

旋盤技能の習熟過程における技能要素の分解と定量評価

Quantitative Evaluation and Decomposition of Lathe Skill Learning Process between Skill Elements

奥 猛文 入倉 則夫 (職業能力開発総合大学校)

Takefumi Oku, Norio Irikura

多能工は技能を習熟するときに複数の技能を同時に習熟する。既に習熟している技能要素や習熟過程の技能要素の影響を受けながら技能の習熟はなされる。本研究の目的は技能の習熟過程で生じる技能要素間の影響を明らかにして、効率的な技能習熟方法を見出すことである。そのためには習熟過程の技能要素を定量的に評価しなければならない。そこで本研究は旋盤技能の習熟過程における技能要素の分解と定量評価を行った。具体的には、技能検定(普通旋盤作業2級)の実技課題に必要な技能を形状と心理面の2つの方策で技能要素に分解して比較した。その結果、心理面の方策の方が良く技能要素に分解できること、さらに、これを技能指導の立場で解釈できることを示した。

キーワード：習熟過程、技能検定、多重比較法、Tukey-Kramerの方法

1. はじめに

作業の習熟度を定量的に評価する方法として、習熟の理論がある。以下に、習熟の理論の初出と先行研究について述べる。個々の作業に専任の作業者を配置する飛行機製造の組立ラインの観察で、Wright (1936) は累計生産量が2倍になる毎に単位生産量に投入される作業量は一定の割合で減少する習熟性を見出した¹⁾。Alchian (1950)はこの習熟性を対数線形モデルとして定式化した²⁾。この習熟モデルは当時、アメリカの航空機産業で生産や作業の計画と管理に活用された。我が国においては、ほぼ同時期に竹谷 (1935, 1936) が作業の習熟性について、作業期間中のある時点での単位時間当たりの作業量およびそのばらつきはその時の作業日数の逆数に比例する^{3,4)}と報告している。師岡 (1969) はこれらを整理して多くの製造業の作業データに対数線形モデルを適用した⁵⁾。

多くの工業製品の製造では多品種少量かつ市場での製品サイクルを早く回すことを目指している。このとき、製造の自動化より多能工によるセル生産方式で行う方が有利な場合も多い。ここで多能工とは仕様や生産計画の変更、試作品などの極小口製作を含めた多品種少量生産および緊急時や異常時のトラブルに柔軟に対応できる作業員¹¹⁾とする。この多能工の育成を人材育成の優先課題とする企業も多い¹²⁾。多能工の育成では作業の中に内包される複数の技能要素を同時期に習熟することが多い。

多能工の育成における作業の習熟性の評価にある4つの視点と先行研究について述べる。第1は通常一定である習熟速度の急激な変化を評価すること、第2は作業時間とそのばらつきの傾向の変化を評価すること、第3は作業時間以外の多様な評価特性の習熟過程に対応するこ

と、第4は作業に内包される技能要素間の相互関係を明らかにすることである。

第1は、技能要素間の相互の影響から習熟速度の急激な変化が想定される。習熟期間内に小区間を設定しその小区間を移動させて移動習熟係数を求めることを梅室ら (1995) は行った⁶⁾。

第2は、習熟期間の初期は技能の習熟とばらつきの低減が変化することが想定される。作業の繰り返し数とその時の作業時間から平均作業時間とばらつきの傾向と最高予想値を求める福田ら (1981, 2002) の方法^{7,8)}がある。

第3は、多能工は評価特性の異なる複数の技能要素を習熟することが想定される。評価特性と手動制御結果との偏差を比較する末長 (1992)の方法⁹⁾がある。

第4は、習熟する作業に複数の技能要素が含まれるとし、習熟過程における技能要素間の相互関係を考察する曾根ら (1981) の方法¹⁰⁾がある。

旋盤技能の習熟過程を考察するとき、旋盤を駆使して完成させる作業課題であれば、その課題を完成させる作業は複数の技能要素が内包されるとみなすことができる。また、習熟のための作業の繰り返し数が20回程度と少ないこと、目標寸法と仕上がり寸法の偏差が評価特性となり得るため技能の評価は作業時間だけではないこと、および多様な技能要素が内包されるとき、上記の第1, 2の視点に第3, 4の視点を同時に加味する必要が考えられる。しかし、そのような先行研究は見当たらない。

