

フライス加工中の神経系活動と技能レベル・作業難易度との関係

職業能力開発総合大学校総合課程機械専攻 ○本田 寛享

職業能力開発総合大学校能力開発院 二宮 敬一, 和田 正毅, 岡部 眞幸, 池田 知純, 貴志 浩久, ◎不破 輝彦

要 旨

フライス加工中の作業者の神経系活動を定量的に測定し、技能レベル・作業難易度との関係を人間科学に基づき評価した。被験者は熟練者5名と中級者10名である。フライス盤によるエンドミル加工を作業内容とした。測定項目は前頭前野の脳血流量変化と心電図である。その結果、難易度の高い作業ほど、交感神経活動および脳血流量変化が増加する定量的特性が明らかになった。加えて、作業者の技能レベルによる特性の違いが確認された。

1. まえがき

ものづくり作業の技能を習得するために、従来は反復練習が必要であると考えられてきた。しかし、反復練習は技能を習得するまでに長い時間を要するため効率が悪い。最近では、技能の早期習得に役立つため、技能習得の過程を人間科学的に評価するといった試みが見られる。例えば、武雄らは、アイマークレコーダを活用し、マイクロメータでの計測作業中の注視点の変化を、熟練者と初心者で比較した¹⁾。

技能習得の過程を人間科学的に理解するためには身体動作だけでなく知覚・神経系を含めて総合的に評価する必要がある。そこで古川らは、人間科学に基づき、技能習得・伝承について、フライス加工を例に研究を進めている²⁾。しかし、ここでは技能レベルという観点の検討は行われているが、作業難易度という観点の検討はまだ行われていない。

本研究の目的は、フライス加工中の熟練者と中級者の神経系活動、なかでも自律神経系活動と中枢神経系活動を定量的に測定し、神経系活動と技能レベル・作業難易度との関係を人間科学に基づき評価することである。この評価にはラスマッセンの3階層モデルに基づく、フライス加工技能における認知行動ユーザモデル³⁾を用いる。

2. 方法

2.1 フライス加工のユーザモデル

人の行動の流れでは、感覚で環境を知覚し、脳で認知、判断し、計画を練った後に行動する。ラスマッセンは、行動を3階層モデル(スキルベース、ルールベース、知識ベース)で表し、不破らはこのモデルに基づき、フライス加工技能における認知行動ユーザモデル(図1)を提示した³⁾。行動の階層が知識ベース行動側に向かうにしたがって、作業者はより多くのことを考え、確認し、判断することになるため、自律神経系としての緊張度、中枢神経系としての前頭前野の脳活動は高まることが予想される。

本研究では、作業の工程数が多く、かつ、“神経を使う”作業ほど、難易度が高い作業と位置付ける。難易度の高い作業では、作業者は知識ベース行動側で行動すると予想される。

2.2 被験者と計測システム

15名の被験者を用いた。内訳と具体的能力は次のとおりである。熟練者として、技能五輪全国大会フライス盤職種の入賞経験者3名、および技能検定(機械加工職種フライス盤作業)1級相当の職業能力開発総合大学校(以下、PTU)教員2名の合計5名とし

た。中級者として、技能検定(機械加工職種フライス盤作業)2級相当のPTU総合課程機械専攻4年生10名とした。

作業中の被験者の自律神経系・中枢神経系活動を評価するために、心電図および脳血流量変化を測定した。計測システムとして、携帯型無線計測装置(NeXus-10 MARKII, キッセイコムテック製)を用いた。被験者には、心電図用電極(L-150, 日本光電製)を胸部の2か所(胸骨部と右下肋部)に装着し、脳血流量変化測定用のHEGセンサ(NX-HEG2B, キッセイコムテック製)を前頭前野(国際10-20法のFP1)に装着した。HEGセンサでは、oxy-Hb(酸素化ヘモグロビン濃度)とdeoxy-Hb(脱酸素化ヘモグロビン濃度)を計測し、脳血流量変化を表すHEG値が得られる。

2.3 実験方法

工作機械として汎用立てフライス盤(2MW-V, 日立ピアメカクス製)を用いた。工具には直径20mmのハイスエンドミルの2枚刃と4枚刃の2本を使用した。被削材にはSS400(70×60×30mm)を使用した。

