

システム創成工学専攻  
情報システムコース

Department of System Innovation  
Advanced Information System Course

令和2年度 専攻科特別研究論文

機械図面理解における熟練者と非熟練者の視線特性

Gaze characteristics of expert and novice in  
understanding machine drawing

指導教員名 上野 秀剛

論文提出者名 永富 雄貴

独立行政法人 国立高等専門学校機構  
奈良工業高等専門学校 専攻科  
Faculty of Advanced Engineering at Nara College  
National Institute of Technology, Japan

# 機械図面理解における熟練者と非熟練者の視線特性

Gaze characteristics of expert and novice in understanding machine drawing

永富 雄貴

Yuuki Nagatomi

独立行政法人 国立高等専門学校機構

奈良工業高等専門学校 専攻科 システム創成工学専攻 情報システムコース

大和郡山市矢田町2番地 (〒639-1080)

National Institute of Technology, Nara College, Faculty of Advanced Engineering

Yata 22, Yamatokoriyama, Nara 639-1080, Japan

**ABSTRACT:** The machining of metal parts is carried out by cutting the work material with a blade attached to a processing machine based on the drawing. The blade to be used in this process is determined by reading the drawing, but it is difficult for unskilled workers because there are many points to be considered such as material and machining area. In this study, in order to extract the characteristics of the understanding process of the operator, we conducted an experiment in which the operator reads the drawing and selects a blade, and analyzed the speed of gaze to the machined part, the number of AOIs gazed at more than once, and the distance between gazing points. The results of the experiment showed that there was a difference in the speed of finding the machining area, suggesting that the cause of incorrect answers and time loss for unskilled users may be in the stage of identifying the machining area. There was also a difference in the number of AOIs to be focused on. In addition, there was a difference in the number of AOIs to be focused on, suggesting that skilled operators concentrate on specific parts of the drawing more than unskilled operators, understand where the information necessary for blade selection exists in the drawing, and extract information efficiently.

**Keywords:** Machine drawing, Eye movement,

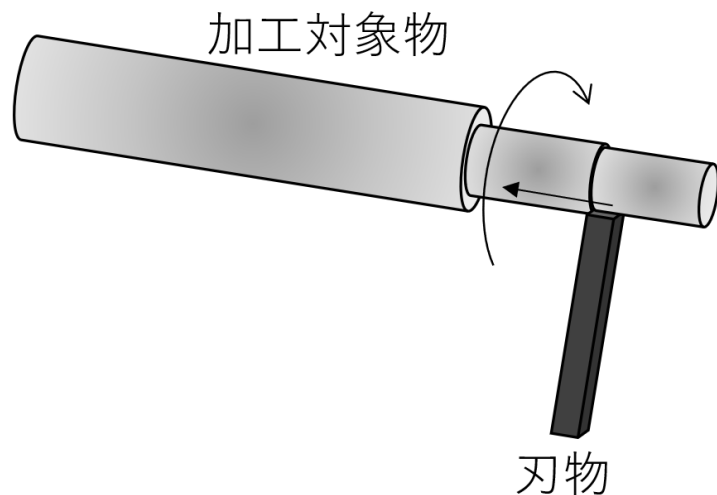
# 目次

|          |                        |           |
|----------|------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>はじめに</b>            | <b>2</b>  |
| <b>2</b> | <b>準備</b>              | <b>4</b>  |
| 2.1      | 図面 . . . . .           | 4         |
| 2.2      | 視線 . . . . .           | 7         |
| <b>3</b> | <b>実験</b>              | <b>9</b>  |
| 3.1      | 実験環境 . . . . .         | 9         |
| 3.2      | タスク . . . . .          | 11        |
| 3.3      | 実験手順 . . . . .         | 11        |
| 3.4      | 分析 . . . . .           | 13        |
| 3.4.1    | 加工部位に対する注視速度 . . . . . | 14        |
| 3.4.2    | 注視AOI数 . . . . .       | 15        |
| 3.4.3    | 注視点間の距離 . . . . .      | 15        |
| <b>4</b> | <b>結果と考察</b>           | <b>17</b> |
| 4.1      | 加工部位に対する注視速度 . . . . . | 17        |
| 4.2      | 注視AOI数 . . . . .       | 19        |
| 4.3      | 注視点間の距離 . . . . .      | 19        |
| <b>5</b> | <b>おわりに</b>            | <b>22</b> |
|          | <b>謝辞</b>              | <b>23</b> |
|          | <b>参考文献</b>            | <b>24</b> |

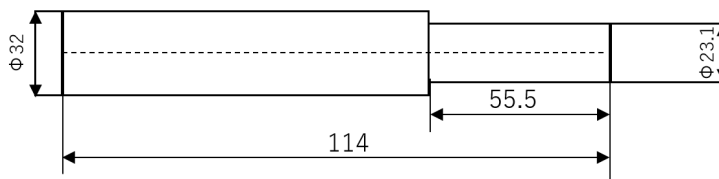
# 1 はじめに

金属加工とは、金属材料を工作機械で削ることで任意の形状を作り出す加工である。一般的な加工の1つとして、図1(a)で示すように回転する金属材料に刃物を当てることで削る加工がある。加工によって最終的に作成する製品の形状は主に図面を用いて作業者に伝達される。図1(b)に図面の例を示す。図面は形状の詳細を示す寸法や角の丸み寸法を示すR記号、円形を側面から見た際に円形であることを伝達しその直径を示すΦ記号などが記入された投影図として作成される。

加工を行う作業者は図面に記入された情報をもとに適切な刃物を決定し、装置に取り付けたうえで加工を行う。それぞれの刃物には加工条件が定められており、材料の材質や長さ、R、Φなどの寸法、要求される精度によって使用できる刃物が異なる。上記の条件を満たしている刃物であっても、加工部位周辺の形状によっては刃物と被削材が干渉を起こすため利用できない場合がある。これらの要因により刃物選択は作業者にとって困難な作業となっている。加工に適さない刃物を選択した場合、指定された形状への加工不可、精度不足、刃物



