

アイトラッキング技術を用いた消防技術の向上に関する 検証（消防車両等の安全運転技術）

石崎 大河*, 佐藤 烈士**, 中西 智宏*

概 要

当庁の有過失交通事故の低減に向けた安全運転技術の向上を図るため、アイトラッキング（視線計測）技術を用いて、機関員の視線動作を定量的に把握し、防衛運転に求められる視線動作を明らかにすることを目的とし検証した。

被験者にアイトラッカーを装着して公道上を一般走行し、熟練者と非熟練者の二者間で視線データを比較した結果、熟練者は右左折時及び直進時の周囲の安全確認を非熟練者よりよく実施していることが分かった。特にカーブミラー確認、電柱確認、左右ミラーによるリアオーバーハング確認、左右後方目視による巻き込み確認について注視回数の差が顕著であった。

また、非熟練者にアイトラッキング技術を用いた振り返り訓練を実施した結果、従来のドライブレコーダーを用いた振り返り訓練に比べ、短期間で熟練者の視線動作を意識できるようになり、より危険を考慮した防衛運転が出来るようになった。

1 はじめに

図1に示すとおり、令和2年における当庁の有過失交通事故の発生状況は、平成25年に最多の265件を記録し、近年は全体として減少傾向にあるものの、依然として有過失事故の絶無には至っていない¹⁾。有過失交通事故の発生状況を分析すると、コメントラードライブを実施しているにも関わらず、機関員自身の確認不足や不注意による静止物との接触事故が多く発生している。このことから、事故を防ぐために具体的に「いつ、どこを、どのように」確認をすれば、安全に車両運行ができるのかを機関員に指導する必要があるが、運行中に確認している対象物やそのタイミングを指導者が把握できないことから、指導に苦慮している。

この問題を解決する手段として、アイトラッキング技術の活用が考えられる。アイトラッキング技術とは、いつ、どこを、どのように見ているのか等の視点の場所や眼球の動きを計測し、被験者が何を見ているのか等の視線を追跡する方法である。現在はウェアラブルタイプのアイトラッカーが複数の企業で開発されており、ウェブサイトのマーケティング調査や部品メーカーの熟練検査員の技能伝承、医療分野での施術訓練等、幅広い分野で活用されている。また、バス会社や鉄道会社等の運輸業界では、交通事故を低減すべく新人研修等の機会にアイトラッキング技術を用いた技術指導を取り入れている企業

もある。

そこで本検証では、アイトラッカーを用いた操縦訓練の導入に向けた基礎検討資料とするため、下記の2点を目的に検証を実施した。

(1) 熟練者と非熟練者の比較

車両運行時の「安全確認の有無、安全確認の度合い」について、アイトラッキング技術を用いて熟練者と非熟練者との定量的な比較を行い、防衛運転に求められる視線動作を明らかにする。

(2) 振り返り訓練効果の比較

非熟練者に対して、「アイトラッキング技術を用いた振り返り訓練」と従来の「ドライブレコーダーを用いた振り返り訓練」を行い、両方で視線動作の向上に差があるのか明らかにする。

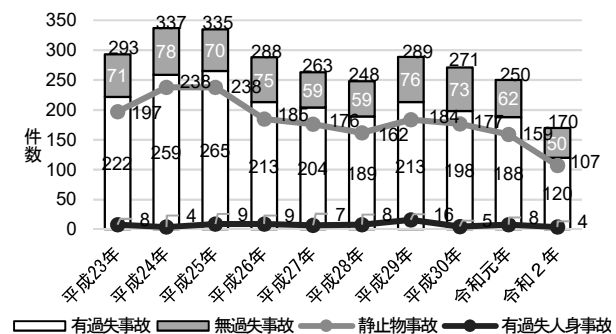


図1 令和2年中の事故発生状況

* 安全技術課 ** 滝野川消防署

2 検証方法

(1) アイトラッカー

本検証で使用したのはトビー・テクノロジー社製のウェアラブルアイトラッカー「Tobii Pro グラス 3」である。本機では眼球運動の計測に「角膜反射法」が用いられている。基本的なコンセプトとしては次のとおりである。角膜上に近赤外線 LED を照射して光の反射点を生じさせ、その反射パターンをアイカメラで撮影する。撮影された眼球の画像から、角膜上の光の反射点や瞳孔、その他の幾何学的な特徴を識別し、眼球の方向が算定される²⁾。解析ソフトにはトビー・テクノロジー社製「Tobii Pro ラボ」を使用した。



図2 使用したアイトラッカー

表1 アイトラッカー諸元

| ヘッドユニット | |
|-------------|--------------|
| 寸法 | 153×168×51mm |
| 重量 | 76.5g |
| シーンカメラ | 4 (左右2つずつ) |
| センサー | ジャイロ、加速度、磁気 |
| レコーディングユニット | |
| 寸法 | 130×85×27mm |
| 重量 | 312g |
| 最長記録時間 | 105分 |

(2) 被験者及び対象車両

熟練者と非熟練者の条件は表2に示すとおりである。また、図3に示すように、令和2年中における車種別有過失事故件数は救急車が最も多く47件、次いでポンプ車が41件、その他の車種は10件未満となっている。このことから、本検証で使用する車両は有過失事故件数の多い救急車及び普通ポンプ車の2車種とした。

表2 被験者条件及び被験者数

| 被験者 | 条件 | 被験者数 |
|------|---|------|
| 熟練者 | 優良機関員 (10年以上) 装備課消防教育指導員 装備課消防活動技術指導員 | 8名 |
| 非熟練者 | 普通機関技術取得後6年未満 | 8名 |

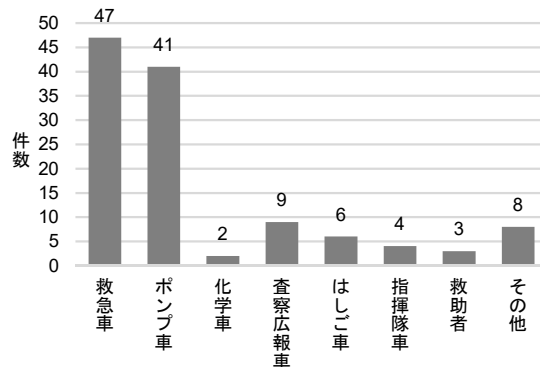


図3 令和2年中の主な車種別有過失事故件数

(3) コース設定

図4に示すように、令和2年中の有過失事故の発生場所が最も多いのは、信号機のない交差点であった。これに加え、信号機のある交差点、幹線道路での視線動作を確認するため、図5に示すコース設定とした。走行距離は約3.3km、所要時間は約13分である。なお、図5の吹き出し部は後述する2、(4)の表4に示す解析場面を示している。

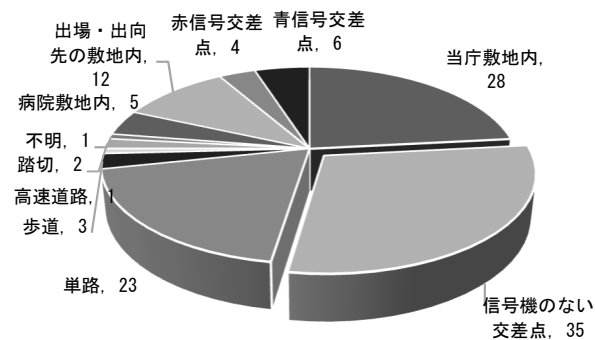


図4 令和2年中の有過失事故の発生場所件数



図5 検証コース

(4) データ分析

眼球はサッケードと言われる注視している一点から離れた一点に移動する際に発生する急速な眼球運動と、注視するための眼球が静止する状態を繰り返している。人が視野情報を取り込むのは注視の過程であり、今回用い

