

技能レベルの違いから見たフライス盤作業の動作比較

職業能力開発総合大学校 機械システム工学科 ○蘇畑 将彦,

職業能力開発総合大学校 能力開発院 ◎垣本 映, 鈴木 重信, 池田 知純, 新家 寿健, 二宮 敬一, 和田 正毅, 不破 輝彦,

要旨

本研究では、フライス盤作業におけるバリ取り作業の技能レベルと身体動作との関係を明らかにすることを目的として、3次元動作解析システムを用いて教員1名と学生2名の作業動作を計測した。教員は、バリを取り易くするための行動とヤスリによって発生するバリを取る動作が見られた。2名の学生には教員のような行動は見られなかった。

1. 緒言

近年、技能の高度化・複雑化に加え、技能やノウハウを持った熟達者の引退や技能を引き継ぐ新たな人材の不足など技能の伝承が不十分になっていることが問題になっている。その理由の一端として技能が「暗黙知」であることがあげられている。一般的に熟練者の持つ経験に裏打ちされた勘や直感といった技能は「暗黙知」として個々の中に蓄えられており、従来これらは必要な動作やコツを反復して身に付ける以外に習得することはできないとされている。近年では機械加工分野で作業者の技能を人間科学的に評価しようとする試みがある。これまでに芸能やスポーツ分野ではモーションキャプチャを用いて動作を客観的に観察することは練習方法の改善や技能向上に役に立つと報告されている^{1),2)}。機械加工分野においても、人間科学的手法により作業者の技能を定量化することで、技能習得過程の解明に繋がり、より効率的な技能訓練を行えると考えられる。

我々は、汎用フライス盤作業を例として作業者の感覚情報と身体動作の測定を同時に行い、技能レベルと感覚、認知、精神的ストレス、身体動作との関係を明らかにすることを目的として研究を行っている^{3,4)}。本発表では、モーションキャプチャによるフライス盤作業の動作解析を行い、技能レベルの違いによる動作の比較を行ったので報告する。

2. フライス盤作業の作業分析

フライス盤作業において作業者は、外部から切削音や切りくずの排出状態などの情報を、五感を通して受け取り、それらを知識や経験と照らし合わせながら行動している。汎用フライス盤の六面体加工を例として、作業者の表出する動作に着目して作業分析を行った。六面体加工の作業工程を準備、加工、材料取り外しの3つに分類し、各工程内で行われる作業者の動作と、その動作で求められる知識や要点を挙げた。

表1. 六面体加工の作業分析表

六面体加工の作業分析表		
工程	動作	要点
準備	材料・口金の確認	被削材や口金内に切りくずなどはないか
	清掃作業	安全に清掃作業を行えるか
	工具確認・準備	加工に適した工具の選択し、安全に交換する
	加工条件の設定	加工に適した条件の設定
	被削材を口金内に設置する	加工の目的に合わせた位置になっているか 測定が行える位置に材料があるか
	バイスを締める	荒加工では材料を飛ばさないための締め付け 仕上げ加工では材料変形を抑えた締め付け
加工	被削材をハンマで叩く	加工の目的に適した方の加え方や叩く位置
	密着の確認	平台台の密着を確認できるか
	バリ取り作業	荒加工では完全にバリを除去すること 仕上げ加工では指定された寸法・糸面取りを行える 加工に合わせたヤスリの材質や目の選択 ヤスリの面を広く使って切削する
	ゼロセット時の刃先確認動作	視察・聴察・嗅覚による総合判断
	目覚確認動作	確認を行うタイミング
	ハンドル操作のための姿勢・位置変更	加工の目的・効率に合わせたハンドルの移動量
材料取り外し	テールロック	ミスや不良を出さないための知識
	早送りによる作業時間短縮	作業効率化
	自動送りによる加工	加工状態や切りくずの判断
	測定動作	作業を安全・正確に行うための立ち位置
材料取り外し	バイスから被削材を取り出す	バイスに残っている被削材を安全に取り外せるか 被削材・バイスが切削工具より離れているか

作成した六面体加工の作業分析表を表1に示す。本発表では、六面体加工の作業の中からバリ取り作業を取り上げる。フライス盤作業には荒加工時のバリ取り作業と、仕上げ加工時のバリ取り作業がある。荒加工時のバリ取り作業の目的は、確実にバリを除去して被削材の平行度、直角を出すことである。仕上げ加工時のバリ取り作業の目的は、製品の出来栄えに直接関わってくるためバリを除去した上で適切な面取り量を均一に切削することである。バリ取り作業を行う際、作業者には用途に応じたヤスリ選びと、ヤスリの目に合わせた作業動作が求められる。

