

## 動画をを用いた危険予知トレーニングシステム

## — 視線特徴から見たベテランのリスク認知の特徴

## Risk recognition training system on movie

## - Characteristics of risk recognition from experts' gaze

藤田 裕司<sup>†</sup>

Yuji Fujita

中村 潤<sup>‡</sup>

Jun Nakamura

久代紀之<sup>†</sup>

Kushiro Noriyuki

## 1. はじめに

工事現場や製造現場で働く人は、事故や怪我を未然に防ぐために安全教育を受ける必要がある。多くの企業は、安全教育として KYT (Kiken Yochi Training) [1] を導入している。KYT はある作業風景のイラストを見せ、イラスト中に潜んでいるリスクを指摘しあうという方法で行う。しかしイラストはその性質上、動的な表現や独立した複数の作業の表現が難しい。このため、イラストは恣意的な図になってしまい、トレーニングの効果が期待できないという問題がある。

本研究では、イラストでは表現できない動的な複数の作業を表現するために、動画をを用いた危険予知トレーニングシステムの開発を行う。動画には、実際の作業風景を撮影したものをを用いる。そして、現場で働くベテランと新人の労働者に同じ動画を見せ、動画を見ているときの視線の動きや、労働者へのインタビューを通してリスク認知の方法や過程の違いを発見する。このように視線から特徴の違いを分析する研究は多くなされている [2][3]。このため、リスク認知においても、視線から特徴を分析することは可能であると考える。

## 2. 危険予知トレーニングシステム

危険予知トレーニングのために、作業風景の動画からリスク認知をする際の視線を検出し、分析を行うシステムを構築した。システムを構成する要素として視線検出ツールと視線の可視化がある。ベテランと新人に作業風景の動画を視線検出ツール上で表示する。動画を見ながら作業風景に潜むリスクに関し、気づいた点をその都度発言してもらおう。これによって、視線のデータからではわからない、「なぜ、その場所に注目するのか」といった情報を収集することができる。また労働者自身も発言することによって、普段無意識に行っていたリスク認知を再確認することができる。また、発言内容はモーションセンサーによって録画・録音する。検出された視線を画像や動画上に可視化したものとモーションセンサーにより記録された発話データを用いて、ベテランと新人にインタビューを行う。視線分析とインタビュー結果よりベテランと新人のリスク認知を行う際の特徴を抽出する。

## 2.1.1 視線検出ツール

本研究は、労働者リスクを認識の手順を視線から分析する。視線を検出するために、視線検出ツールを開発した。視線計測機器として、Eye Tribe Tracker[4] を用いる。この視線計測機器は、視線を (x, y) の形で出力する。

このツールの構成を以下の図 1 に示す。このツールの機能は下記の 2 つである。

- 視線を検出と csv 形式での座標保存
- リスク認知のための動画や画像の表

また、このツールの一部に、モーションセンサーとして kinect[5] を用いる。これによって、動画や画像を見ている労働者の視線と同時に発話や動作を録画し、視線データとともに分析に用いる。

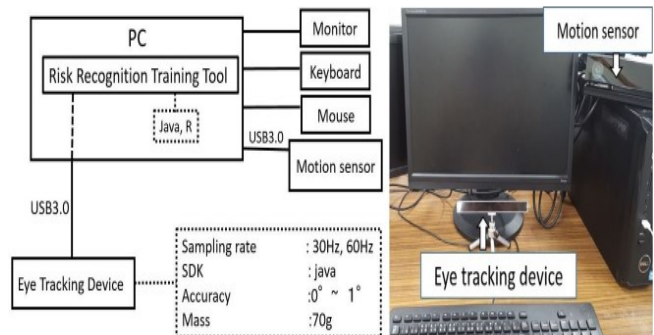


図 1 視線検出ツールの構成

## 2.1.2 視線検出ツールの性能評価

視線検出ツールの精度や確度を評価するための実験を行った。学生 6 名を対象にディスプレイ上に設置した 21 個赤点のうち 11 個を見てもらい、視線検出ツールによって検出された視線の座標とディスプレイ上の点の座標を比較し評価した。結果を図 2 に示す。