た解析ソフトである「Tobii Pro ラボ」では、実験状況によって注視の定義を任意に選択できるフィルターが実装されている。本検証では、運転中のような物体が常に動いている動的状況下での使用が推奨されている Tobii I-VT(Attention) フィルターを用いた。本フィルターでは 0.060 秒以上視線が滞留した時を注視と定義している。

被験者にアイトラッカーを装着し、校正を行った後、各車両にて検証コース上を一般走行した。そこで得られた視線データから各注視対象物（表 3 参照）について、注視回数と注視時間を測定した。また、注視時間を注視回数で除した「注視 1 回当たりの注視時間」と、各注視対象物における注視時間の合計を 100 とした場合の各注視対象物の「注視比率」を算定し、比較に使用した。

なお、注視回数、注視 1 回当たりの注視時間、注視比率について、注視対象物別に「有意差はない」という帰無仮説を立て t 検定を行った。検定結果については p 値が 5%未満であれば「有意差がある」、10%未満であれば「有意傾向がある」と設定して検定を行った。測定に使用した解析場面は表 4 に示すとおりである。

表 3 注視対象物一覧

| 注視対象物 | 概要 |
|--------|------------------|
| 直進方向 | 直進方向の確認 |
| 右ミラー | 車両右側面の確認 |
| 左ミラー | 車両左側面の確認 |
| 右目視 | ミラーを用いない右確認 |
| 左目視 | ミラーを用いない左確認 |
| 右後方目視 | ミラーを用いない右後方確認 |
| 左後方目視 | ミラーを用いない左後方確認 |
| 右車線 | 直進方向に対して右側の車線確認 |
| 左車線 | 直進方向に対して左側の車線確認 |
| 対向車線 | 対向車線確認 |
| カーブミラー | カーブミラーによる左右確認 |
| 駐車車両 | 駐車車両の確認 |
| 電柱 | 電柱の確認 |
| 計器類 | スピードメーター等の計器類の確認 |
| 信号機 | 信号機の確認 |
| 道路標示 | 速度制限等の道路標示の確認 |
| ガードレール | 側道に設置されたガードレール確認 |

表 4 解析場面一覧

| 解析場面 | 解析区間 |
|--------------|------------------|
| 交差点左折（信号機なし） | 停止線手前5mから左折後5mまで |
| 交差点右折（信号機あり） | 停止線から右折後5mまで |
| 幹線道路直進時 | 直進 140m |

(5) 振り返り訓練

「アイトラッキング技術を用いた振り返り訓練（以下「アイトラ訓練」という。）」と当庁内の安全運行キャンペーン時に実施されている「ドライブレコーダーを用いた振り返り訓練（以下「ドラレコ訓練」という。）」の 2 種類の振り返り訓練において、両者で視線動作の向上に差があるのか比較した。

アイトラッカーを装着した非熟練者に一度検証コースを一般走行してもらい視線計測を行った後、非熟練者計 8 人を 4 人ずつ A、B の 2 グループに分け、A グループにはアイトラ訓練を、B グループにはドラレコ訓練を行った。その後、再度アイトラッカーを装着した状態で検証コース上を一般走行し、同様に視線計測を行った。時間帯による道路状況の差の影響を小さくするため、振り返り訓練前（1 回目）の走行と振り返り訓練後（2 回目）の走行する時間は可能な限り揃えた。

アイトラ訓練は 1 回目の走行で得られた視線計測結果を用いて、熟練者と振り返り訓練被験者本人の注視時間、注視回数、注視比率を比較し、その差や注意すべきポイントをまとめた資料及び代表的な熟練者の視線動画と被験者本人の視線動画の比較映像を用いて振り返り訓練を行った。実施時間は 30 分である。

ドラレコ訓練は東京消防庁管内各消防署で従来行われているものを模して、1 回目の走行で得られたドライブレコーダー動画を被験者本人と一緒に確認してもらい、動画中に気になった注意箇所（見通しの悪い交差点につき飛び出し注意、歩行者の多い狭隘路で徐行する等）について指導を行った。実施時間はアイトラ訓練同様 30 分である。

(6) AOI 定義

各注視対象物の領域を定義し、注視点が入った時間や回数を算出することで、注視対象物がどの程度注視されたかを把握できる。この領域を興味領域といい、以下 AOI (Area Of Interest) と表記する。代表的な AOI 定義の一例を図 6 に示す。

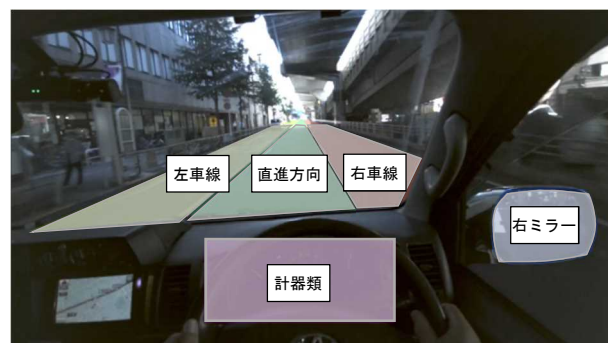


図 6 交差点左折（信号機なし）の AOI 定義

3 実験結果及び考察

(1) 熟練者と非熟練者の比較

本検証では一般公道を走行しているため、被験者によって対向車や歩行者の有無、その頻度によって、解析区間通過時間に差があった。特に対向車の回避や歩行者増による停止時間が長かった場合は、解析区間通過時間に10秒以上の差が生じた。そこで道路状況の差の影響を極力小さくするため、熟練者と非熟練者の比較に際しては、解析区間通過時間の差が10秒未満であった部分を中心に記載する。

ア 交差点左折（信号機なし）（写真1、写真2参照）

本交差点は一時停止標示先に1車線道路が左右に走っているT字路交差点であり、交差点進入時、前方には左右道路を確認するためのカーブミラーが設置されている。左右側のコーナーは面取りされており、そこまで見通しが悪い訳ではないが、京王線幡ヶ谷駅と小田急線代々木上原駅間の抜け道となっており、交通量が比較的多い通りであることから、防衛運転を徹底する上ではカーブミラーの確認が必要である。また、左折した先には電柱が左側にあり、1車線の相互通行道路で幅員が狭いことから、通過時に電柱と左ミラーの接触がないよう確認を要する場所でもある。



写真1 交差点手前の様子



写真2 左折先の様子

車両ごとの各注視対象物における平均注視回数と注視1回当たりの平均注視時間を図7～図10に示す。

カーブミラーについて、救急車では平均注視回数が熟練者は8.75回に対して非熟練者は4.75回であり（図7）、ポンプ車では熟練者は8.50回に対して非熟練者は

5.75回であった（図9）。このように、熟練者の方が非熟練者に対して平均注視回数が多いことが分かった。本交差点は上記のとおり見通しがそこまで悪くなくとも交通量が比較的多いことから、カーブミラーを十分活用することで、より安全を考慮した防衛運転ができる。熟練者は車両を前に出して左右目視確認する前に、設置されているカーブミラーを活用して十分に安全確認を行っていると考えられる。