そこで、本研究は対象とする作業を技能検定(普通旋盤作業2級)、学習者を能開大1,2年生とし、作業の習熟に取り組む学習者の技能要素間の習熟過程を評価する方法について考察する。技能検定の実技課題を完成させる作業に内包する技能要素を形状と心理面の2つの方策で分

解する。これら 2 つの方策を比較して有用な分解方法を選出することを目的とする。

2. 技能検定の実技課題の詳細と含まれる技能要素

2.1. 技能検定の実技課題の詳細

技能検定の実技課題は与えられた試験片に定められた形状になるように旋削加工を施して、その出来栄え、安全作業性、作業時間を総合して、受検者の技能が一定レベル以上を有するかを判定するものである。採点は減点方式で、評価項目ごとに寸法の許容幅の中心値である目標値から外れた量に応じて段階的に減点数が定められており、減点の合計が 40 点以内であれば合格となる。評価項目や減点数の詳細は非公開である。この実技課題と採点基準は JIS の改定による表記の変更を除けば変更されていない。

図 1 は実技課題の課題図¹³⁾に、許容差と幾何公差が明示される寸法を示す。課題の形状から、内外径、端面、

面取り、突っ切り、テーパ、偏芯、ねじ切り、芯出しといった各種の旋盤作業が盛り込まれていることが分かる。一般に、許容差と幾何公差を省略せずに明示された寸法は設計者の特段の意図が含まれる所であるため重要な形状である。

以上より、角囲み番号で示す寸法 14 箇所と作業時間の合計 15 個の測定値は技能を評価する上で重要な評価項目と考えられる。

2.2. 実技課題に内包する技能要素

旋盤作業の目的は旋盤を使用して定められた形状を経済的な時間で実現することである。技能検定の実技課題においても、直接的な規定により時間内で形状を作成することと、作業手順の規定をしないことで間接的に工程立案能力が要求される。このとき、技能検定の実技課題を試行したときの測定データセットを分解して得る技能要素は形状と心理面が、そして共通の技能要素は再把握および作業時間が考えられる。本論文では、測定データ

