果も危険率5%で有意差が認められた。この総作業時間には,マイクロメータと測定物の接触,測定値の読み取り,測定値の記録,測定部位間の移動等が含まれるが,デジタル式のマイクロメータを用いていることから,マイクロメータと測定物の接触以外の作業内容に特別な訓練を要す要素はない。従って,総作業時間の差は,マイクロメータと測定物の接触に要した時間の差が主となり,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がわかる。一方,測定値の結果

からは、両グループ間に差がないことから、時間をかけさせれば初心者でも、マイクロメータと測定物を正しく接触させることができていることを示している。よって、マイクロメータ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考えられる。

Table 8 The result of the check experiment by the digimatic micrometer

		Measurement result (mm)			Measurement time (sec)
		1st	2nd	3rd	
Expert	Ave.	15.4775	18.9573	22.0828	50.8
	Max.	15.478	18.958	22.083	54
	Min.	15.477	18.957	22.082	42
Beginner	Ave.	15.4788	18.9644	22.0977	69.5
	Max.	15.507	19.087	22.343	106
	Min.	15.474	18.955	22.081	52

5. 結 言

本研究の実験により、注視点移動と測定技能の習得度には関連があると認められた。特に作業中の余所見や注視点の移動パターンは、明らかな差が見られた。そして、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重要であることがわかった。その結果、余裕を持って目盛を読むことが可能となり、目盛の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られることが明らかになった。従って、測定技能を向上させる訓練は、マイクロメータ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。

しかし、本研究では、上級者は、測定器と測定物との接触がしっかりと行えたという判断を目視により行っているのか、あるいは、手に伝わってくる感触のようなもので判断しているのかといった、上級者の接触の確認方法まではわかっていない。また、今回までの実験では、注視点移動と測定技能の習得度の関連があることが認められたのみで、眼球運動分析で技能の習得度の評価に置き換えるまでには至っていないだけでなく、計測データを測定技能教育に使用した場合、どれだけの効果があるかは明らかになっていない。今後は、被験者のサンプル数を増やすことや、実際の測定技能教育を行っていく中で、定期的かつ長期的に注視点移動の計測を行い、分析・評価していく必要がある。これにより、初心者がどのようなプロセスを経て、技能を獲得していくかが明らかになり、技能の評価への利用も可能となる。また、ものづくり技能の必須要素である測定技能の効果的訓練手法を確立し、定量的な評価できれば、他のものづくり技能を評価することにも繋がると考えられる。

文 献

- (1) 佐藤健吉, “「技能」についての一考察 (技能の定義とその意味)”, 日本機械学会講演論文集 (2009), pp. 77-78.
- (2) 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)” (2005), pp.202, 経済産業省.
- (3) 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 (2008), p.59, 独立行政法人労働政策研究・研修機構.
- (4) 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, No.121 (2004), p.3, 職業能力開発総合大学校能力開発研究センター.
- (5) 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.

- (6) 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.
- (7) 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.
- (8) 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.
- (9) 中央職業能力開発協会, ホームページ, <http://www.javada.or.jp/> (参照日 2012 年 1 月 23 日).
- (10) 杉本智洋, “技能士 一技能検定 一 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.
- (11) Donders, F. C., “Beitrag zur Lehre von den Bewegungen des menschlichen Auges.”, *Holländ Beitr Anat Physiol Wiss I* (1847), pp. 104-145.
- (12) Dodge, R., “Visual perceptions during eye movement”, *Psychological Review*, VII (1900), pp. 454-465.
- (13) Ditchburn, R. W., “Eye-movements and visual perception”, Oxford, UK, *Clarendon*, XV (1973), pp. 421.
- (14) 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).
- (15) 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.
- (16) 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.
- (17) 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.
- (18) 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).
- (19) 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.
- (20) 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).
- (21) 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).
- (22) 中央職業能力開発協会編, 平成 20 年度技能検定 3 級機械検査実技試験問題 (2008), p. 2, 中央職業能力開発協会.
- (23) 福田忠彦, 人間工学ガイド (2009), p. 245, サイエンティスト社.
- (24) 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.
- (25) 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 2012 年 1 月 23 日).
- (26) 石村貞夫, 統計解析のはなし (2001), pp. 264, 東京図書.
- (27) 池田進, 矢野宏, “マイクロメータ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.
- (28) 宮崎正吉, “マイクロメータの歴史”, 日本機械学会誌, Vol. 85, No. 769 (1982), pp. 20-26.