フライス加工の作業内容は、課題図にしたがって幅42mm、深さ10mmの直溝と幅24mm、深さ20mmのU溝のエンドミル加工を行うことである。荒加工と中・仕上げ加工とで難易度の違いを出すために、寸法許容差と表面性状を指示した。また、輪郭形状を創生する必要があるU溝加工を課題に加えることで、直溝加工とU溝加工との難易度の違いも評価できるようにした。

中級者に対しては事前に、直溝荒加工、U溝荒加工、直溝中・仕上げ加工、U溝中・仕上げ加工の加工工程と、 $V=20\text{m/min}$ (荒)と $V=25\text{m/min}$ (中・仕上げ)の切削速度を規定した。熟練者に対しては加工工程および切削条件を規定せず、個人の判断に任せた。生体信号の測定開始後、被験者は最初の5分間を安静とし、そ

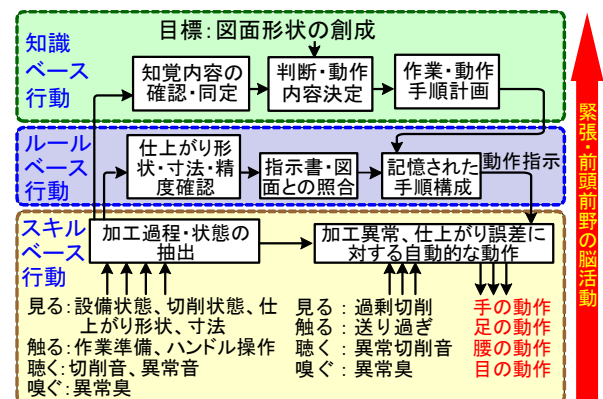


図1 フライス加工技能における認知行動ユーザモデル³⁾

の後、上述の作業内容にしたがって作業し、作業終了後に5分間を安静とした。加工作業に要する時間は規定しない。

2.4 解析方法

実験で得られた心電図から心拍変動を求め、カットオフ周波数0.04 Hz のハイパスフィルタをかけた。時間軸上を移動する分析区間(窓幅20 s)内で自己回帰モデルによるパワースペクトルを求め、時間周波数解析を行った。各区間で得られたパワースペクトルに対して0.04~0.15 Hz、0.15~0.4 Hzの各積分値をLF、HFとし、交感神経活動指標LF/HFの時間変化を求めた。また、HEG値を前頭前野の脳血流量変化の指標とした。

作業を撮影したビデオ映像から、被験者毎に、作業時間を次の6区間—(1)安静(作業前)、(2)直溝荒加工、(3)U溝荒加工、(4)直溝中・仕上げ加工、(5)U溝中・仕上げ加工、(6)安静(作業後)に区分した。各区間は、フライス盤を操作する作業だけでなく、段取りやバリ取り作業を含む。なお、(5)はU溝加工の区間であるが、最終的な仕上げ作業が含まれているため、直溝部分のバリ取り作業も含まれる。

LF/HF、HEG値の時間変化に対して、各区間における時間平均を求めた。

3. 結果および考察

熟練者の作業時間の平均は3,832±1,428 s、中級者では7,457±2,085 sであった。図2は、一例として熟練者AのLF/HF、HEG値の時間変化である。

図3上段(荒加工と中・仕上げ加工)および中段(直溝加工とU溝加工)は、作業難易度に対するLF/HF(左段)およびHEG値(右段)の測定結果を示す。ともに難易度の低い作業(荒加工、直溝加工)で正規化した結果である。

技能レベル(熟練者、中級者)に関らず、難易度の低い作業より、難易度の高い作業(中・仕上げ加工、U溝加工)の値が大きい傾向が示された。これは、難易度の高い作業ほど、作業者の交感神経活動が高く、脳血流量変化が大きい可能性を示唆している。一方、技能レベルでみると、熟練者の方が難易度の高い作業時の正規化値が大きい傾向が見られた(ただし図3(a)のみで有意水準5%の統計的有意差有り)ことから、熟練者の方が難易度の違いが大きく表れる傾向が考えられる。

図3下段(安静と荒加工)は、作業の有無に対するLF/HF(左段)およびHEG値(右段)の測定結果を示す。ともに作業無し(安静(作業前)時)で正規化した結果である。なお、熟練者においては外れ値を除いたため、4名の平均とした。技能レベルでみると、中級者の方が作業時の正規化値が大きく、有意水準1%で統計的有意差が示された。これは、熟練者においては、安静時と難易度の低い作業時とで神経系活動の程度はあまり変わらないが、中級者においては、難易度の低い作業時の方が神経活動の程度が安静時よりも高い結果を示している。