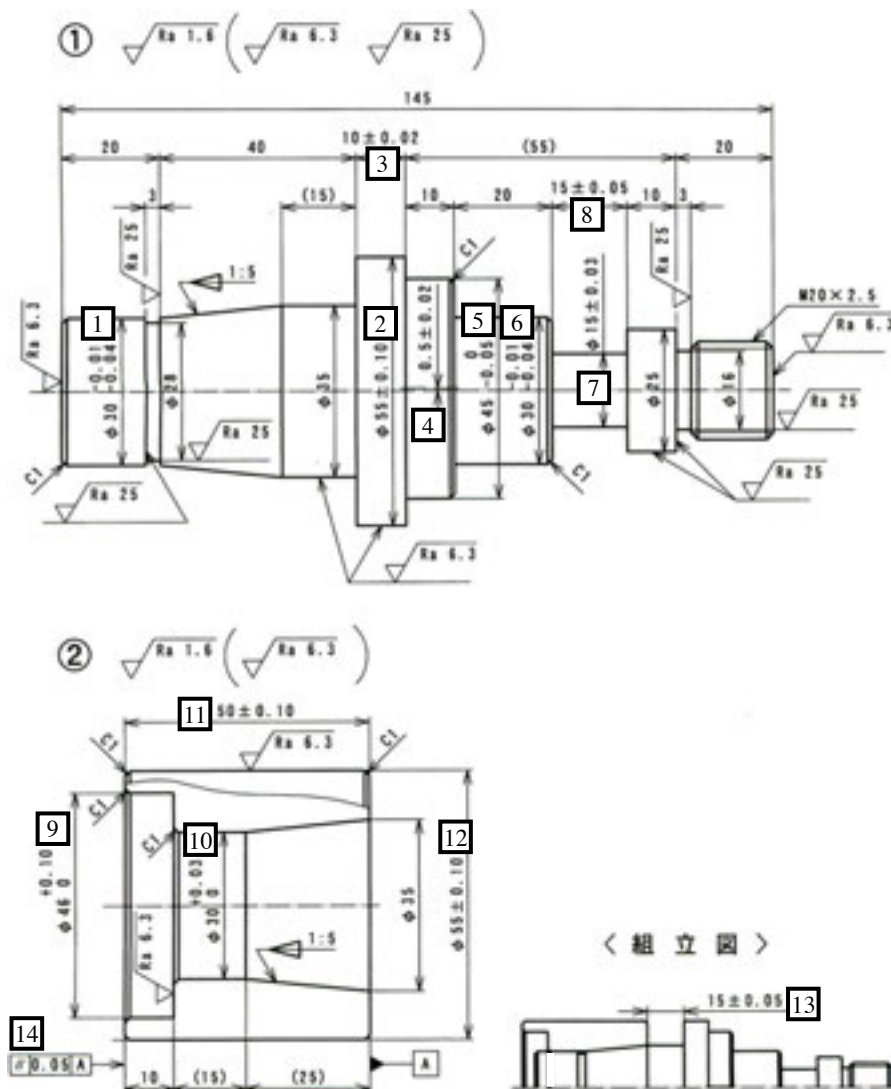


図 1 実技課題の課題図¹³⁾と公差指示のある寸法

セットを分解する2つの方策、すなわち形状と心理面の方策を考察する。

学習者が技能検定の実技課題を試行したときの技能の習熟過程で得られるデータセットを表1に示す。方策 a で k 個の技能要素に分解し、学習者 j が累計 r 回試行を行うとき、試行1回毎に評価項目 i の測定値 x_{0akijr} を得る。

方策毎に定まる技能要素とどの方策にも共通する技能要素を g_{ak} とし、技能要素 g_{ak} に割り付けられる寸法を g_{aki} とする。寸法 g_{aki} の測定値を x_{0akijr} とする。これらは方策によって定まる。

ここで、測定値 x_{0akijr} は目標値 m_{ki} と標準偏差 s_{0ki} を用いて式(1)にて基準化値 x_{akijr} とする。

$$x_{akijr} = \frac{|x_{0akijr} - m_{ki}|}{s_{0ki}} \quad (1)$$

2.3. 形状による技能要素

形状による技能要素は個々に指示される寸法の許容幅の中心値である目標値 m_{ki} を目指して加工するときの仕上がり形状と定義する。この仕上がり寸法を測定することで技能要素を量的に評価することができる。実技課題において、評価特性は図1に角囲み番号 n で示す評価項目 i の寸法である。これらは実技課題の設計者が技能の有無を確認するための形状である。よって、実技課題で要求される技能要素はこれらの評価項目 i から図2に示す外径、内径、端面、再把持が定義できる。また、課題図の他の箇所からテーパ、ねじ切りが定義できる。本論文で検討する形状による技能要素は図1の角囲み

番号 n で示す評価項目 i から再把持と平行度に係る2箇所を除いた12箇所の寸法から得る端面 g_{11} 、外径 g_{12} 、内径 g_{13} の3種類とする。例えば外径の技能要素 g_{12} であれば、図1に示す角囲み番号 $n=1, 2, 5, 6, 7, 12$ とする。