図 2 の左は、学生 1 名から検出された視線を可視化したものである。図 2 の右は、学生 6 名分の視線の座標の標準偏差と平均値と赤点の平均誤差である。平均誤差は 6 名とも 100 ピクセル以内になっている。これによって、本研究で用いるツールの性能としては十分であると判断した。

しかし、度数の強い眼鏡や、目の大きさによっては精度が悪くなる (学生 B と E) ことが確認された。また、ツール使用前のキャリブレーションがうまくいかず、精度が落

<sup>†</sup>九州工業大学情報工学部, Kyusyu Institute of Technology

<sup>‡</sup>芝浦工業大学, Shibaura Institute of Technology

ちることもあったが、この場合、何度か訓練を行うことで精度は上昇することが分かった。

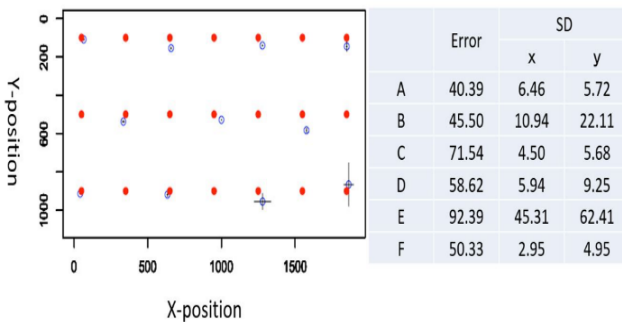


図2 評価結果

## 2.2 視線の可視化

視線検出ツールによって保存された視線の座標を可視化することで分析を行う。本研究では、3種類の可視化方法を用いる。

### 2.2.1 視線座標のプロット表示

保存した視線の座標を画像上に赤点で可視化する。これによって被験者が見た場所を分析することができる(図3左)。

### 2.2.2 ヒートマップの表示

視線の密度をヒートマップで可視化する。密度が高くなるほど赤色で表示する(図3右)。これによって被験者が注視した点を分析することができる。



図3 視線の可視化方法

(右: 視線のプロット 左: ヒートマップ)

### 2.2.3 視線の軌跡の表示

1フレームごとに一つの座標をプロットし、それを重ねて連続した動画にすることで視線の軌跡を表現する。これによって、被験者の視線の移動を分析することができる。

## 3. リスク認識実験

リスク認識システムを用いて、リスク認識の実験を行った。目的としては、ベテラン労働者と新人労働者がリスク認識を行う際の特徴が、リスク認識システムによって、分析できるかを評価することである。

## 3.1 実験準備

実験の被験者は、実際に現場で働くベテラン労働者4名と新人労働者の代わりに学生3名とした。

また今回イラストの代わりに用いる動画として1~2分の動画を3種類準備した。

表1に動画と被験者の詳細な設定を示す。

表1 動画と被験者の設定

Items	Contents
動画	1. パラボラアンテナ設置準備 2. パラボラアンテナ設置作業 3. 電子制御盤設置作業
被験者	ベテラン労働者4名(20年以上勤務) 新人労働者3名(学生)

## 3.2 実験手順

今回行なった実験の手順について説明する

- (1) 被験者に視線検出ツールを用いて動画を表示する。
- (2) 被験者に動画を見て気づいたことをその都度発言させる
- (3) 視線データをもとに可視化を行う
- (4) 被験者に可視化した被験者自身の視線を見ながら、着眼点についてのインタビューを行う

また、表示する動画の順番は被験者ごとに入れ替えて行なった。実際の実験風景を図4に示す。

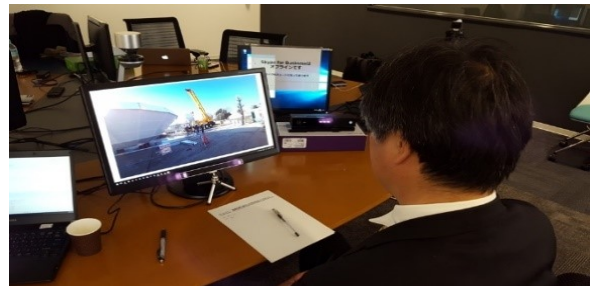


図4 実験風景

## 3.3 実験結果の分析

実験後得られた視線を可視化したデータと労働者からのインタビュー結果をもとにリスク認識を行う際の視線を分析し、ベテラン労働者と学生のリスク認識を行う際の特徴を抽出した。

