

個々の技能者が習得する 技能量の予測

一マハラノビスの距離を用いた予測精度向上の試み

四国職業能力開発大学校 奥 猛文

1. はじめに

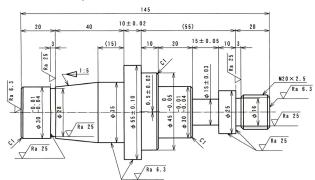
技能教育を実施するときに、しばしば技能検定の 課題を取り入れることがある。学生にとって目標が わりやすくモチベーションを維持しやすいことが大 きな動機であろう。あるいは、指導者側に受検ノウ ハウが蓄積されていること、実際の採点基準を模し た書籍1)があることなどの理由も考えられる。し かしながら、技能検定は受検者の技能を定量的に評 価するものではなく、合否を判定するものであるた め、技能と採点結果に比例関係があるとは言いがた い。これから、学生においては実感する技能の上達 に比べて採点結果に違和感を抱いたり、 指導者にお いては客観的なデータとして利用できないため、指 導に長年の経験が必要となってしまうことなどが考 えられる。技能教育において効果的にPDCAサイク ルを回すためには、技能が定量的に評価できること が必要である。また、個々の技能者が将来に習得す る技能量の予測ができれば効果の確認 (Check) と 処置 (Action) を効率的に展開できると考えられる。

本報告は技能量の汎用的な計測および予測技術である。技能検定2級機械加工(普通旋盤作業)の実技課題に技能に応じて合否を判別するしきい値があることを示した。技能を定量的に評価するために品質工学における損失関数を適用することを提案した。さらに、多変量解析を利用したMTシステムを用いて個々の技能者が将来に習得する技能量の予測を試み、データを蓄積することで予測精度の向上が期待できることを示した。

2. 予測対象とした技能検定

今回取り上げたのは技能検定2級機械加工(普通 旋盤作業)である。この実技課題と採点基準は,技 能五輪予選でも採用されている。この課題の内容は 不変で,四国職業能力開発大学校においても夏季休 業を利用して有志の学生が取り組んでいる。このた め技能の習得の過程を得ることができ,技能量の評 価と予測の可能性を探るのに都合がよい。

実技課題の内容は、定められた供試材から機械加工を施して規定の形状を作成する。そして、その出



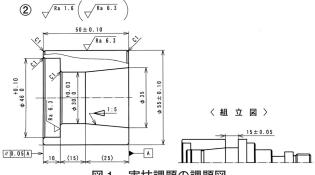


図1 実技課題の課題図

3/2010

来栄え,安全作業性,作業時間を総合して,受検者 の技能を合否判定するものである。

図1に課題図²⁾を示す。図より、テーパ、偏芯、ねじ切り、四つ爪チャックを用いた芯出しといった 汎用工作機械の操作技能をみる課題である。各寸法 において、個別に許容差を指示したり一括に指示し ていることがわかる。そこで、形状の指示をその指 示方法の違いに着目して分類したものを表1に示 す。個別に許容差と幾何公差を指示されるところは 許容差が狭く設定されており、作成するうえで注意 を要する。技能の定量的な評価と技能量の予測につ いてはすべての寸法に適用することができるが、本 報告では表に示す14ヵ所を採用した。

3. 損失関数を適用した技能の評価

3.1 実技課題における損失関数の適用

技能検定の採点基準は、公表することを許されていない。そのため正式の採点基準を模した採点表を作成して学生に配布する向きもあるが、筆者はこれを採点基準の漏えいに準ずるものと考える。 また、学生に対して、許容差内に加工が施されていれば満点であるという指導も製造業における品質特性の実態と合っておらず気になるところである。 そこで、品質工学における損失関数³⁾を適用した技能の定量的な評価方法を提案する。

図2に、今回適用する損失の概念を太い実線で、 従来の損失を太い破線で示す。従来の概念では、許 容差ぎりぎりで製造された製品も目標値どおりにつ くられた製品も同質として扱われていることにな る。また、市場で生じる損失を取り込んでおらず不 都合が生じることとなる。