次に、左折先にある電柱について、救急車では平均注視回数が熟練者は3.50回に対して非熟練者は1.50回であり（図7）、ポンプ車では熟練者は2.75回に対して非熟練者は0.75回であった（図9）。このように、救急車及びポンプ車ともに熟練者の方が非熟練者に対して2倍以上平均注視回数が多いことが分かった。また、救急車では注視1回当たりの平均注視時間が熟練者は0.23秒に対して非熟練者は0.14秒であり（図8）、注視1回当たりの平均注視時間は熟練者の方が非熟練者より長いことが分かった。車両感覚は熟練者の方が備わっているにも関わらず、注視回数と注視時間が多いということは、それだけ静止物に対する危険意識が強いためだと考えられる。

また、リアオーバーハングの確認となる右ミラーについて、救急車では平均注視回数が熟練者は1.75回に対して非熟練者は0回であり（図7）、ポンプ車では熟練者が1.75回に対して非熟練者は4.25回であった（図9）。このように、救急車では熟練者の方が右ミラーによるリアオーバーハング確認をより多く実施していたのに対して、ポンプ車では非熟練者の方がより多く確認していた。救急車はポンプ車等のトラックベース車と比べるとリアオーバーハング振り出し量が少ないものの、乗用車に比べてリアオーバーハング振り出し量が多い。仮に本交差点左折時に、右後方から自転車や歩行者が通過しようとしていけば、リアオーバーハング振り出しによる接触事故が生じる可能性もある。図11に示すように当庁における緊急車両静止物事故の要因を見ると、平成29年から令和元年までリアオーバーハングによる接触事故が事故発生要因の第2位となっており、救急車のリアオーバーハング接触事故も実際に発生していることから、左右旋回時は左右ミラーによるリアオーバーハング確認が重要であることが分かる³⁾。

このことから、非熟練者の右ミラーの確認未実施は防衛運転を意識できていないと言える。この結果に対し、ポンプ車では、非熟練者の方が右ミラーによるリアオーバーハング確認をより多く実施していた。車両により相反する結果となった原因として、救急車の非熟練者がリアオーバーハング振り出し量の多い車両を運転した経験がなかったのに対し、ポンプ車の非熟練者はポンプ車の担当機関員としての経験があり、日頃からリアオーバーハングの危険性を指導されていたことが影響していると考えられる。

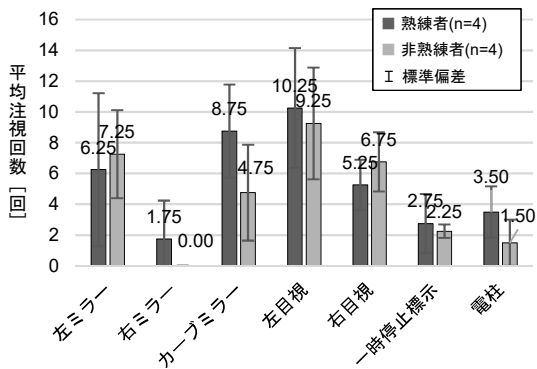


図7 交差点左折（信号機なし）の平均注視回数 救急車

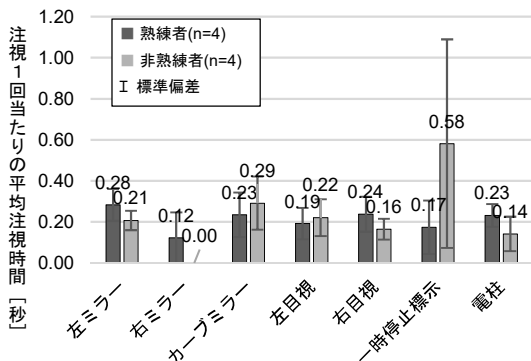


図8 交差点左折（信号機なし）の注視1回当たりの平均注視時間 救急車

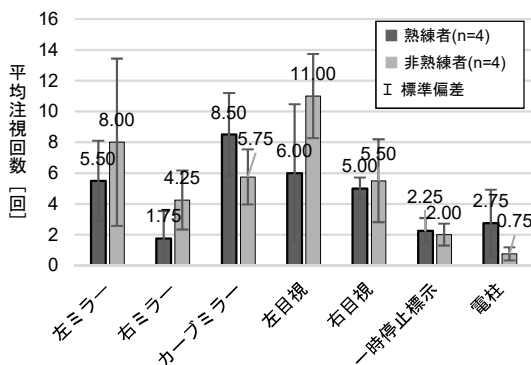


図9 交差点左折（信号機なし）の平均注視回数 ポンプ車

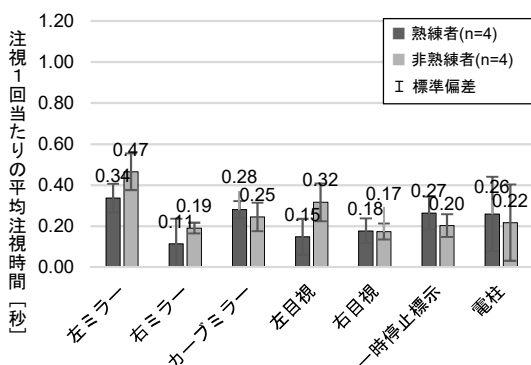


図10 交差点左折（信号機なし）の注視1回当たりの平均注視時間 ポンプ車

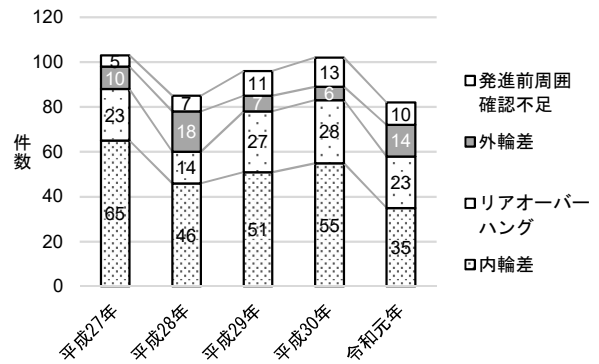


図11 令和元年中の緊急車両静止物事故の要因

イ 交差点右折（信号機あり）（写真3、写真4参照）

本交差点は片側1車線道路に右側から片側1車線道路がT字に交差する信号機付き交差点である。右折先には横断歩道があり、頻繁ではないものの度々横断者の往来がある。また、対向車線にも頻繁に車両が通るため、対向車及び横断者の動向に注意しながら、右折する際は左後方の自転車のすり抜け等を確認する必要がある。さらに、右折した直後に左側歩道上及び道路上に30km/hの速度制限標示が設置されており、この法定速度を認識する必要がある。



写真3 交差点手前の様子



写真4 右折先の様子

車両ごとの各注視対象物における平均注視回数と注視1回当たりの平均注視時間を図12～図15に示す。

巻き込み確認となる右後方目視について、救急車では平均注視回数が熟練者は2.00回に対して非熟練者は1.00回であり（図12）、ポンプ車では熟練者が1.75回に対して非熟練者は0.25回であった（図14）。このように、救急車及びポンプ車ともに巻き込み確認となる右後方目視について、熟練者の方が非熟練者に比べて2倍以上平均注視回数が多いことが分かった。また、救急車では注視1回当たりの平均注視時間が熟練者は0.14秒に対して非熟練者は0.08秒であり（図13）、ポンプ車では熟練者が0.13秒に対して非熟練者は0.06秒であった（図15）。このように、注視1回当たりの平均注視時間は熟練者の方が非熟練者より長いことが分かった。