### 3.3.1 工程ごとの動画の分割

実験に用いた動画を分析するための加工を行なった。今回の場合、動画1と動画2は一つの作業の中に複数の工程が存在した。

動画2のパラボラアンテナの設置作業は3つの工程(パラボラアンテナを持ち上げる工程、パラボラアンテナを固定場所に移動させる工程、パラボラアンテナを固定する工程)で作業が行われている。

動画3は2つの工程(電工パネルを梱包材から取り出す工程、電子制御盤を設置する工程)で作業が行われている。このため、動画2、動画3に関しては動画を工程ごとに分割し可視化を行なった。

### 3.3.2 動画の領域分割

ベテラン労働者へのインタビューにより新たに分かった動画内の作業内容や被験者の関心を考慮し、画面を領域ごとに区切った。そして区切られた領域の中にどれだけ視線のプロット点が入っているのかを分析し、定量的に評価した。

動画1は図4のように領域(パラボラアンテナ(領域1、2)、クレーン(領域3)、木(領域4)、作業員の移動範囲(領域5、6))を分割した。

動画2は図5のように領域(パラボラアンテナ(領域3、4、5、6)、トラックの搬入作業(領域2、4))を分割した。

動画3は図6のように領域(荷物置き場(領域1、2)、設置場所(領域3、4)、労働者作業範囲(領域3、5、6))を分割した。

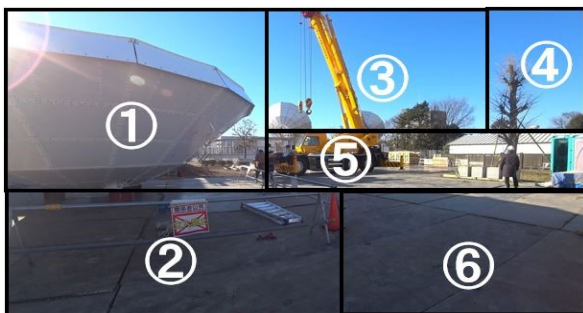


図7 動画1の分割した領域

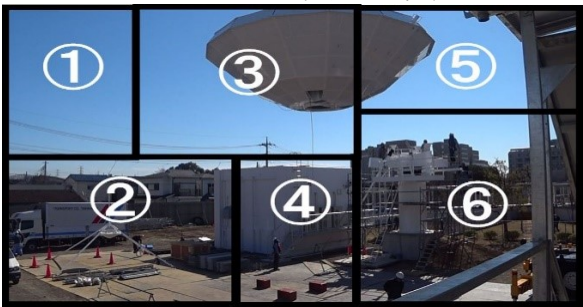


図6 動画2の分割した領域



図5 動画3の分割した領域

### 3.3.3 分析結果

動画を見たときの被験者の特徴を、被験者が注視した点をヒートマップで、また被験者が分割した画面の領域をどの程度見ているのかを、領域内のプロット数の割合を調査することで分析を行った。その結果を次章以降に記述する。

### 3.3.4 動画1の分析結果

図8は動画1におけるベテラン4名のヒートマップを合成したものと、学生3名のヒートマップを合成したものである。図8より、ベテランは学生よりも広い範囲に注目していることがわかる。特にアンテナ周辺の区画やクレーンを見ている。一方で学生は、クレーンの下部や人など狭い範囲を注視していることが分かる。

図9は被験者の分割した各領域内のプロット数の割合を示したものである。またこれはベテラン4名の平均と学生3名の平均を表している。

アンテナ設置準備作業時、ベテランはクレーンの上部付近を31%(領域3)、アンテナの周辺を6%(領域2)、木の上を6%(領域4)の割合で注目している。これは学生より注目している割合が高い。