3. バリ取り作業の動作分析

3.1 実験方法

工作機械は、汎用立てフライス盤(2MW-V, 日立ピアメカニクス製)、工具はカット径100mm, 5枚刃の正面フライスを使用した。切削条件は荒加工をV=100m/minを手送りで切込み深さは0.5mmとし、仕上げ加工をV=150m/minで送り速度F=200mm/minで切込み深さ0.2mmとした。被削材は六面体加工を荒加工済みの機械構造用炭素鋼S45C(65×55×45)を2個用意し、ヤスリは鉄工用単目ヤスリ(刃長200mm)を用いた。

3次元動作解析システム(MAC3DSystem, ナックイメージテクノロジー製)により作業者の動作をフレームレートは60fpsで計測し、同時にビデオカメラにより実験風景を撮影した。マーカーは、頭頂部、後頭部、前頭部、第7頸椎上、右肩峰、右肘、右手首の外側と内側、示指PIP関節上、ヤスリ先端、作業台上3点、計13点に配置した。

被験者は、本大学校で機械加工を指導している教員1名(37歳)、同大学校4年生2名(21, 23歳)である。被験者に2個の荒加工済みの材料を提示し、1つの目の材料に対しては第1面から第4面までの荒加工とバリ取りまでの作業、2つ目の材料に対しては第1面から第4面までの仕上げ加工と糸面取りを行わせた。

3.2 解析方法

図1に解析対象のエッジおよび手関節角度を示す。被削材にヤスリをかけるエッジの向きをX軸方向とし、第1面から第4面までを加工することから16個のエッジに対してバリ取り作業を行う。今回は寸法65mmのエッジ①から④の作業を計測対象とした。解析項目は、1エッジ当たりの平均作業時間、ヤスリの動き、手首の動きとした。ヤスリが被削材を切削している時の動きを、ヤスリ先端のマーカー座標から求めた。手首の動きは、ヤスリ先端から示指PIP関節上と手首側面に取り付けられたマーカーより手関節角度を算出した。面取り幅の評価をするために図2のエッジ①から④の両端点、中間点の面取り幅を精密顕微鏡(VH-Z100 KEYENCE)で計測し、面取り幅の平均値と標準偏差を算出した。

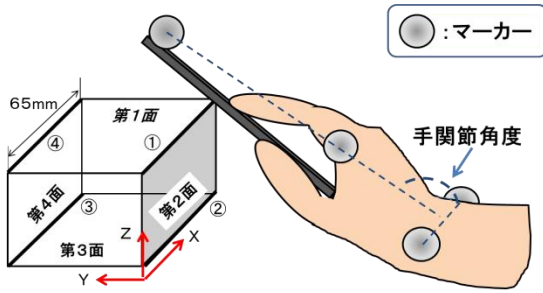


図1. 解析対象のエッジおよび手関節角度

4. 実験結果と考察

表2に各被験者のバリ取りに要した作業時間と回数を示す。すべての被験者は仕上げ加工時の作業より荒加工時の作業に時間を要しており、作業回数も少なかった。荒加工時の作業では、学生Cは他者と比べて1エッジ当たりの平均時間が短く、平均回数が多かった。教員Aは荒加工時にバリを取りやすくするためにエッジを軽く叩き、バリを寝かせることで作業回数を減らしており、学生B,Cにはその動作が見られなかったため作業回数が多くなった。

表2. 作業時間

(a) 荒加工				(b) 仕上げ加工			
	教員A	学生B	学生C		教員A	学生B	学生C
総作業時間	11分59秒	20分12秒	18分41秒	総作業時間	11分11秒	16分54秒	15分18秒
1エッジ当たりの平均回数 [回]	17	20	30	1エッジ当たりの平均回数 [回]	11	11	25
1エッジ当たりの平均時間 [s]	11.44	15.08	9.76	1エッジ当たりの平均時間 [s]	7.20	10.14	8.61

図2に特徴的だった教員Aと学生Cの仕上げ加工時3回目のXZ平面から見たヤスリ先端の軌跡を示す。教員Aはヤスリの先端をX方向に40mmほど動かし、徐々にZ方向に約±20mmほど振れる動作をしている。教員Aと比較して、学生Cはヤスリ先端の振れが少なく、同じような軌跡でヤスリをかけている。

