

総合的および要素ごとの技能の統計的評価方法

A statistical evaluation method of the vocational skill based on the united skill and its elements

奥 猛文 入倉 則夫 (職業能力開発総合大学校)

Takefumi Oku, Norio Irikura

学習者が技能要素を習得する速度と順番は個人で異なる。学習者は複数の技能要素を一つひとつ、または、関連付けて同時に習得するためである。異なる技能要素を習熟する多能工であっても前後工程で互いに作業の補完を行うことで、製造ラインへ早期投入できる。そのためには、多能工の有する複数の技能要素を互いに把握することが必要である。そこで、学習過程の個々のパターン差を考慮した技能の統計的な評価方法を提案する。2人の練習過程に適用して、技能検定の採点スコアと比較した。その結果、技能の定量的な評価の可能性を見出した。この評価方法を技能検定の実技課題に適用して実証を進める。本稿では、技能の統計的な評価方法について報告する。

キーワード：習熟、技能検定、技能量、ゼロ望目特性、SN比

1. はじめに

様々な作業で構成される量産工程に、個々の作業に専任の作業者を配置するとする。師岡は、これらの作業者全体でなす作業の習熟モデル¹⁾を提案している。この習熟モデルは、特定の工業製品を製造するなどの、同一技能を果たすための行為の繰り返しで得る効果を、工数や時間の低減として示す。

この習熟に関する研究は、人間工学やIEの分野で数多くの先行研究^{2,3)}がなされている。これらの多くは、作業時間の累積平均を用いて習熟傾向や習熟率によって習熟を評価している。しかし、技能の学習過程における習熟の初期段階では、習熟曲線を得るほどの作業データを収集できず、作業にかかる時間のばらつきが大きいと、作業者の技能をうまく評価することができない。

また、多品種少量かつ早いサイクルで多様化が進む今日の工業製品の中には、作業工程を自動化して生産速度を上げるより、多能工による人手を掛けた製造の方が、時間や費用の面で有利な場合がある。後者の方が、段取り替えの工数が少なく、少量生産に適するためである。これを行うためには、個々の作業者の技能を、その作業に合わせて早期に育成することが必要である。このとき、習得すべき作業は、多くの技能要素が複雑に絡み合っ構成されるのが一般的である。指導者が技能要素を一通り教授した後、学習者が技能要素を習得する速度と順番は、1人ひとりすべて異なる。学習者は複数の技能要素を一つひとつ独自の順番で、または、関連付けて同時に習得するためである。この学習者ごとの技能の習熟過程を習熟パターンとする。この習熟パターンを得るためには、個々の学習者について、技能要素ごとの技能を評価できることと、それらを総合した学習者ごとの技能を評

価できることが必要である。

そこで、本稿は、学習過程の個々のパターン差を考慮した統計的な評価方法を立案し、技能検定の実技課題に取り組み時の学習過程に適用を試みる。

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、与えられた供試材から、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1960年度の開始より変更されていない。

図1は、実技課題の課題図⁴⁾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。また、許容差と幾何公差を省略せずに明示された寸法は、一般に、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。

2.2 実技課題における技能要素

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。技能検定においても、実技課題の指示通りに規定の時間内で作成することが要求される。

旋盤作業の場合、指示される形状と時間が目的特性である。その目的特性を実現するための個々の手段は、技能要素である。つまり、技能要素は指示される形状と時間で定義でき、それらを計測することで、技能要素を量的に評価することができることとなる。

実技課題において、目的特性は、図1に示す14箇所の個別に許容差と幾何公差を指示された寸法である。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14箇所の寸法から外径、内径、端面、把持が定義できる。また、課題図の他の箇所の指示からテーパ、ねじ切りが定義できる。さらに、作業の様子から、作業時間、安全作業などが定義できる。本稿で取り上げる技能要素は、14箇所の寸法から得る外径、内径、端面の3種類と、形状を実現するための手段から材料の把持、実技課題の定める作業時間の合計5種類とする。

