

視点移動の解析によるドライバの漫然状態検出

秋山 知範^{*1} 稲垣 敏之^{*1} 古川 宏^{*1} 伊藤 誠^{*1}

Eye Movement Analysis for Detecting Driver's Inattentiveness

Tomonori Akiyama^{*1}, Toshiyuki Inagaki^{*1}, Hiroshi Furukawa^{*1} and Makoto Itoh^{*1}

Abstract - In this study, we investigate to how the eye movement is effected when a driver is inattentive to the driving. Since a driver can be inattentive to traffic environment when he or she is performing another task, such as talking via handsfree cellular phone, we impose a subject to do a subtask during driving in a fixed-based driving simulator. Three types of subtasks are given "Mental arithmetic task", "Memory task", and "Information retrieval task". The results suggest the possibility that driver's inattentiveness can be detected from the change of a distribution of the stationary time of viewpoints.

Keywords: driver's inattentiveness, eye movement, stationary time, safety and drive assist

1. はじめに

現在、様々な安全対策により自動車乗車中の交通事故による死者数は減少傾向にあるが、自動車保有台数の増加に伴い自動車乗車中の交通事故発生件数は増加の一途をたどっている^[1]。交通事故の発生原因を法令違反別に見ると、漫然運転が全体の約13%で最も多い^[2]。しかし、現状では漫然運転に対して効果的な安全確保の対策がとられていない。そのためドライバの漫然状態を検知し、可能な限り早期に正常な状態へ回復させることにより事故を未然に防ぐ、予防安全技術の開発が重要になると考えられる。

また、近年ドライバの運転負荷軽減を目的とした運転支援システムの導入が進んでいるが、人間にはリスク恒常性維持の傾向があるとの指摘がなされているように^[3]、システムが必要以上に運転者の負荷を軽減した場合、ドライバに不安全な状態が誘発される可能性も示唆されている^[4]。つまり、ドライバの状態を考慮せず常に均一な支援を与えるシステムの場合、漫然運転状態に陥る可能性が高くなるものと考えられる。このことから、ドライバの状態や環境状況にあわせて人間と機械の役割分担を柔軟に変更する(アダプティブ・オートメーション)のようなシステムを構築していく必要があると考えられる。以上のような状況に対し、近年様々な指標を用いてドライバの状態を推定するための技術を開発する試みがなされ始めてきている^[5-6]。

そこで本研究では、ドライバの状態推定の指標として視線移動に着目し、視線移動の変化から、ドライバの漫然運転への移行を検知するドライバの状態推定技術の開発を試みる。

2. 漫然運転

2.1 漫然運転の定義

図1は人間の認知情報処理をモデル化したものである^[7]。一般的にドライバの運転行動は「認知」「判断」「行動」の3つから成り立つと考えることができる。これらは次のように図1のモデルに当てはめることができる。

- **認知**(状況の知覚・同定)
→知覚・解釈
- **判断**(状況に対応するための行為の選択)
→計画
- **行動**(実際に行う行為の出力)
→実行

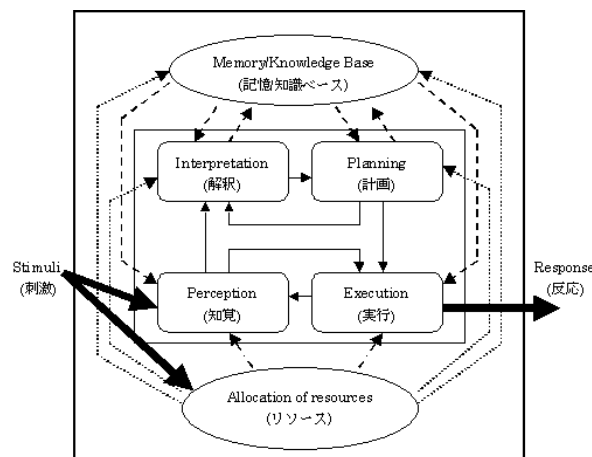


図1 認知の規範モデル^[7]
Fig.1 Reference model of cognition

一般的に、漫然運転は内在的前方不注意と言われており、心理的・生理的な要因によって注意が散漫になり危険を発見できなかったり、発見が遅れることを指す。つまり、漫然運転とは図1において、運転に必要なメンタルリソース(心的資源)の配分が十分でない状

