



卒業研究報告書

平成30年度

研究題目

図面理解における
熟練者と非熟練者の視線特性

指導教員 上野秀剛 准教授

氏名 永富雄貴

平成31年01月17日 提出

奈良工業高等専門学校 情報工学科

図面理解における

熟練者と非熟練者の視線特性

上野研究室 永富雄貴

金属部品の加工を行う製造現場では、熟練技術者が持つノウハウを若手技術者へ伝達することが生産性や品質の向上に重要であるが、経験や暗黙知に基づくものであるため説明・指導が困難である。機械部品を製造する作業者は、図面を見て加工対象の部位や加工状況に合わせた最適な刃物を選択する。これには加工対象の材質や形状を考慮した上で決定する必要があるため、非熟練者にとっては困難な作業である。本研究では機械部品の図面を見ている際の視線移動を計測し、目の付け所や読み方の違いを熟練者・非熟練者間で比較することで熟練者特有の知識を明らかにする。視線計測は、熟練者の特徴を抽出する手段として多くの研究で用いられている。共同研究を行っている近畿工業（株）の熟練作業員3名、非熟練者3名を被験者として、図面の指定部位の加工に最適な刃物を選択する実験を行い、視線を記録する。図面を縦10個×横10個の100区画に分割し、それぞれの区画に対して注視があった回数を数える。注視回数の割合によって色の濃さを変化させたヒートマップによって可視化することで、熟練者特有の視線特性を抽出する。また、注視が一度以上あった図面箇所を数え、熟練者と非熟練者での差を検証することで、熟練者が図面をどのように捉えているのかを分析する。実験の結果、ヒートマップによる分析では図面の特定箇所の注視の有無により、正しい刃物の選択に影響があることを明らかにした。注視したAOIの数は、熟練者のほうが非熟練者よりも有意に少なかったことから、熟練者は図面の特定箇所を集中して見る特徴があると考えた。今後は、得られたノウハウによってより効率的に非熟練者の指導ができるか検証する。

目次

1	はじめに	2
2	準備	4
2.1	図面	4
2.2	視線	7
3	実験	9
3.1	実験環境	9
3.2	タスク	11
3.3	実験手順	12
3.4	分析	13
3.4.1	ヒートマップ	13
3.4.2	注視が行われたAOIの数	13
4	結果と考察	15
4.1	ヒートマップによる分析	15
4.2	各AOIに対する注視回数	19
5	おわりに	20
	謝辞	21
	参考文献	22

1 はじめに

金属部品の加工を行う製造現場では、金属を削るための工作機械を用いる。金属部品の発注は主に図面を用いてなされ、作業者はこの図面を基に制作を行う。図面の例を図1に示す。図の上部は加工する対象物を表し、下部にその加工に対応する図面を示す。一般的な加工の1つとして、回転する金属に刃物を当てることで削る加工を行う。このような加工を図面にするとき、投影図に寸法を記すことによって表す。

この図面から刃材質や部位、形状を考慮してしてどの刃物を選択するかを考える。選択した刃物は工作機械に取り付けて実際に加工を行っていく。また、刃物の取り付けのためには機械を止める必要があるため、この作業の効率化は製造効率の向上に大きく貢献する。よって、図面から加工に適した刃物を正確かつ素早く行える技術者が必要となる。しかし、刃物選択では加工部位や形状、材質の他にも刃物の当たる方向や断続性なども考慮する必要があり、非熟練者には困難な作業である。このことから、実際の現場では熟練者による非熟練者への指導がなされるが、熟練者の持つノウハウは経験や暗黙知に基づくものであり、説明や指導も困難である。よって、熟練者のノウハウを具体化できれば、非熟練者の教育を効率的に行うことができ、製造効率の向上につながると考えられる。

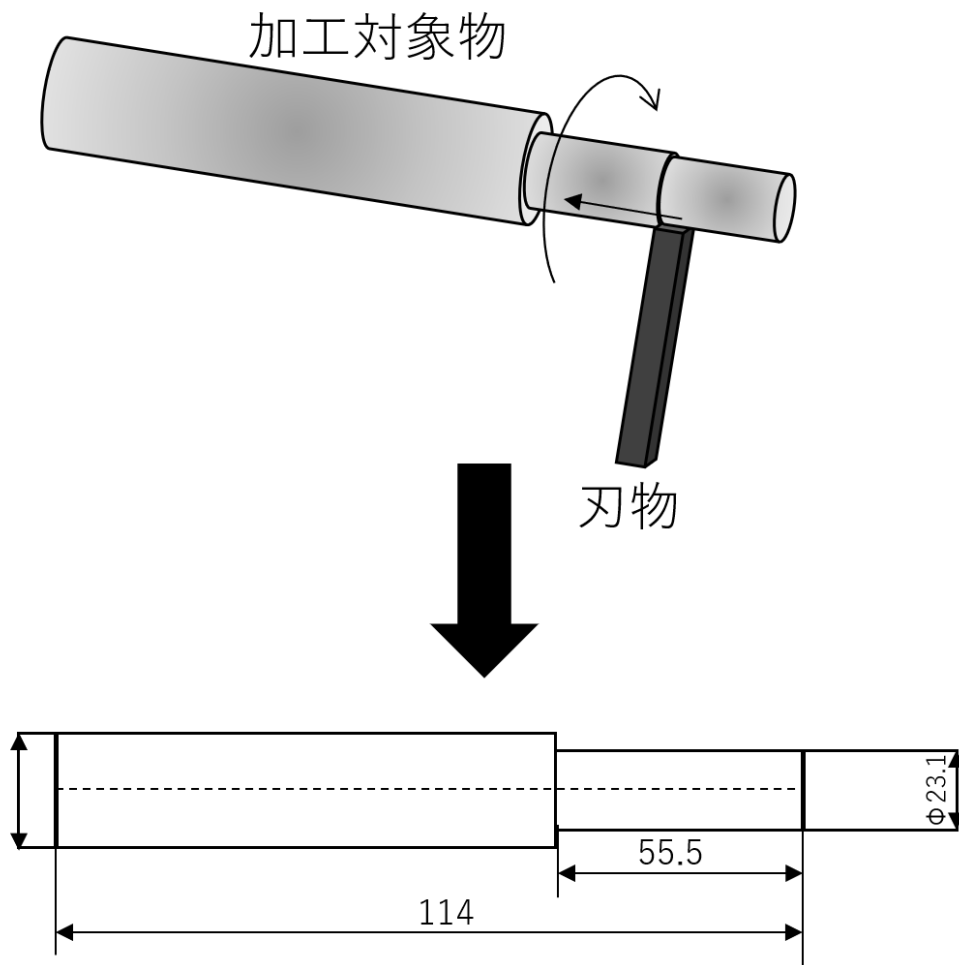


図1 加工と図面の例

本研究では、機械部品製造の熟練作業者がもつ行動の特徴を抽出するために、刃物選定を行う際の図面に対する視線移動を分析する。視線計測は、熟練者の特徴を抽出する手段として多くの研究で用いられている[1][3][2]。この手法では、熟練者と非熟練者の視線を比較することで熟練者の考えを抽出する。本研究で扱う刃物選定では、作業者は図面を見ることで刃物選定に必要な情報を収集し、加工に用いる刃物を導出していると考えられる。よって、熟練者の図面に対する視線には情報を正確に読み取るための視線特徴が表れる。これを、非熟練者の視線と比較することで熟練者が図面内のどの情報を考慮して刃物選定を行ったかなどのノウハウを抽出できると考える。