ベテランへのインタビューにより、クレーン上部と木の上は、アンテナ設置作業を行う上で適切な風向であるかをクレーンと同じ高さにある木やクレーン上部を見ることによって確認したためである。アンテナ周辺に関しては、作業区画が整備されているかを確認したためである。



図8 動画1における被験者のヒートマップ

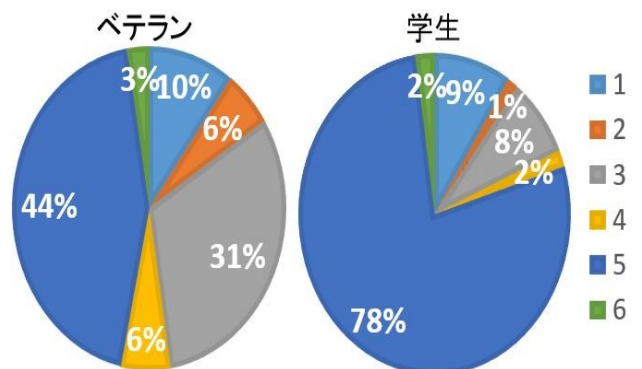


図9 動画1におけるプロット数の割合

### 3.3.5 動画2の分析結果

動画2は3つの工程からなる作業となっている。したがって動画を3分割して分析を行った。

図10はアンテナを持ち上げる作業時のヒートマップである。図10より、学生はアンテナやアンテナの下部(領域3、4)といったアンテナ周辺に注目しているのが分かる。一方、ベテランはアンテナ周辺だけではなく、アンテナが運ばれるアンテナ台(領域5、6)とアンテナの設置作業とは別の作業である荷物の搬入を行っている場所(領域2、4)にも注目していることが分かる。

図11はアンテナ持ち上げ作業時における、ベテランと学生の領域内のプロット数の割合である。図11より、アンテナの持ち上げ作業では、アンテナ台周辺33%(領域6)、荷物の搬入作業をしている場所17%(領域2)であり、学生よりも割合が高くなっている。

ベテランへのインタビューにより、領域2においては、アンテナ設置作業とは別の作業である荷物の搬入作業が同時に行われており、搬入作業をしている人が間違えてアンテナ設置作業を行っている区画へ侵入してくることがないか注意をしていたためだと考えられる。また、領域6においては、アンテナの移動先であるアンテナ台の安全確保ができていないかの確認を行っていたためである。

の狭い範囲を注目している。一方でベテランは、アンテナ台の周辺や作業区画を広い範囲で見ていることが分かる。

アンテナの移動作業では、図13より学生がアンテナ持ち上げ時のベテランのように領域6は58%と高くなっている。一方ベテランは、領域6の割合が14%上昇したものの、他の領域はアンテナ持ち上げ作業時と比べて変化が小さい。

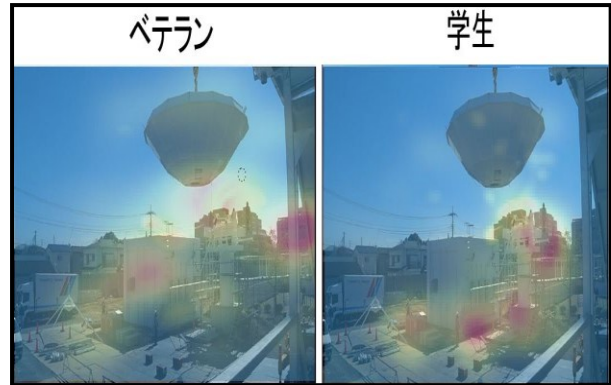


図10 動画2におけるヒートマップ (アンテナ移動時)

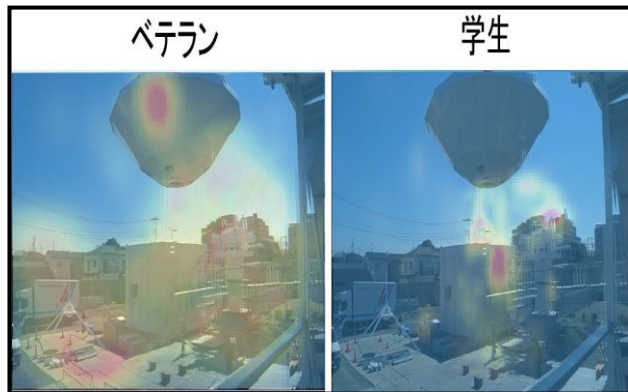


図12 動画2におけるヒートマップ (アンテナ持ち上げ作業)