(a) 刃物による対象物の切削



(b) 図面の例

図1 金属加工と図面

の極端な摩耗などが引き起こされるため、不良品の増加やコストの増大により製造効率が低下する。刃物選択を素早く行うことで、工作機械を停止する必要がある刃物取り付け作業や加工の段取り作成の短縮につながるため、製造効率の向上に重要である。熟練者による非熟練者への刃物選択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。

本研究では、金属加工の作業者が図面を理解する際のノウハウや、どのような情報を用いて刃物選択を行っているか明らかにするために、刃物選定を行う際の図面に対する視線移動を分析する。視線の移動には作業者の考えが反映されるとされており、熟練者と非熟練者の特徴を分析するためによく用いられる [1][2][4]。金属加工の作業者は刃物を選定する際に図面に記された寸法や加工対象の形状などから、刃物選定に必要な情報を収集し、適切な刃物を導出していると考えられる。そのため、熟練者の視線には図面から刃物の選択に必要な情報を正確に読み取るための視線特徴が表れる。本研究は熟練者と非熟練者の視線を比較することで、熟練者のみが考慮している図面内情報や、非熟練者の失敗の原因など、刃物選定のノウハウ抽出を目的とする。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。



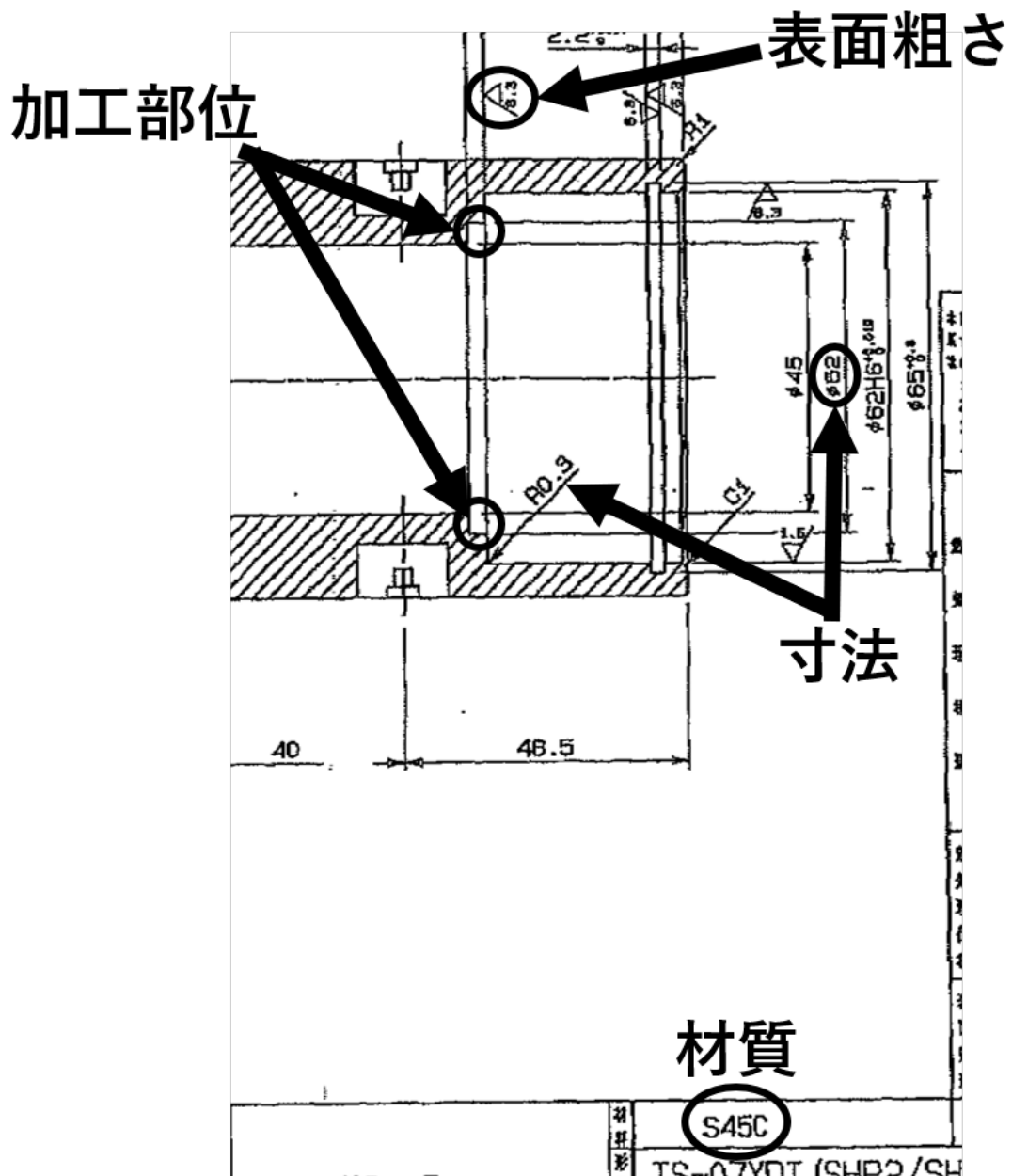


図3 加工部位の拡大図

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

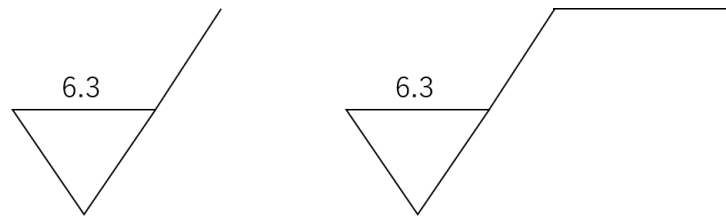


図4 表面粗さ指定記号

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[5]。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。

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][2][3][4]。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]。Lawらは、腹腔鏡手術の際の熟練者と非熟練者の視線を比較している [3]。分析から、熟練者は非熟練者と比較して患部をより集中して見ており、非熟練者は道具に対して視線が追従することが示された。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 [4]。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。



図5 装置の外観

### 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．被験者は金属加工を専門にしている企業の従業員のうち，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[6]．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．

