

技能の可視化における アイトラッキングの有用性*

The Effectiveness of Eye Tracking in Skill Visualization

金田篤幸**
Atsuyuki KANEDA

Key words skill transfer, eye tracking, task analysis, induction training, on-the-job training, tacit knowledge

1. はじめに

筆者は、前職では画像処理技術の開発に携っており、自動検査機の現地作業に立ち会う機会があった。製造業の工場では、自動検査機が必ずと言っていいほど導入されており、ほぼすべての製品は自動検査機によって検査されている。しかし、一部の業種、特に自動車産業では、自動検査機が導入されているにも関わらず、検査員が全数目視検査を行っている。人間の命を預かっている部品においては、万が一の一すら許されないため、ダブルチェックとして検査員による目視検査が必須である。実際に自動検査機を通り抜けてしまった欠陥部品は一定数存在しており、これらは検査員によってラインから除外されている。しかし、これは誰でもできる技能ではない。

目視検査に限らず、高度な技能を要する分野では、熟練者が長年の経験から得た「暗黙知」をどのようにして次世代に伝えるかが課題となっている。暗黙知とは、言語や文字では簡単に説明できない、感覚や経験に基づく知識を指す。ポランニー (Michael Polanyi) が提唱したこの概念は、熟練者の「感覚的な判断」や「身体の動作」に関連しているため、形式知化が難しいとされてきた。

また、現在多くの企業や職場では、熟練者の高齢化や退職により、技能伝承がより切実な課題となってしまっている。従来の伝承方法は、「技は見て盗め」の考え方による指導で、若手労働者は熟練者を見様見真似し、実地経験で育っていった。しかし、これでは効率的に技能を伝えることは難しく、若手労働者全員が育つとは限らない。労働者の数が見込めた高度経済成長期では、「センスと根性のあるヤツが残れば良い」という考えでも成り立っていたが、現代は労働力が不足しているため、採用できた労働者はしっかりと育てたいという考えに変わってきている。

しかし、ここで1つ問題がある。今いる熟練者自身が「技は見て盗め」で育ってきてしまっているため、自分自身の技能を言語化することができず、次世代に伝えることができないという問題である。

高度経済成長期	現代
掃いて捨てるほどいる労働力 長時間労働の強制 大量に採用して残るやつがいればそれでいい →技は見て盗め	少子化による労働力不足 教育時間が確保できない 熟練者の高齢化と言語能力の欠如 →文字や動画によるマニュアルや体制、システム化

図2 若手労働者育成への考え方

暗黙知	形式知
類義語：センス、勘、スジ 感覚や経験に基づくもので言語化しづらい 実践経験から獲得される 集約が難しく、同じ組織内で活動する社員であっても共有できない	言葉や文章、図形化しやすい 論理的な推論から獲得される データとして集約しやすい
例. 車の運転  急ブレーキを避けるために、ペダルはふんわりと踏み込みます。	 右のペダルはアクセルです。踏むと車が前進します。 左のペダルはブレーキです。踏むと車が止まります。
ふんわりとはどのくらい？ 車種やブレーキの摩擦などによってふんわりの位置が異なるため、感覚や経験に頼った踏み込み量になる	マニュアル通りに行えば、その通りに再現できる

図1 暗黙知と形式知の比較

近年では、センサー技術の進歩によって、人間の動作や視線といった生体情報を計測しやすくなっている。動作や視線には暗黙知が表れやすく、それらを技能マニュアルや教育システムへ組み込むことで、暗黙知の形式知化を図ることができる。本稿では、視線データを活用した「動画マニュアル」や「技能の可視化」による暗黙知の形式知化について紹介する。

2. アイトラッキング技術の概要

アイトラッキング技術は、人間の視線を追跡し、その視線の動きや焦点を可視化する技術である。視線の動きは、

無意識のうちに熟練者の注意や判断のプロセスを反映しており、これをデータとして捉えることで、熟練者が行っている「眼の動き」を客観的に把握することができる。



図3 ウェアラブル型アイトラッキングの例 2)

アイトラッキングデバイスは大きく分けて 2 種類あり、ウェアラブル型と据置型がある。ウェアラブル型は、動き回る作業や個人に紐づいたデータを取得したい場合に適している。導入が容易なため、すぐに動画マニュアルを作成したい場合や、熟練者のデータを取り始めたい場合にはウェアラブル型を選択する。一方でデバイスを装着する必要があるため、長時間の作業には向かず、スポットでの使い方が主になってくる。

据置型は、デバイスを装着する手間がないことがメリットだが、作業台に設置する必要があるため、初期コストがかかってしまう。また、設置した箇所のみでのデータ取得になるため、作業者が動き回ると追従できない。そのため、作業台で行う単一の作業を長期間に渡ってデータ収集を行う場合に据置型を選択する。