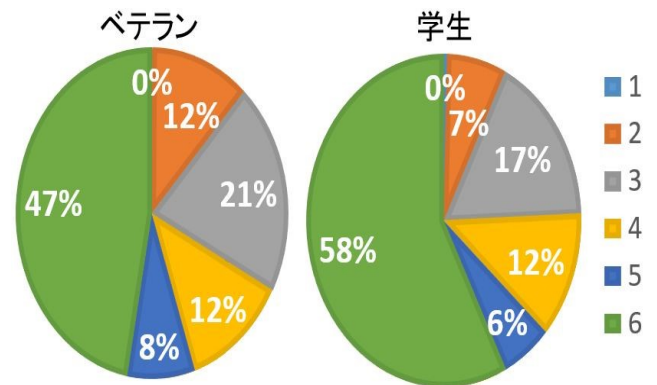


図11 動画2におけるプロット数の割合 (アンテナ移動時)

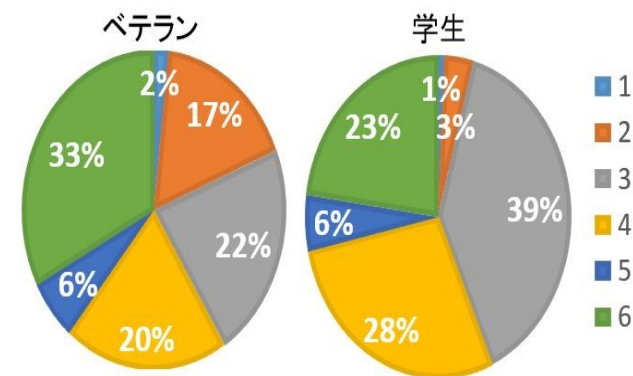


図13 動画2におけるプロット数の割合 (アンテナ持ち上げ時)

図12はアンテナをアンテナ台に移動させる作業である。図12より学生は、図10のベテラン同様にアンテナが運ばれるアンテナ台(領域5、6)に注目している。また、学生は、人が作業している場所やアンテナの設置部分など

図14はアンテナ台にアンテナを固定する作業である。図14より、学生はアンテナ台に上でアンテナの固定作業を行う労働者を特に注目していることがわかる。一方でベテランは、図11同様、学生に比べて広い範囲に注目していることが分かる。

図15より、アンテナ固定作業では、学生は領域6を見る割合が、アンテナ移動作業時より、10%上昇し、68%になった。また、この作業中、動画内での目立つ動きがある部分がアンテナ台で固定作業する人であったため、それに注目したからだと考えられる。しかし、ベテランはアンテナ移動作業時と領域6をはじめとし、ほとんどの領域で大きな割合の変化は見られなかった。



図14 動画2におけるヒートマップ  
(アンテナ固定作業)



図17 動画3におけるヒートマップ  
(電子制御盤取り出し作業)

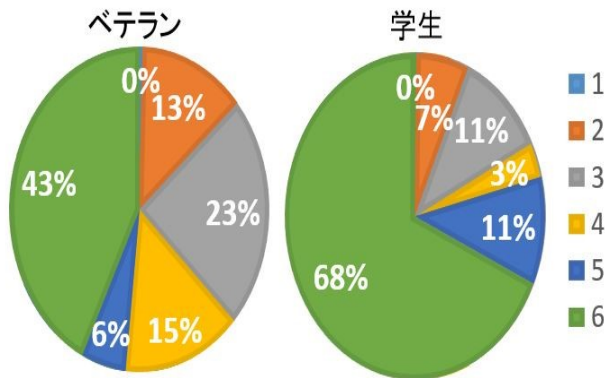


図15 動画2におけるプロット数の割合  
(アンテナ固定時)