これらの技能要素に属す計測特性は、例えば外径であれば図1に示す寸法 No.1,2,5,6,7,12 などとする。以上のように5種類の技能要素に対応する計測特性を定める。

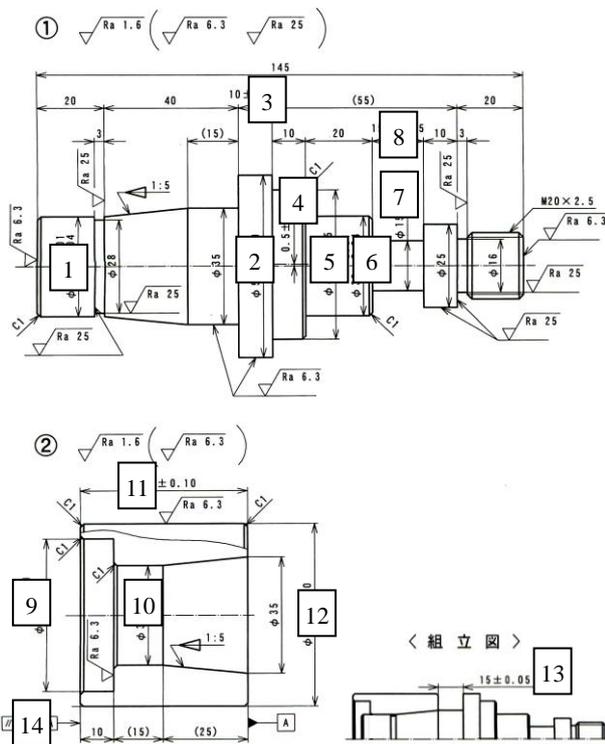


図1 実技課題の課題図と公差指示のある寸法

3. 技能量の測定方法の提案

技能を定量的に評価した値を技能量とし、技能量の測定方法を提案する。最初に、技能要素ごとの技能を定量的に評価した値を技能要素の評価とし、それらを総合し

た学習者ごとの技能を定量的に評価した値を総合的な技能量と定義する。次に、本稿で取り上げる技能要素は外径、内径、端面、把持、時間の5種類とし、これらの技能要素の評価を $\eta_{A hk}$ 、 $\eta_{B hk}$ 、 $\eta_{C hk}$ 、 $\eta_{D hk}$ 、 $\eta_{E hk}$ とする。

実技課題の供試材を指示の形状に加工する一連の通し練習で作成される試験片における各部の仕上がり寸法 x は、学習者がそれぞれの形状に与えられる目標寸法 m を目指して加工した結果である。したがって、互いに独立であり正規分布を仮定できる。学習者 h の技能要素 A について、目標寸法 m を入力とし、仕上がり寸法 x を目標寸法 m と公差幅で基準化した仕上がり寸法の基準化値 y を出力とする。ここで、入力と出力の関係を不安定にさせる条件を誤差因子として、今回の練習の結果を N_1 とし、前回の練習の結果を N_2 とする。

個々の学習者は実技課題を15回程度練習する。1回の練習で14カ所の仕上がり寸法 x と作業時間を測定して、1組15個のデータセットとする。つまり、今回と前回の練習結果で得る30個のデータセットから、5種類の技能要素の評価を得る。これらは、練習回数に応じて時系列データとして得ることとなる。これを学習者ごとに得る。これで学習者と技能要素ごとに、学習過程の習熟パターンを得る。

