

変圧器外観点検における技能の把握の試み － 熟練者と若手の注視行動の比較を通じて －

Experiment to understand use of skills in visual inspection of transformers
－ Fixation behavior of an expert and a young worker －

松井 裕子 (Yuko Matsui) *1

彦野 賢 (Masaru Hikono) *1

芥川 卓巳 (Takumi Akutagawa) *2

要約 変電設備の点検は、視覚を始めとする人間の五感を活用して行われてきた。しかし近年、労働人口の減少により熟練巡視員の減少が懸念されており、彼らが有する巡視技能の内容を明らかにし、巡視レベルを維持することが求められている。本研究では熟練巡視員の技能抽出の試みとして、五感の中心となる視覚の活用に焦点を当て、アイトラッカーを用いて、変圧器外観点検中の熟練巡視員一名と若手巡視員一名の注視行動の比較を行った。その結果、注視時間の長い対象および漏油箇所での注視対象が両者で異なることが示された。今後はより多くの巡視員の注視行動を調べることにより、熟練者に特有の技能を把握していく必要がある。

キーワード 巡視点検, 注視行動, 熟練技能

Abstract Inspection of substation equipment has been carried out by using senses of human inspectors; visual, audio, somatosensation, olfaction, and gustation. Recently, however, there is a concern that the number of skilled workers will decrease due to the shrinking working population. This experiment focused mainly on the visual sense used during a patrol, and compared the fixation behavior of an expert worker and a young worker during the transformer patrolling inspection using an eye tracker. The results showed that the objects with a long fixation duration and the objects with fixations at oil leakage areas were different between the expert worker and the young worker. In the future, it will be necessary to further examine the fixation behavior of more patrols in order to understand inspection skills of an expert.

Keywords patrolling inspection, fixation behavior, expert skills

1. はじめに

変電設備の巡視点検では、定量的なデータの分析だけでなく、視覚・聴覚・触覚・嗅覚・味覚といった人間の五感を活用して設備の状態を把握している(堀尾, 2006)。質問紙によって巡視中に不具合を発見した経験の事例を収集した先行研究(松井・小村, 2008)は、巡視員は知識や経験に基づいて巡視ポイントを設定し、視覚を中心とする感覚情報と定量的なデータを活用して不具合を発見していることを示した。このように保全技能は、運動や知覚レベルの技能にとどまらず、プランニング(海野, 1999)のような高次の認知機能を含む「複合技能」(森,

2005)であるとされる。

しかし今後、労働人口の減少を受けて熟練巡視員も減少していくことが予想され、熟練者のもつ技能の継承が課題となっている。一方で、巡視点検の省力化や効率化を図るため、近年発展が著しい様々なセンサーやAI技術を活用した巡視点検の遠隔化や自動化が検討されている(例えば中部電力, 2020)。このような状況においては、従来の巡視点検で熟練巡視員が発揮してきた技能を明らかにし、巡視レベルの維持を図ることが重要と考えられる。

本研究では、熟練者の技能を検討するにあたり、五感の中でも特に情報量が多い視覚に焦点を当てる。人間の注視対象やそれぞれの対象に対する注視

*1 (株)原子力安全システム研究所 社会システム研究所

*2 関西電力(株)

時間を測定するためには、眼球運動の測定が行われる。技能調査における眼球運動の測定は、ものづくりやスポーツなどにおける技能の把握という文脈で多く行われている。より巡視点検に近い場面として、近年では、看護場面において、看護師が病室の患者の安全を確保するための技能を明らかにするために、眼球運動の測定が行われるようになってきている。松島・角濱（2020）は、看護師の眼球運動を検討した27件の論文のレビューから、熟練者は、特に観察目的を指示されない場合でも、状況から観察すべき対象を判断し、意図的かつ選択的に適切な対象を注視する傾向にあることを見出した。この傾向は前述の巡視員の不具合の発見に関する先行知見（松井・小村，2008）とも類似しており、眼球運動の測定からも複合技能である巡視技能の一端を明らかにできる可能性を示しているといえる。