*1: 筑波大学大学院 システム情報工学研究科

*1: Graduate School of Systems and Information Engineering,
University of Tsukuba

態であると考えられる．このとき漫然運転は次のように3つに分類できる．

- 疲労や眠気により，リソースの総量が少なく，運転に十分なリソースを配分できない状態
- リソースの総量は十分あるが，リソースを配分しようとししない状態
- 運転操作以外にリソースが使われ，運転操作へのリソースの配分が十分でない状態

本研究では，cの「運転操作以外にリソースが使われ，運転操作へのリソースの振り分けが十分でない状態」をとりあげ，この状態への移行を検知することを試みる．

2.2 漫然運転の模擬

ドライバの運転行動へのリソースの振り分けを阻害し，漫然運転を誘発するために表1に示すような3つのサブタスクをドライバに与える．これらの3つのタスクは図1において「解釈」「記憶」「知覚」のどの機能に特に強い負荷がかかるかという観点から設定した．またこれらのタスクは日常での運転では表2に示すような状況に近い状況を模擬していると考えられる．

表1 サブタスク
Table 1 Subtask

タスク	強い負荷がかかると思われる機能
暗算タスク	Planning(判断)
記憶タスク	Memory(記憶)
情報検索タスク	Perception(知覚)

表2 模擬する状況
Table 2 Imitated situation

タスク	模擬している状況
暗算タスク	無線による通信や同乗者との会話
記憶タスク	指示された経路や電話番号などを覚える
情報検索タスク	ラジオや音楽に聞き入る

3. ドライバの状態推定手法

3.1 視点移動の測定

すでに視点移動はドライバの心的状態の評価指標となることが報告知られている^[8-10]．このことから，ドライバの心的状態の変化によって起こる，漫然運転の検知に利用できる可能性が高い．よって本研究では，アイマークレコーダ(ISCAN社製)を用いて，ドライバの視点移動を計測し解析する．

3.2 停留点解析

飯田ら^[8]や高橋ら^[9]の研究によると，思考負荷によってドライバの停留点や停留時間の分布に影響が出ることが報告されている．このことから，アイマークレコーダにより計測したデータをもとに停留点解析を行い，ドラ

イバの漫然運転への移行を検知する指標として利用可能であるかを検討する．視点移動のデータは60Hzで計測する．停留点は，図2に示すアイマークレコーダの前方視野カメラ画像上X(座標512pix×Y座標512pix)において±10pixの範囲(角度座標で約±1deg)，に100msec以上留まったものと定義する．

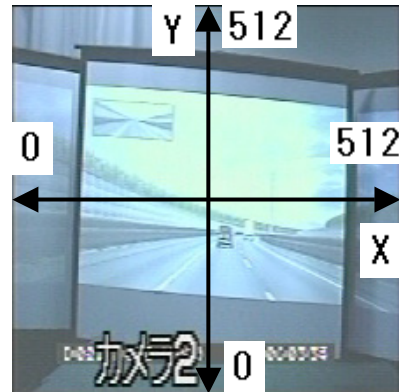


図2 前方視野カメラ画像
Fig.2 View forward camera image

4. 実験

4.1 実験の目的

ドライバの漫然運転への移行を停留点や停留時間の分布から検知するためには，漫然運転状態とそうでない状態が入り混じった走行の中で，検知指標となりうるかどうか確認する必要があるが，現在のところまだ確認されていない．そこで本研究ではサブタスクを与えた状態と，与えていない状態が入り混じった中で，停留点解析を行い，停留点や停留時間の分布に変化が起こり，漫然運転の検知指標となりうるかどうかを調べる．また，通常の運転だけでなく，漫然運転を誘発しやすい可能性のある，運転支援システムを使用した状態での実験も行う．

4.2 タスク

4.2.1 メインタスク

被験者には，他車両も存在する高速道路の左車線上を時速100km程度で16分間走行するメインタスクを与えた．他車両の位置は時間が経つにつれて緩やかに変化していく．ただし，他車両は急ブレーキや急な車線変更などの危険な動きはしない．また，本研究では，運転支援システムとしてACCシステムを用いた．今回用いたACCシステムの仕様は以下になっている．

