

階層分析法（AHP）による技能・技術継承評価

中国職業能力開発大学校

土井純司

Evaluation of Skill and Technological Succession by Analytic Hierarchy Processes

Junji DOI

要約 技能・技術継承問題の解決策の一つとして、技能のデジタル化・マニュアル化が進められている。しかし、熟練者が保有している感覚的な技能をデジタル化・マニュアル化することは難しい状況である。そこで、感覚的な技能要素が継承されたのかどうかを判断するため、階層分析法（AHP）による評価を試みた。

本報では、ドリル加工に関する知識を技能・技術継承問題のモデルとして用い、熟練者（機械系教員）と未熟練者（学生）を対象にアンケート調査を行い、ドリル加工因子の選定に関してどの程度重要と判断しているかを検討した。

その結果、熟練者と未熟練者をAHPにより比較し、①ドリル加工因子の評価基準に対する考え方の違い、②ドリル加工因子の重要度の相違、③感度分析によるドリル加工因子の順位変動との関係から、感覚的な技能要素の継承程度を評価できることを確認したので報告する。

I はじめに

2007年問題がクローズアップされ、団塊世代の退職に伴う諸問題が議論されている。その中で、技能の継承問題が顕在化されてきた。熟練者の技術や技能を如何に確実に継承するかという問題が切実さを増している。解決策の一つとして、技能のデジタル化・マニュアル化等^{(1) (注1)}も進められているが、熟練者が保有している勘やコツ等の感覚的な技能は数量化が難しく、デジタル化・マニュアル化が難しい状況である。

感覚的な技能は、データやマニュアル等だけでは継承することが困難な技能で、主観的な経験や勘に根ざしたもので、実加工での試行錯誤を繰り返し、その中で得られた経験に基づくプロセスでのみ獲得できるものと定義した。

このような感覚的な技能要素を見極めることは困難であり、そのため、感覚的な技能要素の継承を客観的に評価できるシステム（どのような内容がどの程度継承されたかを評価する）を確立する必要がある。

本研究では、ドリル加工因子の選定に感覚的な技能要素がどのように関わっているのかを、階層分析法を用いて評価した。回答者として熟練者（機械系教員：

9名）と未熟練者（機械系学生：21名）を対象にアンケート調査による一対比較を行い、回答者の主観的な判断によるドリル加工因子の選定に関して階層分析法を適用し、ドリル加工因子の重要度の違いから熟練者と未熟練者の技能程度の数量化を行い、技能継承の程度を判断した。

II 階層分析法

意思決定手法の一種である階層分析法⁽²⁾（Analytic Hierarchy Process：以下AHPと称する）は、システム中の要素や属性が複雑に絡み合った問題を総合的な評価によって意思決定を行う方法で、1970年代にピッツバーグ大学のT.L.Saaty教授により提唱された。

不確定な状況や多様な評価基準による問題の分析を主観的判断により各評価要因に対する重要度^(注2)（因子の影響の程度）を数量化し、選択の候補となる代替案に好ましさの程度を付け判断の根拠とする。

対象となる問題を、図1に示すような階層構造に分解する。問題から判断される評価基準の重要度をアンケート調査により求め、次に各評価基準から判断される各代替案の重要度を評価し、最終的には問題に対す

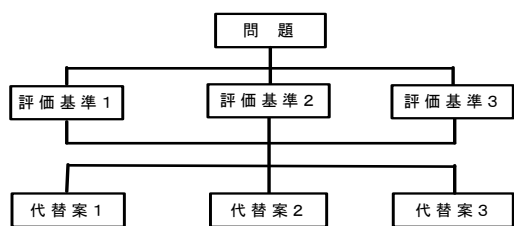


図1 AHPの階層構造図

る代替案の評価値が決定できる。一対比較のアンケート調査では、数量化の難しい経験や勘を生かした最大公約数的な取り扱いが可能となる。

III 継承問題のモデル

継承問題のモデルとして、加工因子数が少なく、加工作業が比較的簡単なドリル加工を選定した。ドリル加工は他の機械加工に比べて加工品質に注意が払われることが比較的少なく、タップの下穴、ねじやボルト類の締結のための穴加工に用いられることが多い。ドリル加工には、対象物に合わせた工具の選択や加工因子の選定が必要となるが、ラフに選定されることが多い。このことから、ドリル加工は曖昧で感覚的な技能要素を含んでいると判断し、継承問題のモデルとした。