図3に各被験者の仕上げ加工時の手関節角度の結果を示す。教員Aは手関節角度が10°以上変化することがあり、学生B,Cは手関節角度の変化が6°以下あった。手関節の動きでヤスリの傾きを調整していた。仕上げ加工時では、教員Aは体幹の移動は少なく、ヤスリによって発生する被削材のかえりを取るため、1回のヤスリ作業でエッジ全体が当たるように手関節の動きでヤスリを傾けている動作が、動作解析とビデオ観察で見られた。一方、学生B,Cに教員Aのような動作は見られなかった。

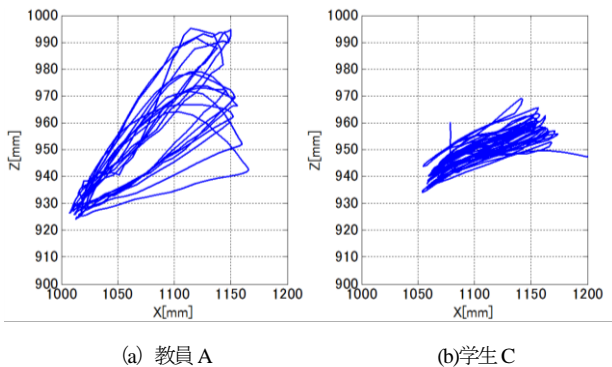


図2. XZ平面から見たヤスリ先端の軌跡

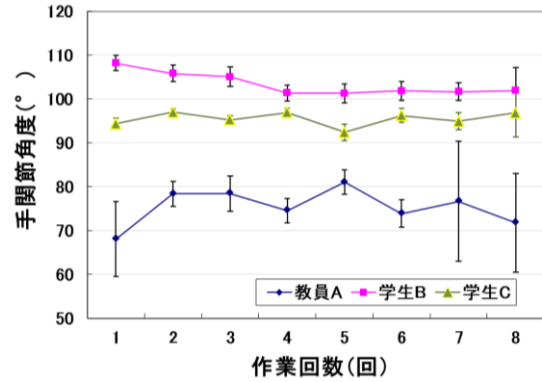


図3. 仕上げ加工時の手関節角度の平均値と標準偏差

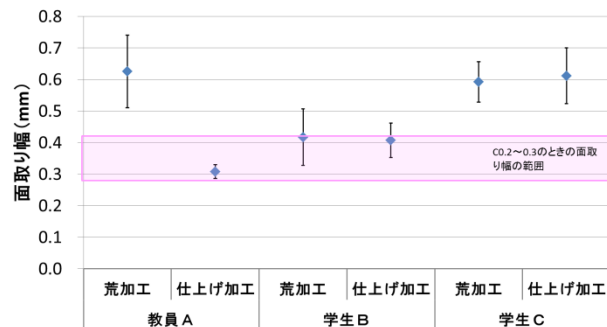


図4. 各被験者の面取り幅の結果

図4に各被験者の面取り幅の結果を示す。教員Aは粗加工時と仕上げ加工時で面取り幅が違い、仕上げ加工の面取り幅は一般的な糸面取り量とされている寸法値であった。一方、学生B,Cは、同じような幅を切削しており作業ごとに面取り幅を変えていなかった。

5. 結言

3次元動作解析システムを用いてフライス盤作業におけるバリ取り作業を計測し、技能レベルの違いによる被験者の作業動作を比較した。その結果、教員は作業内容に応じて動作を変えており、学生にはそれが見られなかった。今後は被験者数や測定回数を増やし、感覚情報との同時測定を行う予定である。

謝辞 本研究は、平成25年度科学研究費助成事業（基盤研究（B）、課題番号25289018）の援助を受けた。ここに記して感謝する。

参考文献

- 1) 古屋晋一：ピアニストの脳を科学する超絶技巧のメカニズム，春秋社，2012年
- 2) 吉澤正伊：前腕筋群の放電量から見たテニス・ストローク時の衝撃とその対応，バイオメカニズム学会誌，Vol.14, No.2, pp92-99, 1990
- 3) 古川勇二，池田知純，岡部眞幸，菅野恒雄，寺内美奈，二宮敬一，繁島孝二，不破輝彦，和田正毅，身体性認知科学に基づくフライス加工技能の習得・伝承システムの構築～第1報 全体構想と予測される効果，2014年度精密工学会春季大会学術講演会公開論文集（CD-ROM），1041-1042，2014.3.18
- 4) 不破輝彦，池田知純，岡部眞幸，菅野恒雄，寺内美奈，二宮敬一，繁島孝二，和田正毅，古川勇二，身体性認知科学に基づくフライス加工技能の習得・伝承モデルの構築～第2報自律神経および中枢神経活動の計測～2014年度精密工学会春季大会学術講演会公開論文集 741-742