課題図の指示寸法を m' 、上下の許容限を S_U 、 S_L としたときの目標寸法 m を式(1)に、仕上がり寸法の基準化値 y を式(2)に示す。

$$m_j = m'_j + \frac{S_{Uj} + S_{Lj}}{2} \quad \dots(1)$$

$$y_{hkij} = \frac{x_{hkij} - m_j}{|S_{Uj} - S_{Lj}|/2} \quad \dots(2)$$

ここで、添え字は h を学習者、 k を練習回数、 i を誤差因子、 j を信号の水準とする。

技能要素の評価は、式(3)に示すゼロ望目特性のSN比⁵⁾を用いる。目標寸法からのずれが少ないほどSN比は大きい値となり、技能が高いことを示す。

$$\eta_{A hk} = -10 \log \left(\frac{\sum_{i,j} y_{hkij}^2}{f} \right) \quad (f = y \text{ の個数}) \text{ (db)} \quad \dots(3)$$

以上を繰り返して、関連する技能要素の評価 $\eta_{B hk}$ 、 $\eta_{C hk}$ 、 $\eta_{D hk}$ 、 $\eta_{E hk}$ を求める。

次に、式(3)にて求まる技能要素の評価の効果成分の合計を式(4)とする。

$$\eta_{U hk} = \eta_{A hk} + \eta_{B hk} + \eta_{C hk} + \eta_{D hk} + \eta_{E hk} - 4\bar{\eta}_{hk} \text{ (db)} \quad \dots(4)$$

技能要素の評価は互いに独立であるので、SN比の加法性が成り立つ。式(4)を総合的な技能量と定義する。これで、技能要素を総合した学習過程の習熟パターンを得る。

4. 技能量の評価方法の適用

本稿で提案する技能量の評価方法を、2 人の学習者が実技課題の通し練習を繰り返した結果に適用して、技能の学習過程の習熟パターンを求めた。

技能要素の評価と総合的な技能量の傾向を、図 2 に示す。図 2 で、縦軸は技能量を、横軸は練習回数を示し、左図は学習者 1 を、右図は学習者 2 を示す。全体の傾向は、練習を重ねるごとに技能が習熟していることが分か

る。実線で囲む部分は、大きく失敗した技能要素の評価が下がったことを示している。これらの特異点を除くと、学習者 1 の習熟パターンは、技能要素の評価ごとに大きく差があり、変動も大きい。さらに、技能要素の評価間