1 ドリル加工の評価基準、代替案

ドリル加工因子を親和図法等により求め、ドリル加工品質に影響する因子として関連を整理し、特性要因図(図2)にまとめた。

特性要因図と未熟練者に対する教育訓練内容から、加工因子として重要と思われるものを決定し、評価項目にあたる因子を評価基準、加工条件にあたる因子を代替案とした。評価基準には、工具寿命、加工精度、切削抵抗、表面粗さ、加工効率、加工時間の6因子を、加工因子としての代替案には、切削速度、工具剛性、ドリル形状、送り、切り込み、被削材、切削油の7因子を選定した。因子選定に際しては、回答者がアンケー

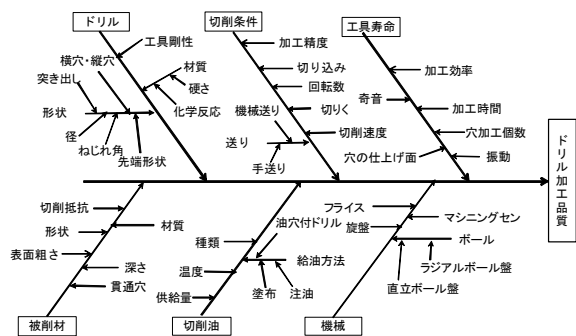


図2 ドリル加工品質に関する特性要因図

ト調査の設問内容をイメージしやすく、一対比較作業での整合性のとりやすさも考慮した。

代替案に加工条件を選定したため、代替案間には一部従属性があり、本来であれば、内部従属法の適用も考えられるが、ドリル加工因子の選定に関して、不慣れな回答者の一対比較の負担を軽減することに配慮し、本研究では、相対比較法を適用した。

2 AHP手順

ドリル加工因子の選定に関する具体的なAHPの手順は、以下の通りとなる。

① 階層構造図の作成

ドリル加工因子の選定における階層構造図を図3に示す。

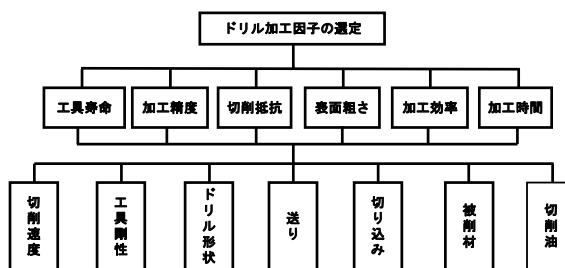


図3 ドリル加工の階層構造図

② 評価基準に対して一対比較を実施し、各評価基準の重要度を算出

③ 評価基準からみた代替案の一対比較を実施し、各代替案の重要度を算出

④ 評価基準と代替案の重要度から、ドリル加工因子の選定に関する総合評価値を算出

3 アンケート調査^(注3)

選定された評価基準、代替案を基にアンケート調査を実施した。回答には、各階層の評価項目が他の項目と比べてどの程度重要と考えているかを検討するため、因子間の重要性に応じて尺度(9~1/9)を設けている。

アンケート調査による一対比較の結果は、あくまでも項目間の価値の比較であるので、全体として首尾一貫性の高い整合的なものかどうかの判断は(1)式による整合度指数C.I.値(Consistency Index)で定量的に評価し、C.I.値が0.10(場合によっては0.15)以下であれば回答の有効性や信頼性があるとしている^(注4)。ここで、項目数とは、評価基準数や代替案数を示す。

$$C.I.値 = \frac{\text{幾何平均} - \text{項目数}}{\text{項目数} - 1} \quad (1)$$

アンケート調査後、表1に示す一対比較表⁽³⁾(説明の便宜上、因子をA、B、Cとしている)を作成した。重要度の算出には幾何平均法を用い、各因子に対する幾何平均と幾何平均合計に対する割合を重要度として求めた。また、代替案についても、評価基準毎の重要度を算出し、因子毎の総合評価値を求めた。

表1 一対比較表

一対比較アンケート

	極めて重要	非常に重要	かなり重要	やや重要	同じ位重要	やや重要	かなり重要	非常に重要	極めて重要	
	9	7	5	3	1	1/3	1/5	1/7	1/9	
A				○						B
A			○							C
B							○			C

