

アイトラッカを用いた広視野角目視検査訓練システムの提案

佐藤 弥由^{*1} 松延 拓生^{*2} 満田 成紀^{*2} 鯨坂 恒夫^{*2}

Proposal of a training system for visual inspection with wide-viewing-angle using eyetracker

Miyu Sato^{*1}, Takuo Matsunobe^{*2}, Naruki Mitsuda^{*2} and Tsuneo Ajisaka^{*2}

Abstract – The training system using a eye tracker for a visual inspection method (wide viewing angle) is developed in this paper. Investigate the effect of differences of view on the defect detection, the developed system based on that evaluated.

Keywords : visual inspection, eye tracker, peripheral vision, training system, wide viewing angle

1. はじめに

工場などの生産現場では、顧客に対する品質保証のため、外観検査を行い見た目に問題がある製品の流出を防いでいる。外観検査の方法として、人の目で確認し欠点の検出・判断を行う目視検査がある。訓練方法としては、マニュアルや限度見本を用いて知識の習得を行う方法が一般的である。一方で、熟練した検査者の見方には長年の経験や勘に基づくことが多く、明示化して教えることが難しい。そのため、見方の習得には習熟に頼る部分が大きく、具体的な訓練方法は確立されていないのが現状である。

本研究では、目視検査者の眼球運動を調査し、検査品質・効率に影響を及ぼす要因を把握した。その結果をもとに、アイトラッカを用いた訓練システムを作成し、見方にそった訓練方法を提案した。なお、要因の調査は広視野角で行う目視検査を対象として行い、訓練内容もそれに準じたものにした。

2. 関連研究

人間がもつ視覚機能を利用した見方として、佐々木は周辺視目視検査法を提案している^[1]。これは、見ている先に焦点を合わせて欠点を探す(中心視)のではなく、視野全体を見渡す(周辺視)ことで違和感として欠点を検出するものである。また実際の検査現場でも、生産性の増加と見逃し率の減少に効果があったと実証されている^[2]。一方で、広い面積の製品でも同様に対応できるかについては、いまだ検証が不十分である。

周辺視目視検査法を習得するための訓練方法として、中嶋らはコンピュータを用いた訓練システムを提案している^[3]。このシステムは、見方を3つの要素(周辺

表1 被験者属性と検査歴

Table 1 subjects attribute and average months of career

被験者番号	属性	検査歴
8	初心者	0ヶ月
7		2ヶ月
3		10ヶ月
5		10ヶ月
11		10ヶ月
1	経験者	1年
2		2年6ヶ月
4		2年6ヶ月
6	熟練者	5年
10		6年
9		6年6ヶ月
12		8年

視・瞬間視・衝動性眼球運動)に分けて個別に訓練した後、それらを組み合わせた訓練を行うものである。また今後の課題として、アイカメラを用いた視線変化の分析、および検査現場での適用があげられている。

3. 目視検査における検査員の眼球運動把握実験

本研究では、広視野角を対象とした目視検査訓練システムを作成する。まず、視線データに対する結果の提示方法を検討した。訓練者が自分の見方に対し、どの部分をどう改善すればいいのか把握できるようにする必要がある。そこで、実験により目視検査者の視線の動きを計測し、検査品質・効率に影響を及ぼす見方の要因について分析を行った。

3.1 検査対象について

検査対象は不織布であり、幅1100～1350[mm]のものを目視検査で取り扱う。本実験では、不織布1ロール分である150[m]の目視検査を対象とし、約20時間の検査作業の中での計測を行った。

3.2 被験者の選定

被験者は、目視検査作業の経験を有し、両目の視力(矯正あり)が0.8以上の検査者を対象とした。選定は

*1: 和歌山大学大学院 システム工学研究科

*2: 和歌山大学 システム工学部

*1: Graduate School of Systems Engineering, Wakayama University

*2: Faculty of Systems Engineering, Wakayama University

事前アンケートをもとに行い、初心者(検査歴1年未満)、経験者(検査歴1年～2年6ヶ月)、熟練者(検査歴5年以上)より属性を分類した。被験者12名の属性と検査歴は表の通りである(表1)。被験者には、ヒューマンインタフェース研究開発のための倫理指針に基づき実験内容について十分な説明を行い、書面にて同意を得てから実験を行った。

