

# アイトラッキングによる機械加工段取りの技能の可視化に関する研究

東京農工大学 ○西田 浩司, ヤマザキマザック株式会社 伊藤 雅敏, 東京農工大学大学院 ◎中本 圭一

## 要 旨

機械加工を開始する前には、段取りと呼ばれる準備作業が不可欠であるが、作業者の熟練度によって作業時間にばらつきが生じ、加工精度にも影響を与える。このため機械加工の品質の安定化には、熟練作業者の段取りのノウハウの抽出と一般化が必要になる。そこで本研究では、視線の動きを追跡するアイトラッキング技術を用いて、機械加工の段取りにおける視線データを時系列で取得し、暗黙知である技能の可視化と技能継承ツールの作成に取り組んだ。

## 1. 結 論

工作機械を用いる機械加工では、加工前に段取りと呼ばれる準備作業が必要である。段取りは作業者の熟練度によって作業時間にばらつきが生じ、加工精度にも影響を与えるため、機械加工の品質の安定化には、熟練者のノウハウの抽出と一般化が欠かせない。また、機械加工時のトラブルには段取り時の操作ミスによる衝突が多くなっている。これは工具折損や工作機械の故障、人命に関わる重大な事故にもつながるため、未然に防ぐことができれば、工作機械の稼働率向上だけでなく、労働安全衛生上の改善も期待できる。

## 2. 目 的

眼球の向きを計測することで視線の動きを推定し、人間の無意識下の技能を可視化できるアイトラッキング技術が注目されている。そこで本研究では、アイトラッキング技術を使用し、機械加工の段取りにおける作業者の視線の動きから暗黙知である技能を可視化し、技能継承ツールを作成する。これにより、段取りにかかる作業時間と機械加工の品質の安定化を目的とする。

## 3. 使用機器および実験方法

眼球の動きを計測して視線データを取得するため、**図 1** に示す眼鏡型のアイトラッカーである Tobii Pro Glasses2 (Tobii Technology) を使用する。このアイトラッカーでは眼球に近赤外線(point light source)を照射し、角膜表面における反射光をカメラで撮影し、視線位置を算出する<sup>2)</sup>。工作機械には、**図 2** に示す複合加工機 INTEGREX i-200 (ヤマザキマザック) を使用する。

熟練作業者と加工経験の浅い作業者を対象とし、まずアイトラッカーを装着した状態で視線の位置をキャリブレーションする。次に段取りの作業である、原点復帰、生爪交換、ワーク取付け、ワーク原点の設定、工具の取付け、工具長測定を行う。その後、**図 3** に示す目標形状を円筒の素材から旋削加工、フライス加工、穴あけ加工で削り出す。作業者は事前に作成された NC プログラムを予め理解しているものとした。実験後、取得した視線データの解析結果を用い、留意したことについて聞き取り調査した。なお、視線領域を段取り時には**図 4**、機械加工時には**図 5** のように設定した。



Fig. 1 Tobii Pro Glasses 2



Fig. 2 INTEGREX i-200

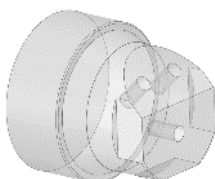


Fig. 3 Target shape in this study

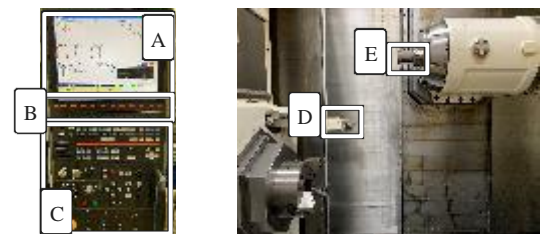
## 4. 実験結果

### 4.1 段取り時の視線データの取得

取得した視線データをアイトラッカー専用のソフトウェア Tobii Pro Lab を用いて解析した。熟練作業者と加工経験の浅い作業者の原点復帰と工具長測定の段取り工程それぞれで、工作機械と操作盤に対する視線の位置の分布を色で示す Heat map と、視線移動の順番と停留時間を円で表す Bubble chart を作成した。