ポンプ車の非熟練者について視線動作の動画を確認すると、注視フィルターを介さず100Hzで測定している生データでは右後方目視のAOIに視線が動いているものの、本検証で定義する0.060秒以上視線滞留の注視には至っていない被験者が見受けられた。したがって巻き込み確認をしようという意識はあるものの、視線動作が早すぎて歩行者等の見落としが生じることも考えられる。このことから、熟練者の方が非熟練者に比べて内輪差による接触危険について十分注意して走行していると考えられる。図11に示すように当庁の令和元年中の事故発生要因を見ると、前進時の静止物接触事故は内輪差に起因するものが最も多く報告されていることから、静止物接触事故の低減を図る上では、右左折時の左右ミラー及び左右後方目視での巻き込み確認は大変重要な動作であり、経験年数の浅い職員には十分指導する必要がある。

次に、30km/h制限の道路標示について、救急車では平均注視回数が熟練者は1.00回に対して非熟練者は0.50回であり（図12）、ポンプ車では熟練者が3.50回に対して非熟練者は0回であった（図14）。このように、熟練者の方が非熟練者に比べて2倍以上平均注視回数が多いことが分かった。ポンプ車の結果について差の検定を実施したところ、有意差が見られた。救急車では注視1回当たりの平均注視時間が熟練者は0.23秒に対して非熟練者は0.14秒であり（図13）、ポンプ車では熟練者が0.24秒に対して非熟練者は0秒であった（図15）。このように、注視1回当たりの平均注視時間は熟練者の方が非熟練者より長いことが分かった。ポンプ車の結果について差の検定を実施したところ、有意差が見られた。

救急車の熟練者には道路標示確認後、計器類で自車速度の確認をしている被験者がいた。また、視線動作の動画を確認すると、ポンプ車の熟練者には旋回中の早い段階で道路標示を認識している被験者も見受けられた。これらのことから、熟練者は道路上の法令遵守についても意識を配っていると考えられる。

リアオーバーハングの確認となる左ミラーについて、救急車では平均注視回数が熟練者は2.00回に対して非

熟練者は0回であり（図12）、ポンプ車では熟練者が3.75回に対して非熟練者は6.25回であった（図14）。このように、救急車では熟練者の方が左ミラーによるリアオーバーハング確認をより多く実施していたのに対して、ポンプ車では非熟練者の方がより多く確認していた。ポンプ車の結果について差の検定を実施したところ、有意傾向が見られた。車両により相反する結果となった原因は、前アで記載したとおり、リアオーバーハング振り出し量の大きい車両の運転経験の差が影響していると考えられる。

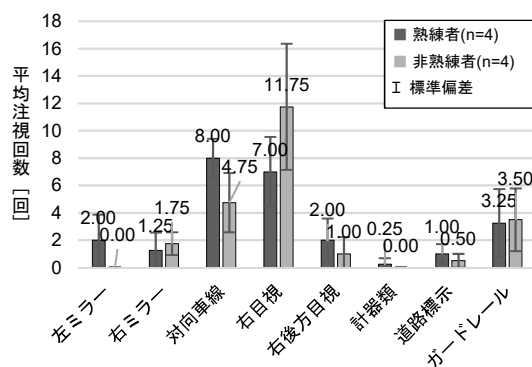


図12 交差点右折（信号機あり）の平均注視回数 救急車

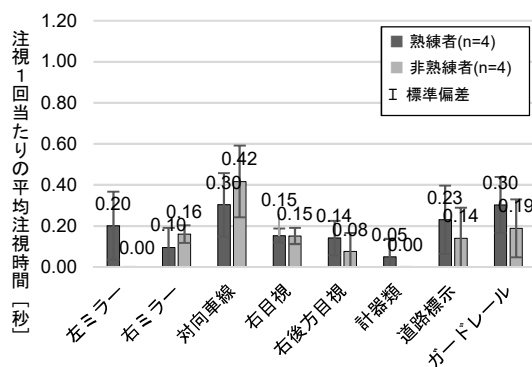


図13 交差点右折（信号機あり）の注視1回当たりの平均注視回時間 救急車

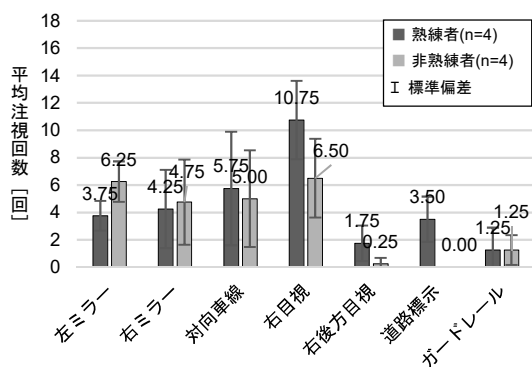


図14 交差点右折（信号機あり）の平均注視回数 ポンプ車

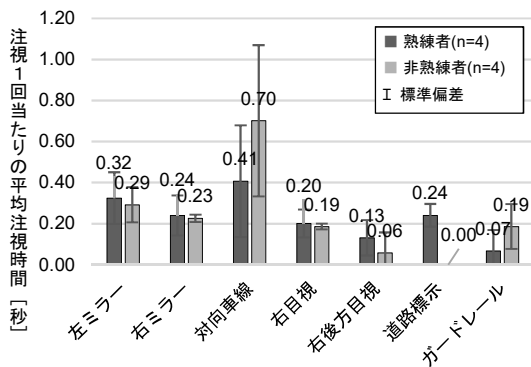


図 15 交差点右折（信号機あり）の注視 1 回当たりの平均注視時間 ポンプ車

ウ 幹線道路直進（写真 5 参照）

本解析場面は交差点左折直後の国道 20 号線上片側 3 車線道路である。左折直後からの直線となっており、国道 20 号線上の右からの直進車両は赤信号で停車しているため、幹線道路に左折で進入した直後である本解析場面においては交通量がそこまで多くない。しかしながら、左車線には路上駐車車両が多く、その動向に注意が必要である。また、見通しの良い直線の幹線道路となっていることから、速度が出やすく、速度超過にならないように気を配らなければならない場所でもある。



写真 5 幹線道路直進時の様子

車両ごとの各注視対象物における平均注視回数を図 16、図 17 に、車両ごとの各注視対象物に対する注視比率を図 18、図 19 に示す。

直進方向について、救急車では平均注視回数が熟練者は 10.50 回に対して非熟練者は 14.33 回であり（図 16）、ポンプ車では熟練者が 9.00 回に対して非熟練者は 10.75 回であった（図 17）。このように救急車及びポンプ車ともに直進方向について、非熟練者の方が熟練者に比べて平均注視回数が多いことが分かった。救急車の結果について差の検定を実施したところ、有意差が見られた。

右車線について、救急車では平均注視回数が熟練者は 1.75 回に対して非熟練者は 4.00 回であり（図 16）、ポンプ車では熟練者が 3.00 回に対して非熟練者は 2.00 回

