

アイトラッキングを用いた工程設計の技能の可視化に関する研究

東京農工大学 ○吉川 拓夢, 東京農工大学大学院 ◎中本 圭一

要 旨

作業者の熟練度に依存することなく高品位な機械加工を実現するためには工程設計の標準化が望まれるが、そのためには工程設計に関わる技能の抽出とその一般化が必要になる。そこで本研究では、視線の動きを追跡できるアイトラッキング技術を用いて、部品図面の読解時の視線データを時系列で取得し、技能の可視化に取り組んだ。また、3次元CADの使用時にも、視線データを取得できるシステムを開発し、ケーススタディで有用性を検証した。

1. 緒 論

工作機械を用いた部品加工では、熟練した作業者が2次元図面や3次元CADモデルを基に、加工手順や使用工具、加工条件の決定といった工程設計を施すことが一般的である。このとき、加工精度と加工時間は作業者の工程設計に大きく依存しているものの、作業者ごとの暗黙知によって決定されている。このため、作業者の熟練度に依存することなく高品位な加工を実現できる工程設計の標準化が望まれており、作業者の工程設計に関わる技能の抽出とその一般化が不可欠である。

2. 研究目的

眼球の向きを推定することで視線の動きを計測し、人間の無意識下の技能も可視化できる技術としてアイトラッキングが期待されている。先行研究として、この技術を用いて加工経験の異なる作業者に対して図面読解時の視線データを取得した例がある¹⁾。しかし、寸法や幾何公差などの指示に対する視線停留時間や、視線の移動した順序などは詳しく分析されていない。また、近年普及している3次元CADモデルを使用して視線データを取得した例は報告されていない。そこで本研究では、3次元CADモデルについても視線データを取得できるシステムを開発する。これにより、アイトラッキングを用いて2次元図面と3次元CADモデルへの作業者の視線データを取得して、暗黙知である技能の可視化と工程設計支援への活用を目的とする。

3. 使用機器

本研究では、眼球の動きを計測する市販のアイトラッカーを用いて視線データを取得する。2次元図面における視線データ取得では、**図1**に示すような眼鏡型のアイトラッカーであるTobii Technology社のTobii Pro Glasses 2を使用する。また、3次元CADモデルに対する視線データ取得では、**図2**に示すようなモニタに取り付ける形式のアイトラッカーであるTobii Pro Nanoを使用する。これらのアイトラッカーでは、角膜上の光の反射点と眼球の位置から眼球の向きを推定し、前方の映像と連動させることで視線の位置を取得している²⁾。

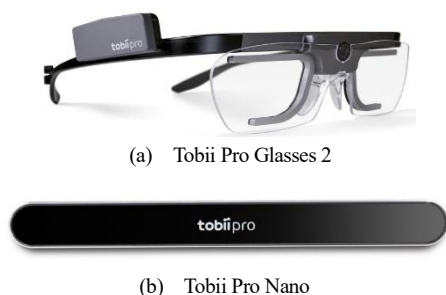


Fig. 1 Eye tracker used in this study

4. 2次元図面での視線データ取得

用意した部品の目標形状と素材形状の2次元図面において作業者の視線データを取得した。加工手順や使用工具などを検討する際の視線データを取得する前に、被験者がアイトラッカーを装着して、視線位置をキャリブレーションした。旋盤、マシニングセンタ、複合加工機のそれぞれで加工されると思われる部品について2種類ずつ計6つの図面を用意し、普段から工程設計を担当している熟練者や経験の浅い作業者まで計5人を被験者とした。実験後、録画した視線データを被験者に提示しながら、図面読解時に検討していた事項や注視していた点について聞き取り調査を行った。