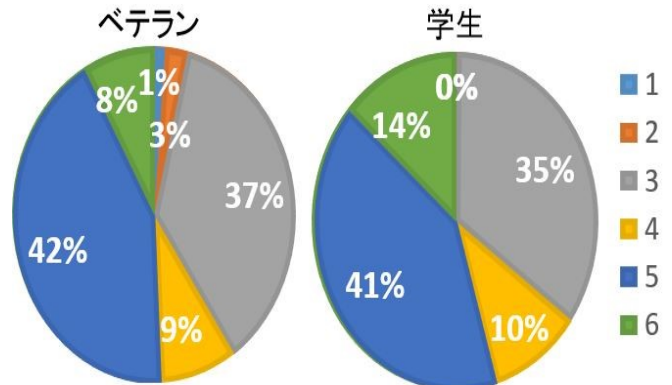


図16 動画3におけるプロット数の割合  
(電子制御盤取り出し作業)

### 3.3.6 動画3の分析結果

動画3は2つの工程からなる作業となっている。したがって、動画を2分割して分析を行った。

図17は、電子制御盤を梱包材から取り出す作業時のヒートマップである。図16より、ベテランは作業している労働者(領域3、4、5、6)を満遍なく注目している。それに加えて、並べている荷物(領域2)を注目している。一方、学生は電子制御盤を梱包材から取り出している労働者(6)を主に注目していることが分かる。

電子制御盤取り出し作業では、図17よりベテランと学生では大きな割合の違いはなく、労働者が作業をする場所(領域3、4、5、6)を80%近く注目している。しかしベテランは3パーセント荷物を置いている場所(領域2)に着目している。これはベテランへのインタビューより、これから作業する範囲に邪魔になりそうなものはないか周辺の環境を確認する過程で、荷物が整理されているかの確認を行っているからであることが分かった。

図18は、電子制御盤を設置する作業時のヒートマップである。

図18より、ベテランは設置を行う労働者(領域3、5)に注目している。学生もベテラン同様に作業を行う労働者に注目しているが、それに加えて、電子制御盤を設置する部分(領域4)を注目していることが分かる。

電子制御盤設置作業では、図19よりベテランより学生のほうが電子制御盤の設置部分(領域3)に注目する割合が71%と、電子制御盤取り出し作業時よりも高くなっている。一方でベテランは設置部分だけでなく、電子制御盤を支えている人(領域5)を注目する割合は36%となっていることが分かる。ベテランへのインタビューにより、電子制御盤は200kgあるもので、これを支える人が最も危険であるため、注目していたことが分かった。

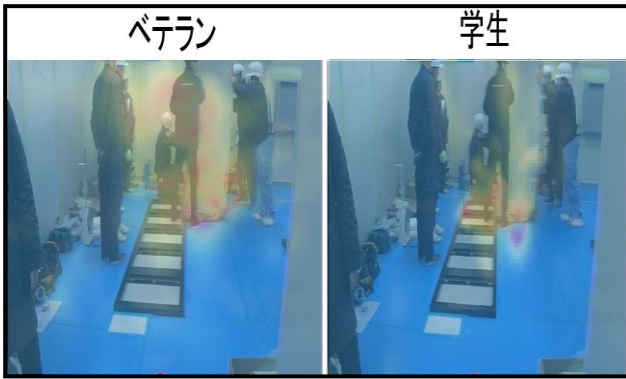


図19 動画3におけるヒートマップ  
(電子制御盤設置作業)

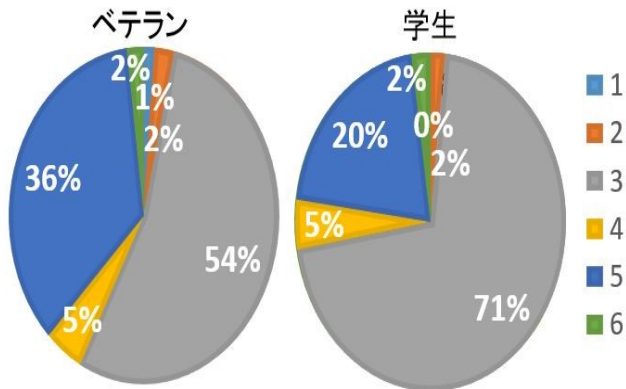


図18 動画3におけるプロット数の割合  
(電子制御盤設置作業)