以上を踏まえ、本研究では、熟練巡視員と若手巡視員の巡視点検中の視線計測を行い、両者の注視対象および注視時間の長さなどの注視行動の比較を通じて、熟練巡視員の技能を探ることを目的とする。

2. 方法

本研究では、定期的に行われる変圧器の外観点検の模擬点検を実施した。

点検対象は屋内設置の変圧器2基（以後、1TrBおよび2TrBとして区別する。いずれも容量20MVA、電圧75.25kV/6.90kV）とした。

調査対象者は、熟練者と若手1名ずつであった。巡視業務への従事期間は、熟練者は30年以上、若手は約5か月であった。熟練者は当該設備の点検経験があった。若手は、当該設備の点検経験はなかったが、屋内設置型の変圧器を含む20～30か所の変電設備の巡視点検を経験していた。

調査手順は以下の通りであった。(1)「いつもの巡視のつもりで変圧器の巡視を行う」よう教示した。(2)調査対象者にアイトラッカー（Tobii Pro グラス2）を装着し、キャリブレーションを行った。(3)変圧器の巡視を実施した。実施順序は、①若手2TrB、②熟練者2TrB、1TrB、③若手1TrBであった*3。(4)熟練者のアイトラッカー映像を見ながら両者にインタビューを行った。

行動記録のために、調査対象者の背後からビデオ

カメラ（Kodak PIXPRO SP360 4K）で撮影した。あわせて、調査対象者のヘルメットにもビデオカメラ（GoProHERO7 Black）を設置した。

3. 結果

3.1 巡視所要時間

アイトラッカーの映像から、変圧器1台あたりの巡視所要時間（入室から退室まで）を導出した。熟練者は、1TrBが2分8秒、2TrBが2分26秒、若手は、1TrBが2分0秒、2TrBが2分6秒であり、熟練者は若手より所要時間がやや長い傾向にあった。

3.2 巡視経路

ビデオカメラの映像から巡視者の巡視経路を特定した（図1、2。図中の番号は巡視順序を表す）。その結果、熟練者、若手ともに、1TrBは反時計回り、2TrBは時計回りに巡視を行っていた。当該変電所では、設備はスライド配置、変圧器室の出入口はミラー配置となっていた。二名の対象者はいずれも入室後早い段階でダイヤル油温計を確認しているため

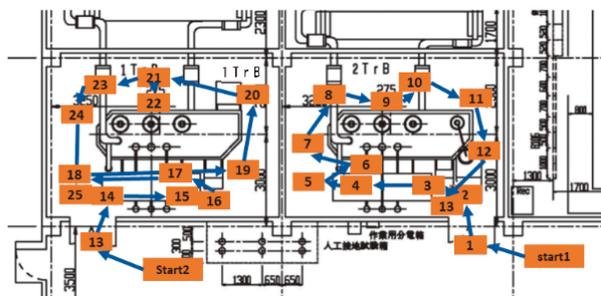


図1 熟練者の巡視経路（左側 1TrB, 右側 2TrB）

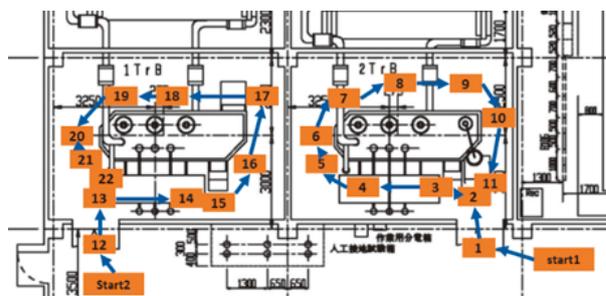


図2 若手の巡視経路（左側 1TrB, 右側 2TrB）

*3 なおこの他に、技能調査のために、熟練者と若手をペアにしたOJTを模した巡視、調査者への解説を行いながらの巡視を行った。

(図1の3, 15, 図2の3, 14), ダイヤル油温計に接近する方向の経路を選択したと考えられる。また, 熟練者には経路の重複がみられた(図1の4~6および14~19)。重複時の行動から, 1TrBでは本体油面計の確認, 2TrBでは継続監視対象となっている漏油箇所の確認が目的と考えられた。