項目	個数	備考				
個別に許容差を指示	13	本報の検討対象				
幾何公差	1	平和77快引 对 家				
普通許容差	21	適用可能				
粗さ	13	迎用 円 肥				
テーパ	2	官能検査のため計数化す				
ねじ	1	ることで適用可能				

表 1 実技課題の寸法の分類

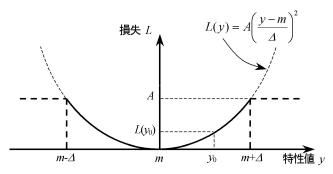


図2 損失関数の概念図

次に、品質工学による損失と許容差の関係について説明する。この関係で重要なことは、得られた特性値の目標値からのずれが許容差内に収まっていても、ずれ量の2乗に比例して社会に損失を与えるとして、製造者と社会の受けるコストのバランスするところに許容差を定めることにある。基本式を式(1)に示す。式(1)は、材料費や人件費などを考慮し、高次の項を省略して得られるテーラー近似式である³⁾。

$$L(y) = A \left(\frac{y-m}{\Delta}\right)^2 \cdots (1)$$

許容差を超えることによって生じる損失をA, 目標寸法をm, 許容差を $\pm \Delta$ とし、加工を施すことにより得られる寸法値 y は、簡単のため、平均値 m, 標準偏差を $s=\Delta/3$ とする正規分布に従うと考えるのが妥当である。 このとき、寸法値 y_0 で加工された場合の損失は $L(y_0)$ となる。式(1) により得られる個々の損失の合計は、課題作品の全体的な実技課題からのずれ量を示すこととなるので技能を定量的に評価する指標となる。

3.2 損失関数を適用した技能の評価の実際

実技課題において、個別に許容差を指示している 寸法と幾何公差を合わせると、表 1 に示すとおり 14ヵ所である。これらについて、式(1)を適用して、 各寸法における損失 L_i を求める。 損失の合計を技 能の評価値とする。 例えば、 ϕ 30 $^{-001}_{-004}$ として寸法を 指示され、加工により得られた寸法値を y_0 とする と、目標値m、許容差 Δ および標準偏差 s は式(2)の ように求まる。

ここで、標準偏差sの係数kは実技課題に取り

組む者の技能に応じて定めてよい。今回は寸法値のずれ量が許容差 Δ の 3 倍程度はあり得るとして,k = 3 とした。次に y_0 が許容差を超えたときの実際の損失 Δ は検定料としてもよいが,ここでは Δ とした。

$$m = (29.99 + 29.96)/2 = 29.975$$

$$\Delta = (-0.01 + 0.04)/2 = 0.015$$

$$s = k \Delta/3 \quad (k = 3)$$

$$A = 1$$
(29.99 + 29.96)/2 = 29.975
$$\cdots (2)$$

今回取り上げていない寸法については、次のようにする。許容差の明示されていない寸法は、課題の指示により、JISの削り加工寸法の普通許容差の中級を用いることが定められているので、前述と同様に、式(1)、(2)を適用する。テーパ部は、光明丹で当たりを見る官能検査が一般的である。この場合は判断基準を5~8水準に設けて計数化して、式(1)、(2)を適用する。ねじ部についても同様に適用できる。

以上の考察により得られる技能の評価と実技課題の採点基準により得られる減点を、係数 k^2 をパラメータとして比較したものが図 3 である。 係数 k^2 にて示される群は、測定された寸法値のばらつきの程度により構成される。これは、技能が同程度の技能者が実技課題で評価された結果を、係数 k^2 により模していることとなる。

図より横軸の採点基準による減点では2水準にし

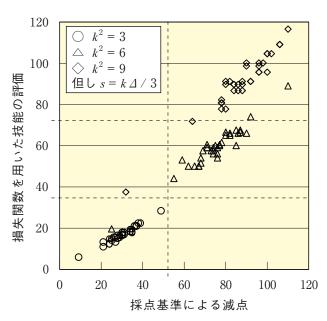


図3 損失関数を用いた技能評価と採点基準の関係

か層別できないのに対して,縦軸の損失関数を用いた技能の評価では3水準に層別が可能である。

3.3 許容差設計による採点基準と損失の比較

目標寸法をm, 許容差を $\pm \Delta$ とし、寸法値 y_0 で加工された場合は、簡単のため平均値m, 標準偏差を $s = \Delta/3$ とする正規分布に従うことは、前節で述べた。これにより、おのおのの寸法値のばらつきができ上がった製品の品質特性にどの程度影響するか許容差設計して、許容差の幅に技術的な根拠を与えることができる。