一対比較表

	A	B	C
A	1	3	5
B	1/3	1	1/5
C	1/5	5	1

評価基準に対する重要度

	幾何平均	重要度
A	2.4662	0.6370
B	0.4055	0.1047
C	1.0000	0.2583

IV 結果

本研究では、熟練者がドリル加工因子の選定に関して、知識や経験等を基にした主観的判断の結果として選定した最適な加工条件が、未熟練者とどう違うのかを重要度による順位付けとして数量化し、ドリル加工に関わる因子の重要度を感覚的的技能要素の継承の程度と考えた。

また、平均的な影響を検討するため、回答者を複数とした。そのため、集団としての意思決定問題⁽⁴⁾として取り扱った。

1. C.I.値

回答者のドリル加工因子の選定に対する感覚的な技能要素の程度を判断するため、評価基準に対するC.I.値を基に比較した。図4に熟練者、図5に未熟練者の結果を示す。

熟練者のC.I.値は、アンケートに対する回答要領や熟練者としての専門性や経験等の相違による影響が見られ、C.I.値(=0.001~0.449、平均0.172)も幅があるものの、後述する未熟練者に比べると比較的整合性がとれていると思われる。

未熟練者については、C.I.値(=0.110~0.667、平

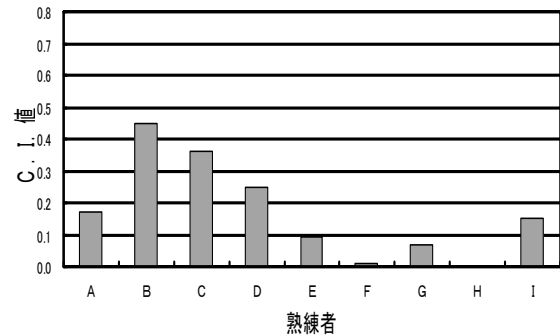


図4 熟練者のC.I.値

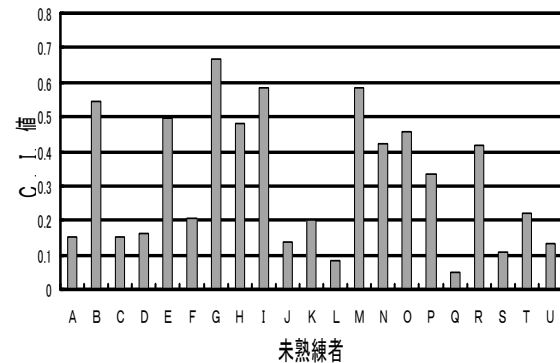


図5 未熟練者のC.I.値

均0.314)のバラツキが大きく、ドリル加工に関する知識や経験の不足等が原因であると考えられる。

2. 評価基準に対する重要度

アンケート調査は、本来であればC.I.値が0.10(場合によっては0.15)以下になるまで一対比較を繰り返す行うが、技能・技術継承評価の可能性を判断するため、熟練者及び未熟練者の中から整合性のとれている回答者をそれぞれ2名選び、評価基準に対する重要度を幾何平均で求めた。結果を表2および図6に示す。

評価基準	熟練者	未熟練者
加工時間	0.209	0.176
加工効率	0.205	0.155
加工精度	0.201	0.350
表面粗さ	0.166	0.128
工具寿命	0.125	0.131
切削抵抗	0.095	0.060

表2 評価基準に対する重要度

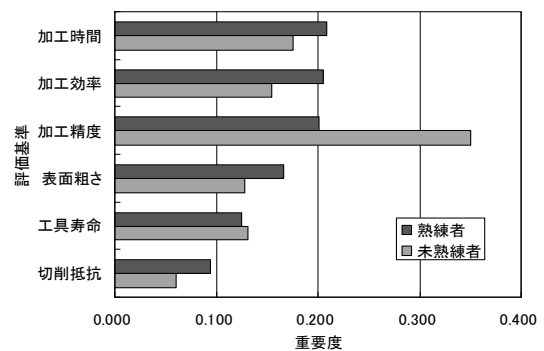


図6 評価基準に対する重要度

熟練者の評価基準に対する重要度は、加工時間が0.209、加工効率が0.205、加工精度が0.201となり、3つの評価基準を同程度に評価している。加工品質に対して、精度の問題だけでなく効率に関連する事項も必要と考えており、熟練者の加工に対する考え方が複合的なものであると考えられる。