であった（図 17）。左車線について、救急車では平均注視回数が熟練者は 2.25 回に対して非熟練者は 1.00 回であり（図 16）、ポンプ車では熟練者が 5.00 回に対して非熟練者は 2.50 回であった（図 17）。計器類について、救急車では平均注視回数が熟練者は 2.50 回に対して非熟練者は 0 回であり（図 16）、ポンプ車では熟練者が 0.25 回に対して非熟練者は 0 回であった（図 17）。信号機について、救急車では平均注視回数が熟練者は 0.50 回に対して非熟練者は 0 回であり（図 16）、ポンプ車では熟練者と非熟練者はともに 0.50 回であった（図 17）。このように、救急車の右車線とポンプ車の信号機を除けば、左右車線、計器類、信号機の平均注視回数は熟練者の方が非熟練者に比べて多いことが分かった。計器類について差の検定を実施したところ、救急車では有意傾向が見られた。

注視比率を見ると、直進方向について、救急車の非熟練者が 82%に対して熟練者は 70%（図 18）、ポンプ車の非熟練者が 63%に対して熟練者は 56%となっており（図 19）、いずれも非熟練者が直進方向を確認する比率が高いことが分かった。

以上のことから、非熟練者は交通量が少なく幅員の広い道路で接触リスクが低いような所では、進行方向だけを見ていることが多く、前方注視傾向が強いと考えられる。熟練者はそのような道路上においても左右車線、左右ミラー、計器類や信号機等といった直進方向以外の車両周囲の状況や自車の速度についても確認しており、防衛運転を徹底した走行をしていると考えられる。

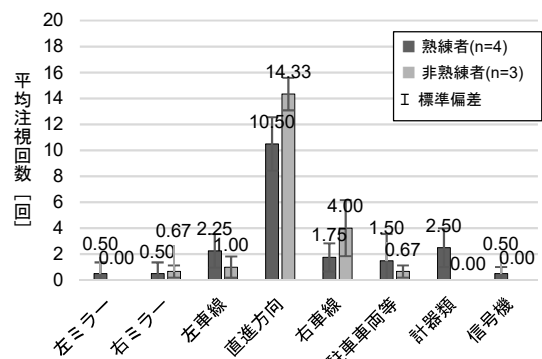


図 16 幹線道路直進の平均注視回数 救急車

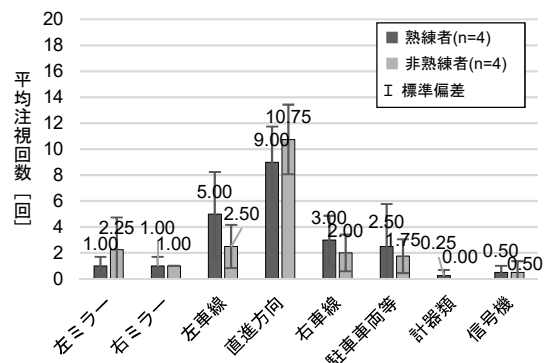


図 17 幹線道路直進の平均注視回数 ポンプ車

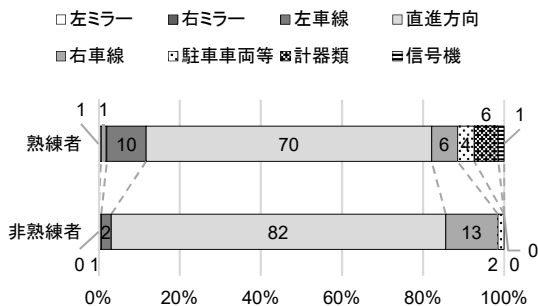


図 18 幹線道路直進の注視比率 救急車

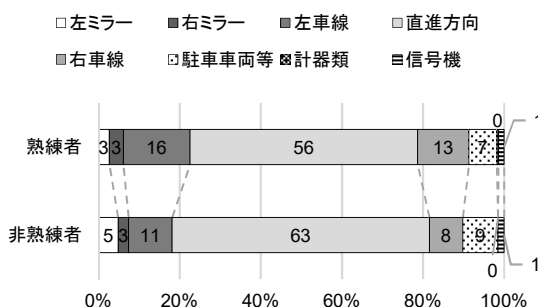


図 19 幹線道路直進の注視比率 ポンプ車

(2) 振り返り訓練効果の比較

前(1)のとおり、解析区間通過時間の差による影響を極力小さくするため、訓練前後における解析区間通過時間の差の平均値が 10 秒未満であった解析場面を中心に記載する。

ア 交差点左折（信号機なし）（写真 1、写真 2 参照）

車両ごとの非熟練者に対するアイトラ訓練前後における各注視対象物の平均注視回数を図 20、図 21 に、ドラレコ訓練前後における各注視対象物の平均注視回数を図 22、図 23 に示す。

(ア) アイトラ訓練

カーブミラーについて、救急車での平均注視回数はアイトラ訓練前が 2.50 回であったのに対してアイトラ訓練後は 7.50 回となり（図 20）、ポンプ車ではアイトラ訓練前が 4.00 回であったのに対してアイトラ訓練後は 14.00 回となった（図 21）。このように、救急車及びポンプ車ともにアイトラ訓練後はアイトラ訓練前に比べて注視回数が 3 倍以上増加したことが分かった。

電柱について、救急車での平均注視回数はアイトラ訓練前が 2.50 回であったのに対してアイトラ訓練後は 5.00 回となり（図 20）、ポンプ車ではアイトラ訓練前が 1.00 回であったのに対してアイトラ訓練後は 5.00 回となった（図 21）。このように救急車及びポンプ車ともにアイトラ訓練後はアイトラ訓練前に比べて注視回数が 2 倍以上増加したことが分かった。

救急車でのリアオーバーハング確認となる右ミラーについて、平均注視回数はアイトラ訓練前が 0 回であったのに対しアイトラ訓練後は 3.50 回となり（図 20）、右ミラーによるリアオーバーハング確認を実施するようになった。

以上のことから、本解析場面ではアイトラ訓練の指導により、交差点に進入し左右の目視確認を実施する前に設置されたカーブミラーを十分活用して安全確認を行うようになり、左折先の電柱といった静止物に対する危険意識が向上し、リアオーバーハング確認となる右ミラーを旋回前に確認するようになったと考えられる。

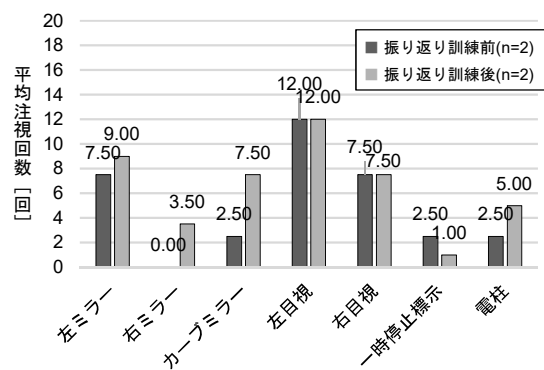


図 20 交差点左折（信号機なし）の平均注視回数 救急車 アイトラ訓練

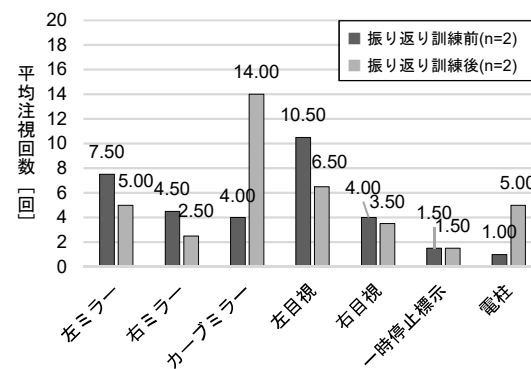


図 21 交差点左折（信号機なし）の平均注視回数 ポンプ車 アイトラ訓練

(イ) ドラレコ訓練

カーブミラーについて、救急車での平均注視回数はドラレコ訓練前が 7.00 回であったのに対してドラレコ訓練後は 4.50 回となり（図 22）、ポンプ車ではドラレコ訓練前が 7.50 回であったのに対してドラレコ訓練後は 6.50 回となった（図 23）。