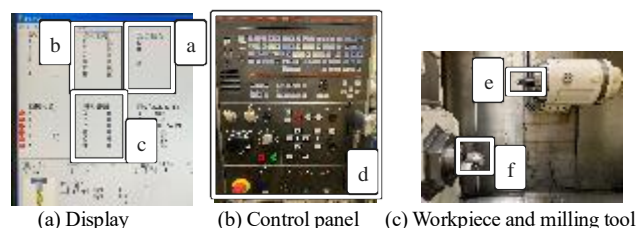
**図 6** に示す Heat map より、原点復帰において熟練作業者は工具やミル主軸、手元の操作盤に視線が集中していることが分かる。また、**図 7** に示す Heat map より、加工経験の浅い作業者は、工具やミル主軸、ディスプレイに表示されるミル主軸の機械座標に視線が集中していることが分かる。解析した視線データをもとに聞き取り調査した結果、熟練作業者は、ミル主軸の動きを経験的に理解しているため、ディスプレイをほぼ見ないことが分かった。一方、加工経験の浅い作業者は、ミル主軸が適切に動作しているか確認するためにディスプレイに表示された数値を注視していたことが分かった。

また、**図 8** に示す Bubble chart より、工具長測定において熟練作業者は C の操作盤を注視している時間が短く、加工経験の浅い作業者は逆に長いことが分かる。また、領域ごとの視線の停留時間を比較した**図 8(c)**より、熟練作業の方が加工経験の浅い作業よりも C の操作盤上での平均停留時間が短く、D と E のツールプリセットと工具には平均停留時間が長いことが分かる。以上より、熟練作業者は操作盤の数字よりもツールプリセットや工具の運動する領域を注視し、安全に操作していることが分かる。聞き取り調査においても、熟練作業者は操作盤を注視することなく作業時間を短縮し、加工経験の浅い作業者は逆に操作盤に注意を払って作業時間が長くなっていることが確認できた。



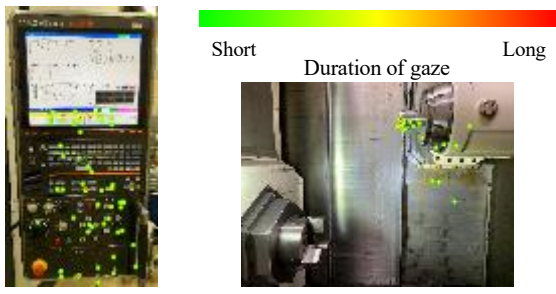
(a) Control device (b) Tool presetter and milling tool

Fig. 4 Interesting area during setting operation

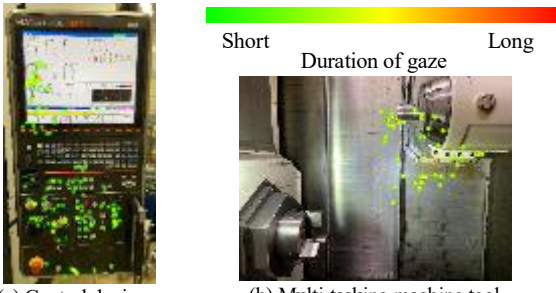


(a) Display (b) Control panel (c) Workpiece and milling tool

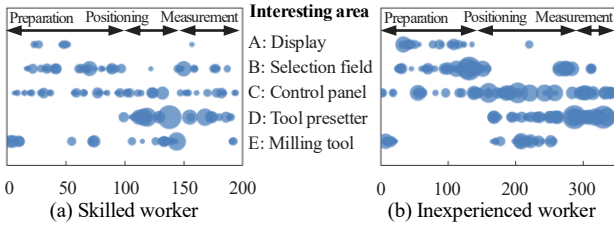
Fig. 5 Interesting area during machining operation



(a) Control device (b) Multi-tasking machine tool  
**Fig. 6** Heat map during zero return in case of skilled worker

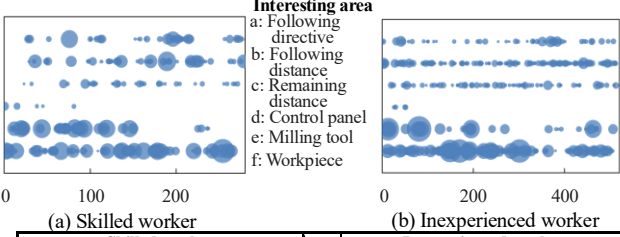


(a) Control device (b) Multi-tasking machine tool  
**Fig. 7** Heat map during zero return in case of inexperienced worker



Skilled worker			Inexperienced worker			
Gaze number ratio	Gaze time ratio	Average gaze time	Gaze number ratio	Gaze time ratio	Average gaze time	
4 %	3 %	313 ms	A	8 %	5 %	272 ms
23 %	20 %	408 ms	B	22 %	22 %	394 ms
31 %	21 %	312 ms	C	20 %	24 %	480 ms
12 %	24 %	905 ms	D	18 %	25 %	537 ms
14 %	16 %	541 ms	E	9 %	8 %	333 ms