3.3 実験方法

手順として、被験者にはまず実験概要を説明し、ヘッドマウント型アイトラッカの装着とキャリブレーションを行った。その後、20分間普段通りに検査をしてもらい、終了後に簡単なヒアリングを行った。

検査現場での事前調査より、検査員の特徴として、想定よりも頭部を大きく動かして検査していることが判明した。非接触タイプのアイトラッカを用いる場合、頭部の動きを制限する必要があるため、本実験では検査の妨げとなる可能性が大きい。また、アイトラッカは眼球より下に設置する必要があるが、その設置スペースの確保が難しいことがわかった。以上をふまえ、視線計測にはヘッドマウント型アイトラッカであるナックイメージテクノロジー社製 EMR-8B を使用することにした。また、目視検査対象が広視野角であることより、アイトラッカのレンズは水平視野角 $115[^\circ]$ のものを使用した。

3.4 実験環境

事前調査を行った結果、蛍光灯は検査対象に対して真上に設置されており、検査対象の照度は $800\sim 1000[\text{lux}]$ であった。

3.5 分析項目

実験から得られた視線データを分析するにあたって、検査者の視線の動きを参考に、見方の差異が出そうな要素を検討した。その結果、以下のような要因が考えられた。

- ・ 停留点間の移動距離
- ・ 視線の移動周期(移動経路と時間)
- ・ 停留点の数(視線の移動距離と停留回数)
- ・ テンポの速さ(視線が移動するテンポ)

本研究では、検査者の視線分析として、これら4つに対する分析を行うこととした。「視線の移動距離」および「視線の移動周期」は、視線の移動範囲をタイプごとに分類することで検討した。「停留点の数」は、20分間の検査における総停留回数を比較し、検査歴との相関を確かめた。「テンポの速さ」は、一回の停留にかかる時間と視線の移動速度を調べ、それぞれに対して分析を行った。なお、視線データを分析するための手段として、アイマークデータ解析ソフトウェア EMR-dFactory を使用した。



図1 設定画面
Fig.1 Setting dialog

3.6 分析結果と考察

検査歴の長い検査者ほど以下のような傾向が見られた。

- ・ 欠点の検出率は高くなる(相関係数: $r=0.657$)
- ・ 停留回数は多くなる($r=0.766$)
- ・ 平均停留時間は短くなる($r=0.698$)

以上より、検査歴が長くなるにつれて一回の停留時間は短く、停留回数は多くなる傾向にあることがわかった。また、見方の違いや停留点間の移動速度による検査歴ごとの有意差はみられなかった(見方別の有意差: $p=0.283$, 移送速度の相関係数: $r=0.377$)。以上より、検査品質・効率の向上に対し、停留時間および停留回数を訓練することが有効ではないかと考えた。そこで本研究では、停留時間の短縮と停留回数の増加を訓練目的として設定し、訓練システムの検討および作成を行った。

4. アイトラッカを用いた目視検査訓練システムの提案

システムの大まかな流れとして、訓練内容の設定・訓練・結果表示の順に遷移する。訓練者は、設定画面(図1)より訓練内容の詳細を決定し、訓練画面(図2)にて訓練を実施する。訓練内容は、表示されるパターンのなかから、エラー(欠点)を探す訓練システムであり、実際の検査環境にそったものとした。結果表示画面(図3, 4)では、訓練成績や停留データ、欠点出現位置といった訓練結果を提示する。それぞれの画面構成及び構成内容を以下に示す。

4.1 設定画面

まず解像度計測画面より、訓練時に使用するディスプレイの解像度を取得する。方法としては、長方形の横幅が実測 $5[\text{cm}]$ の長さになるようにスライドバーで



図2 訓練システムの画面遷移
Fig.2 Transition of training dialog

調整し、その際対応するドット数を求めて計算を行う。実測後、OK ボタンを押すことで設定画面に移行する。

設定画面では、訓練時間・出現する欠点の大きさおよびコントラスト・出現率の設定を行う。設定は全て一画面で行うものとし、それぞれの項目に対して選択肢のいずれか一つにチェックを入れる。