電柱について、救急車及びポンプ車ともに平均注視回数はドラレコ訓練前が 0.50 回であったのに対してドラレコ訓練後は 0 回となった（図 22、図 23）。

救急車でのリアオーバーハング確認となる右ミラーについて、平均注視回数はドラレコ訓練前とドラレコ訓練後はともに 0 回であった（図 22）。

以上のように、熟練者と比較して視線動作の向上の必要性があるカーブミラー、電柱、リアオーバーハング確認となる右ミラーについては注視回数の増加といった視線動作の向上は見られないことが分かった。ドラレコ訓練により記録されたアウトカメラ映像からカーブミラーの活用や電柱への注意等は口頭指導できるが、どれだけ注視しているかまでは把握できず、強い指導ができないことから、訓練前後で視線動作の向上には至らなかったと考えられる。

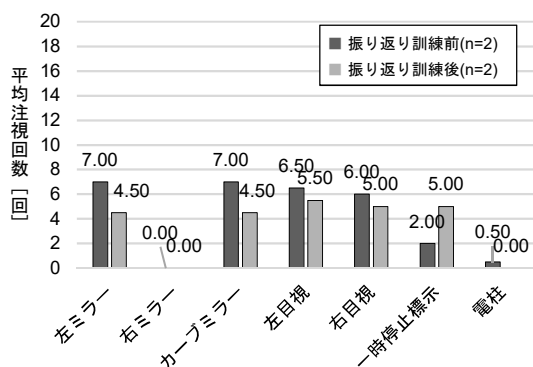


図 22 交差点左折（信号機なし）の平均注視回数
救急車 ドラレコ訓練

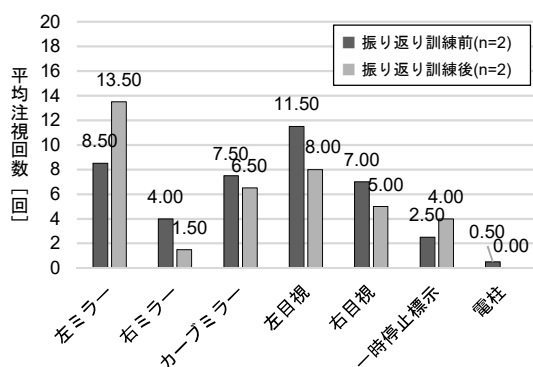


図 23 交差点左折（信号機なし）の平均注視回数
ポンプ車 ドラレコ訓練

イ 交差点右折（信号機あり）（写真 3、写真 4 参照）

車両ごとの非熟練者に対するアイトラ訓練前後における各注視対象物の平均注視回数を図 24、図 25 に、ドラレコ訓練前後における各注視対象物の平均注視回数を図 26、図 27 に示す。

(ア)アイトラ訓練

巻き込み確認となる右後方目視について、救急車での平均注視回数はアイトラ訓練前が 2.00 回であったのに対しアイトラ訓練後は 3.50 回となり（図 24）、ポンプ車ではアイトラ訓練前が 0 回であったのに対しアイトラ訓練後は 2.00 回となった（図 25）。このように救急車及びポンプ車ともにアイトラ訓練後はアイトラ訓練前に比べて平均注視回数が増加したことが分かった。

30km/h 制限の道路標示について、救急車での平均注視回数はアイトラ訓練前が 1.00 回であったのに対しアイトラ訓練後は 3.50 回となり（図 24）、ポンプ車ではアイトラ訓練前が 0 回であったのに対しアイトラ訓練後は 3.50 回となった（図 25）。このように救急車ではアイトラ訓練後はアイトラ訓練前に比べて 3 倍以上平均注視回数が増加し、ポンプ車では未確認から確認するようになったことが分かった。また計器類について、ポンプ車ではアイトラ訓練前は 0 回であったが、アイトラ訓練後は 2.00 回となった（図 25）。

リアオーバーハングの確認となる左ミラーについて、救急車での平均注視回数はアイトラ訓練前が 0 回であったのに対しアイトラ訓練後は 4.00 回となり（図 24）、ポンプ車ではアイトラ訓練前が 5.50 回であったのに対しアイトラ訓練後は 3.50 回となった（図 25）。ポンプ車ではアイトラ訓練後の方がアイトラ訓練前に比べて注視回数が減少しているが、これはアイトラ訓練指導時に「熟練者以上に十分確認しているからそれ以外の対象物についてもっと確認するように」と指導したことが影響していると考えられる。

以上のことから、本解析場面ではアイトラ訓練の指導により、右折時に巻き込み確認をしっかり実施するようになり、道路標示を確認することで法令順守についても意識するようになり、リアオーバーハングの危険性を認識し確認するようになったと考えられる。

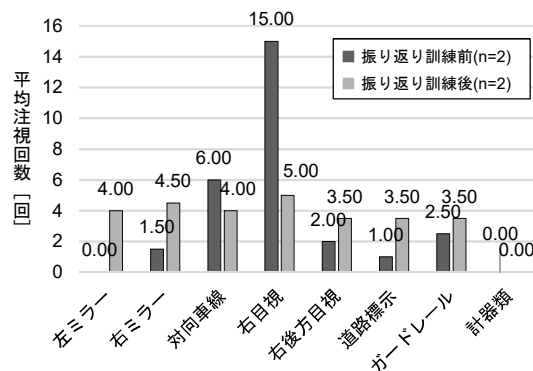


図 24 交差点右折（信号機あり）の平均注視回数
救急車 アイトラ訓練

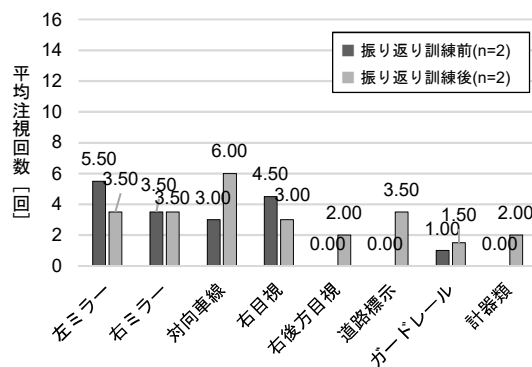


図 25 交差点右折（信号機あり）の平均注視回数
ポンプ車 アイトラ訓練

(イ) ドラレコ訓練

救急車及びポンプ車ともに道路標示について、平均注視回数はドラレコ訓練前が0回であったのに対しドラレコ訓練後は1.00回（図26、図27）となったが、計器類の確認はなく、自車速度に対しては感覚的なものに頼っているものと考えられる。それ以外の右後方目視確認や左ミラー確認についてはドラレコ訓練前後に注視回数の増加といった視線動作の向上は見られなかった。ドラレコ訓練により記録されたアウトカメラ映像から右折時の巻き込み確認や道路標示への注意等は口頭指導できるが、どれだけ注視しているかまでは把握できず、強い指導ができないことから、訓練前後で視線動作の向上には至らなかったと考えられる。