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

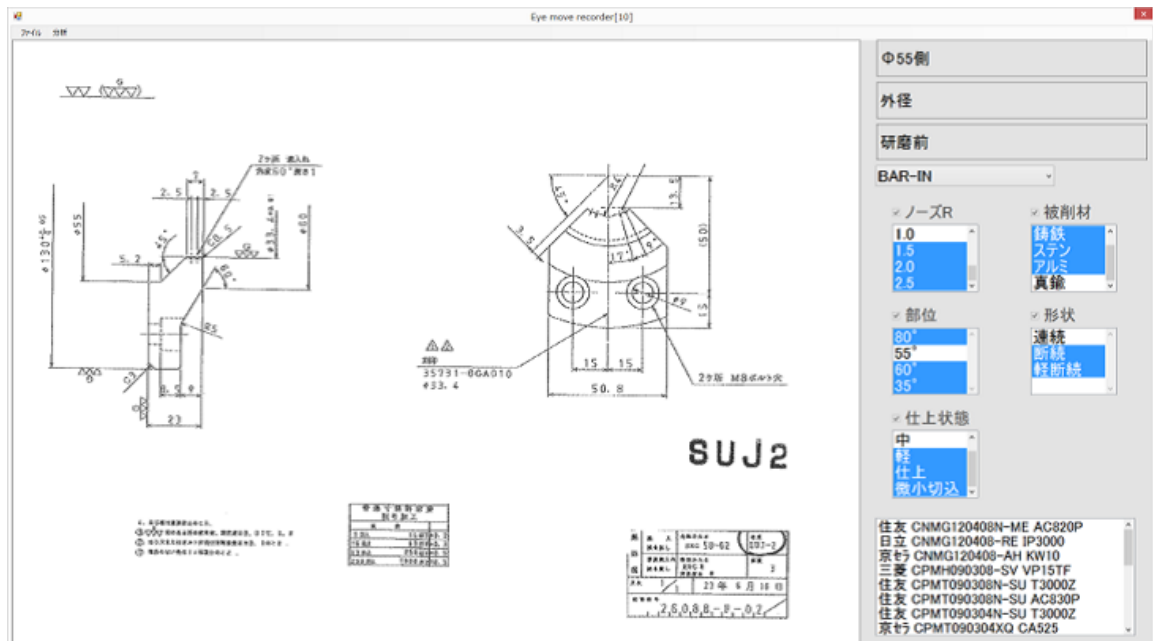


図6 実験ツールの動作画面

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。

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。表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表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。

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

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        |

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協力企業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。

### 3.3 実験手順

実験の手順を以下に示す。

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          |        |       |

### 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

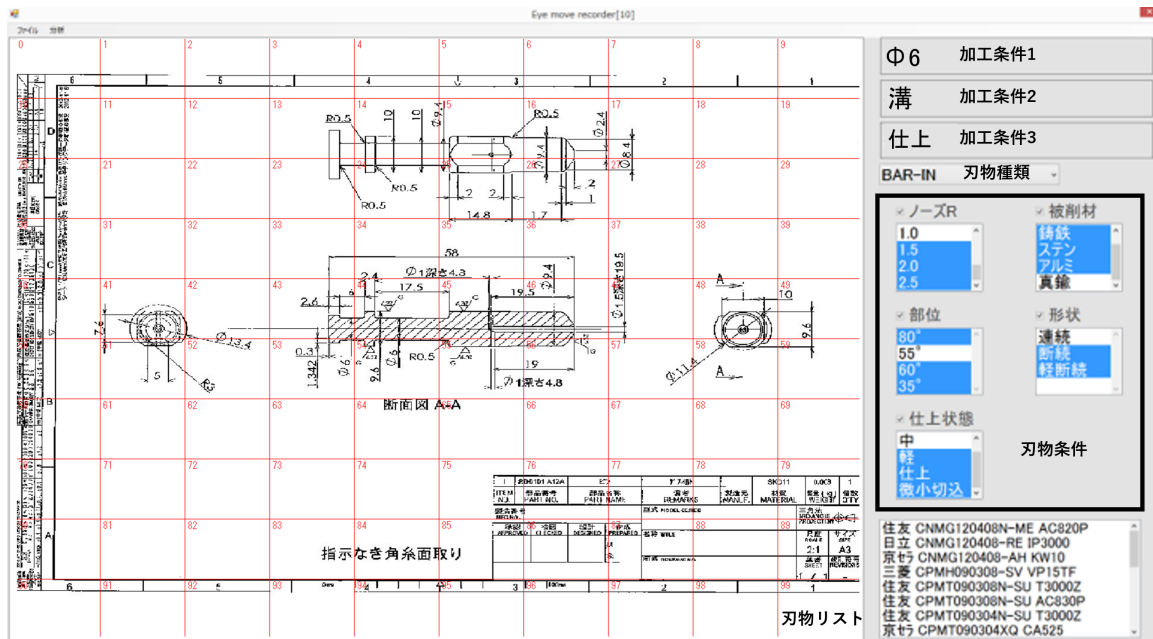


図7 AOIの定義

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、AOIを用いた分析を行う。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する。

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を定義する。図7に以上のAOIの定義を図として表したものを示す。ここでは、注視を関連研究[1]に倣い、150ms以上同じAOIに留まった視線とする。

### 3.4.1 加工部位に対する注視速度

刃物を選択する際には、まず指定された加工部位を探索し、発見する必要がある。そのため、加工部位を発見する速度は作業全体の完了時間に影響する。また、加工部位を発見できないか、誤った箇所を加工部位であると認識した場合には正しい刃物選択は行われない。本稿では熟練者と非熟練者の加工部位への注視速度を比較し、タスク完了時間やタスクの成否との関係を分析する。