一方、未熟練者の評価基準に対する重要度は、加工精度が0.350と突出しており、加工品質には加工精度が他の評価基準に比べて重要との認識が強く感じられる。これは、教育訓練の実習課題の製作にあたって、加工精度が成績評価の対象となっていることが大きな要因と考えられる。

評価基準の中で切削抵抗に関しては熟練者、未熟練者ともに低く評価し、評価基準としては適正でないとの判断である。

3. 代替案に対する総合評価値

代替案としての加工因子に対する総合評価値の結果を、表3および図7に示す。代替案に対する総合評価を行い、加工因子の順位付けを行った。

熟練者は加工因子に対する総合評価値を、被削材は0.236、切り込みは0.164、切削速度は0.155の順に挙げており、特に被削材が重要と判断している。被削材の物性値の相違が切削性等に与える影響についての理解や経験が判断材料になっていると推察される。

一方、未熟練者は加工因子に対する重要度として、切削速度は0.181、切り込みは0.180、送りは0.167の順

表3 代替案に対する総合評価値

代替案	熟練者	未熟練者
被削材	0.236	0.157
切り込み	0.164	0.180
切削速度	0.155	0.181
送り	0.140	0.167
ドリル形状	0.117	0.106
工具剛性	0.104	0.134
切削油	0.084	0.074

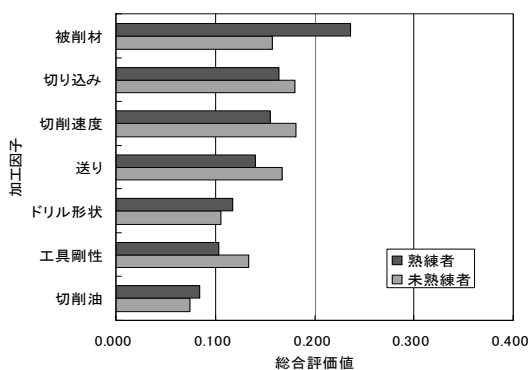


図7 代替案に対する総合評価値

となり同程度の評価となっている。加工因子の順位付けが不明確で、様々な加工因子が同程度重要と認識している。

4. 評価基準や代替案に対する感度分析

熟練者と未熟練者の評価基準や代替案の感度分析を行い、AHPが技能継承程度の評価に有用であるかを検討する。

一対比較による重要度の算出は、様々な要因によって変化する可能性がある。たとえば、回答者に対する外部からの情報、回答時の心的変化等によって影響を受ける。また、評価基準や代替案間の従属性の有無によっても影響を受ける。

評価基準や代替案の重要度の変動に伴って、それに基づいて算出される総合評価値も変動し、結論が変わることになる。そこで、評価基準の重要度を変化させたときに代替案の重要度がどの程度影響を及ぼしているかを検討するため感度分析を行った。

熟練者と未熟練者との共通点を図7から分析すると、重要度が上位で順位の変動が生じやすい因子は切削速度、送り、切り込みである。そこで、評価基準の加工精度をパラメータとしたときの、代替案としての切削速度、送り、切り込みに対する感度分析を行い、その結果を熟練者は図8に、未熟練者は図9に示す。