### 3.4 考察

前章の実験結果と結果をもとに行ったインタビューにより、抽出されたベテランの特徴は以下の3つである。

1. 作業区画の環境が適切であるかを区画の周辺を確認することで判断している
2. 動画の初期段階で作業のシナリオを理解する
3. 作業の先読みをし、安全を確認している

1 において、アンテナ設置準備作業である動画1では、作業の初期段階で、クレーンと同じ高さにある木を見ることで、風向を確認している。また、アンテナ設置作業である動画2では、アンテナ作業区画の周辺を見ることで、別の作業の存在を確認している。電子制御盤設置作業である動画3でも同様に、置かれている荷物を確認し十分な作業範囲が確保されているか、周辺を見ることで確認するという特徴が抽出された。

2 において、アンテナ設置準備作業である動画1では、天候や人の動きを見ることでアンテナ設置前の準備作業で、ミーティングを行っていることを把握していた。アンテナ設置作業である動画2では、周辺をみて周囲の環境を把握すると同時に荷物の搬入作業が裏で行われていることに気付いていた。そのため、搬入作業を行っている人が誤ってアンテナの設置作業の区画に侵入してくることが内容に注目していた。

3 において、アンテナ設置作業である動画2では、作業のシナリオを理解したうえで、アンテナが動いている場所だけでなく、アンテナの進行方向や設置場所を先に着目し、安全確認を行っていた。以上が今回の実験で抽出されたベテランの特徴である。

一方学生の場合は、どの動画においても、動いている者や労働者を追っていくという特徴が発見された。

### 4. まとめ

本研究では動画を用いた危険予知トレーニングシステムの開発を行った。イラストを使う従来のKYTと異なり、このシステムは動画を用いることで、実際の作業現場に近い環境でトレーニングを行う。

本システムによって可視化されたリスク認識を行う際の視線を見ながら、ベテランはリスク認識の方法や過程を言語として説明することができた。これにより、ベテランに共通するリスク認識の特徴を発見することができた。しかし、電子制御盤を設置する作業である動画3のような狭い範囲での作業では、広い範囲の作業動画と比べて人や物の移動量が多い。このため、本システムによる作業領域で分割する分析方法では、ベテランと学生の間で決定的な差異を発見することが困難であることが分かった。狭い作業範囲でも差異を分析する方法を考える必要がある。

### 5. 今後の展望

今後は、分析したリスク認識の特徴をいかし、新人教育の支援を行う。方法としては、ベテランの視線を可視化した動画と新人の視線を可視化した動画を比較し、新人自身にベテランとの違いを見て、ベテランの視線の根拠を考えてもらう。答えられない場合は、答えを提示する。このように、ベテランの知識を新人に伝搬していくという方法を考えている。またこれは一つのツール上で行うことを想定しているため、教育支援ツールの開発をしていく。

### 謝辞

本研究の一部は、科研費 15K00319、15K00319、CREST JPMJCR1304 の助成を受けたものです。

### 参考文献

- [1] <http://www.jisha.or.jp/zerosai/kyt/index.html>
- [2] Y. Horiguchi, "Comparison of Train Drivers' Eye-Gaze Movement Patterns Using Sequence Alignment", SICE Journal of Control, Measurement, and System Integration, Vol. 8, No. 2, pp. 114-121, March 2015.
- [3] Z. Zhang, "A Classification Method between Novice and Experienced Drivers Using Eye Tracking Data and Gaussian Process Classifier", SICE Annual Conference 2015 July 28-30, 2015, Hangzhou, China
- [4] <https://s3.eu-central-1.amazonaws.com/theeyetribe.com/theeyetribe.com/index.html>
- [5] <http://www.xbox.com/ja-JP/xbox-one/accessories/kinect>