(c) Comparison of gaze during tool length measurement  
**Fig. 8** Analyzed result of gaze during tool length measurement



Skilled worker			Inexperienced worker			
Gaze number ratio	Gaze time ratio	Average gaze time	Gaze number ratio	Gaze time ratio	Average gaze time	
9 %	8 %	578 ms	a	10 %	8 %	339 ms
13 %	15 %	694 ms	b	27 %	21 %	298 ms
10 %	10 %	621 ms	c	17 %	15 %	335 ms
13 %	7 %	347 ms	d	2 %	1 %	308 ms
15 %	24 %	898 ms	e	13 %	17 %	547 ms
24 %	30 %		f	20 %	31 %	

(c) Comparison of gaze during machining operation  
**Fig. 9** Analyzed result of gaze during machining operation

**4.2 加工時の視線データの取得**

外径加工において、図9にBubble chartを示すように、熟練作業者がディスプレイ上の次の指令、次の距離、残りの距離を注視しない一方で、加工経験の浅い作業者は視線の停留回数が多いことが分かる。また、領域ごとの視線の停留時間を比較した図9(c)より熟練作業者はa, b, cの次の指令、次の距離、残りの距離の平均停留時間が長く、加工経験の浅い作業者は短いことが分かる。また、a, b,

**Table 1** Difference of duration time between skilled and inexperienced worker

Difference of duration time	Setup							
	Zero return	Soft jaw replacement	Workpiece attaching	Setting of Workpiece coordinate origin (Positioning)	Setting of Workpiece coordinate origin (Measurement)	Tool attaching	Tool length measurement (Positioning)	Tool length measurement (Measurement)
Machine position	-3							
Control panel	1	1			0		0	0
Tool presetter							0	0
Milling tool	1			0	0	0	0	0
Shank						2		
Mill spindle	1					-1		
Connection port						-1		
Workpiece			0	-1	0			
Soft jaw		0	0					
Table		1						
Hand		-2						
Back spindle				1				

c.それぞれの視線領域の平均停留時間を比べると、熟練作業者は特にbの次の距離の平均停留時間が長いことが分かる。これらと聞き取り調査の結果から、熟練作業者はディスプレイに表示されている数値を経験的に予測して機械を操作することで、加工時間を短縮していることが分かった。一方、加工経験の浅い作業者は、ディスプレイに表示されている数値を確認した後に機械を操作しているために、加工時間が長くなることが確認できた。

**4.3 技能継承ツールの作成**

取得した視線データから熟練技能を可視化し、技能継承ツールの作成に取り組んだ。初めに、段取りにおける作業を細分化し、作業ごとに視線の集中度の順位を付ける。その後、表1のように熟練作業者と加工経験の浅い作業者の視線の集中度を比較した。ここでは、値が大きいほど熟練作業者が注視している箇所を示している、値が小さいほど注視していない箇所を示している。また、値が0の箇所は熟練作業者と同等で、空白の箇所は熟練作業も加工経験の浅い作業も注視しない箇所を示している。

段取りに着目すると、加工経験の浅い作業者は、原点復帰時にはディスプレイに表示されるミル主軸の機械座標を注視しすぎており、工具やミル主軸などの実際に運動する領域に意識が向けられていないことが分かる。また、工具取付け時には、シャンク部に意識を向けられていないことも分かる。聞き取り調査では、熟練作業者は工具のシャンク部に切りくずが付着していないか確認していることが判明した。この結果、加工経験の浅い作業者に対しては、注視すべき箇所と注視する必要がない箇所を提示することがノウハウの一般化に有効と確認できた。

**5. 結 論**

アイトラッキング技術を用いて、段取りと機械加工における作業者の視線データを取得することで、熟練技能の可視化と技能継承ツールの作成に取り組んだ。その結果、アイトラッキング技術と聞き取り調査により熟練技能が可視化できることと、加工経験の浅い作業者に対し注視すべき箇所と注視する必要がない箇所を提示することが、熟練技能の伝承に有効である。

**参 考 文 献**

- 1) 清水伸二, 加工の高効率化・高精度化を実現する複合加工機—現状と今後の展開—, 精密工学会誌, Vol. 74, No. 4, (2008), pp.325-328.
- 2) 大野健彦, 視線から何がわかるか—視線測定に基づく高次認知処理の解明, 認知科学, Vol.9, No.4, (2002), pp.565-579