加工精度の重要度を変動させたときの切削速度の変動率^(注5)は、熟練者では94.4%、未熟練者では119.2%

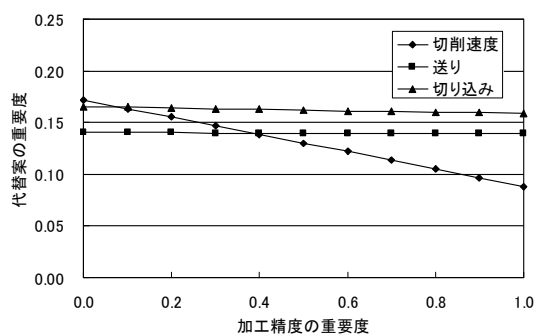


図8 代替案に及ぼす加工精度の重要度の影響（熟練者）

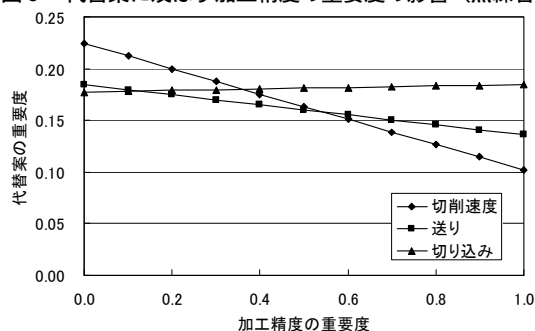


図9 代替案に及ぼす加工精度の重要度の影響（未熟練者）

となり、共に切削速度に顕著な影響が見られた。

熟練者は送り（変動率：0.9%）、切り込み（変動率：4.3%）が加工精度に対してほとんど変化しない因子と考えている。加工精度の重要度が $-0.1 \sim +0.2$ 程度変動しても加工因子の順位変動は見られず、安定した順位付けがなされていると判断できる。評価基準の重要度が大きく変動しても代替案の重要度の変動幅が小さいことは、ドリル加工因子の順位付けの変化が小さいことを示す。

一方、未熟練者の場合は送り（変動率：35.3%）に対して影響しているとの評価である。切り込み（変動率：3.9%）に対しては影響が小さいと考えている。また、加工精度の重要度 0.35付近に代替案の重要度が集積しており、変動が少しでもあれば、加工因子の順位が変動することになり、不安定な様子が認められる。

このように熟練者と未熟練者のドリル加工因子の重要度に相違が認められ、熟練者の数値に近づくことで、感覚的な技能要素の継承程度が評価できることになる。感度分析結果からも、AHPが技能継承の程度を評価するツールとして有用であると考えられる。

V 考察

前章の結果では、ドリル加工因子の選定に関わる熟練者と未熟練者の評価基準と代替案に対する重要度を求めた。ドリル加工因子の重要度の相違が熟練者と未熟練者の技能程度の違いから生じることについて述べた。本章では、AHPによる技能程度の評価について示す。なお、技能としてAHPで評価できるものは、与えられた設備や環境を考慮し、最善の方法で最良の加工条件を行うことができ、実加工においても感覚的な判断を伴う能力と考えている。このとき、過去の経験や知識が、有用な判断材料として機能すると考えられる。

教員（熟練者）が、学生（未熟練者）に対して行ったドリル加工に関連する教育訓練内容を、学生がどの程度習得したかをAHPによって判定した。評価は熟練者を基準とし、AHPによる各階層の技能要素の重要度による順位付けで判断した。

重要度は一対比較表による幾何平均の正規化によって求められる。C.I.値が低い回答者は設問に対する回答の曖昧さやブレが小さく、設問に対する一貫性や信頼度が高く評価されることになる。したがって、重要度が高く評価されると、習熟できていると判断することになる。

熟練者ほど状況判断に優れ、変化に対応できる能力が高く、今回のAHPによる評価結果と照合すると、評価基準の加工時間、加工効率、加工精度が平準化されており、多くの基準を均等に評価できている。未熟練者は加工精度だけを他の評価基準の倍程度重要と判断している。

このことは、評価基準の重要度の変動が代替案の重要度の変動に及ぼす影響についての感度分析からも明らかとなっている。熟練者は評価基準の重要度が変動しても、ドリル加工因子の順位付けに対する変動が小さく、熟練者の安定した様子と評価できる。未熟練者の場合は、評価基準の重要度の変動が加工因子の順位付けに影響を及ぼしており、不安定な様子となっている。

このような観点から、ドリル加工因子の選定に関してAHPによる評価が技能程度を反映していると考えられる。

VI おわりに

技能・技術継承問題の中で、曖昧で感覚的な技能要素がどの程度継承されたかを評価するため、AHPによる評価を試みた。得られた結果を以下に示す。

熟練者による総合評価値を基にドリル加工因子の順位付けを行うと、被削材を最重要と考え、次に切り込み、切削速度を同程度の評価としている。未熟練者は加工因子として、切削速度、切り込み、送りを同程度と評価している。