	ウェアラブル型	据置型
初期コスト	○ 導入しやすい	× 半カスタムによる設置
追従性	◎ 動き回る作業でもOK	× 設置箇所のみ
長時間使用	△ スポットでの使用を推奨	◎ 運用で使用可能
作業者への負担	△ デバイスを装着しなければならぬ	◎ 作業者への負担はゼロ
汎用性	○ 使い回しがきく	× 設置箇所から動かさない

図4 ウェアラブル型と据置型の比較

3. 動画マニュアル

3.1 動画マニュアルの作成

動画マニュアルは、アイトラッキングの結果として出力される視線動画やタイムスタンプ付きの視線データを基に作成していく。まず、作業のコツなどの暗黙知を見つけるために、熟練者を対象にアイトラッキングを行う。熟練者から得られた視線動画と視線データを分析し、作業の各段階における注意箇所や視線の時系列的な動きなどの特徴を見つけていく。見つかった特徴は、熟練者と共有し、なぜ

このとき、この部分を視ていたのかを深掘りし、熟練者自身が腑に落ちるまで言語化を繰り返していく。一見、アナログな手法であるが、一度言語化ができてしまうとマニュアル化、つまり形式知化することができる。言語化された技能は、テロップなどの形で視線動画に入れ込み、動画マニュアルとして活用することができる。



図5 鋳物のバリ取り作業と目視検査の例

一般的に動画マニュアルを制作する場合には、スマートフォンを使用して撮影することが多い。しかし、これにより制作された動画マニュアルは、3 人称視点のものになってしまうため、実際に現場に立ったときの見え方とは異なってしまう。そのため、なんとなくの手順確認には使えるが、細かい動きが分かりにくいといったデメリットがある。

一方で、アイトラッキングで取得した視線動画は、1 人称視点の動画であるため、それを用いた動画マニュアルでは、熟練者と同じ方向から同じものを視ることができる。言い換えれば、熟練者の作業を追体験することができるため、閲覧者は細かい動きも再現することが容易である。

動画編集自体のコストはどちらも同程度のため、同じコストをかけるなら効率的に若手労働者の育成が可能となる 1 人称視点の動画マニュアルの方が、メリットが大きい。

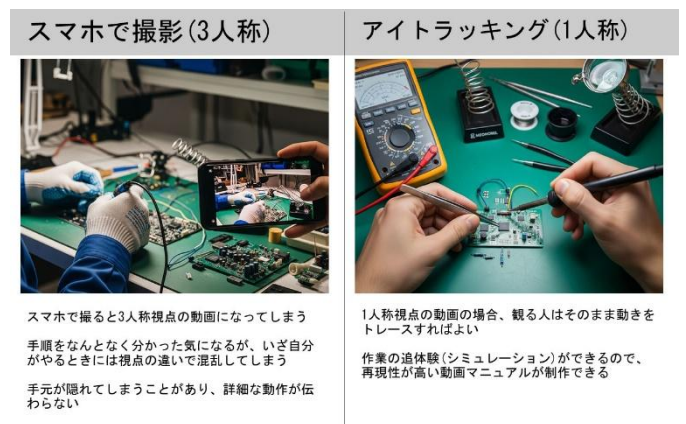


図6 3 人称視点と 1 人称視点の比較

3.2 事例と効果

事例として、航空機産業における製造業のロウ付け作業を挙げる。小型ジェットエンジンの燃料噴射管は細いパイ

プのロウ付けにより製作されるが、溶かし過ぎや貫通に注意しなければならないため、ロボットによる自動化が困難である。緻密な技能が要求されるロウ付け工程では、バーナーの温度を先端の色合いで判断したり、パイプの赤熱具合を視ることで溶かし過ぎないギリギリの高温を保ったりと、どのように何を視ているのかが品質に影響する。

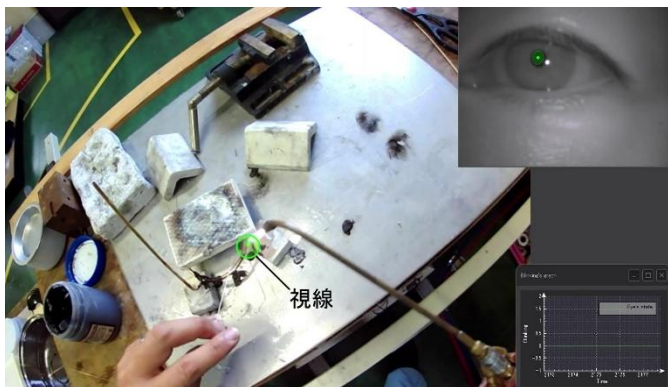


図7 燃料噴射管のロウ付け

この事例では、動画マニュアルを作成したことで、若手労働者の教育時間が300時間から80時間へ減った。現場からの感想としては、若手労働者「映像視聴で繰り返し自主研修を行うことで、簡単に反復回数を増やすことができた。」、教育担当の熟練者「マンツーマンでなくても業務の流れを確認できるため、同時に複数人の訓練を行うことができた。」と上がってきており、感想がそのまま教育時間の短縮理由となっていた。