以上の結果を認知行動ユーザモデルで考えると、熟練者は難易度の高い作業では知識ベース行動側で、難易度の低い作業ではスキルベース側で行動し、中級者は難易度に関らず知識ベース行動側で行動したと考えることができる。

4. あとがき

フライス加工中の被験者の神経系活動を評価した結果、技能レベルに関わらず、難易度の高い作業では、交感神経活動および脳血流量変化が大きくなり、その傾向は熟練者の方が大きかった。

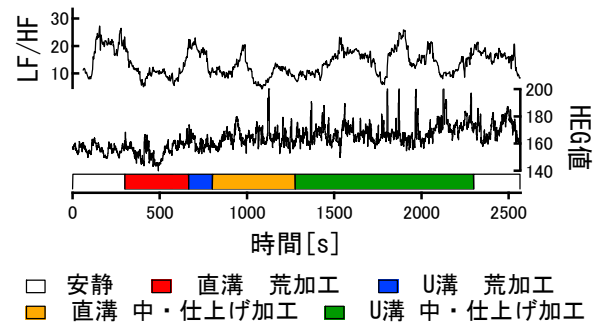


図2 全作業工程中の交感神経活動指標LF/HFと前頭前野の脳血流量変化HEG値(熟練者A)。

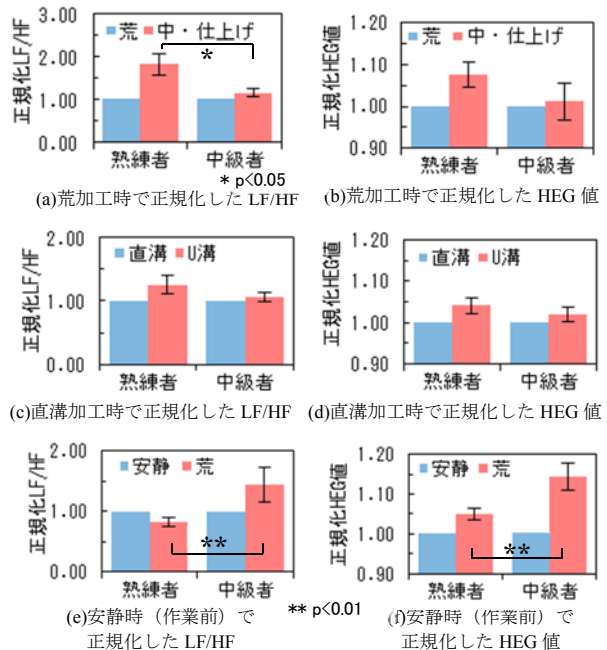


図3 熟練者と中級者の分析結果

中級者は熟練者より難易度の低い作業での両値が大きかった。フライス加工中の作業者の神経系活動は技能レベル・作業難易度と関係して変化する可能性がある。ただし、熟練者数が5名と少ないため、今後、熟練者の被験者数を増やして検証する必要がある。

なお、本稿の内容のうち、登壇者は主体的に実験を実施し、全ての実験結果の整理および分析、並びに考察の大部分を担当した。

参考文献

- [1] 武雄靖:「技能伝承のためのマイクロメータによる寸法測定作業中の注視点移動に関する実験的検討」日本機械学会論文集(C編), 79(799), pp.814-826(2013).
- [2] 古川勇二, 池田知純, 岡部眞幸, 菅野恒雄, 寺内美奈, 二宮敬一, 繁昌孝二, 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修得・伝承モデルの構築～第1報全体構想と予想される効果」2014年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集, pp.1041-1042 (2014).
- [3] 不破輝彦, 菅野恒雄, 和田正毅, 岡部眞幸, 池田知純, 二宮敬一, 寺内美奈, 竹下浩, 新目真紀, 小山田孝輔, 小林優介, 西ノ園太一, 山田駿太, 山本尚明, 古川勇二:「身体性認知科学に基づくフライス加工技能のユーザモデルと生体計測との関係」ヒューマンインタフェースシンポジウム2015DVD-ROM論文集, pp.821-824(2015).