個別に許容差を指示している寸法と幾何公差の部分は作業者に注意を促す部分である。 そこで、 $L_{36}(2^3\times3^{13})$ 直交表に、今回適用する14ヵ所の寸法を割り付けた。水準値は表2のとおりである。得られる36とおりの組み合わせから採点基準による減点の合計と損失関数により求めた損失の合計の一例

表2 水準の設定

水準	2 水準の場合	3水準の場合
1	m-s	$m-\sqrt{3/2} s$
2	m + s	m
3	_	$m + \sqrt{3/2} s$

表3 直交表への割り付けと評価結果の一例

	_	• -	_		•			•					•
	A	В	С	D	Е	F	G	Н	Ι		P	減点	損失
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1	0	2.06
2	1	1	1	1	2	2	2	2	2	• • •	2	2	2.00
3	1	1	1	1	3	3	3	3	3	• • •	3	10	8.50
4	1	2	2	1	1	1	1	1	2	• • •	3	10	7.83
5	1	2	2	1	2	2	2	2	3	• • •	1	0	1.39
6	1	2	2	1	3	3	3	3	1	• • •	2	2	3.33
7	2	1	2	1	1	1	2	3	1		3	10	7.67
8	2	1	2	1	2	2	3	1	2	• • •	1	0	1.83
9	2	1	2	1	3	3	1	2	3	• • •	2	2	3.06
10	2	2	1	1	1	1	3	2	1	• • •	2	2	3.06
11	2	2	1	1	2	2	1	3	2	• • •	3	10	7.67
12	2	2	1	1	3	3	2	1	3	• • •	1	0	1.83
:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	• • •	:	:	:
34	2	2	1	3	1	3	1	2	3	• • •	1	0	1.67
35	2	2	1	3	2	1	2	3	1	• • •	2	2	3.50
36	2	2	1	3	3	2	3	1	2	• • •	3	10	7.39

をあわせて表3に示す。ただし、採点基準は公表できないため、割り付けた寸法と課題図の寸法の対応は明示しない。

標準偏差 s による評価の傾向を、採点基準による減点の変化について図 4 に、損失関数により求めた損失の変化について図 5 に示す。ここで、先述した図 3 は、係数 k^2 における図 4 および図 5 の相関図である。図 4 、5 とも係数 k^2 が大きくなると減点の傾向が漸化する。これは、寸法ごとの減点に上限を定めているためである。図 4 において、係数 k^2 が $3 \sim 4$ にかけての減点の増加の立ち上がりが急であることから、この範囲をしきい値とした合否判定ができることがわかる。図 5 では、標準偏差 s に対する損失の変化は全体的に緩やかである。これは技能の定量的な評価に都合がよい。

次に、許容差設計を用いて重要寸法の導出を行った。 係数 $k^2 = 3$ のとき、表 3 の36とおりの組み合わせから得られる技能の評価を分散分析して要因効果を求め、図 6 に示す。縦軸は目標値からのばらつきが評価に与える影響の大きさを、横軸は表 3 の寸

140 横軸: k^2 $s = k \Delta / 3$ 0 0 0 20 0 6 8 2 4 10 図4 標準偏差 s が異なる場合の採点基準の傾向

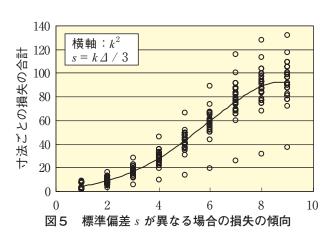
法を示す。図 (a) の破線で囲む寸法 I, J は,他の寸法よりも影響が大きい。また,正負のばらつきに対する評価も異なる。これは,合否を決定する可能性のある重要な寸法といえる。 一方,図 (b) では寸法ごとの評価の差異はなく,許容差 Δ の大きさに応じた評価である。これも技能の定量的な評価に都合がよい。