以下、2章で図面と視線について説明し、3章で詳しい実験方法について述べる。4章では結果とそれに対する考察を示し、5章では結論を述べる。

2 準備

2.1 図面

本稿における図面とは、金属加工という金属の塊から必要な形状を切り出す作業を行うために用いられる図面を指す。金属から形状を切り出すためには、加工機に刃物を取り付け、金属を削ることになる。図面上には加工対象物を示す線や、寸法を記入するための線、寸法や角度を表す数字などの加工に必要な情報が掲載されている。また、基本的には対象物の形状は投影図によって示されており、1つの図面には対象物を複数の角度から見た場合の図が示されている。

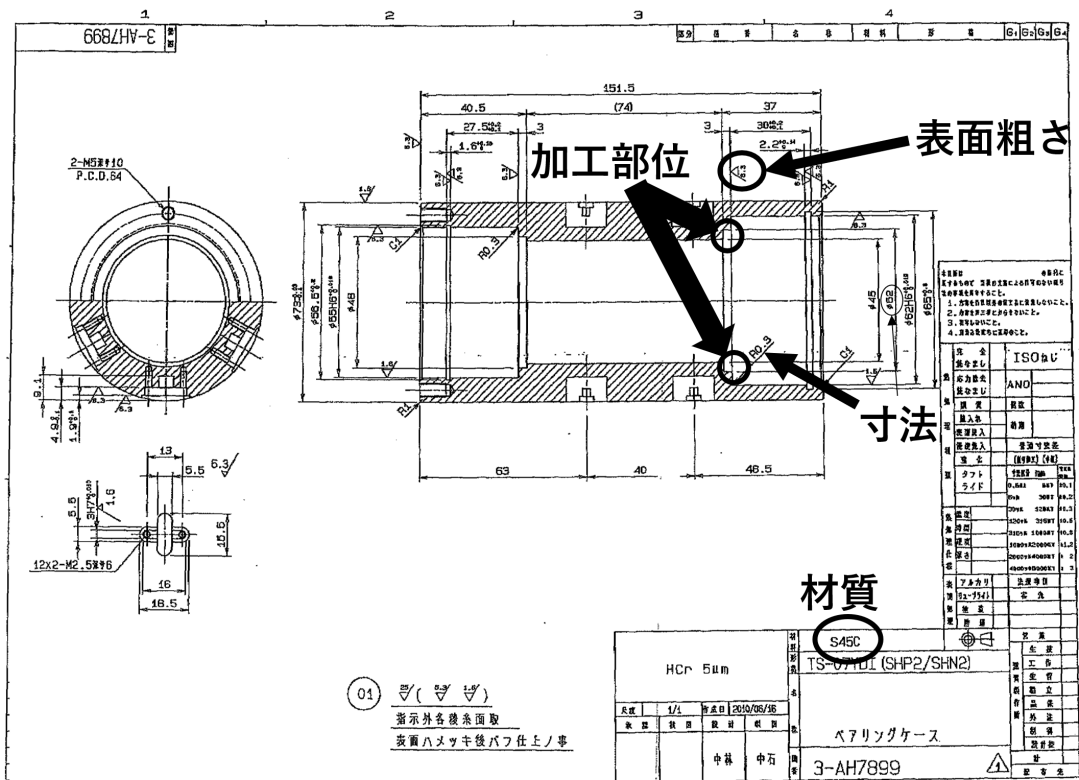


図2 加工図面と加工例

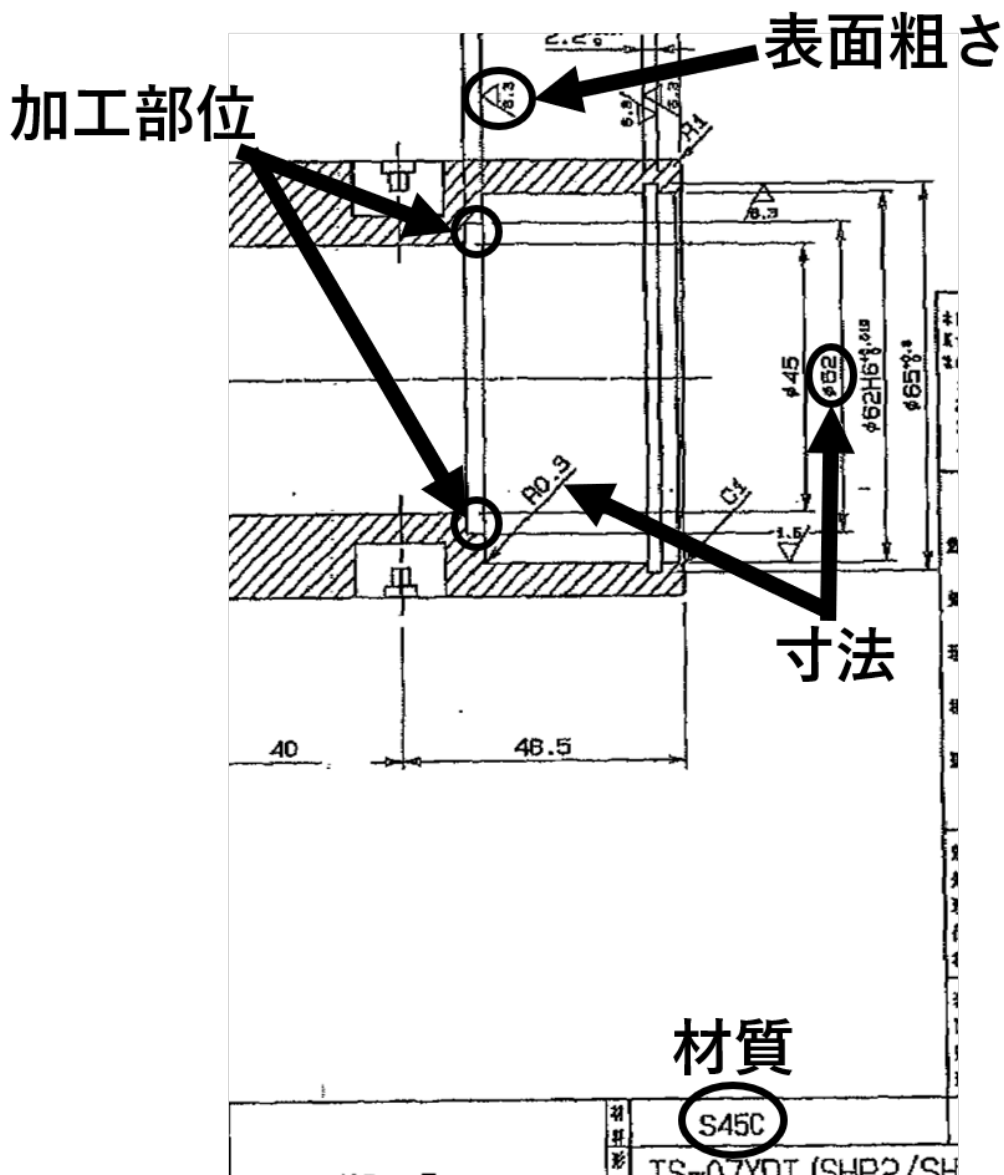


図3 加工部位の拡大図

図2に図面の一例とその加工例を示す。刃物選定に必要な条件には対象の材質，表面粗さ，寸法などがある。図3は図2の加工部位と必要な情報を拡大した図である。加工条件を「φ62仕上げ加工」とした際の加工部位と，加工に必要な情報を矢印で示している。加工条件とは図面内のどこの部位に対してどのような加工を行うかを示した条件である。「φ62仕上げ加工」という加工条件のとき，φ62は寸法を示している。この寸法を用いて，図2における加工部位として囲んだ位置を特定する意味がある。この加工部位はφ62の寸法記述から伸びている引き出し線と呼ばれる直線によって判断できる。加工部位は，刃物選定において必要不可欠な情報であるため，熟練者，非熟練者共に視線が集中する点で

あると考えられる。このとき、熟練者の視線は非熟練者と比較してより加工部位に集中することや、加工部位を特定するための視線移動がより少ないことが考えられる。

金属加工は荒加工と仕上加工の2つのステップに分類できる。荒加工では、金属形状の概形を切り出し、仕上加工で正確な寸法の製品へと加工していく。特に、仕上加工では加工部位の表面粗さを指定された数値以内に加工する必要がある。表面粗さとは、部品の加工面の状態（凹凸）を表すもので、高さ、深さ、間隔が異なる山、谷が連続する周期的な形状のことをいう。表面粗さ指定はJISの規格によって図4に示す記号と数値で表すように定められている[4]。図2では、加工部位より伸びる引き出し線より「6.3」の表面粗さ指定がされているため、この数値に適した加工を行う必要がある。刃物には、粗く削るため大きく削れるが表面に凹凸が残るものや、細かくしか削れないが凹凸を残さないものがあるため、仕上指定に適した刃物を選択する必要がある。そのため、視線が表面粗さを指定した記号に集中することが考えられる。

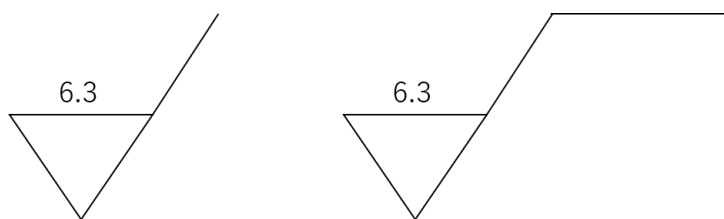


図4 表面粗さ指定記号