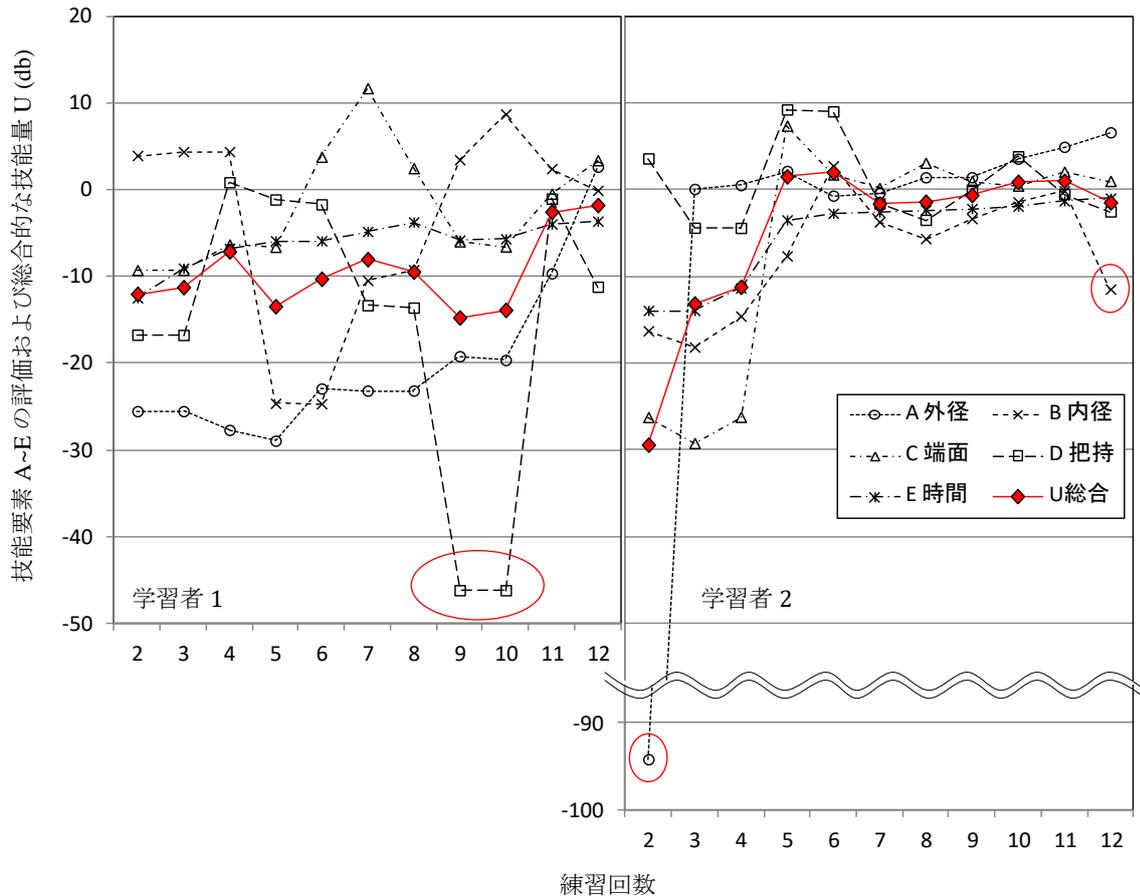


図 2 技能の習熟過程における要素技能の評価と総合的な技能量の比較

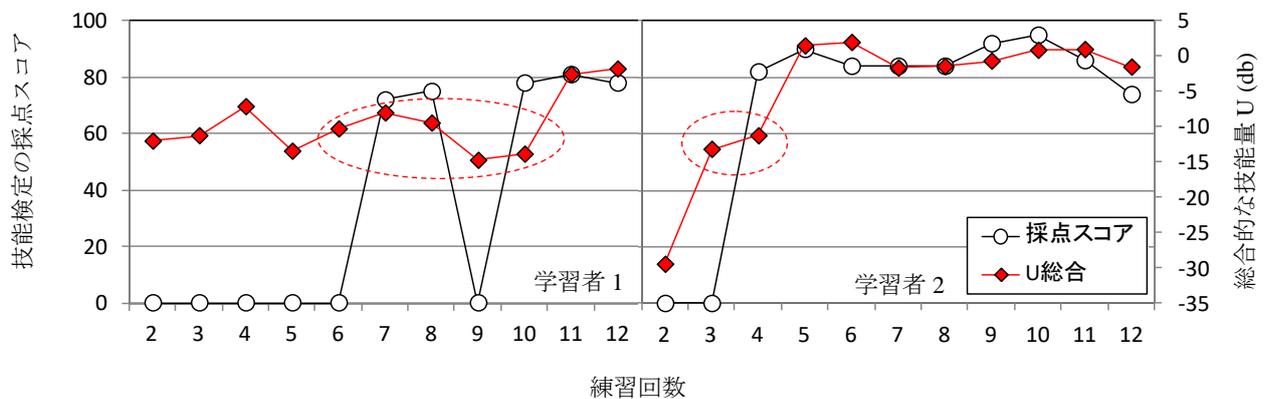


図 3 技能の習熟過程における技能検定の採点スコアと総合的な技能量の比較

5. 実技課題の練習過程に適用した技能量の評価方法の考察

技能検定の採点スコア（縦軸左）と総合的な技能量（縦軸右）を図3に示す。図3で、横軸は練習回数を、左図は学習者1を、右図は学習者2を示す。破線で囲む部分は、学習者1,2とも採点スコアが0点か70点以上である。これは採点基準で合否を判定するために、合否のしきい値を設けているためである。提案する総合的な技能量Uが技能量を定量的に評価するのであれば、総合的な技能量Uはこのしきい値の練習回数前後で連続となる。破線で囲む部分は、学習者1の総合的な技能量Uは-15~-8dbである。それより練習回数が少ない場合も同様の傾向で、練習回数が多いと-3dbを上回る。これは技能検定の合否のしきい値を若干下回る技能量から徐々に合格レベルに達したと考えられ、技能検定の合否のしきい値が-15~-8dbにあることを示す。学習者2の総合的な技能量Uは-13~-11dbである。これより練習回数が少ない場合は-30dbである。それより練習回数が多いと-3dbを上回る。これは技能検定の合否のしきい値を大きく下回る技能量から3回練習する間に合格レベルに達したと考えられ、技能検定の採点基準の合否のしきい値が-13~-11dbにあることを示す。また、学習者1に見られる技能検定の合否のしきい値にほぼ等しい。以上の考察より、総合的な技能量Uは学習者1,2の練習結果の技能量を定量的に評価していると判断でき、技能検定の合否のしきい値が-15~-8dbにあることを示した。

次に、図2に示す技能要素の評価について考察する。学習者の技能の一部を技能要素ごとにミクロ的に観察することができる。評価が低かったり大きくばらつく技能要素は、苦手か習熟が足りないことを示す。一方、安定して評価が高ければ習熟しやすい得意な技能要素であると判断できる。学習者1の練習過程の前半で、外径Aの評価はほとんどの場合、最も低い。把持Dの評価はばらつきが最も大きい。学習者1の苦手な技能要素は外径A、把持Dと判断できる。この結果から学習者と指導者は、後半の練習計画の修正を検討できる。同様に、学習者2の練習過程の前半から、内径B、端面Cが苦手と分かる。しかし、学習者1とは異なり練習の前半で技能要素の評価ごとに大きなばらつきはなくなり安定する。後半の練習は、通し練習を繰り返して技能の習熟を高めることが考えられる。2人の学習者の結果から、技能要素ごとの得意さやそれらを習熟する過程は個人によって大きく異なることが分かり、練習期間中に学習者ごとの練習計画を立案するための有益な情報となる。