加工部位への注視速度を表す指標として単位時間ごとの加工部位への注視の割合を用いる。被験者ごとに各タスクを5秒ごとの $n$ 個の区間( $1 \leq n \leq 24$ )に区切り、各時点における加工部位への注視時間 $Fix_n$ および、タスク全体を通しての注視時間の合計 $Fix_{Total}$  ( $Fix_{Total} = Fix_1 + Fix_2 + \dots + Fix_n$ )を求める。加工部位に対する全注視の内、区間 $n$ までの時間が占める割合 $Fix\%_n$ を以下の式で求める。

$$Fix\%_n = \frac{Fix_1 + Fix_2 + \dots + Fix_n}{Fix_{Total}}$$

$Fix\%_n$ は0~1の値をとり、0なら、被験者は時間区間 $n$ の時点で加工部位を注視しておらず、1なら加工部位をそれ以上注視しない事を示す。被験者はタスクが始まると画面右上に表示された加工条件を見て、条件が示す加工部位を図面から探す。加工部位を特定するためには、図面が示す形状や各部のサイズなどを理解した上で条件が示す箇所を特定する必要がある。そのため、時間の経過と共に何度か加工部位を注視しながら図面全体を理解し、ある時点で指定箇所だと認識する。加工部位を認識した後は、加工部位の周辺の詳細や治具の取り付け位置を考慮するために、加工部位以外への注視が増えるため、加工部位への注視は減少すると考えられる。

このとき、加工部位を効率的に発見できる被験者はタスク開始から早い段階で加工部位に注視が集中し、その後他の領域に視線が移動するため、 $Fix\%_n$ のグラフが左上に凸な形状となる。加工部位を発見できない、または他の箇所と誤認する被験者は加工部位への注視の集中は起こらず、直線的な形状となる。本研究では熟練者と非熟練者それぞれの $Fix\%_n$ の時系列変化をグラフに示し、Area Under the Curve (AUC)を比較する。AUCはグラフの曲線より下の部分の面積のことであり、最小で0、最大で1となる指標である。図8に5秒ごとの $Fix\%_n$ の変化例を示す。この図のAUCは発見時で0.884、未発見時で0.672となる。値が1に近いほど、より早い段階で $Fix\%_n$ が1に近づいていることを表すため、熟練者と非熟練者の加



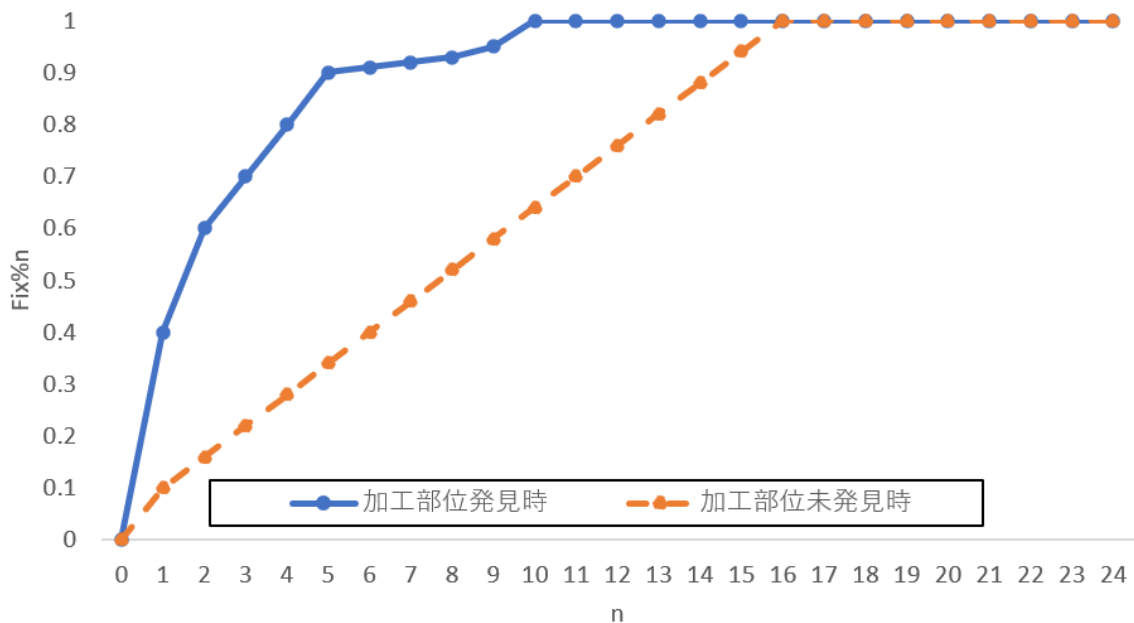


図 8 5 秒ごとの  $Fix\%_n$

工部位への注視の違いを見るための指標として用いる。

### 3.4.2 注視 AOI 数

非熟練者は図面のどこを見れば理解に必要な情報が得られるか把握しておらず，熟練者と比べて図面のより広い範囲を注視すると思われる．そこで，図面に設定した AOIのうち，注視された AOI の数を比較する．

加工条件や刃物リストを除いた，図面に設定された 100 の AOI に対して，各被験者がタスク中に 1 回以上注視した箇所を数える．注視した AOI の数が多いほど図面のより広い範囲を見ていると判断できる．

### 3.4.3 注視点間の距離

非熟練者が図面から情報を探索する際には，必要な情報を理解した上で図面内を探索する場合と，必要な情報が何か理解できずに図面内から手掛かりを得ようとする場合が考えられる．そこで，図面内の注視点間の距離を比較する．

加工条件や刃物リストを除いた，図面に設定された 100 の AOI に対して，注視があった AOI から，次の AOI へ移動する際のマンハッタン距離を注視点間の距離として定義する．注視点間の距離が短い場合には，探すべき情報がわかっている状態で図面内を探索していると判断

できる．注視点間の距離が長い場合には，何を探せばよいかわからずにランダムな視線移動が行われていると判断できる．

## 4 結果と考察

### 4.1 加工部位に対する注視速度

表4 タスク結果と AUC

|             |        | 熟練者   | 非熟練者  |
|-------------|--------|-------|-------|
| 正答率 (%)     |        | 60.0  | 20.0  |
| 平均完了時間 (秒)  |        | 70.7  | 78.6  |
| タイムアップ率 (%) |        | 6.7   | 16.7  |
| AUC         | 全体     | 0.767 | 0.718 |
|             | 正答     | 0.798 | 0.834 |
|             | 誤答     | 0.716 | 0.739 |
|             | タイムアップ | 0.783 | 0.529 |