その他にも熟練者自身の定期的な技能の確認にも用いられており、品質の担保に役立っている。

3.3 動画マニュアルへのアクセス

次に動画マニュアルへのアクセス方法の事例を紹介する。あらゆる作業について動画マニュアルを作成していくと、マニュアルの数が膨大になり、目的のマニュアルを探しづらくなるということが現場では起こってくる。一般的にマニュアル類は社内サーバーに保管されていることが多い。しかし、現場での作業中に、対応するマニュアルがサーバーのどこに格納されているのかを探すことは、非常に効率が悪く。そこで生産指示書(もしくは作業指示書など)に、対応する動画マニュアルのファイルパスをQRコード化して貼っておく。スマートフォンには、コードリーダーが標準機能で入っているので、その機能を使うことで、現場で簡単に動画マニュアルへアクセスできる。生産指示書に「バリなきこと」と書かれているが、どうやってバリを取るのか? リューターの当て方は? そのときの注目箇所は? といった言語化されていないノウハウを確認したい場合に、スマートフォンで動画マニュアルを観ることで、スムーズに作業に入っていくことができる。また、このアクセス方法は、指示書にQRコードを載せるだけですぐに運用ができるので、コストがまったくかからない点がメリットである。



図8 QRコードによる動画マニュアルへのアクセス

また、一部の事例ではメタバースを活用している企業もある。図9の例だと、工場内を360°カメラで撮影し、プレスブレーキに対応した紙(PDF)のマニュアルや動画マニュアルをアイコン化して配置している。ポイントは作業手順だけでなく、プレスブレーキとはどのようなものかを説明した、原理を含めたマニュアルを配置していることである。原理を知り、作業手順を知り、実際に熟練者が実演した動画マニュアルを観ることができるため、若手労働者への教育システムとしてメタバースを活用することができる。また、工場内の別の場所、例えば溶接現場でも、プレスブレーキと同様に溶接に関するマニュアル類がアイコン化して配置されている。メタバースへあらゆる作業のマニュアルが格納されていくと、メタバースそのものが会社の技術資産となる。ただ、忘れてはいけないのは、メタバースは手段であり、本質はマニュアルである。そのため、まずは原理や暗黙知を形式知化したマニュアルを整えていく必要がある。



図9 メタバースを活用した動画マニュアルへのアクセス

4. 技能の可視化

4.1 技能の形式知化

暗黙知を形式知化する際に有効な方法として、若手労働者と熟練者の比較がある。熟練者のみのデータからも暗黙知の分析はできるが、対となるデータがあることで、より暗黙知がどこにあるのかが可視化できる。特に、若手労働

者の中でも、一通りの作業はできるが、まだコツを掴めていないような経験数カ月の新人を比較対象とすると分かりやすい。

図 10 の事例は、リユーターを使った金属ワークのバリ取り作業である。新人と熟練者の視線を比較したとき、視線の時系列的な動きに明らかな違いがあった。まず、新人は視線とリユーターの先端が一致しており、リユーターとともにワークの端をなぞるような視線でバリ取りを行っていた。一方、熟練者はリユーターより先行して視線が移動しており、且つ視線の移動の仕方はなぞるのではなく、飛んでいた。

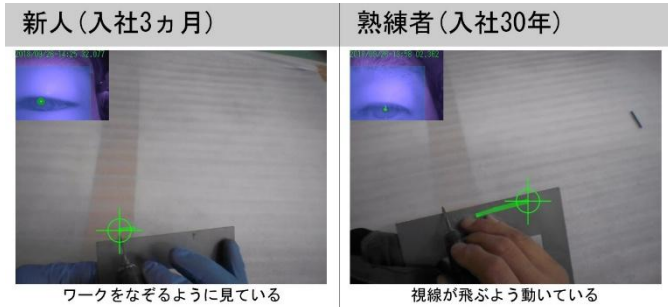


図 10 新人と熟練者の視線の比較

これらは中心視と周辺視の特徴を表しており、新人は中心視を、熟練者は周辺視を使ってバリ取り作業を行っていると考えられた。中心視とは、対象を分析する見方で、視野中心を高解像度で視ることができる。一方で、視野中心の外側は低解像度なため、視野が狭く、なぞるような視線になる。周辺視とは、俯瞰で対象を把握する見方で、視野全体を使って視るため、図 11 のように視線が飛ぶように移動する。(視野拡大トレーニングを行い練度が上がると、一視野で全体を視ることができるため、視線移動がなくなり、対象の中心に視線が揺蕩う現象が起こる。)