3.3 注視対象の違い

巡視者が重点的に注視した対象を調べるため, Tobii Pro Labを用いて注視時間の解析を行った。注視点の定義にはTobii I-VT (Attention) フィルターを用いた。主要な注視対象を絞るため, アイトラッカーの映像を基に, 比較的長く注視されたと考えられる箇所を選定し, 作成した静止画に関心領域(AOI: Area of Interest)を設定して各AOIへの注視時間(Total duration of fixations)を算出した。

その結果, 熟練者が長く注視したのは, 1TrBでは油温-油面曲線(以後, 油面曲線と記す。注視時間は4.5秒)および電力ケーブル(3.3秒), 2TrBでは油面曲線(5.9秒)と電力ケーブル(3.5秒)に加え, 活線浄油機(下部3.9秒, 上部3.2秒), コンサベーター(3.3秒)であった。若手の油面曲線と電力ケーブルへの注視時間は短く, 前者は1TrBで0秒, 2TrBで0.26秒, 後者は1TrBで0秒, 2TrBで0.62秒であった。

一方, 若手が長く注視したのは, 1TrBでは変圧器本体壁面(4.1秒), 2TrBでは採油箇所周りのウエス(7.2秒), 採油箇所(6.0秒), 変圧器本体壁面(4.4秒), 漏油バケツ(3.9秒)であった。

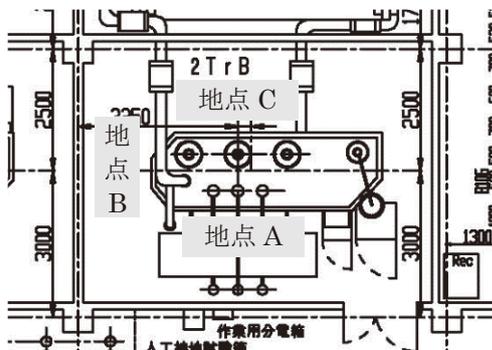


図3 注視行動の分析の対象地点

3.4 漏油箇所での注視行動

2TrBでは漏油が継続監視事項となっており, 漏れた油を受けるためのウエスやバケツを設置するなどの漏油処置が行われていた。漏油箇所の確認は巡視点検の重要事項であるため, 漏油処置が認められた3つの場所(図3の地点A~C)に焦点を当て, 両者の注視行動を比較した。

3.4.1 地点A

地点Aでは, 変圧器上部のトップカバーに油滴があり, 床面にウエスが敷かれていた。図4, 5は, それぞれ地点Aの上方の変圧器本体と, 下方のウエス付近の静止画に, 熟練者と若手の注視点をプロットしたものである*4。図中の紫の円は熟練者の注視点を, 緑の円は若手の注視点を表す。また, 円の中心の数字は注視順序を, 円の大きさは注視時間の長さを表す。これらの図から, 若手は, 注視時間からも示された通り, 床に敷かれたウエスを主に注視したのに対し, 熟練者は上部の本体トップカバー辺りを注視したことがわかる。