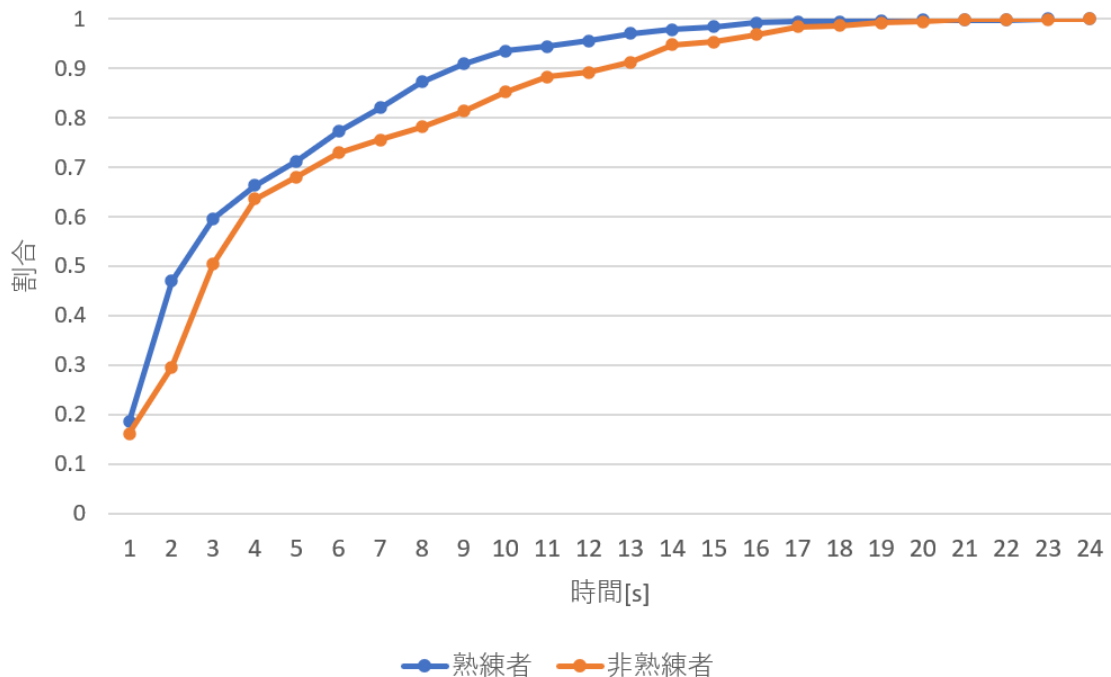


図9 5秒ごとの  $Fix\%_n$  の変化 (平均)

表4に熟練者と非熟練者の実験結果とAUCを示す。熟練者は非熟練者よりもタスクに対する正答率が高く、タスクの完了時間も早かった。図9に熟練者と非熟練者の5秒ごとの  $Fix\%_n$  の変化 (平均) を示す。熟練者は非熟練者と比べて早い時間から加工部位に注視が集中しており、注視割合が0.6に到達するまで4.1秒、0.8に到達するまで11.0秒早い。この結果は熟練者が非熟練者に比べ、より早い段階で加工部位を発見している事を反映しており、タスク完了時間が7.9秒早い原因の1つになっていると考えられる。