ここからは加工に用いる刃物について示す。材質は、被削材の金属を示している。金属にはそれぞれ硬度などの物理的特性が存在するため、専用の刃物による加工が必要となる。加工部位の形状にも種類があり、溝、ネジ、外径、内径、端面などの違いによっても刃物の選択を切り替える必要がある。これだけの加工に対応するために、刃物は膨大な種類が用意されており、この中から適切な刃物を選択することは困難となる。

以下に選択した刃物によって行われる加工について示す。加工作業の際には、加工対象物は加工機械から延びるアームに取り付けられた治具によって固定される。そのため治具が対象物と接する部分には刃物を当てることができない。また、個々の刃物は材料に当てることができる角度に違いがあるため、固定するためのアームと刃物の位置関係から利用できる刃物が制限される。加えて、図面には完成後の形状が描かれているだけで、その過程の形状や元となる原材料の形状については記載がない。そのため、作業者は図面に記載された各種情報から材料の大きさやその固定方法、装置や治具との位置関係などを考察し、利用可能な刃物を選択する必要がある。さらに、材料の材質やその形状、刃物の当たる方向や断続性（四角い材料から円形を切り出す場合のように、刃物と材料が断続的に

接したり離れたりするような加工), 刃物の特性などによって加工対象物にかかる力学的な負荷や摩擦によって生じる熱が異なる。そのため, それらが加工精度や連続で実施できる加工数, 刃物の摩耗に与える影響を考慮する必要がある。

これらの考慮を要する事項は互いに影響しあっており, 図面の情報を見ただけでは判断できず, 図面が表す内容を理解しながら考察を進める必要がある。この時, 技術者の思考の順番や必要な情報の探索の様子が図面に対する視線に表れると考えられる。例えば, ある部位の加工に適した刃物を考える際に, その材質を考慮したかどうか, また刃物に干渉する部位がないか探す様子は視線移動に現れると考えられ, その有無と選択した刃物の良否には強い関係があると考えられる。このことから, 本研究では熟練者や非熟練者の図面理解の様子を分析する手段として視線計測を用いる。

2.2 視線

視線の計測方法には, 計測装置を眼球に接触させるもの(接触型)と接触させないもの(非接触型)がある。本研究では, 被験者への身体的な負担が少ない非接触型の計測装置を用いる。非接触型の視線計測装置は, 被験者の目に弱い赤外線を当てたときにできる反射点と瞳孔の位置を記録し眼球の向きを計測する。この眼球の向きから画面のどこを見ていたかを座標として1秒未満の短い間隔で記録することにより, 視線計測を行う。また, 計測できる視線は座標として記録できる点であり, 視界を記録することはできない。つまり, ここでの視線とは, 眼球の向きから割り出した画面に対する視点の座標の連続を指す。被験者によって違う眼球の大きさ等の特徴や, 周囲の照明環境によって赤外線の反射や瞳孔の見え方が変わるので, 視線計測をする前にはキャリブレーション(補正)を行う。