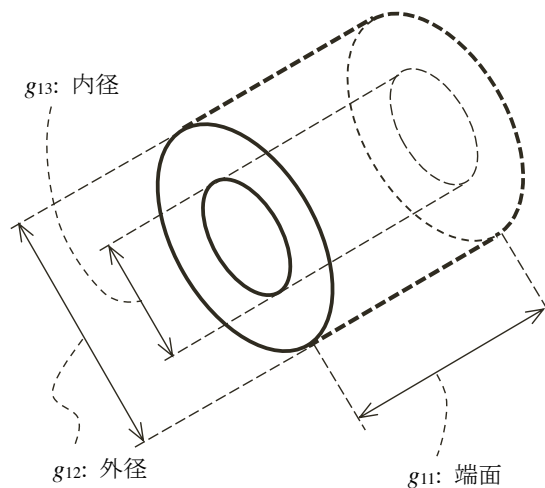


図2 形状による技能要素

2.4. 心理面による技能要素

心理面による技能要素は個々の寸法の目標値 m_{ki} を目指して加工するときの心理状態で、目標値 m_{ki} と仕上がり形状の測定値の偏差と定義する。図3に示すように、寸法の目標値 m_{ki} を実現するために必要な技能を十分に有し、自信もある心理状態を Positive、そうでない心理状態を Negative、それらの中間を Normal とする。Negative

表1 旋盤技能の習熟過程で得るデータセット

Trainee	Cumulative output	Decomposed skill element							Common skill element		
		g_{a1}			g_{a2}			g_{ak}	g_{a4}	g_{a5}	g_{a6}
		g_{a11}	g_{a12}	...	g_{a21}	g_{a22}	...	g_{aki}	g_{a41}	g_{a51}	g_{a61}
1	1	x_{0a1111}	x_{0a1211}	...	x_{0a2111}	x_{0a2211}	...	x_{0aki11}	x_{0a4111}	x_{0a5111}	x_{0a6111}
	2	x_{0a1112}	x_{0a1212}	...	x_{0a2112}	x_{0a2212}	...	x_{0aki12}	x_{0a4112}	x_{0a5112}	x_{0a6112}
	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	
2	1	x_{0a1121}	x_{0a1221}	...	x_{0a2121}	x_{0a2221}	...	x_{0aki21}	x_{0a4121}	x_{0a5121}	x_{0a6121}
	2	x_{0a1122}	x_{0a1222}	...	x_{0a2122}	x_{0a2222}	...	x_{0aki22}	x_{0a4122}	x_{0a5122}	x_{0a6122}
	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	
j	r	x_{0a11jr}	x_{0a12jr}	...	x_{0a21jr}	x_{0a22jr}	...	x_{0akijr}	x_{0a41jr}	x_{0a52jr}	x_{0a62jr}
		⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	
		⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	
Targeted value		m_{11}	m_{12}	...	m_{21}	m_{22}	...	m_{ki}	m_{41}	m_{51}	m_{61}
Standard deviation		s_{011}	s_{012}	...	s_{021}	s_{022}	...	s_{0ki}	s_{041}	s_{051}	s_{061}

な心理状態では技能が足りず自信もないことがプレッシャーとなり削りすぎを避けて仕上げることとなる。学習者ごとに習熟過程の仕上がり寸法の測定値 x_{0akij} を目標値 m_{ki} と標準偏差 s_{0ki} を用いて式(1)にて基準化値 x_{aki} を求め、3 群に層別する。層別は標準偏差 s_{0ki} の昇順を優先し、標準偏差 s_{0ki} が同程度であれば基準化値 x_{aki} の絶対値の昇順として、上位を Positive、中位を Normal、下位を Negative とする。