その後、取得した視線データについて、アイトラッカーの専用ソフトウェアであるTobii Pro Labを用いて分析した。図面上に視線の分布を色で表示したHeat mapの例を**図2**に示す。初めに、熟練者は最初に素材形状の寸法を確認し、その後、目標形状の図面の全体を見てから詳細部分へ注目していた。同時に、この図を用いて熟練者の視線の傾向とともに、熟練者と経験の浅い作業者についても比較した。その結果、熟練者は経験の浅い作業者に比べて部品の外形寸法よりも表面性状や公差といった設計情報に視線が向く傾向が強いことが分かった。さらに、着色箇所分布範囲が狭いことから、視線の向かった場所がまとまっていることが分かる。すなわち、熟練者は図面の中で品質に直結する重要なポイントに絞って観察していると推測される。また、**図3**に示すような視線移動の順番を円で示したBubble chartを利用し、視線の移動の順番について分析した。その結果、図面左上にある表面粗さへ視線が向かう頻度は図面読解時の序盤と終盤が高いことが分かった。これは最初に図面上の指示を把握してから観察を始め、最後に確認のために視線を向けているためと推測される。また、図面の観察を始めてからすぐに図面上のデータ寸法や公差のある箇所へ視線が向かっていることも確認できた。加工時に制約となる箇所から先に観察することで、その箇所を優先して加工工程を設計していると考えられる。

聞き取り調査の結果、熟練者は最初に素材形状の図面で素材の寸法や、尺度、材質を確認し、次に目標形状の図面に視線を移し、表面性状、公差を確認後、その他の部分の観察に移ることが分かった。また、聞き取り調査とデータの出力結果から、部品の加工に用いる機械の利用経験の違いによって図面上の観察箇所が異なるこ

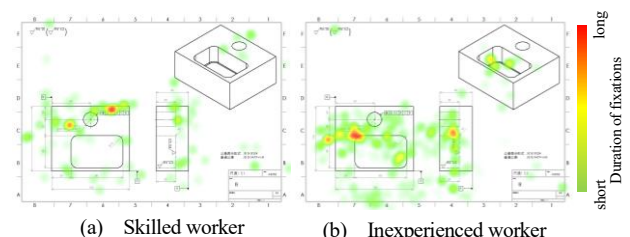
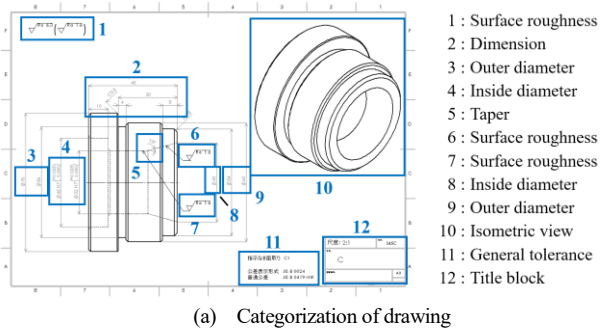
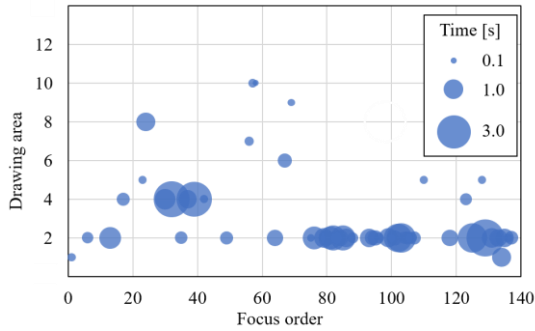