訓練時間は5分・10分・15分・20分の4つから選択する。欠点の大きさ・コントラストは大・中・小の3つから選択することができ、大きくなるほど難易度が易しくなる。欠点の出現率は多・並・少から選択する。具体的な頻度として、多は5分に1回、並は2分半に1回、少は1分に1回とした。また出現時間は、選択項目に対応した頻度の範囲からランダムで決定するものとした。

全ての項目を選択した後「決定」を押すとそれらの設定内容に合った訓練が開始される。

4.2 訓練画面

訓練画面(図2)では、上から流れてくる画像を眺め、パターンにそぐわない欠点の検出および判別を行う。訓練画面の背景はRGB(220:220:220)とし、検査対象の移動状態は黒線によって表現した。

訓練中、訓練画面上で左クリックをすると画面が一時停止しダイアログが表示される。欠点を判別した場合には「OK」を押すことで、システムに欠点の確認が記録される。「キャンセル」を押した場合、欠点の確認は記録されずに訓練が再開する。なお、一時停止中の時間は訓練時間に含まないものとした。

指定した訓練時間になると、画面が停止し訓練の終了を知らせるダイアログが表示される。

4.3 結果提示画面

訓練終了後、訓練成績と訓練者の視線データをもとに、まず検出率と出現した欠点の正誤一覧を検出成績

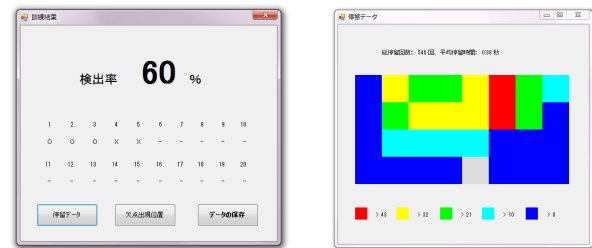


図3 左:検出結果表示画面, 右:停留データ表示画面

Fig.3 Detection rate window (left) and eye fixation duration window(right)



図4 欠点出現位置表示画面 (左:検出できた位置, 右:見逃した位置)

Fig.4 Detection position window (Success:left, Failure:right)

表示画面にて提示する(図3:左)。この画面より、停留データ表示画面(図3:右)と欠点出現位置表示画面(図4)を確認することができる。「データの保存」では、設定内容や訓練結果をCSV形式で保存する。

結果提示によるねらいは、訓練者が現在の力量を把握し、以降の訓練における改善点を見出すことである。それぞれの手段として、力量の把握では検出成績を表示することで対応した。また、見方における改善点の把握手段として、本研究では停留データと欠点出現位置の表示を行った。

4.3.1 停留データ表示画面

訓練時の総停留回数と平均停留時間を表示する。また、訓練画面を縦横で4×8の格子状に領域分割し、領域別に停留があった回数を色で表示する。停留回数は5段階に色分けし、規定値以上の停留があった場合、その領域を対応した色で塗りつぶす。

規定値の決定基準としては、以下のように指定した。

- ・赤色 : {(総停留回数)/50}*4回以上
- ・黄色 : {(総停留回数)/50}*3回以上
- ・黄緑色 : {(総停留回数)/50}*2回以上
- ・水色 : (総停留回数)/50回以上
- ・青色 : 0回以上

停留データの提示のねらいは、訓練者が現在の自分の見方について把握することである。また停留領域を表示し、注視できていない部分に対する意識を向けさせることである。

4.3.2 欠点出現位置表示画面

訓練中に出現(画面上を通過)した欠点の位置を表示する。「検出できた欠点」では検出した際の欠点出現位置を赤線で、「見逃した欠点」では検出しなかった欠点の出現位置を青線で示す。背景に対してコントラストの濃い欠点の場合は実線で、薄い欠点の場合は点線で表示する。欠点出現位置の提示のねらいは、検出できなかった欠点がどの位置に出現したかを訓練者が把握することである。また以降の訓練において、見逃した位置へ意識を向けさせるとともに、停留データで把握した注視できていない部分と合わせ見方の改善を促す。