計測した視線データには, ある2点間を移動する際に記録された座標のように, 分析時にノイズとなるデータが存在する。そのため, 分析を行う前に一定時間同じ場所に留まった視線のみを抽出する処理を行う。視線の計測は, 初心者と熟練者の違いや作業者の着眼点を分析することを目的として, 多くの研究で活用されている[1][3][2]。塗木らは運動観察学習中の運動熟練者と未経験者の視線特性を比較している[1]。分析の結果, 熟練者は非熟練者と比べ一定の狭い範囲を観察する傾向が見られた。また, 熟練者は注視時間が有意に長くなることも示された。Busjahnらは, プログラムのコードを読む際の熟練者と非熟練者の視線を比較しており, 熟練者は実行順に, 非熟練者は線形にコードを読んでいることを明らかにした[2]。村田らは運転初心者と熟練者に運転状況の静止画像を見せることで危険予知を行わせ, 視線計測によって両者の特性を比較した[3]。その結果, 熟練者は重要エリアで注視が始まるまでにかかる時間が初心者よりも短く, 重要エリアへの1回あたりの注視時間が短いことを示した。

上記の分析を行うことで、熟練者の特徴を抽出することができる。たとえば、初心者が注視していない点に対して熟練者が注視を行っているような場合には、その箇所に熟練者特有のノウハウがあると考えられる。また、視線の分散の違いからも特徴を抽出できる。例えば、熟練者は必要な情報のみを集中して見るが、非熟練者はその他の不必要な点にまで注視を行っていることなどから重要な点に集中して理解することが重要であるといえる。本研究で対象とする加工図面には、刃物の選択を判断するための様々な情報が存在している。この情報を収集し、考える動作が視線に現れると考えられる。この際に、熟練者が特に集中して見ている図面の箇所や図面内の注視している範囲の広さなどが視線分析によって現れる。このことから、本研究では熟練者の特徴抽出のために視線計測を採用する。

3 実験

加工図面を被験者に提示し，指定した加工部位，加工条件から最も適する刃物を選択してもらい，その間の視線を計測する．被験者は近畿工業（株）の従業員のうち，熟練作業員3名，非熟練作業員3名の6名である．

3.1 実験環境

実験は被験者1名と著者とその指導教員の2名の実験者のみが居る部屋で実施する．被験者には頭部と体をできるだけ動かさないように指示する．実験に使用する器具は，視線計測装置，タスク提示・記録用PCである．視線計測に用いるハードウェアは，Tobii社製のEye Tracker 4Cとタスク提示用のノートPCである．Eye Tracker 4Cは非接触型の視線計測装置であるため，被験者に対する負担を軽減することが出来る．視線計測装置の記録周波数は90Hzであり，推奨される動作距離は装置から50～95cmである[5]．まばたきをした場合には視線座標は計測されない．PCのディスプレイより外側の視線についても記録できる．タスク提示用のノートPCのディスプレイ解像度は横1920×縦1080画素である．PCと視線計測装置はUSB2.0によって接続し，ディスプレイの下に取り付ける．図5に視線計測装置の外観を示す．



図5 装置の外観

視線計測には2つのソフトウェアを用いる．1つ目はTobii社が提供している設定ツールである．このツールを用いて視線のキャリブレーションを行う．

2つめのソフトウェアは本研究室で作成した実験ツールである．実験ツールはタスクの提示，刃物の選択，視線データのcsvへの出力を行う．このツールはキーボードのspaceキーでタスクの表示・非表示の切り替えを行い，被験者はマウスで刃物条件の絞り込みや刃物の選択を行う．実験ツールの動作画面を図6に示す．横1410×縦1000画素の図面が左側に表示され，右側には加工条件，刃物選択のための条件が格納されているセレクトボックス，およびセレクトボックスで選択された条件と一致する全ての刃物の一覧を表示する．

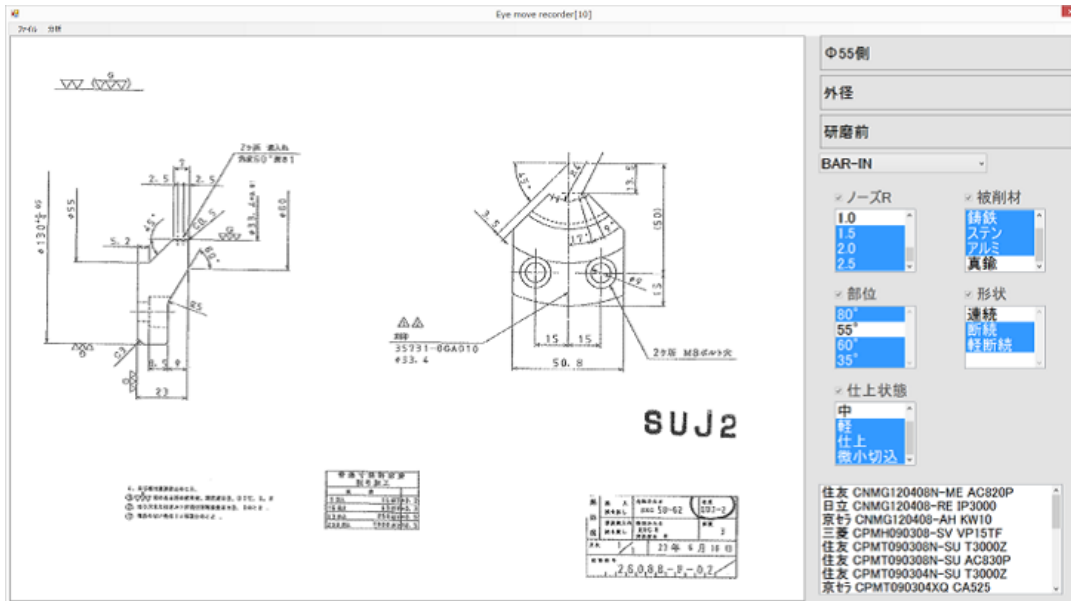


図6 実験ツールの動作画面

刃物の条件を指定することでその条件と一致した刃物の一覧が右下のリストボックスに表示される。刃物選択の条件は、刃物の種類によって変化する。刃物種類ごとに表示される条件の一覧を表1に示す。1より、被削材と部位はすべての刃物で条件となる。ただし、部位は刃物種類ごとに変化する。

表1 刃物種類ごとに表示される条件の一覧

刃物種類	条件
BAR-IN/OUT	被削材, 部位, ノーズR, 形状, 仕上状態
外径溝, 内径溝, 端面溝	被削材, 部位, 幅, ノーズR, 形状,
外径ネジ, 内径ネジ (ISOのみ)	被削材, 部位, ピッチ, 左右
外径ネジ, 内径ネジ (ISO以外)	被削材, 部位, 山, 左右

刃物種類ごとの部位条件の一覧を2に示す。BAR-IN/OUTと外径溝, 内径溝, 端面溝では、ノーズR, 形状は同じだが、後者では仕上状態が表示されない。ネジにはISO規格のものとそうでないものがあり、前者ではピッチが、後者では山が条件として表示される。