これまで職業訓練の場では、練習過程の技能量を図3の採点スコアで代用していたが、本評価法を導入することで、図2に示す習熟パターンを得る。この傾向から練習期間中に学習者ごとに練習計画の修正が可能となり、個別指導による技能習熟の早期化が期待できる。さらに、

図2で特異点と判断する回で、総合的な技能量Uは大きな変化はない。ここで、本方法により技能を定量的に評価できることを示したが、その方法は図2の習熟パターンを観察するため客観性の確保が必要である。

6. まとめと今後の課題

本研究では、技能を技能要素ごとと総合的な技能とすることで、定量的に評価できることを提案した。以下に、2人の学習者が技能検定の実技課題の練習過程に本方法を適用して、明らかにしたことを示す。

1. 技能要素ごとの習熟パターンのばらつきの情報は、累積平均を用いると失われるが、本評価方法によって、そのばらつきを分析できることを示した。
2. 技能の習熟パターンは学習者ごとに異なることを示し、練習期間中の練習計画の修正を学習者ごとの習熟パターンに合わせて提案できる可能性を示した。
3. 本評価方法は技能要素の評価とそれらを総合した技能量を定量的に評価できることを示した。
4. 本方法を技能検定の採点基準と比較して、実技課題の合否のしきい値が-15~-8dbであることを示した。

今後の課題は、練習データを蓄積して師岡の習熟モデルを適用して本方法と比較すること、本方法で得る技能の習熟パターンと到達する技能量から、新たな学習者の到達し得る技能量の予測である。

参考文献

1. 師岡孝次: 習熟性工学(改訂版), pp.4-10, 建帛社, 1982
2. 師岡孝次: 作業習熟の経済原則, 日本経営工学会誌, Vol. 28. No.1, pp.37-43 (1977)
3. 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)
4. 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
5. 田口玄一, 横山巽子: ベーシックオフライン品質工学, pp.48-53, 日本規格協会, 1988

(原稿受付 2014/01/15、受理 2014/03/26)

*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