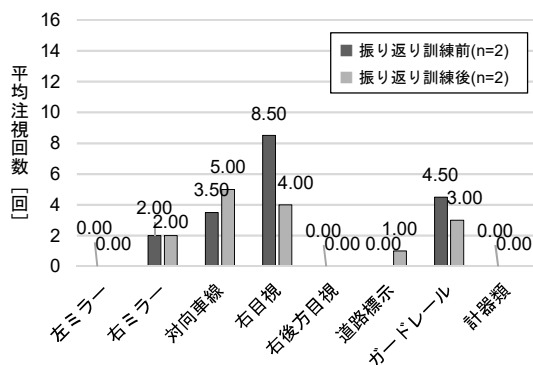


図26 交差点右折（信号機あり）の平均注視回数 救急車 ドラレコ訓練

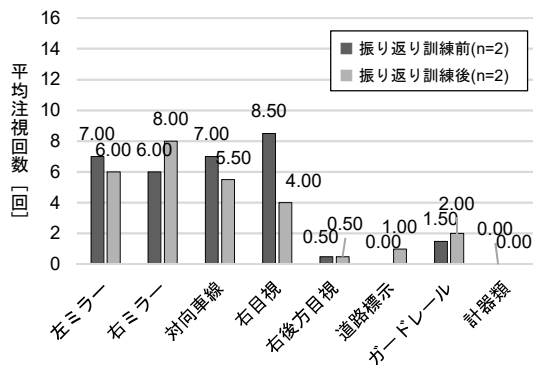


図27 交差点右折（信号機あり）の平均注視回数 ポンプ車 ドラレコ訓練

ウ 幹線道路直進（写真5参照）

車両ごとの非熟練者に対するアイトラ訓練前後における各注視対象物の平均注視回数を図28、図29に、注視比率を図30、図31に示す。ドラレコ訓練前後における各注視対象物の平均注視回数を図32、図33に、注視比率を図34、図35に示す。ここではドラレコ訓練での救急車の結果は、解析区間通過時間の差の平均値がドラレコ訓練前後で10.7秒長くなった。

(ア) アイトラ訓練

救急車及びポンプ車双方とも直進方向について、アイトラ訓練後はアイトラ訓練前に比べて平均注視回数が減

少していることが分かった（図28、図29）。注視比率を見ても直進方向について、救急車はアイトラ訓練前が74%だったのに対してアイトラ訓練後は45%に（図30）、ポンプ車はアイトラ訓練前が60%だったのに対してアイトラ訓練後は39%となっている（図31）。

それに対して救急車及びポンプ車ともに右ミラー、左ミラー、左車線、信号機、計器類の注視回数はアイトラ訓練後の方がアイトラ訓練前に比べて増加しており（図28、図29）、注視比率も同様に増加していることが分かった（図30、図31）。

以上のことから、本解析場面ではアイトラ訓練の指導により、前方注視傾向が緩和され、その分車両周囲の安全確認に気を配った視線動作になったと考えられる。

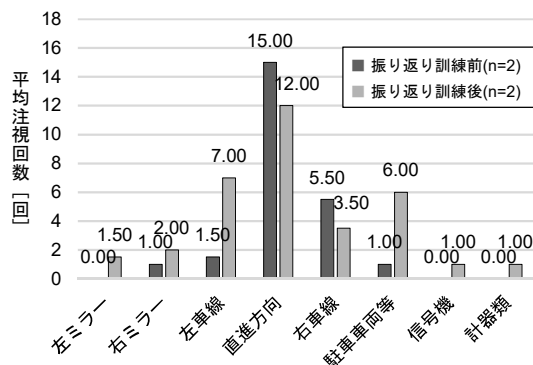


図28 幹線道路直進の平均注視回数 救急車 アイトラ訓練

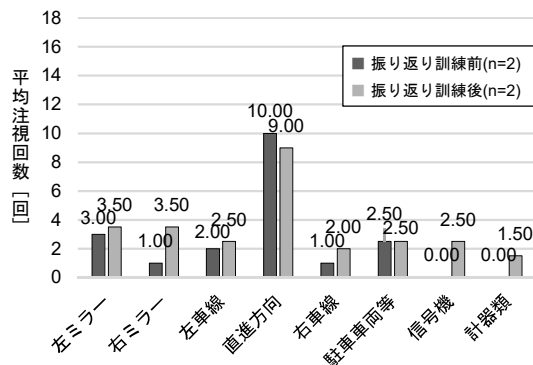


図29 幹線道路直進の平均注視回数 ポンプ車 アイトラ訓練

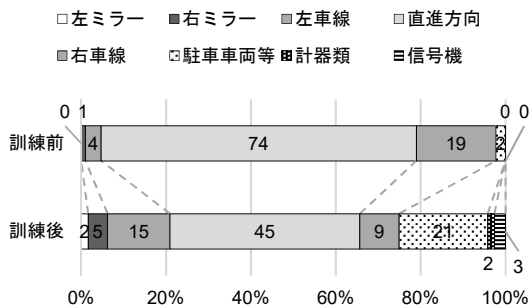
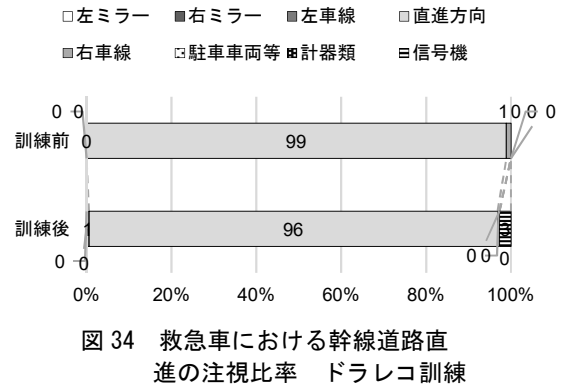
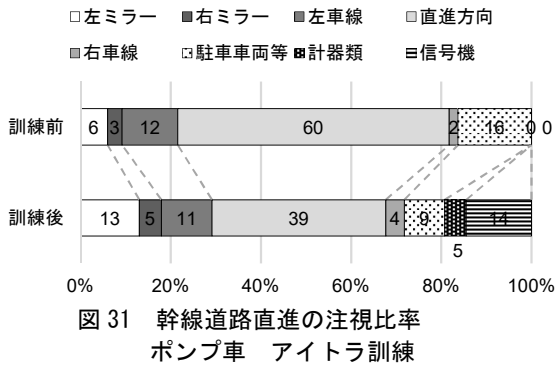