表2 刃物種類ごとの部位条件の一覧

刃物種類	条件
BAR-IN/OUT	80°, 55°, 60°, 35°
外径溝	深溝, 三角, フルR
内径溝, 端面溝	内径, 端面
外径ネジ, 内径ネジ	ISO,PT,W,UN

また、刃物の条件の表示位置は視線の偏りを除くためにランダムに表示する。刃物のリストは近畿工業（株）から協力をいただき、社内にある全ての刃物計237個をデータ化し、利用する。

3.2 タスク

実験で用いるタスクとして15図面、1つの図面につき2つの加工条件の計30タスクを用意する。図面とそれに伴うタスクの設定は近畿工業（株）の代表取締役様に設定いただいた。このとき、被験者が過去に見たことがない図面を選定し、被験者間で使用する図面について知識の差がないようにした。

被験者には図面とともに加工部位と加工条件を指定し、その加工に適した刃物を選択してもらう。1タスクの制限時間は2分とし、制限時間となった時点でそのタスクを終了し、次のタスクへ進む。また、被験者が刃物選択の終了を宣言した時点でそのタスクを終了し、次のタスクへと移る。

各タスクについて、正解とする刃物（正解刃物）を設定する。正解刃物は、加工条件を満たす加工が可能であり、その中でも最良であると考えられるものとし、すべてのタスクに対して1つ以上の刃物を正解とした。正解刃物は実験の終了後、熟練者が選択した刃物を参考に近畿工業内で議論を行い、決定する。また、実験に影響が出ないように、実験未実施の被験者との実験に関する議論は避けるように指示する。

タスクとして提示する課題の一覧を表3に示す。ネジ加工などの一部タスクを除き、加工条件1, 2では主に加工箇所を指定し、加工条件3では仕上げ状態について指定している。また、当てはまる加工条件指定がない場合には空白とした。各被験者にタスクを提示する順番は、順序効果を考慮して被験者全体でつり合いが取れるように並び替えた。

表3 実験に使用するタスクの一覧

ID	図面名	加工条件1	加工条件2	加工条件3
1	BM1400006P04	φ 62.5 側	溝	仕上
2		φ 95 から φ 20		荒加工
3	RD0101A12A	φ 13.4 側	外径	仕上
4		φ 6	溝	仕上
5	3-AE8657	□ 150 から φ 130		荒
6		□ 150 から φ 130		仕上
7	672-94578	φ 85	溝加工	仕上
8		φ 94	溝加工	仕上
9	80966	φ 7	外径	形状仕上
10		ネジ		
11	80990B	φ 19	内径溝	形状仕上
12		奥側 φ 17.9	溝	形状仕上
13	26205-E-02	φ 60	溝	仕上
14		φ 83	溝	仕上
15	3-AH7933	φ 11 側	GD材外径	荒
16		φ 11 側	GD材外径	仕上
17	3-AH7899-1	φ 45		荒
18		φ 62		仕上
19	3-AH7936	φ 100		仕上
20		φ 114	溝	仕上
21	KGT125B 素材	φ 125		荒
22		φ 125	奥	荒
23	26949-A-11	φ 31 側 φ 28	外径溝	2.5 巾
24		60.5x63 から φ 31	外径	
25	28601-A-17	φ 95 から φ 16		荒
26		2.5 巾	溝	仕上
27	N307987	φ 170 から φ 50	端面	仕上
28		φ 40		荒
29	29475-A-04	φ 37	溝	仕上
30		M36 ネジ		

3.3 実験手順

実験の手順を以下に示す。

1. 実験の説明

実験概要，視線計測時の注意点，実験ツールの操作方法を説明する。

2. 練習タスクの実施

練習タスクを実施し，被験者に実験ツールの操作や実験の流れを理解して

もらう。

3. 視線計測の補正

キャリブレーションを行い、視線を補正する。また、キャリブレーションが正しく行われたか確認する。

4. タスクの実施

30のタスクを実施する。タスク間には前タスクの影響を抑えるために10秒程度の時間をおき、全タスクの半分が終了した時点で休憩が必要か尋ねる。

5. インタビュー

30タスクの終了後、被験者に対して実験中に見られた行動に対する聞き取りを行う。

3.4 分析

実験結果から視線特徴を抽出するため、ヒートマップによる分析を行う。また、熟練者と非熟練者の注視点の分散の差異を検証するため、注視したAOIの数を比較する。AOI (Area of Interest) とは、興味関心領域の略称である。任意に範囲を設定し、その領域がどの程度注視されたかを算出できる。本実験では図面を縦10個×横10個の100区画に分割し、それぞれの区画をAOIとする。また、図面以外の箇所についても、加工条件1, 2, 3, 刃物種類, 刃物条件, 刃物リストをそれぞれAOIとし、計114のAOIを定義した。ここでは、注視を関連研究[1]に倣い0.15s以上同じAOIに留まった視線と定義した。

3.4.1 ヒートマップ

114のAOIに対する注視の回数を記録し、全注視回数を100%とする数値で表したヒートマップとすることで被験者が特に注視したAOIを定量化する。

この分析では熟練者と非熟練者のタスクごとの比較が可能であるため、各タスクにおける熟練者特有の着目点についての分析が可能である。また、正解刃物を選択した被験者とそうでない被験者の視線もヒートマップを用いて比較する。正解刃物を選んだ時に特に見ていた箇所を特定することで、その箇所の特性から刃物選択時に確認すべき項目を特定できる。

3.4.2 注視が行われたAOIの数

3.4.1項とは別に、ここでは図面を分割した100のAOIのみを対象に分析を行う。100あるAOIのうちいくつかのAOIを注視しているかを数えることで視線がどの程度分散しているのかを示す指標とする。図面以外のAOIは図面に対する視線の分散を求めるこの分析では不適であるため除外した。

この指標から、熟練者と非熟練者それぞれの視線の散らばりを評価できる。例えば、熟練者のほうが非熟練者よりも注視したAOIが少ない場合、熟練者は図面の特定の箇所を集中して読んでいることがわかる。また、統計処理を用いて熟練者と非熟練者の視線の分散に有意な差があるのか検証する。

4 結果と考察

6人の被験者を対象に実験を行い、それぞれ30のタスクを実施した。このうち、タスク1, 2, 11, 12, 15, 16, 21, 22, 23, 24については、熟練者より実験設定の不備が指摘されたため、実験設定を変更して実施した。これにより、上記のタスクでは一部被験者のみ初見の図面でなくなったため、分析から除外した。よって、被験者6人、20タスクについて分析を行った。