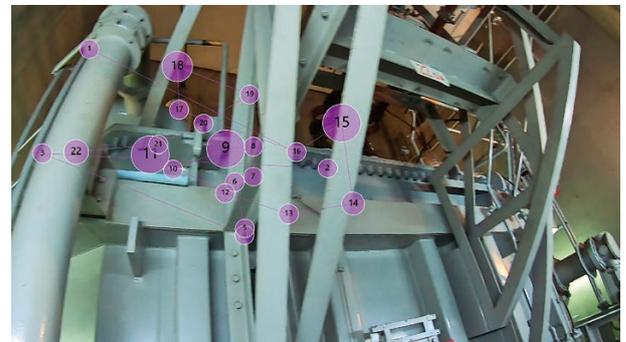


図4 地点A上部の注視点分布



図5 地点A下部の注視点分布

*4 熟練者と若手の注視点を同時にプロットするために, ビデオ映像から静止画を作成した。これらの図中の注視点は注視対象を表しているが, 背景画像は, 実際の点検時の視野画像とは必ずしも一致しないことに注意を要する。

3.4.2 地点B

地点Bの床面には、採油箇所の下に油のついたウエスが置かれていた。図6、7はそれぞれ地点Bの上方の変圧器本体および下方の地点B周辺の静止画に、両者の注視点をプロットしたものである。これらの図から、若手は、注視時間からも示された通り、採油箇所およびその付近の床面のウエスを注視していたが、熟練者は採油箇所付近にはあまり注視せず、変圧器本体上部を注視する傾向にあったことがわかる。

3.4.3 地点C

地点Cでは、変圧器本体への漏油の影響を防止するために本体上部から床面に設置した漏油バケツに油を誘導するためのホースが仮設されていた。図8、9は、それぞれ地点Cの上方の変圧器本体、下方の漏油バケツ付近の静止画に両者の注視点をプロットしたものである。図9からは、前述の注視時間が示した通り、若手は漏油バケツをよく注視したが、熟練者は漏油バケツにはあまり注視しなかったことがわかる。また、図8において当該箇所の上部の注視点を比較すると、若手の主な注視対象は碍子の上部

や油受けの漏斗であるが、熟練者はそれらに加えて漏油がみられる本体トップカバーにも注視していたことが見て取れる。

以上のことから、3地点のいずれにおいても、熟練者は変圧器本体の上方に、若手は下方に注意を向けていたといえる。調査者への解説巡視時に、熟練者は、2TrBでは漏油が懸案事項になっていたことや採油箇所下の油汚れが本体トップカバーからの漏油によるものと認識していることに言及していた。

4. まとめ

変圧器の外観点検時の注視行動を中心に、熟練者と若手の比較を行った。その結果、油面曲線および電力ケーブルは、1TrBと2TrBに共通して、熟練者に特徴的な注視対象であることが示された。油面曲線は、変動する油温と照らして油面計の値が正常範囲内にあるかどうかを判断するために用いられるが、本調査で対象とした外観点検の現在のマニュアルでは現地での判断は求められていない。そのため若手は油面曲線を注視しなかったと考えられるが、熟練者はそれにもかかわらず一定の時間をかけ、油面が正常範囲内であるかを現地でも確認していた。また、電力ケーブルは、変圧器本体とは反対