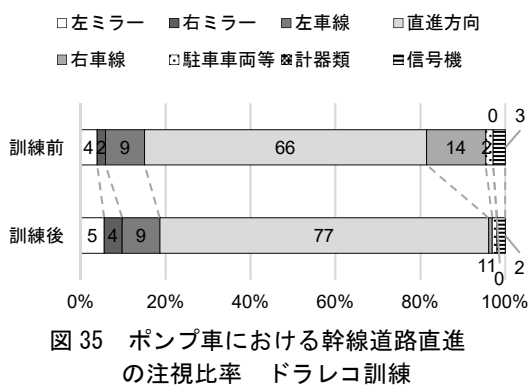
図30 幹線道路直進の注視比率 救急車 アイトラ訓練



(イ) ドラレコ訓練

直進方向について、救急車ではドラレコ訓練前後で解析区間通過時間の差が10.7秒長くなった影響により、注視回数が増加したが（図32）、注視比率ではドラレコ訓練前が99%だったのに対してドラレコ訓練後は96%と若干減少するもほぼ横ばいとなった（図34）。ポンプ車ではドラレコ訓練前後で注視回数の減少は見られず

（図33）、注視比率ではドラレコ訓練前が66%だったのに対してドラレコ訓練後は77%と増加した（図35）。また、ポンプ車では右ミラー以外はドラレコ訓練前後で注視回数ほぼ横ばいであった（図33）。このように、ドラレコ訓練による視線動作の向上は見られなかった。ドラレコ訓練により記録されたアウトカメラ映像から左右車線からの車両接近等に対する注意等はできるが、どこをどれだけ注視しているかまでは把握できず、強い指導ができないことから、結果訓練前後で視線動作の向上には至らなかったと考えられる。



エ 振り返り訓練時の様子

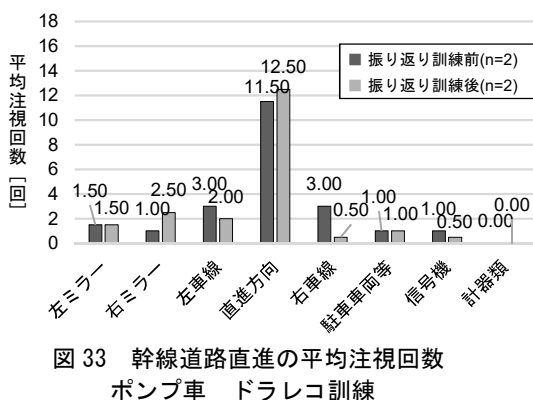
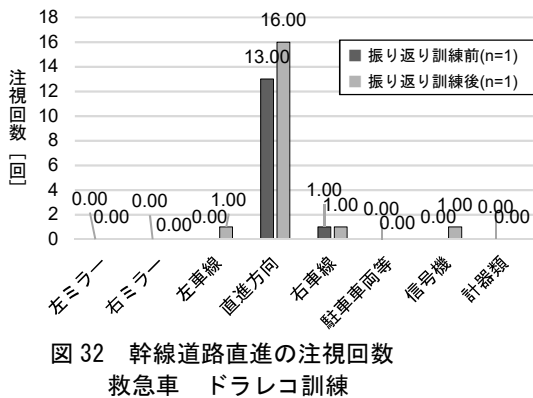
アイトラ訓練では、被験者自身が自分の視線動作を客観的に見られるようになったため、普段の運転でどういった箇所にとどの程度気を配って運転しているのかが把握しやすく、非常に参考になったという意見が多かった。

それに対してドラレコ訓練では、インカメラとアウトカメラを両方見比べることで、どのタイミングでハンドルを切っているのか、運転時の姿勢、交差点手前等で首を大きく振って広い視野で左右確認を実施しているかといった点については把握できるものの、被験者が見ている視線までは把握できないため、どこをどの程度確認して運転しているか被験者本人も客観視できない。

また、ドラレコ訓練では、巻き込み確認や静止物等の対象物を確認しているか否かについては、被験者本人に聞き取りながら指導していく必要があり、被験者が見ていると言えればそれを信じるほかない。アイトラ訓練は見ている箇所が明確に特定できることから、指導者もその根拠を示した上で、説得力のある指導が行えるというメリットがあった。

オ 統計的な有意差について

差の検定の結果について、本検証では車両ごとの被験者数が4名と少なかったため、被験者間の平均値で上記のような差は見られたものの、統計的な有意差が示せない注視対象物が多かった。今後の課題として、より一層被験者数を増やし、統計的な分析が十分に行えるように考慮する必要がある。



4 まとめ

- (1) 熟練者と非熟練者の視線動作の差異
 - ア 熟練者は右左折時の周囲の安全確認について非熟練者よりよく実施していた。特にカーブミラー確認、電柱確認、左右ミラーによるリアオーバーハング確認、左右後方目視による巻き込み確認について注視回数の差が顕著であった。
 - イ 熟練者は幹線道路直進時において、前方だけでなく周囲の安全確認にもより配慮した運転をしていた。非熟練者は前方注視傾向が強かった。
 - ウ 熟練者は周囲の安全確認だけでなく、道路標示や計器類の確認も行っており、道路上の法令遵守についてもより意識を配っていた。
- (2) アイトラッキング技術を用いた振り返り訓練効果
 - ア 熟練者の視線動作を分析し、その結果を用いて振り返り訓練を行うことで、短期間で熟練者の視線動作を意識できるようになり、より危険を考慮した防衛運転ができるようになった。
 - イ 指導される側が自分の視線動作を客観的に見られるようになり、確認できていない項目を把握しやすくなった。
 - ウ 視線動作の記録動画を用いることで、指導者が確認不足の項目を根拠を持って示せるようになるため、説得力のある指導を行うことができた。

5 謝辞

本検証の実施にあたり、一般財団法人日本自動車研究所自動走行研究部自動走行評価研究グループグループ長安部原也氏、同自動走行研究部自動走行評価研究グループ研究員中村弘毅氏、同自動走行研究部運転支援研究グループ菊地一範氏より多くの貴重な知見、助言を賜りました。

また、本検証の被験者として、装備課、装備工場、消防技術課、装備安全課の皆様にご協力いただきました。

ここに感謝の意を表します。

[参考文献]

- 1) 東京消防庁：令和2年中における交通事故及び機器損傷の発生状況等について、令和3年2月18日付装備課長通知
- 2) Tobii Pro アイトラッカーの仕組み：<https://www.tobii.com/fa/service-support/learning-center/eye-tracking-essentials/how-do-tobii-eye-trackers-work/>
- 3) 東京消防庁：令和元年中における交通事故及び機器損傷の発生状況等について、令和2年3月11日付装備課長通知

Verification for the Improvement of Fire Department Using Eye-tracking Technology (Safe Driving Technology for Fire Apparatus)

ISHIZAKI Taiga*, SATOU Atsushi**, NAKANISHI Tomohiro*

Abstract

In order to improve TFD personnel's safe driving techniques for less at-fault traffic accidents, we used eye-tracking technology to understand the driver's eye movement quantitatively and identify the eye motion required for defensive driving.

Subjects were fitted with an eye tracker and drove on public roads to compare the data on the eye move of skilled and unskilled drivers. The results showed that skilled drivers performed better than their unskilled counterparts in checking the safety of their surroundings when turning right or left and when driving straight ahead. The difference between skilled and unskilled drivers was noticeable, particularly in the frequency of the gaze upon curb mirrors and utility poles, the rear overhang checking with the left and right mirrors, and the direct visual checking for the latent dangers behind on both sides.

Furthermore, eye-tracking initiation training was conducted to unskilled drivers. As a result, it developed the trainee's level up to that of skilled drivers in terms of eye movement in a shorter period than in the case of conventional driver recorder training. They can now drive more defensively with greater care.