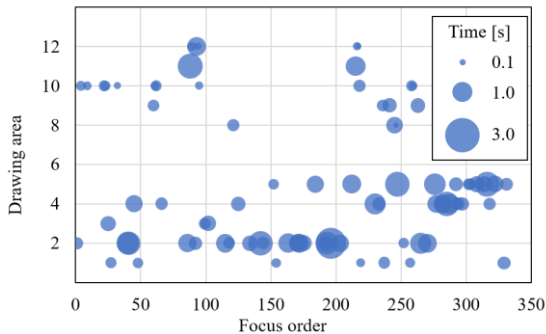
Fig. 2 Example of heat map



(a) Categorization of drawing



(b) Bubble chart in case of skilled worker



(c) Bubble chart in case of inexperienced worker

Fig. 3 Analysis of focus order and staying period

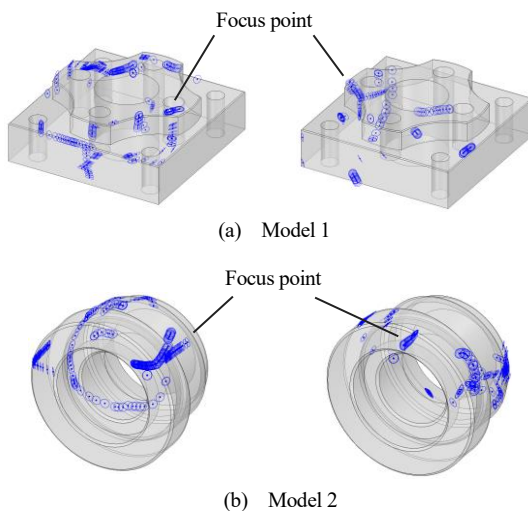


Fig. 4 Acquired focus point on 3D CAD model

とも分かった。さらに、経験が多いほど図面上の寸法等の指示箇所
に視線が集中し、少なれば部品の形状に視線が向いていることが
分かり、これは経験が少ないと形状や工程のイメージに時間がかか
るためだと考えられる。

次に、作業者が検討した部品の加工順序と図面観察のデータとの
関連についても分析した。その結果、貫通穴のような形状がある場

合にはその部分には序盤に視線が向かい、加工順序を序盤に設定す
る傾向が見られた。また、表面性状や公差などが指定されている箇
所で、その値が小さい場合には、視線が留まる時間が長くなり、加
工順序を終盤に設定する傾向が見られた。これは、指示された条件
を満たすための追加の加工を最後に設定するためと考えられる。こ
れらのことから、図面上の観察点やその順序と加工順序には一定の
規則性が存在することが分かった。

以上から、アイトラッキングによって作業者の図面読解時の視線
を可視化することで、作業者が図面上で注意を払っている箇所やそ
の優先順位の抽出が可能であることを確認した。

5. 3次元CADモデルでの視線データ取得

5.1 視線データ取得システムの概要

本研究で開発した視線データ取得システムでは、コンピュータ上
で観察する際の3次元CADモデルの位置姿勢と、アイトラッキング
の分析用ソフトウェアから出力した視線データを入力し、CADモ
デル上に観察位置を出力する。なお、このシステムの実装にはアイ
コアルファ製のCADソフトウェアであるSimple Modelerとその
API機能を使用している。

観察開始時に視線データ取得システムを起動させることで、CAD
ソフトウェア上のワーク座標系において、使用したモニタに垂直方
向のベクトルを指定した時間間隔で取得する。このとき、時間間隔
はアイトラッカーのサンプリングの間隔と一致させる。また、アイ
トラッカーで解析されたモニタ上の座標における視線位置のデー
タを観察終了後に分析用ソフトウェアから取得する。これらのデー
タを基に、モニタ上の座標位置をCADソフトウェア上のワーク座
標系の座標位置へと変換する。また、その位置を被験者の観察位置
としてCADモデルの表面上に点で出力する。以上の処理を1回の
観察で取得した視線データの数だけ繰り返す。

5.2 ケーススタディ

開発したシステムの有用性を確認するため、ケーススタディを
実施した。使用したモデルの形状は2次元図面でのデータ取得で使
用した2種類の製品形状と同一である。また被験者は普段から工程
設計を担当している2名である。初めにアイトラッカーをモニタに
取り付けた状態で、被験者の視線位置をキャリブレーションした。
その後、3次元CADモデルの観察時の視線データを取得した結果
を図4に示す。ここで、CADモデル上に示された青い円の中心が
被験者の視線位置を表している。この結果から、3次元CADモデ
ルを使用した場合においても被験者ごとに視線データを取得でき
ることを確認した。

6. 結 論

アイトラッキング技術を用いて、2次元図面における作業者の図
面読解時の視線データを取得することで、工程設計に関わる技能の
可視化に取り組んだ。その結果、作業者が図面上で着目する箇所や
視線の順序などの視線データが工程設計に深く関わっていること
を確認した。また、広く用いられている3次元CADモデルによる
工程設計においても視線データが取得できるシステムを開発した。

参考文献

- 1) Yamaguchi, K., Yamaguchi, M., Kondo, Y., and Sakamoto, S., 2013, "Analysis of Turning Process Relative to Machining Technician's Skills", *Advanced Materials Research*, Vol. 655-657, pp.2152-2155.
- 2) 蜂巢健一, 次世代ナチュラルインターフェース『視線入力』, 映像情報メディア学会誌, Vol. 68, No. 8, (2014), pp.636-641