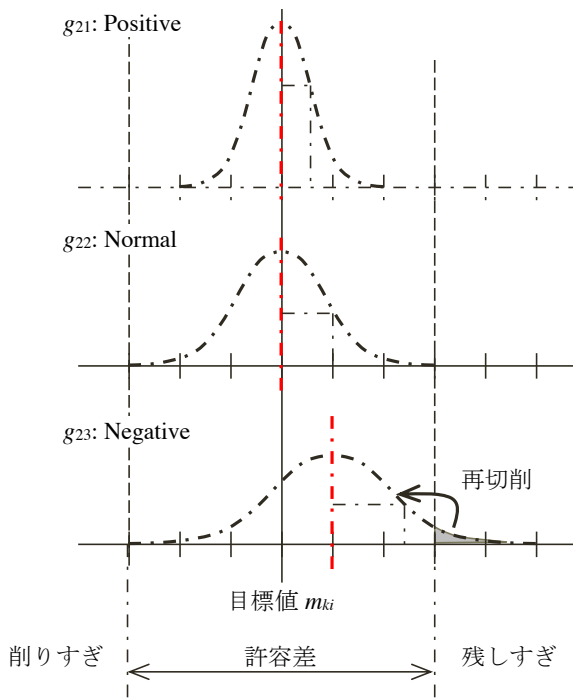


図3 心理面による技能要素

3. 技能要素を分解する方策の比較

技能要素を分解する方策 a の比較について述べる。表 2 に示すデータセットにて重回帰分析を行う。目的変数 y_{an} を仕上がり寸法の基準化値 x_{akij} とし、説明変数は x_{a1n} を 5 人の学習者 j ($j=5$ 水準)、 x_{a2n} を図 2, 3 に示す技能要素 g_{ak} (方策 $a=2$ 水準毎に、 $k=3$ 水準)、 x_{a3n} を学習者 j 毎の学習量 R_j ($R_j=r_j/r_{j\max}$ 、学習者毎に試行回数 $r_{j\max}$ は異なる) の 3 変数とする。そして、回帰母数を β_{ak} 、母平均を μ_{an} 、誤差を ε_a なる方策 a ($a=2$ 水準) 毎の重回帰モデルを式(2)に示す。ここで、方策 a 、目的変数 y_{an} 、説明変数 x_{a1n} 、 x_{a2n} は質的変数でそれ以外は量的変数である。

$$y_{an} = \mu_a + \varepsilon_{an} = \beta_{a0} + \beta_{a1}x_{a1n} + \beta_{a2}x_{a2n} + \beta_{a3}x_{a3n} + \varepsilon_{an} \quad (2)$$

技能要素を分解する方策 a の有用性を評価するために、式(2)による重回帰モデルで重回帰分析を行う。分析によって技能要素 g_{ak} の k 水準毎の回帰母数 β_{a2k} を得る。

回帰母数 β_{a2k} の各値の差が大きいほど技能要素 g_{ak} を k 水準に明確に層別されていることとなる。層別される群の構成要素は基準化値 x_{akij} である。つまり、回帰母数 β_{a2k} の各値の差が大きい方策ほど有用である。

次に、重回帰分析によって層別された各群の母平均について全ての対比を Tukey-Kramer の方法で考える。帰無仮説 $H_{(i,j)}$ を式(3)に、推定の対象となるファミリー \mathcal{F} を式(4)に示す。有意水準を $\alpha=0.10$ とする。

$$H_{(i,j)}: \mu_i = \mu_j \quad (i, j=1 \sim 3, i \neq j) \quad (3)$$

$$\mathcal{F} = \{H_{(1,2)}, H_{(1,3)}, H_{(2,3)}\} \quad (4)$$

表2 重回帰分析に用いるデータセット

No.	Trainee j ($j=1 \sim 5$)	Skill element g_{ak} $a=1$:Shape, $a=2$:Psychology	Quantity of training $R_j (R_j=r_j/r_{j\max})$	Evaluation of the skill x_{akij}
n	x_{a1n}	x_{a2n}	x_{a3n}	y_{an}
1	1	g_{a1}	1/19	x_{a1111}
2	1	g_{a1}	1/19	x_{a1211}
5	1	g_{a2}	1/19	x_{a2111}
:	:	:	:	:
13	1	g_{a1}	2/19	x_{a1112}
:	:	:	:	:
25	1	g_{a1}	3/19	x_{a1113}
:	:	:	:	:
228	1	g_{a3}	19/19	x_{a31119}
229	2	g_{a1}	1/15	x_{a1121}
:	:	:	:	:
409	3	g_{a1}	1/24	x_{a1131}
:	:	:	:	:
1200	5	g_{a3}	21/21	x_{a3i521}