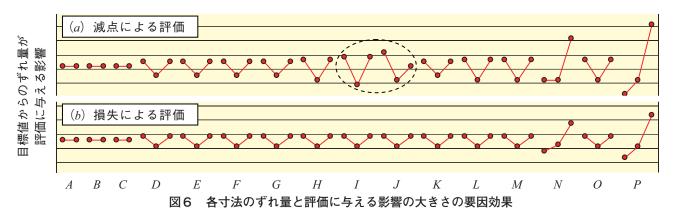
4. 個々の技能者が習得する技能量の予測

4.1 技能量の予測の方法

前章にて、現在の技能量の定量的な評価法を示した。次に個々の技能者の将来における技能量の予測について述べる。現在までの技能の習得過程から得られる技能量の予測値と将来の結果の差は、これから行う改善の効果として、改善の機能性評価に用いることができると考えられる。これは、個々の技能者の考察のため、受験予備校などが算出する大学合格率とは根本的に異なる。

本章では、実技課題に対して個々の受検者が取り 組んだ過程を5項目からなる多次元情報のパターン





10 技能と技術

として、技能量の評価を真値としたときの未知なる 真値を予測する方法を提案する。予測には多変量解 析を利用したMTシステム⁴⁾ を用いた。

予測に用いたデータは、専門課程 生産技術科の 有志の学生7人が技能五輪予選に取り組んだときの ものである。その結果を図7に示す。学生は主に平 常授業の終了後に取り組んだ。練習の終盤では1日 に1作品を作成するほどであった。

今回の予測では、検定本番の1週間前までの練習結果から、検定当日における作品の評価を対象とした。このため、項目を現在の練習日を含めた過去5日分の作品の評価とし、真値を現在の練習日から5日後の作品の評価とした。そして、15個まで作成したときに、16~20個の作品の評価を予測する。表4に練習した作品の作成した順番と項目、真値の関係を示す。

取り上げた7人の学生から1人の被験者を選ぶ。 残りの6人の評価の結果を表4に従って、データを 作成する。 今回のデータの場合、5次元情報のパ ターンを約70データ収集できる。マハラノビスの距

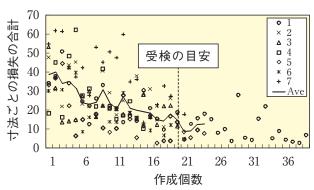


図7 実技課題における技能向上のパターン

表4 約	陳習結果の	並べ替え
------	-------	------

	項目1	項目2	項目3	項目4	項目5	真值
信	1	2	3	4	5	10
信号データ	2	3	4	5	6	11
1 2	:	:	:	:	:	:
	6	7	8	9	10	15
+	7	8	9	10	11	(16)
	8	9	10	11	12	(17)
アル	:	:	:	:	:	:
	11	12	13	14	15	(20*)

離(以後、MD値)が1近傍であるデータを単位空間とする。MD値は、複数の群同士の一致の度合いを無次元量として示す統計量である。本報では単位空間および信号を構成する群の均一性と、単位空間と個々の未知データの一致の度合いを確認するために適用した。MD値で均一化された単位空間で、被験者の未知データの真値をMTシステムにより、被験者の15個までの練習作品から16~20個の練習作品の評価の結果を予測する。

4.2 技能量の予測の結果

図8に、16~20個の練習作品ごとの技能量の評 価とその予測の結果を示す。 ここで、被験者 No. 2, 4 は20個までの練習結果を取得できなかっ た。右縦軸は予測精度としてのSN比を示す。SN比 が大きいほど予測精度が高いことを示す。 ここで, 相関係数と同様に、被験者ごとのSN比を単純に比 較することはできないので注意を要する。図より被 験者No. 5の予測精度は最も高く示されているが、 被験者No. 3, 5, 7の信号データのMD値は1から 大きく離れており、単位空間データとの整合がとれ なかった。 また、被験者No. 3, 5, 6 の推定値はそ れぞれでほぼ一定の値であるため、感度が低すぎる ことも考えられる。これらは正確に予測できていな いと考えられるため注意して検討する。被験者 No. 6では予測値が真値に近いので予測精度は高いよ うに感じるが、多次元パターンの比較としては予測精 度は低く、SN比も小さかった。 以上より、6人の被 験者の中で一番精度よく予測できたのは被験者No. 1 の場合であった。これは、16~20個の技能量の評価 がV字型に上下している傾向もよく予測できた。