5. システム評価と考案

作成した訓練システムの有用性を確かめるため、システム評価を行った。訓練システムに視線情報を反映したことにより、訓練成績がどのように変化したかを確かめた。また、訓練結果の提示内容が、訓練者にとって見方の改善点を把握するのに妥当かどうかを確認する必要がある。そこで評価実験を行い、訓練回数や結果の提示による違いが訓練成績にどう影響しているかを調べた。

5.1 実験目的と概要

本実験の目的は、訓練システムを用いた訓練により、訓練成績がどう変化したかを検証することである。また結果の提示内容により、停留時間および停留回数に変動があったかを確認する。

被験者は目視検査作業の経験がなく、視距離500[mm]でのディスプレイ上の作業に支障が出ない視力を持つ大学生(20~22歳)を対象とし、計6名の視線データを計測した。訓練内容や訓練回数、結果の提示内容を変えることにより、訓練者の検出率や見方にどのような違いが現れたかを調べた。また実験結果をもとに、訓練結果の提示方法について再検討した。

5.2 実験環境

実験室は室温20[°C]を維持するようにした。また、本訓練システムの有用性を検証するにあたって、ディスプレイのインチ数は27(解像度:2560×1440)とした。外光の反射や画面のちらつきによる支障が出ないよう、応答速度は5[ms]でフリッカーフリー、ノンブレア液晶のもの(BenQ XL2730Z)を使用した。訓練時は、被験者とディスプレイとの距離が500[mm]になるよう配置し、ディスプレイの角度は机に対して垂直とした(図5)。



図5 実験環境

Fig. 5 Experiment environment

5.3 実験内容

訓練結果を一部提示するグループ3名(以後、Aグループとする)と全て提示するグループ3名(以後、Bグループとする)にて、評価実験を行った。被験者には、ヒューマンインタフェース研究開発のための倫理指針に基づき実験内容について十分な説明を行い、書面にて同意を得てから実験を行った。

その後、実験内容の詳細を説明し、キャリブレーションによる視線位置の調整を行った。実験準備より被験者ごとに設定内容を調整してから、5分間の訓練を繰り返し5回行った。その際、Bグループは訓練終了ごとに検出成績・停留データ・欠点出現位置の結果を提示し、簡単なヒアリングを行った。Aグループは検出成績の提示およびヒアリングのみとし、停留データ・欠点出現位置は提示しなかった。ヒアリングが終わった後、被験者は疲労に応じて任意で休憩をとれるものとした。なお、訓練終了から再開時において、全てにかかる最大時間は5分までとした。

実験終了後、被験者ごとの検出率および平均停留時間・総停留回数を試行回数別にまとめ、訓練前後で差異があるかを確かめた。また、AグループとBグループの訓練結果を比較し、結果提示内容が訓練成績の向上に有効であるかを検証した。

5.4 実験結果

5.4.1 眼球運動の分析結果

それぞれにおける検出率・総停留回数・平均停留時間の推移をグラフとし、図6, 7, 8に示す。なおB1のみ、試行回数を4回までとしている。その結果、提示内容の違いによる訓練成績の差異はみられなかった。要因として、以下の点が考えられた。

- ・慣れない訓練内容による視覚的疲労
- ・被験者の見方が定着するのに、訓練時間や試行回数が足りていなかった
- ・見方の特性を考慮しないままグループの割り振りを行っていた

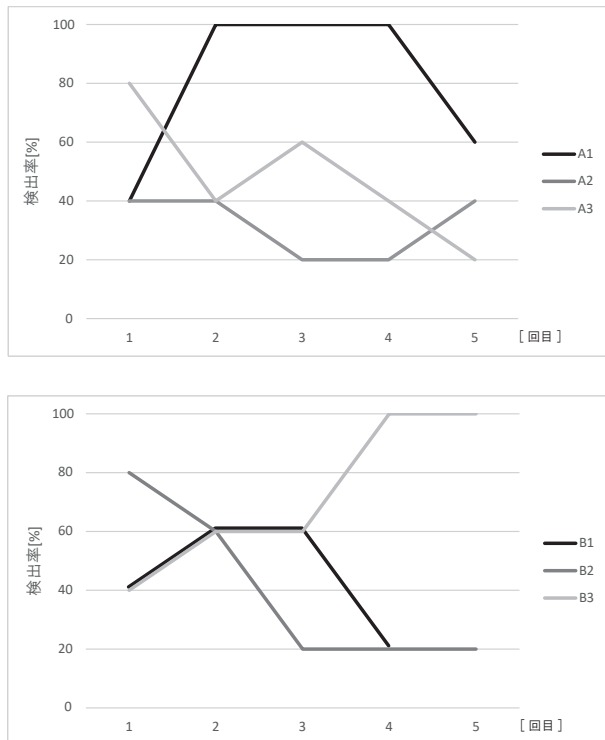


図6 試行回数ごとの検出率 (上：提示なし，下：提示あり)