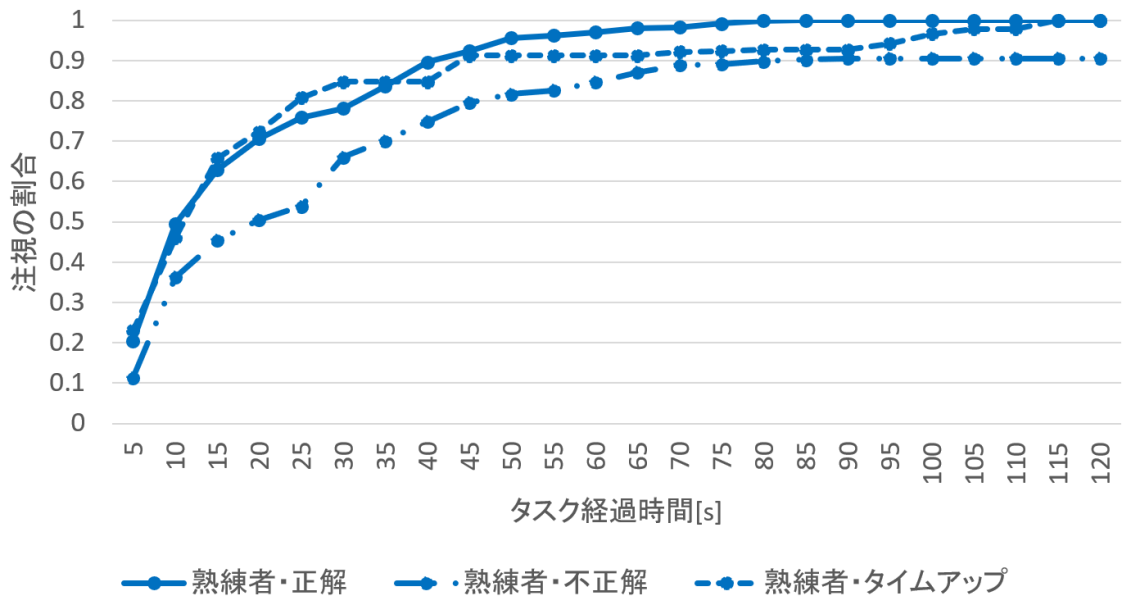


図 10 熟練者の注目速度

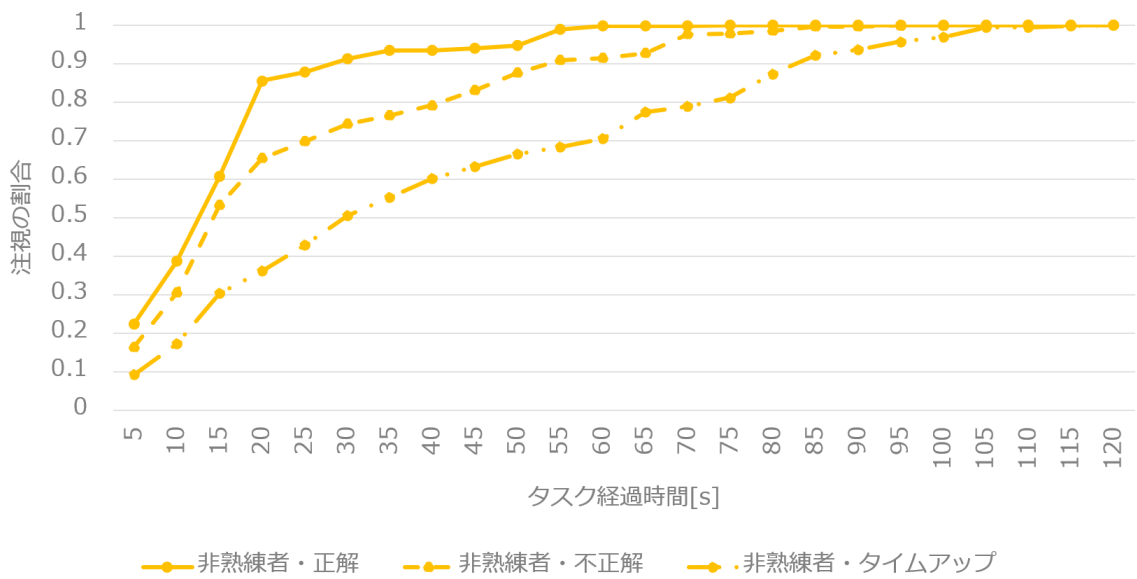


図 11 非熟練者の注目速度

AUCを比較すると熟練者が0.767に対して非熟練者が0.718と熟練者のほうが高いものの、welchのt検定では有意差は見られなかった( $p = 0.134$ )。図10に示す熟練者の注目速度を表すグラフより、熟練者のタスク正答・誤答・タイムアップを比較すると正答時のAUC(0.798)が誤答時(0.716)より高いが有意差は見られない( $p = 0.114$ )。また、タイムアップ時のAUCは0.783と正答時と近い値を示している。これは熟練者のタスクの結果が加工部位の発見の有無や

速度から影響を受けておらず、原因が加工部位特定以降の段階にあると考えられる。加工部位特定以降の段階としては、周辺の詳細についての理解や治具の取り付け位置の考慮、具体的な刃物の絞り込みなどが考えられる。

一方で、図 11 に示す非熟練者の注目速度を表すグラフでは、正答 (0.834) と誤答 (0.739) で大きな差が見られ、有意差が見られた ( $p = 0.023$ )。また、タイムアップ時には AUC が (0.529) と正當時 ( $p < 0.001$ )、誤答時 ( $p = 0.003$ ) の両方より有意に低い。これは非熟練者のタイムアップは加工部位の発見が遅かった、または発見できなかったことが原因となっていることを示している。また、誤答時の AUC が正答時より低くタイムアップ時よりも高いことから、本来の加工部位とは異なった個所を加工部位であると誤認したことによる誤答と、加工部位発見以降の段階が原因となった誤答の 2 種類が混在していると考えられる。

## 4.2 注視 AOI 数

図 12 に熟練者と非熟練者の注視した AOI の数を示す。熟練者は非熟練者と比べて全体的に注視数が少ない。また、分散はいずれも同程度である。中央値は熟練者が 22、非熟練者が 25 であり、熟練者のほうが注視した AOI の数が少なかった。各 AOI に対する注視回数を熟練者と非熟練者の AOI 注視数に対して Student の t 検定を行ったところ、有意差 ( $p = 0.044$ ) が見られた。熟練者は正答率、タスク完了時間が非熟練者よりも優れていた (表 4)。熟練者の注視 AOI 数が少ないのは、図面内のどこに使用する刃物を特定するための情報が含まれているのか理解しており、効率の良い情報抽出を行っているためと考えられる。一方で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。このことから、図面のどこにどのような情報が載っているのか傾向を知ることによって効率の良い情報抽出を行えるようになると期待できる。例として、材質情報はほとんどの図面で右下に掲載されているため、これを理解していれば材質情報を探すために図面内を広く観察する必要がなくなる。

## 4.3 注視点間の距離

図 13 に注視点間の距離の分布を示す。

非熟練者は距離 4~6 の移動が多い一方で、熟練者は距離 2~5 の移動が多く、より近い位置の AOI を見に行く傾向が見られた。非熟練者はより離れた AOI を見る視線移動が多く、また、