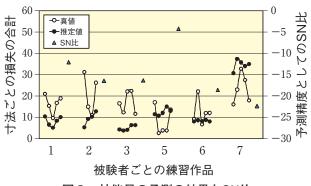


図8 技能量の予測の結果とSN比

3/2010

4.3 技能量の予測精度の向上

前節において、個々の技能者が将来に習得する技能量が予測できることを示した。しかし、その予測精度は低いものであった。そこで、単位空間データおよび信号データの選定を見直して、予測精度を向上させることを試みた。 さらに信号データを未知データのときと同様に真値の推定を行い、未知データの推定値の補正を行った。

表5に被験者No. 1における単位空間データと信号データの選定の組み合わせと予測精度の関係を示す。被験者No. 1の場合、単位空間、信号データともMD値が1近傍である方がSN比は最大となり予測精度が向上することがわかった。他の被験者についても同様にSN比最大となる組み合わせを調べたところ、被験者No. 5を除いて同様の結果であった。被験者ごとにSN比が最大となる単位空間、信号データの組み合わせで、予測精度の向上を試みた結果を図9に示す。

一般に、単位空間、信号データは均一で多い方が 予測精度は向上する。 被験者No. 5 の場合、質より 量が必要であったといえる。また、データの選びな おしで改善後のSN比が大幅に増加する場合も、そ もそものデータが均一でなかったとも考えられる。

被験者No. 1, 2, 3, 6 の場合, 真値に近づくように補正できた。16~20個の技能量の傾向に近づくように補正されたのは、被験者No. 3, 6, 7であった。今回の予測の場合、予測精度の向上を試みる前のSN比が-15db以上であれば、改善の効果が期待できるようである。ここで、被験者No. 1, 2, 6 における16~20個の技能量の真値に対する予測値と補正値の関係を図10に示す。図中の直線は原点を通る線形近似である。被験者No. 1 の補正値は、ゼロ点を通り、しかも技能量の真値に対して強い相

表5 被験者No. 1 のMD値1に対する 選択幅と予測精度の関係

単位空間データ	信号データ	SN比 (db)	
1 +02	全て	-12.09	
1 ± 0.3	1 ± 0.3	- 8.79	
1 ± 0.2	全て	- 12.97	
1 ± 0.2	1 ± 0.3	- 8.65	

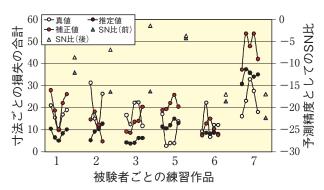


図9 技能量の予測の結果とSN比

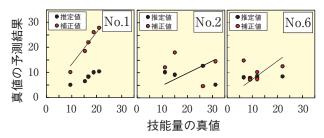


図10 技能量の真値と予測値、補正値の相関

関を示している。 傾きは約1.3と大きめの値を予測 することとなるが十分満足できる結果であった。

5. おわりに

技能検定の実技課題について、採点基準は技能の 判定に向くことを示し、損失関数を適用することで 技能を定量的に評価できることを示した。 さらに、 個々の技能者が将来に習得し得る技能量の予測の可 能性を示した。

本報告は技能教育指導法の提案ではなく, 汎用的な技能量の計測および予測技術であることに注意されたい。そのうえで, より多くのデータを収集して予測精度を上げることで指導員のノウハウの補完につながると考える。

<参考文献>

- 1) 小林輝夫・水沢昭三: 旋盤作業の実技, (1994), 144-147, 理 工学社
- 2) 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,(2006),3
- 3) 田口玄一ほか: 品質工学講座 2 製造段階の品質工学, (1995), 16. 日本規格協会
- 4) 田口玄一:目的機能と基本機能(6)-T法による総合予測,品 質工学,13-3,(2005),5-10