バリ取り作業の場合、均一に金属ワークの端を削ることが重要であるため、リユーターの行く先を把握した上で削ることができる周辺視の方が適している。

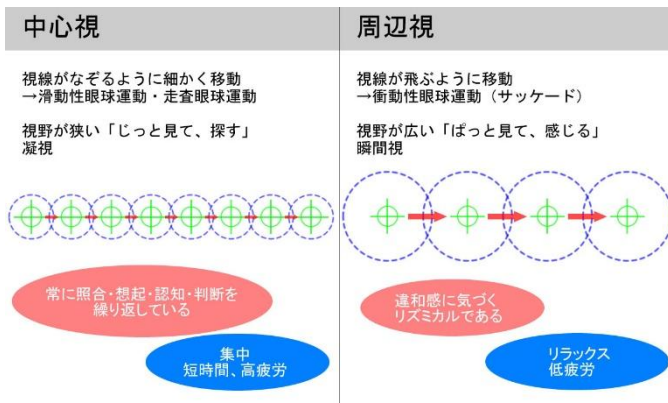


図 11 中心視と周辺視の比較 3)

一般的に慣れていない作業を行う場合、自分の作業が正しいかを常に考えながら行うため、対象を分析する見方で

ある中心視になりがちである。また、目視検査においては、欠陥を探しだそうと意識すればするほど、中心視になりがちである。しかし、中心視の特徴として、視ている箇所以外は意識に上がりにくいため、先を予想した行動ができなかったり、見逃しが発生したりする。熟練者は俯瞰で全体を把握しながら作業や検査を行う傾向にあり、周辺視が優位である。ただ、熟練者もまったく中心視を使わないわけではなく、周辺視で全体を把握し、違和感に気づいた後、それが何なのかという分析を行う際に中心視を使用する。つまり、熟練者は中心視と周辺視の用途に応じた使い分けができていると言える。4)

また、視線に加えて、図 12 のような骨格解析 AI を組み合わせることで、より技能の深掘りができる。中心視、周辺視の結果は、作業姿勢や作業動作に表れるため、並行してデータ解析を行うことで、技能の形式知化が進めやすくなる。

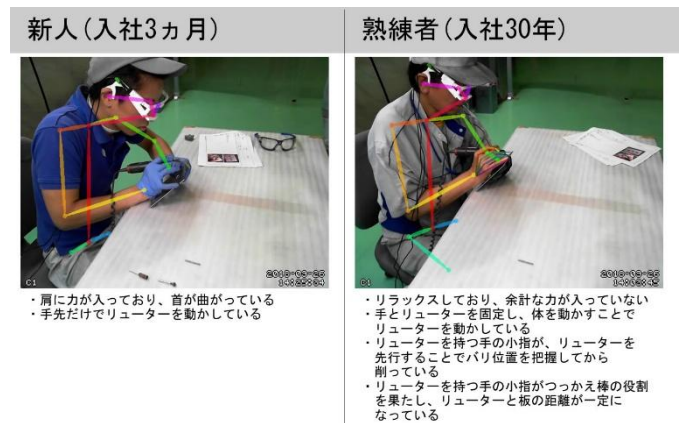


図 12 新人と熟練者の動作の比較

4.2 技能の標準化と落とし穴について

技能の可視化を進める際に必ずぶつかる問題がある。若手労働者でありながら、熟練者並みの技能(センスと言って良いかもしれない)を持つ者や、熟練者でありながら、新人並みの技能(場合によってはそれ以下)を持つ者の存在である。前者においては、入社前の経験、例えばスポーツなどによる経験が技能へ応用されていると推測されるため、適性ありと判断できる。問題は後者であるが、その数が意外と多く、筆者の経験上、各部署に必ず 1 人いると言っても良いほどである。

会社内や部署内にて技能の標準化を進める際に、熟練者の技能を基準として押し進めることが多いが、間違っって上記の熟練者を基準としてしまった場合、その会社や部署の技能は失われてしまい、二度と取り返しがつかない。そのため、アイトラッキングによる技能の評価はフィルターとして非常に有用である。

一部試験的にはあるが、視線や動作などの技能データをデータ解析 AI で処理することで、図 13 のように作業者の技能カルテを作成し、技能の標準化を試みている。