4. 技能要素を分解する方策の比較の結果と考察

前章で述べた技能要素を分解する方策 a を比較するために重回帰分析を行った結果を表 3 に示す。まず、方策

1 と方策 2 を比べると偏回帰係数 β_{a2k} の最大値と基準の差は順に 0.223, 0.250 でありほぼ同値である。つまり、どちらの方策も同程度に技能要素を識別する範囲が等しいことを意味する。次に、方策 a について個別に考察する。方策 1 の形状から技能要素 g_{1k} に係る説明変数 x_{12} の偏回帰係数 β_{12k} は最大値をとる内径と基準の端面の差を尺度の幅 0.223 として、端面と外径の差は 0.022、外径と内径との差は 0.201 である。つまり、端面と外径は分離できないが、これらと内径は分離できることが判る。一方、方策 2 の心理面から技能要素 g_{2k} に係る説明変数 x_{22} の偏回帰係数 β_{22k} は最大値をとる Negative と基準の Positive の差を尺度の幅 0.250 として、Positive と Normal の差は 0.151、Normal と Normal との差は 0.099 である。したがって、Positive、Normal、Negative は十分に分解できることが判る。つまり、方策 1 より方策 2 の方が技能要素を明確に定義できることを意味する。

さらに、重回帰分析によって定義された技能要素によって層別された各群の母平均について Tukey-Kramer の方法で対比較を行った結果を表 4 に示す。

方策 1 の形状では端面と内径の間、および外径と内径の間で式(4)に示す帰無仮説を棄却し有意水準 $\alpha=10\%$ に

て平均値の差が有意となったが、端面と外径の間では式(4)に示す帰無仮説を棄却できなかった。これは、端面と外径は今回の測定方法では分解できる技能要素ではないこと、およびそれらと内径は技能要素として分解できることを確認できた。技能指導の立場から以上を解釈すると、端面と外径の加工作業では学習者は自分から離れる側に刃先を設置して自分から離れる方向に切り込み量を与える。ところが、内径の加工作業では学習者は自分に向かう側に刃先を設置して自分に向かう方向に切り込み量を与える。つまり刃先を設置する向きや動作の方向が逆のため異なる技能要素に分解できたと考えられる。

次に、方策 2 の心理面では Positive と Normal 間、Normal と Negative 間で、式(4)に示す帰無仮説を棄却し有意水準 $\alpha=10\%$ にて平均値の差が有意となった。方策 1 と異なり、Positive、Normal、および Negative の順序に意味があるため有意であることは重要である。ここで、本方策は事後に得られる情報をもとに Positive、Normal、Negative に層別するため、厳密には因果を示すものではない。しかし、技能指導の立場では練習期間の前半の結果から後半の練習計画を再構成することが考えられ、この場合因果関係は成り立つとする。

5. まとめと今後の課題

本研究は旋盤作業に内包する技能要素を形状と心理面の 2 つの方策で分解し、比較して以下の結論を得た。

1. 技能要素を分解する 2 つの方策、すなわち形状と心理面を比較するために重回帰分析を行い、偏回帰係数の違いから心理面の方策の方が良く技能要素を分解することを示した。
2. 技能要素を分解する 2 つの方策、すなわち形状と心理面の方策で層別した仕上がり寸法の基準化値を群として、それらの平均値を Tukey-Kramer の方法で対比較を行ったところ、心理面の方策が有意水準 $\alpha=10\%$ にて平均値の差が有意となることを示した。
3. 以上の判断を技能指導の立場で、刃先を設置する向きや動作の方向が逆となる作業は異なる技能要素として解釈できることを示した。
4. 心理面の方策は事後に得られる情報をもとに技能要素を分解するため厳密な因果を示すものではないが、技能指導での有用性を述べた。