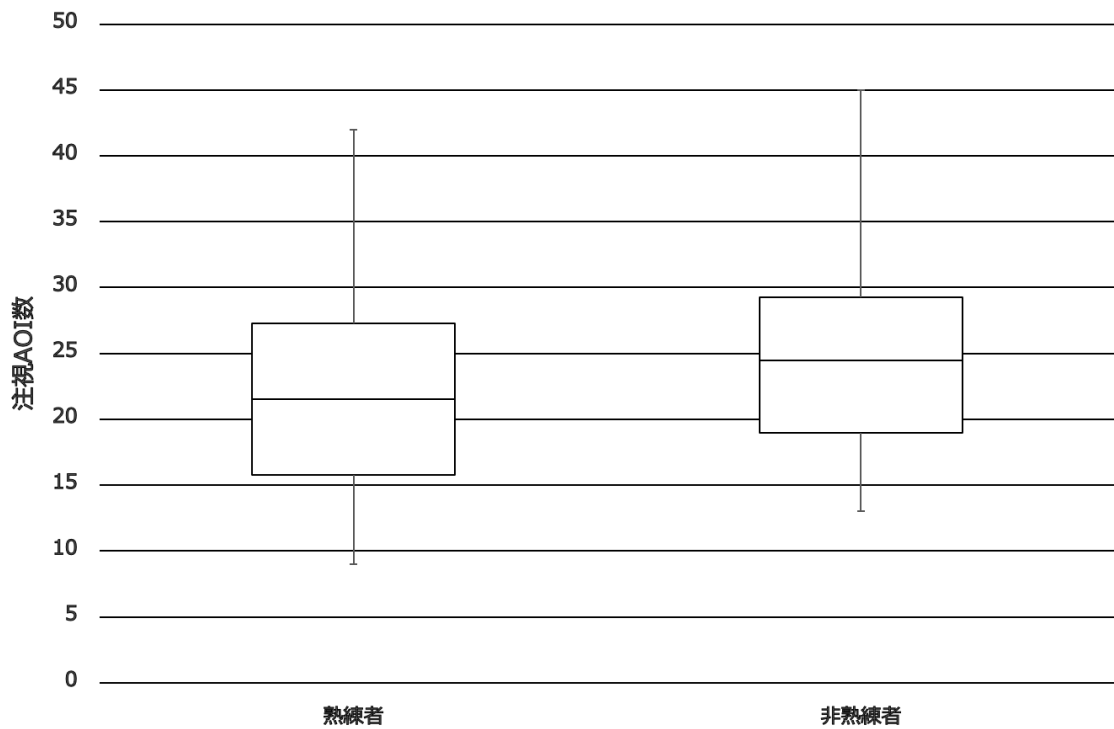


図 12 注視した AOI 数の比較

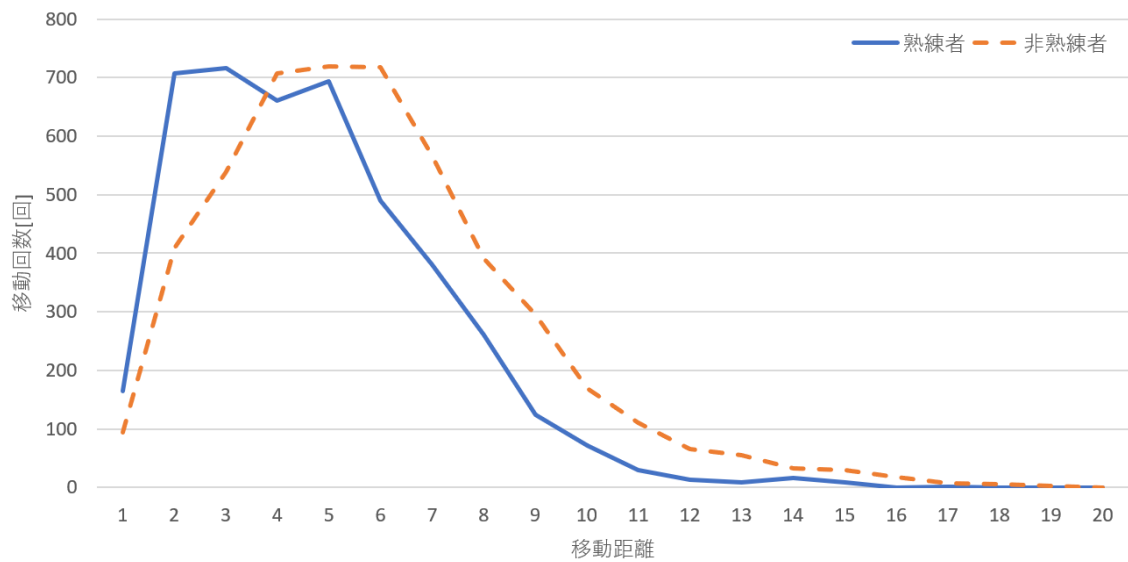


図 13 注視点間の距離

注視した AOI の数も多いことから、図面を広範囲にわたって行き来を繰り返しながら理解を進めている可能性がある。

そこで、各被験者のタスクにおける注視割合をヒートマップで表したものを図14, および図15に示す。図14は熟練者3人の平均、図15は非熟練者3人の平均で、どちらも同じタスクであり、図2で示した図面を用いている。全タスク時間の内、各AOIに対する注視時間合計の割合が大きいほど濃い色で表示しており、2%を超えるAOIを太線で囲っている。なお、注視されていない上下の各1行と左の1列を省いている。

熟練者(22.5%)と非熟練者(15.6%)の両方がもっとも注視しているAOIは正面図の一部であり、加工対象が含まれている。熟練者は加工対象に隣接するAOIを中心に注視している。一方で、非熟練者は加工対象に隣接するAOIだけではなく、同じ箇所に対応する側面図や平面図、および右下にある図面情報掲載部に対しても注目している。実験後の実務者に対するインタビューの結果、本タスクに正答するために必要な情報は正面図に存在しており、側面図や平面図は見る必要がない事がわかった。これらの結果は熟練者が正面図以外には必要な情報がないことを短時間の注視で理解し、着目する個所を限定することで効率的に図面の理解を進めている可能性を示唆する。一方で、非熟練者は加工対象は特定できた一方で、必要な刃物を判断するために必要な情報を特定できず、側面図や平面図、図面情報などを見ることで効率が低下している可能性がある。このことから、必要な刃物を判断するためにどのような情報が必要であるかを理解することで効率の向上が期待できる。