4.1 ヒートマップによる分析

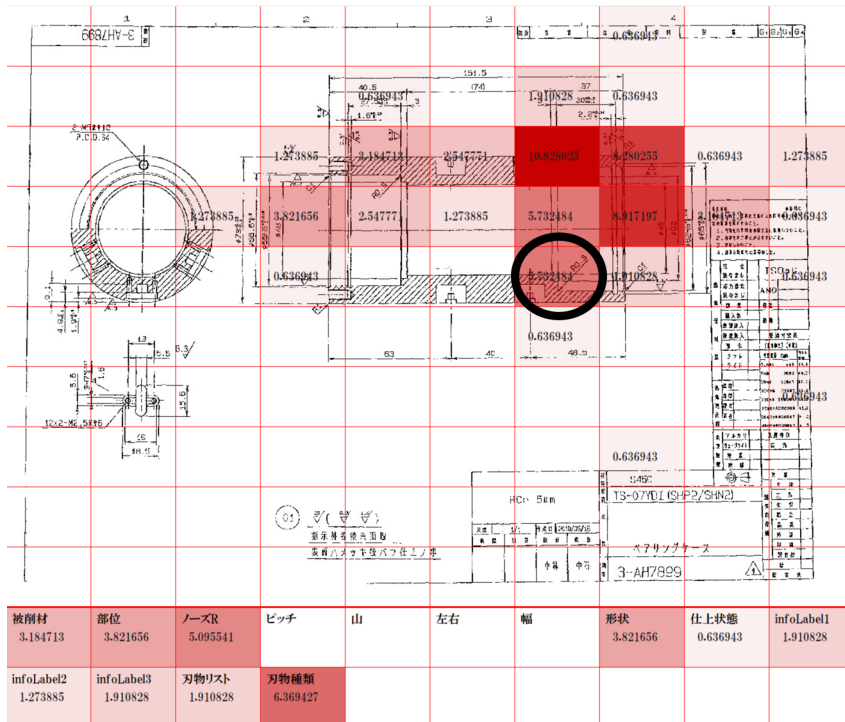
顕著に特徴が現れたタスクについて結果を述べる。図7にタスク18における熟練者と非熟練者のヒートマップを示す。ヒートマップでは、注視されたAOIを赤色でハイライトしている。赤色が濃いほど、注視された割合が大きいことを示している。色の付いたAOIには数字が表示してあり、これは全注視中このAOIに対する注視が占める割合を百分率で表している。また、表示するデータは熟練者3人と非熟練者3人の注視をそれぞれ合計したものである。

図面以外のAOIでは、加工条件、刃物種類、刃物条件、刃物リストに注視が存在した。このとき、空白であった加工条件や、必要ない刃物条件に対して注視がなかったことから、正しい視線データを記録できていることがわかった。図面内のAOIでは、熟練者と非熟練者に共通した特徴として、どのタスクにおいても加工部位に対する注視の割合が大きいことがわかった。これは、刃物選定に加工部位の情報が不可欠であることを示す。

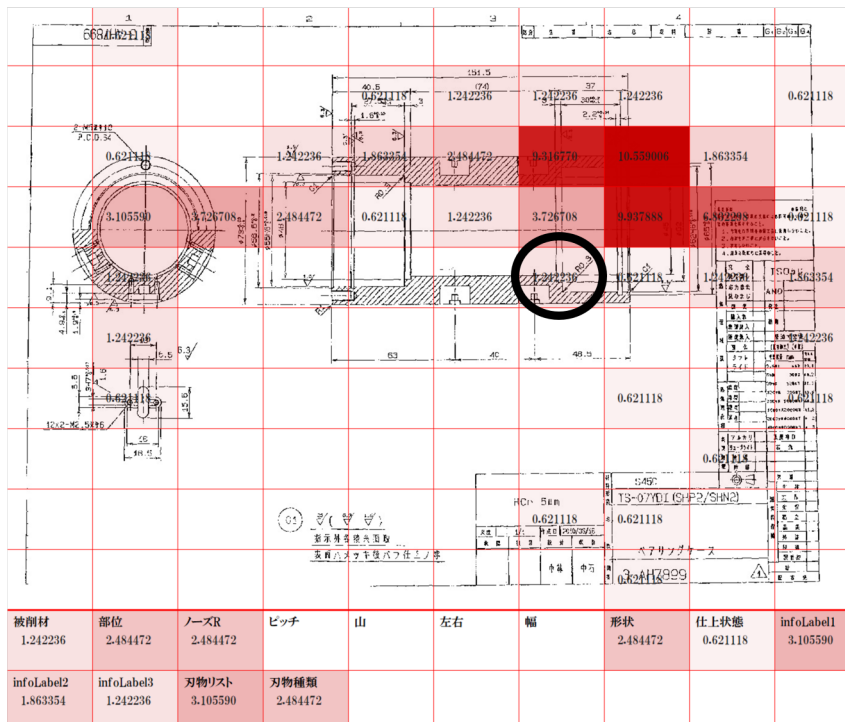
図7では、丸で示したAOIに対して特徴が現れた。図8にはこのAOIの拡大図を示す。このAOIには加工部位が含まれているにも関わらず、熟練者と非熟練者の注視回数に差が現れた。熟練者は合計9回、全体の注視の5.73%の注視を行っているのに対して、非熟練者は合計2回、全体の注視の1.24%の注視であった。

また、このタスクにおける加工に最も適した刃物を選択した被験者（正解者）2名と、それ以外の刃物を選択した被験者（不正解者）4名のヒートマップを比較した。このとき、特徴が現れたAOIへの注視割合の平均はそれぞれ12.0%、1.4%となった。このAOIに特徴が現れた理由として、この箇所が技術者の考慮から漏れやすい部位であったことが考えられる。また、選択した刃物によって比較した場合に注視割合に差が生じたことから、このAOIの情報が正確な刃物選択に影響したと考えられる。この部位を考慮に含めて刃物選択を行った理由として、熟練者は図面のどの位置に重要な情報が存在しているか理解していると考えられる。また、実験後のインタビューから、熟練者は習慣として同じ加工条件の箇所がないか、同じ刃物で加工できる箇所がないか確認していることがわかった。この過程で重要な加工条件を発見した可能性も考えられる。さらに詳細な考察を行い理