Fig.6 Graph of detection rate by trial

・どの程度の訓練により，提示内容の違いによる差異の有無が明らかになるのか調査していなかった

5.4.2 ヒアリングによる提示内容の効果確認

訓練終了ごとに，被験者に「次の訓練では，どう欠点を探そうと思うか」といったヒアリングを行った．

Bグループではヒアリングに対し，“停留回数の少なかった領域を補うように見方を改善する”といった回答が多く得られた．また，前回の成績と比較して見方を変えてみたり，欠点の見逃していた部分を重点的に見たりなど積極的に改善しようとする姿勢が見られた．これは訓練システムの提示結果によって，自分の見方の特徴を把握することができたからであると考えられる．

一方で，AグループではBグループに比べ「特になし」と答えた回答が40%も多いという結果になった．なお，「特になし」は訓練後のヒアリングに対し，「見方をどう改善すればいいかわからない」および「見方に関して特に気づいた点はない」などの回答も含む．また見方を変えてはみるものの，本当にこの見方が有効なのかかわからないといった意見もあがった．これは自分の見方の特徴が把握できないため，どの部分を改善すれば訓練成績の向上に繋がるのかがわからなかったからであると考えられる．

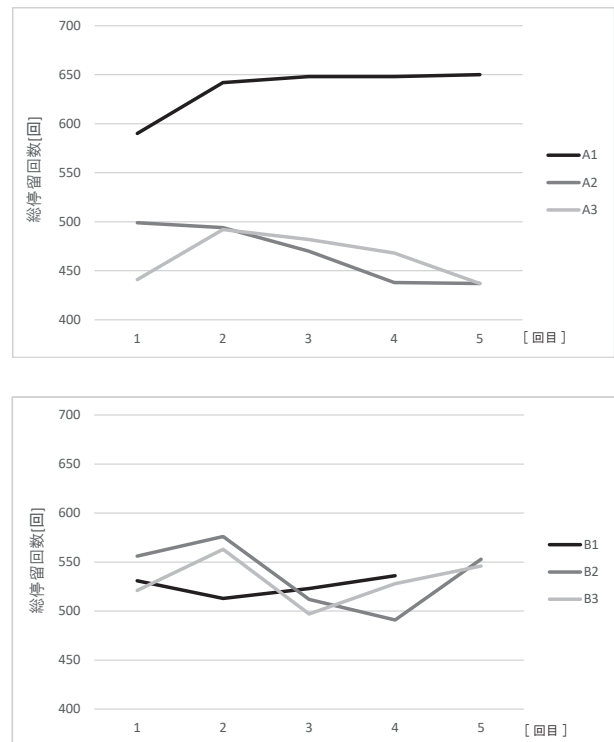


図7 試行回数ごとの総停留回数 (上：提示なし，下：提示あり)