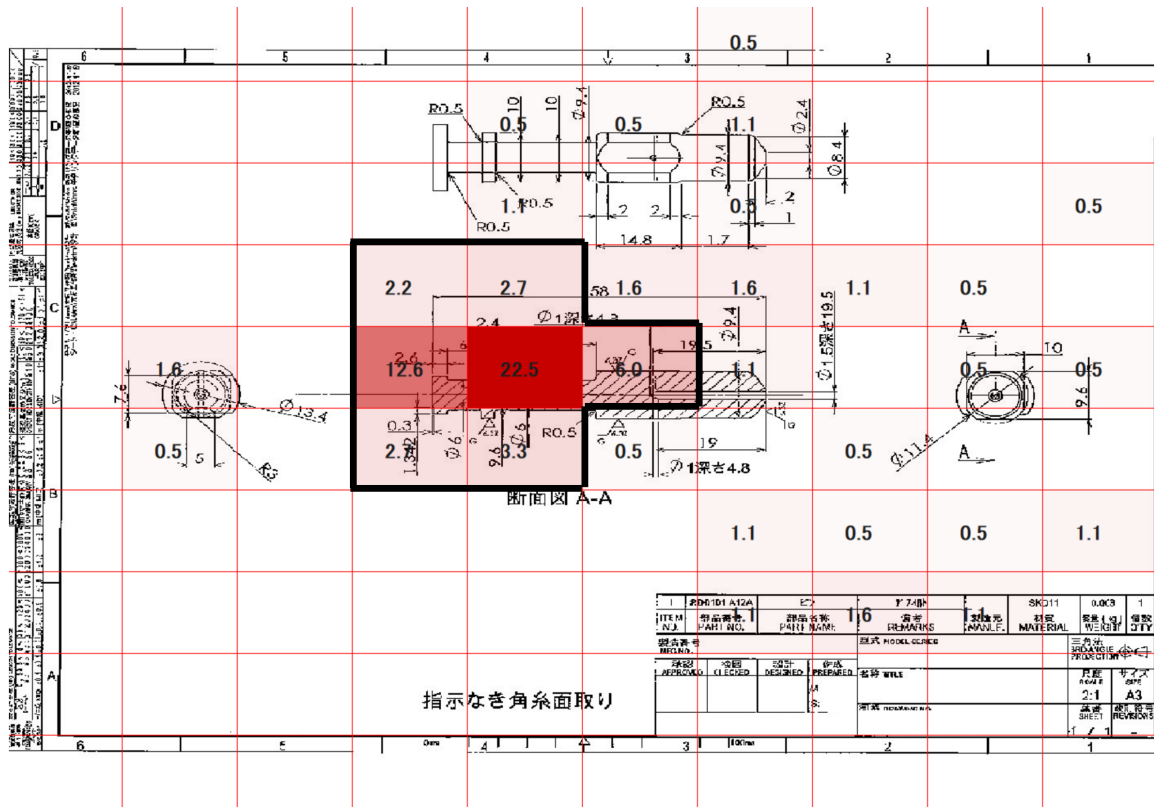


図 14 熟練者のヒートマップ (タスク 4)

## 5 おわりに

本研究では、金属加工の作業者が図面を理解する際のノウハウを抽出することを目的に、熟練者と非熟練者の図面に対する視線を測定した。提示した図面に指定の加工を行うタスクを実務者に行ってもらい、加工部位への注目速度、1回以上注視したAOI数、注視点間の距離を分析した。その結果、加工部位を発見するまでの速度に差が見られ、非熟練者の不正解やタイムアップの原因が加工部位を特定する段階にある可能性が示唆された。また、着目するAOIの数にも差が見られ、熟練者は非熟練者よりも特定の箇所を集中して観察しており、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可能性が見られた。

本研究の今後の発展として、視線移動をベクトル化し合算することで熟練者、非熟練者ごとの図面読解戦略の傾向を明らかにできると想定される。これにより、効率の良い図面の読み方や考え方が抽出できると考えられ、効率向上に繋がる。



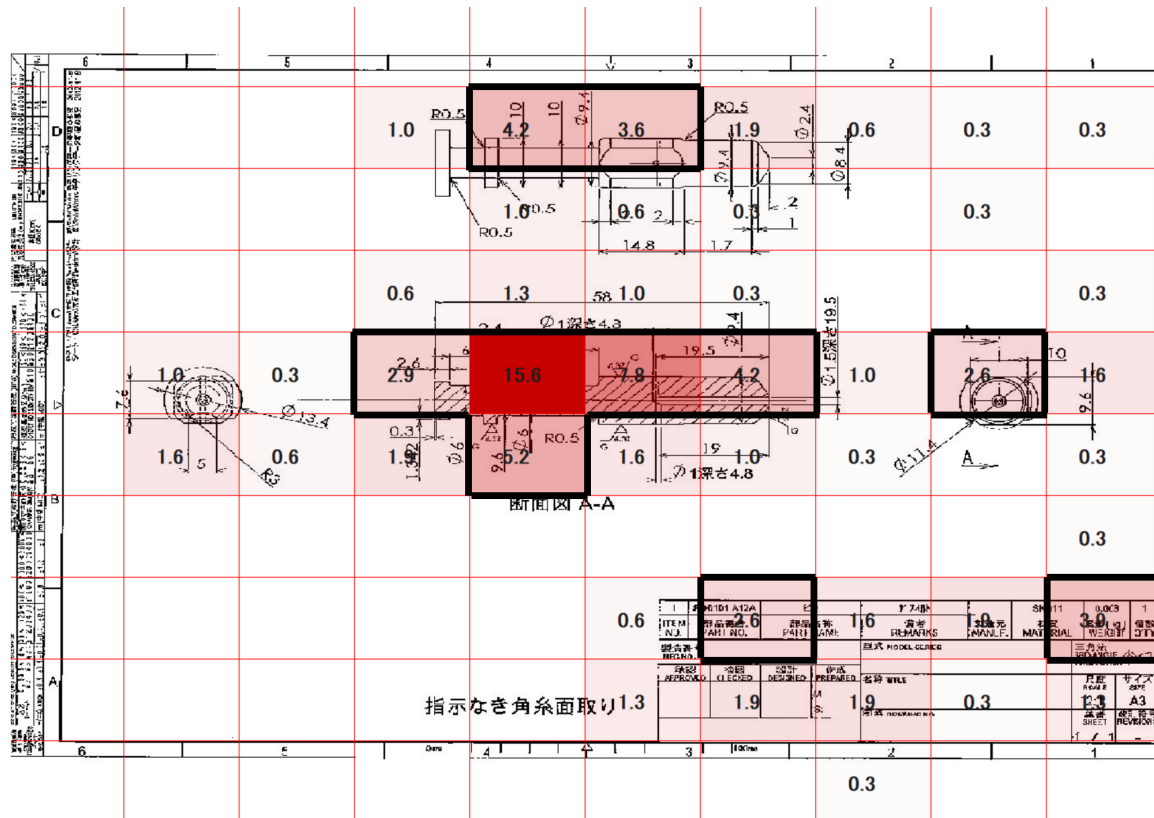


図 15 非熟練者のヒートマップ (タスク 4)

## 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] B. Law, M. S. Atkins, A. E. Kirkpatrick, A. J. Lomax, and C. L. Mackenzie :“ Eye Gaze Patterns Differentiate Novice and Expert in a Virtual Laparoscopic Surgery Training Environment, ” In Proceedings of ACM Symposium of Eye Tracking Research and Applications(ETRA), pp.41-48 (2004)
- [4] 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).
- [5] 古澤武男:”新編 JIS 機械製図第 2 版”, 森北出版株式会社 (1989) .
- [6] 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 : 2020-01-26)