図6 地点B上部の注視点分布

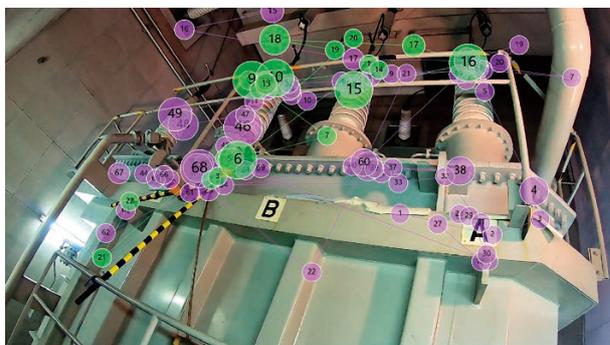


図8 地点C上部の注視点分布



図7 地点B下部の注視点分布

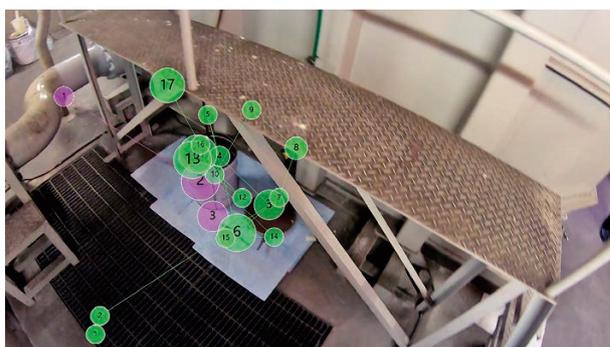


図9 地点C下部の注視点分布

側の壁面に設置されており、巡視表でも変圧器本体とは独立した項目となっているが、熟練者は一定の時間をかけて確認を行った。本調査では、点検範囲を明確には教示しなかったため、熟練者と若手とでそれぞれ異なる点検範囲を設定した可能性がある。すなわち、同じ「変圧器の巡視」という教示から想起された点検範囲は、熟練者のほうが若手よりも広がったと考えられる。その背景には、経験による差だけでなく、巡視業務に求められる点検内容が世代間で変化していることも影響しているかもしれない。

漏油処置が行われていた3箇所での注視行動からは、同じ場所であっても、熟練者と若手で注意に向けた対象が異なっていたことが示された。若手は床面のウエスや漏油バケツなど、どちらかといえば漏油の終点といえる箇所に注意を向け、熟練者は本体上部の、より漏油の源に近い箇所に注意を向けていた。一つには、漏油箇所に関する事前の知識の有無が影響したと考えられる。本調査では模擬巡視であったため、懸案事項などの事前情報について特に教示しなかったが、事前情報の活用における熟練者と若手の比較にあたっては、今後、情報量自体は統制する必要があると考える。他方、若手は漏油の存在を示すウエスなどに気づいても、熟練者のように本体上部に注意を向けなかったことに着目すると、例えば外観点検で漏油をどこまでどのように見るべきかという考え方などに何らかの違いがあるのではないかと思われる。

このような油面曲線の現地での確認や、電力ケーブルも含めた点検、漏油のより源となる箇所への注意といった事柄は、本調査における熟練者が、「変圧器」を変圧器本体だけではなく、電力ケーブルなど周辺の設備を含めたシステムとしてとらえようとしていた可能性をも示しているように思われる。先行研究（松井・小村，2008）では、巡視点検で異常をよく検知する巡視者が設備の構造に関する知識を重視していることが指摘されており、視覚に焦点を当てた熟練者の技能抽出においても、そのような高次の認知技能を考慮する必要があると考える。

本研究では、調査対象者は熟練者と若手1名ずつをであったが、両者の間には多くの違いが認められた。今後は、より多くの巡視者を対象とし、視覚以外の感覚の利用も含めて、このような違いが共通して見いだされるか、また熟練者の技能の反映といえるかどうかについて、明らかにしていく必要がある。

引用文献

- 松井裕子・小村広司（2008）. 変電所における不具合発見事例からみた巡視点検技能 INSS Journal, 15, 34-41.
- 松島正起・角濱春美（2020）. 看護観察における注視と認知に関する文献検討 日本看護技術学会誌, 19, 14-22.
- 森和夫（2005）. 技術・技能伝承ハンドブック JIPMソリューション.
- 塚尾茂之（2006）. 五感を活かした変電設備の巡視点検〈第1回〉電気現場技術2006年10月号, 46-48.
- 中部電力（2020）「ドローン×AI」による電力設備巡視・点検業務の効率化・取り組み紹介 [https:// www.chuden.co.jp/seicho_kaihatsu/kaihatsu/seika/seika_05.html](https://www.chuden.co.jp/seicho_kaihatsu/kaihatsu/seika/seika_05.html)（2020年6月19日閲覧）.
- 海野邦昭（1999）. 次世代への高度熟練技能の継承 アグネ承風社.