今後の課題は技能要素を分解する方策の詳細な検討と、技能の習熟過程を時系列データとして評価することである。

本論文は ICQ2014 にて発表した内容¹⁴⁾を加筆修正したものである。

表 3 重回帰分析の結果

Plan	β_{a2k}	Regression parameter	Regression coefficient
1: Shape	β_{121}	Facing distance	0.000
	β_{122}	Outside diameter	0.022
	β_{123}	Inside Diameter	0.223
2: Psychology	β_{221}	Positive	0.000
	β_{222}	Normal	0.151
	β_{223}	Negative	0.250

表 4 Tukey-Kramer の方法

Plan	β_{a2k}	β_{a21}	β_{a22}	β_{a23}
1: Shape	β_{121}	0.000	0.353	2.687*
	β_{122}	—	0.000	2.572*
	β_{123}	—	—	0.000
2: Psychology	β_{221}	0.000	2.228*	3.701*
	β_{222}	—	0.000	1.472
	β_{223}	—	—	0.000

Studentized range distribution $q(3, \phi; 0.10)=2.054\sqrt{2}$

参考文献

1. Wright, T. P. : Factors Affecting the Cost of Airplanes, Journal of the Aeronautical Sciences, Vol.3, No.4, pp.122-128 (1936).
2. Alchian, A. : Reliability of Progress Curves in Airframe Production, RAND Corporation, Vol.260-1, pp.1-30 (1950).
3. 竹谷勢一 : 総合作業の作業研究に就て, 機械学会論文集, Vol.1, No.1, pp.77-84 (1935).
4. 竹谷勢一 : 生産曲線に就て, 機械学会論文集, Vol.2, No.6, pp.155-161 (1936).
5. 師岡孝次 : 習熟性工学. 改訂版, 建帛社, 1982, 552p.
6. 梅室博行, 園川隆夫, 伊藤謙治 : 習熟速度の動的評価方法の区間長選択に関する研究, 日本経営工学会誌, Vol.46, No.5, pp.503-510 (1995).
7. 福田康明, 坂井龍二 : 生産性傾向式による作業評価法, 日本経営工学会誌, Vol.32, No.3, pp.188-194 (1981).
8. 福田康明, 平松朋, 堀裕樹 : 達成度手法による作業習熟のための評価基準設定法の確立, 日本機械学会論文集 C 編, Vol.68, No.672, pp.2479-2485 (2002).
9. 末長修, 井原素三 : 個人差が及ぼす影響を低減する手動制御系実現のための一研究, 人間工学, Vol.28, No.2, pp.51-59 (1992).
10. 曾根勉, 殿木義三 : 多因子作業の習熟に関する一考察, 日本経営工学会誌, Vol.32, No.2, pp.118-124 (1981).
11. 中村肇 : 製造現場の技能伝承, 精密工学会誌, Vol.68, No.10, pp.1273-1276 (2002).
12. 中小企業庁編 : 中小企業の新しいものづくり-IT 時代の中小企業の展望-, 経済産業調査会, 2000, 400p..
13. 中央職業能力開発協会編 : 技能検定 2 級機械加工 (普通旋盤作業) 実技試験問題, pp.3 (2006).
14. Oku, T., Irikura, N., Yamada, S. : Quantitative evaluation of lathe skill learning between skill elements, International Conference on Quality 2014-Tokyo, pp.997-1008 (2014).

(原稿受付 2015/1/16、受理 2015/3/10)

*奥 猛文,
職業能力開発総合大学校、〒187-0035 東京都小平市小川西町
2-32-1 email: oku@uitech.ac.jp
Takefumi Oku, Polytechnic University, 2-32-1 Ogawa-Nishi-Machi,
Kodaira, Tokyo 187-0035

*入倉則夫, 博士 (工学)
職業能力開発総合大学校、〒187-0035 東京都小平市小川西町
2-32-1 email: irikura@uitech.ac.jp
Norio Irikura, Polytechnic University, 2-32-1 Ogawa-Nishi-Machi,
Kodaira, Tokyo 187-0035