由を明らかにすることで、刃物選択をより正確に行うためのノウハウを抽出できる可能性がある。



熟練者



非熟練者

図7タスク18における熟練者と非熟練者のヒートマップの比較

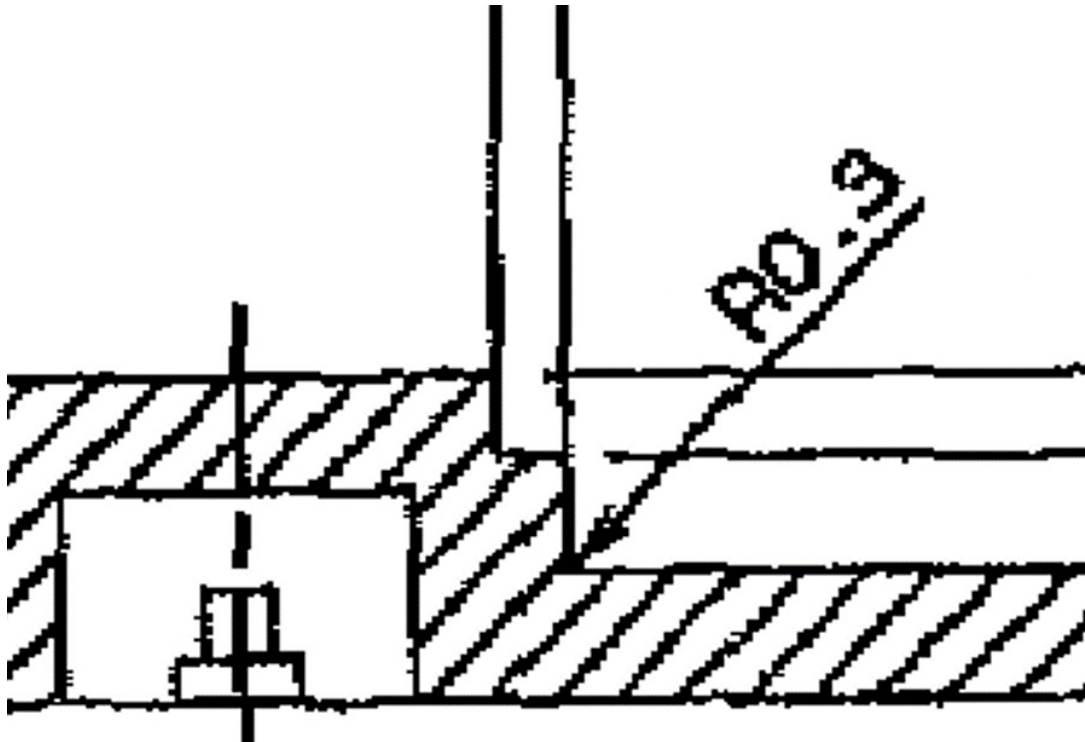
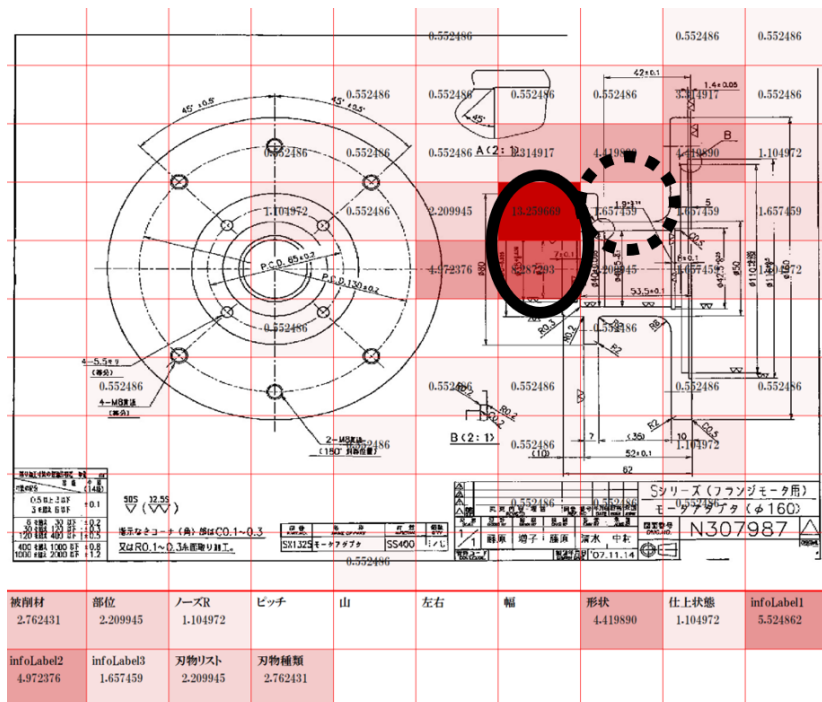


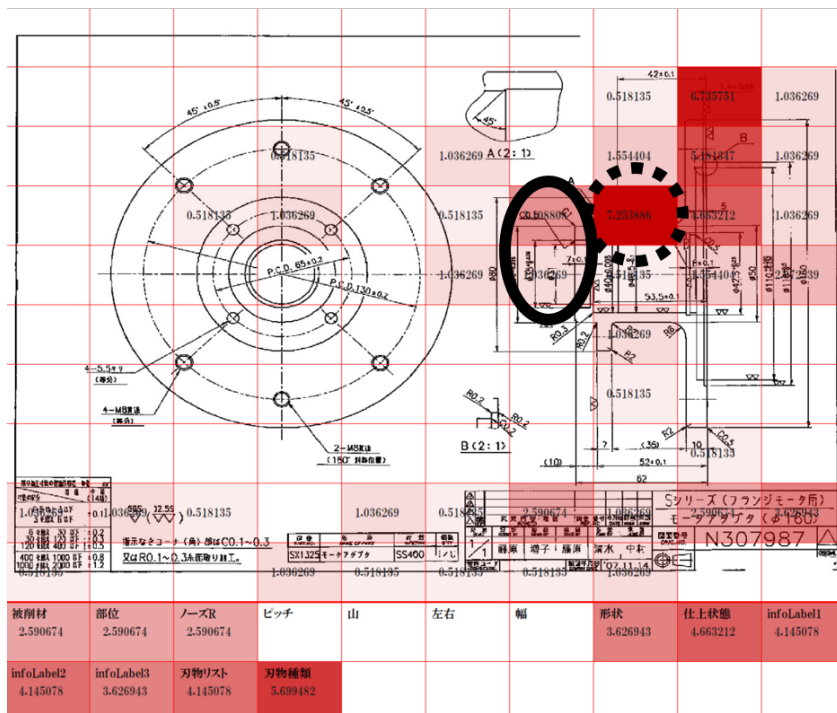
図8 タスク18で注視割合に差が見られたAOI

図9にタスク27における熟練者と非熟練者のヒートマップを示す。このタスクは、加工条件を「 $\phi 170$ から $\phi 50$ 」、「端面」、「仕上」と設定した。図9では、円で示した2つの範囲に対して特徴が現れた。

このヒートマップを比較すると、両者が最も多く注視している箇所が異なる様子がわかる。熟練者は実線の円で囲った範囲を最も多く注視しており、その割合は13.2%であったのに対し、非熟練者は3.10%の注視であった。この範囲には、加工部位が存在している。破線の円で囲った部位には、「 $\phi 170$ から $\phi 50$ 」という加工条件を満たす加工部位が存在しており、熟練者と非熟練者の注視割合はそれぞれ1.65%、7.25%であった。このことから、非熟練者は加工部位を取り違えて刃物選定を行ったと考えられる。