熟練者と未熟練者との比較から、ドリル加工因子の選定に対する考え方が、熟練者では評価基準を複合的に捉え、また、未熟練者は特定の評価基準に関心が高いことが、AHPを用いたことにより明らかとなった。このことから、AHPを用いる手法が感覚的な技能要素の継承の確認や評価の手法として有用であると考えられる。

また、感度分析による定量的評価結果からも、熟練者の加工因子の順位変動も小さく、安定していることが判明し、技能者の感覚的な技能程度を評価する手法として有用であると考えられる。

今後の課題として、ドリル加工の感覚的な技能要素の継承評価にAHPが有用であるかについて、その信頼性を検討する必要がある。

また、適用時に留意すべき点として、下記の点が挙げられる。

①目的に合った階層構造を検討し、評価基準や代替

案の選定が重要となる。②アンケート調査の際、回答者に負担とならないように、回答者（個人や集団）に合った手法を採用する。③回答について、信頼性の高い結果を得るように、アンケート結果の整合性について事前に検討する。

謝 辞

本研究を進めるにあたり多大なご協力をいただいた当校応用課程生産機械システム技術科の先生、専門課程生産技術科の先生及び学生に深く感謝いたします。

[注]

- (注1) 経済産業省が中心となって、ものづくり高度化基盤整備プロジェクトの「デジタル・マイスター・プロジェクト」が平成13年度～17年度にかけて検討された。技能を抽出・分析し、デジタル化（技術化）に取り組んだ。
- (注2) 重要度（重み、ウェイトとも表現される）の評価方法は、次の原理に従っている。①分解の原理：テーマとしている問題を階層構造にモデル化し、階層毎に評価する。②比較判断の原理：判断の基準に一对比較を用い、個別の評価を全体の評価に用いる。③階層化の原理：個別の評価に重要度を加味し、全体の評価としている。
- (注3) アンケート調査の実施にあたって、下表のようなアンケート用紙を作成し、アンケートの目的や記入要領等設問の内容をコメントしている。

表 評価基準アンケート

評価基準

	極めて重要	非常に重要	かなり重要	やや重要	同じ位重要	やや重要	かなり重要	非常に重要	極めて重要	
	9	7	5	3	1	1/3	1/5	1/7	1/9	
工具寿命										加工精度
工具寿命										切削抵抗
工具寿命										表面粗さ
工具寿命										加工効率
工具寿命										加工時間
加工精度										切削抵抗
加工精度										表面粗さ
加工精度										加工効率
加工精度										加工時間
切削抵抗										表面粗さ
切削抵抗										加工効率
切削抵抗										加工時間
表面粗さ										加工効率
表面粗さ										加工時間
加工効率										加工時間

表 代替案アンケートの一例

代替案

	極めて重要	非常に重要	かなり重要	やや重要	同じ位重要	やや重要	かなり重要	非常に重要	極めて重要	
	9	7	5	3	1	1/3	1/5	1/7	1/9	
切削速度										工具制度
切削速度										ドリル形状
切削速度										送り
切削速度										切り込み
切削速度										被削材
切削速度										切削油
工具剛性										ドリル形状
工具剛性										送り
工具剛性										切り込み
工具剛性										被削材
工具剛性										切削油
ドリル形状										送り
ドリル形状										切り込み
ドリル形状										被削材
ドリル形状										切削油
送り										切り込み
送り										被削材
送り										切削油
切り込み										被削材
切り込み										切削油
被削材										切削油

- (注4) AHPを提唱したSaaty は、C.I.値が0なら完全整合、C.I.値が0.10～0.15程度以下であれば有効とし、それ以上は再検討し一对比較をやり直すべきと経験則から提案している。
- (注5) 変動率とは、評価基準の重要度を0.0～1.0に変化させたとき、代替案の重要度の変動幅を率に換算したもの。

[参考文献]

- (1) 奥村、「溶接作業の熟練技能伝承」、溶接学会、Vol.25, No2、2007年、P309-315
- (2) 木下編著、「AHPの理論と実際」、日科技連、2000年、P11-29
- (3) 高萩、中島、「Excelで学ぶAHP入門」、オーム社、2005年、P19
- (4) 中西、木下、「集団意思決定ストレス法の集団AHPへの適用」、日本オペレーションズ・リサーチ学会、Vol.41, No4、1998年、P560-571