Fig.7 Graph of Accumulated frequency of eye fixation

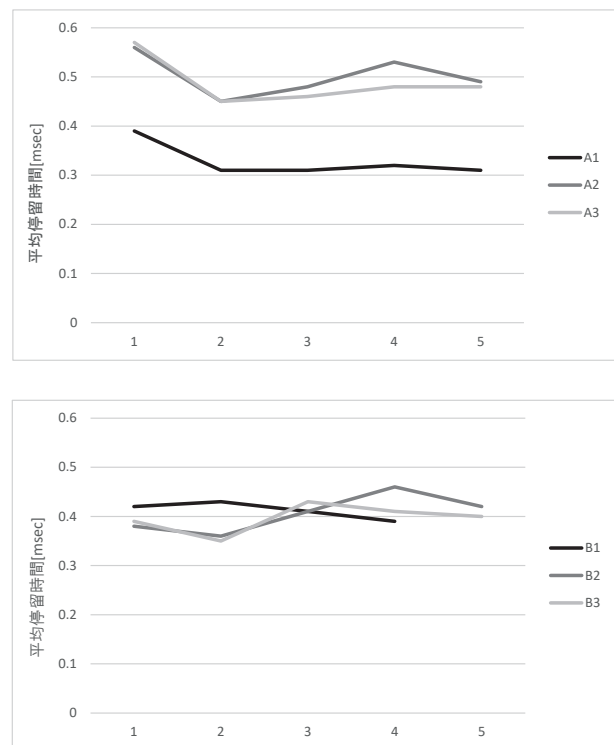


図8 試行回数ごとの平均停留時間 (上：提示なし，下：提示あり)

Fig.8 Graph of frequency of eye fixation

以上より、欠点に対する見方を模索する点において、停留データと欠点出現位置の提示は有効であったと考えられる。

5.5 結果提示における機能案

実験後のヒアリングにおいて、「どのような結果提示があれば、見方の改善がしやすいか」といった質問を行った。その結果、以下のような回答が得られた。

- ・欠点を見逃したときに、どこを見ていたかわかるといい
- ・どの部分で欠点を見つけているのか傾向を教えて欲しい
- ・見つけられなかった欠点の種類を教えてほしい (A グループ被験者回答)

3 点目については既に実装済みだが、その他の機能も有効であるため、これらの機能を訓練システムに取り入れることが今後の課題としてあげられる。また B グループの被験者より、「どう視線を動かしているのか、軌跡を確認できたらより改善しやすい」という意見があった。これに対する解決策として、訓練時の動画とともに、訓練者の注視位置を表示した視線のリプレイ機能があると、より見方の特徴が把握しやすいと考えられる。

6. おわりに

本研究では、広視野角で行う目視検査を対象とし、アイトラッカを用いた訓練システムの提案を行った。まず、実際の目視検査現場での実験を行い、検査中の検査者の視線データを計測した。その結果、検査歴が長くなるにつれて以下のような傾向が見られた。

- ・欠点の検出率は高くなる
- ・停留回数は多くなる
- ・平均停留時間は短くなる

そこで本訓練システムでは、停留データと欠点出現位置を訓練結果として提示することで見方の改善を図った。これより訓練内容及びシステムの構成を検討・実装し、有用性を確かめるために評価実験を行った。本実験では、提示内容の違いによる訓練結果の差異はみられなかった。

これらの要因として、以下の点があげられた。

- ・視覚的疲労による影響
- ・見方の不定着による影響
- ・見方の特性における偏り
- ・訓練時間の設定

またヒアリング結果より、停留データと欠点出現位置を提示したグループのほうが、積極的に見方を模索していることがわかった。よって見方をどう改善してい

くかという点において、停留データと欠点出現位置の提示は有効であると考えられる。

今後提案したツールを用いて訓練することで、記録データを用いた訓練結果の長期的な推移を確認することも可能だと考えられる。具体的には、欠点の出現位置や濃淡によってどの程度検出できていたか、習熟度として数値化し管理する方法があげられる。

謝辞

本研究は、日本バイリーン株式会社との共同研究の元に実施され、実験へのサンプル提供、被験者協力、ならびに種々の御助言を賜りました。ここに感謝の意を表します。

- [1] 佐々木章雄：周辺視目視検査法 [II] 理論的解説，IE レビュー，日本 IE 協会，**Vol.46**, No.5, pp61-68(2005).
- [2] 菅原隆宏，篠田心治，内田元就，佐々木章雄，松本俊之，丹波明，川瀬武志：不良項目別の有効視野範囲と目視角度に着目した新たな周辺視目視検査の作成手順の提案，日本経営工学会論文誌，No.4, pp.153-163(2011). **Vol.62**, No.4, pp.153-163(2011).
- [3] 中嶋良介，稲垣一平，松本俊之：周辺視目視検査法を習得するための訓練システムの開発，日本経営工学会論文誌，**Vol.66**, No.3, pp267-276(2015).