熟練者



非熟練者

図9 タスク18における熟練者と非熟練者のヒートマップの比較

4.2 各 AOI に対する注視回数

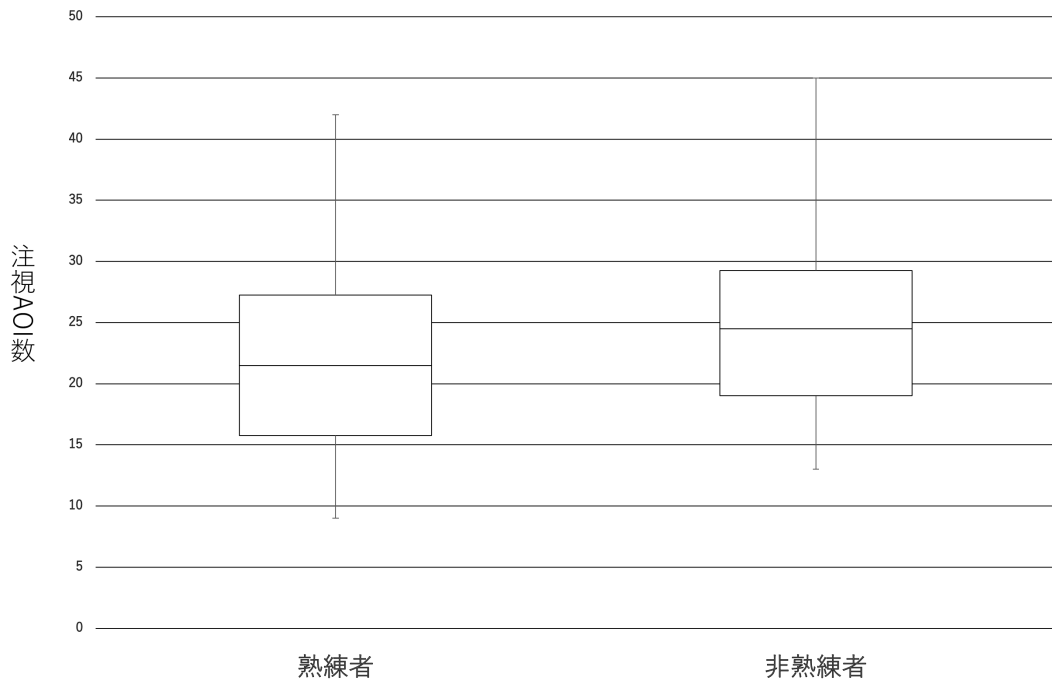


図 10 注視した AOI 数の比較

各タスクにおいて、1回以上の注視があった図面内のAOIの数を数えた。図10は、熟練者と非熟練者がそれぞれ注視したAOIの数を比較した箱ひげ図である。図から、熟練者のほうが非熟練者よりも注視したAOIの数が少ないことがわかる。このとき、各タスクでの注視したAOIの数の平均値は、熟練者が22.0回、非熟練者が25.0回となった。

各AOIに対する注視回数を熟練者、非熟練者間で比較するためStudentのt検定を行ったところ、 $p=0.04$ となり有意差($p < 0.05$)が認められた。この結果から、熟練者は非熟練者と比較して図面を漠然と見るのではなく、ある特定の箇所を注視するように図面を見ていることがわかった。熟練者が特定の箇所を集中して観察している理由として、熟練者が図面内で刃物選定に必要な情報がどこに存在しているのかを理解し、効率の良い情報抽出を行っていることが考えられる。反対に、非熟練者はどこに必要な情報があるかを探すために図面内を広く観察し、注視したAOI数が増加したと考えられる。

5 おわりに

本研究では、熟練者が図面を理解する際のノウハウが視線に現れると考えた。そこで、熟練者の特徴抽出のために熟練者と非熟練者の図面に対する視線を測定し、両者を比較することでのこれを得ることとした。本稿では、ヒートマップによる比較と、注視したAOIの数を比較する2つの分析手法により熟練者の特徴抽出を試みた。ヒートマップによる分析では、熟練者と非熟練者で最も注視したAOIが異なったタスクについて特に分析を行った。この結果、非熟練者の刃物選定の考慮から漏れやすい箇所を発見した。この箇所が考慮から外れた理由を明らかにすることで、熟練者のノウハウを抽出できると考えた。注視したAOIの数を比較する分析では、図面内で1回以上の注視があった図面内のAOIの数を数えて、熟練者と非熟練者で比較した。この結果、両者の平均値はそれぞれ22.0回と25.0回となった。この平均値についてStudentのt検定を行ったところ、 $p=0.04$ となり、有意差が見られた。この結果から、熟練者は非熟練者よりも特定の箇所を集中して観察することがわかった。その理由として、熟練者は図面内で刃物選定に必要な情報がどこに存在しているのかを理解し、効率的な情報抽出を行っていると考えた。

今後の研究では、熟練者の図面理解をより深く明らかにするために、本稿で明らかになった熟練者と非熟練者の着眼点の違いが起こる理由を考察したい。また、視線の座標情報だけではなく、時系列情報も加えた視線の移動パターンの分析などを用いて、より深い熟練者の視線特性を明らかにする。これにより、熟練者の図面理解の過程を明らかにできると考える。さらに、選定速度と相関のある図面箇所や視線移動パターンを特定することで、刃物選定時に確認すべき項目を特定できる可能性がある。抽出したこれらの知見を用いて、非熟練者の教育にこの知見がどの程度役立つのかを検証したい。

謝辞

本研究を行う上で、多忙の合間を縫って被験者実験への協力や様々な助言をいただきました近畿工業(株)様に心から感謝を申し上げます。また、研究や論文の作成などご尽力頂きました上野准教授に厚く御礼申し上げます。

参考文献

- [1] 塗木敦夫, 下園朋幸, 川畑匠朗, 山田正文, 湯ノ口万友, 丸山敦夫, ”運動観察学習中の運動熟練度による視線特徴の検討”, 電学論C, Vol.131, No.1, pp.182-189(2011)
- [2] Teresa Busjahn, Roman Bednarik, Andrew Begel, Martha Crosby, James H Paterson, Carsten Schulte, Bonita Sharif, and Sascha Tamm, “Eye Movements in Code Reading: Relaxing the Linear Order, “ the 23rd International Conference on Program Comprehension, pp.255-265 (2015).
- [3] 村田厚生, 森若誠: 危険予知課題における運転者の視覚情報処理特性運転初心者と運転熟練者の比較”, 人間工学, Vol.46, No.6, pp.393-397 (2010).
- [4] 古澤武男:”新編JIS機械製図第2版”: 森北出版株式会社 (1989) .
- [5] tobii, ”Specifications for the Tobii Eye Tracker 4C, ” <https://help.tobii.com/hc/en-us/articles/213414285-Specifications-for-the-Tobii-Eye-Tracker-4C> (参照: 2018-12-28)