- 自動的に定速走行し，先行車への追従走行を行う
- 追従している先行車の減速を検知し，車間距離維持を目的として自車の減速(最大 2.5m/s^2)を行う
- 追従している先行車の加速を検知し，車間距離維持を目的として自車の加速を行う

4.2.2 サブタスク

被験者にはサブタスクとして「暗算」「記憶」「情報検索」の3種類を与えた．

- 暗算： 3 秒ごとに 1 桁同士の加減算問題を出題し、口頭で回答させる
- 暗記： サブタスク開始時に 7 桁の数字を暗記させ、終了時に数字を口頭で回答させる
- 情報検索： 被験者に物語の朗読を聞かせ、事前に提示したキーワードが出現したらハンドルに設置したボタンを押させる

4.3 実験計画

普通自動車運転免許を保有し、日常的に車を運転している 4 名(22～27 歳、男性 2 名(被験者 A, B), 女性 2 名(被験者 C, D))が実験に参加した。図 3 の 16 分の走行を 1 試行とし、表 3 に示すように、マニュアルおよび ACC による走行をそれぞれのタスクごとに 4 試行ずつ行った。

表 3 実験計画
Table 3 Experiment design

	暗算	暗記	情報検索
マニュアル	4 試行	4 試行	4 試行
ACC	4 試行	4 試行	4 試行

4.4 実験手順

サブタスクは図 3 のように 2 分おきに、ドライビングシミュレータの横に設置したスピーカーから音声によって被験者へ提示した。

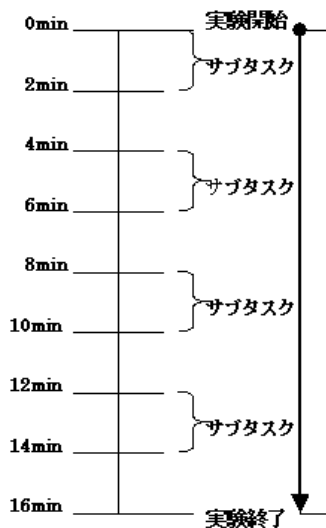


図 3 実験の流れ
Fig.3 Flow of the experiment

4.5 実験装置

三菱プレジジョン社製のドライビングシミュレータを用いる。道路環境は高速道路を模擬しており、ゆるやかなカーブ(R800 と R2000)と直線を組み合わせた 1 周約 20km の周回路となっている。

5. 実験の結果と考察

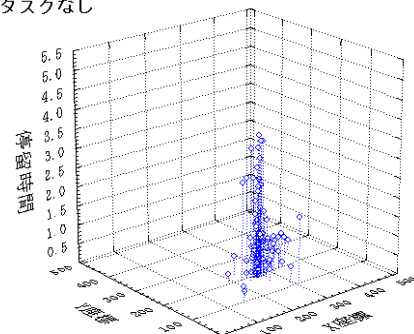
5.1 サブタスクの有無による停留時間および停留点の分布への影響

サブタスクのある 2 分間とその直後のサブタスクの無い 2 分間での視点移動の停留時間の分布を比較したところ、2 つの傾向が見られた。例として、被験者 C の ACC 走行・暗算タスク・4 試行目のデータを用いて説明する。

5.1.1 傾向 1

図 4 は試行中の 8 分～12 分の区間での視線の停留位置とその停留の長さ、図 5 は停留の頻度の 2 次元分布を、サブタスク無しと有りについて示したものである。図 4 から、サブタスクを与えられた場合、X - Y 方向の分布は変化しないが、全体的に停留時間が短くなっていることがわかり、図 5 から停留の頻度が全体的に増えていることがわかる。また、図 6 は、同区間での停留時間の度数分布であるが、サブタスクを与えられたことによって、0.1～1 秒程度の停留の頻度が増加していることがわかる。以上のことから傾向 1 は、頻繁に視線が移動している状態であると考えられる。

(a) サブタスクなし



(b) サブタスクあり

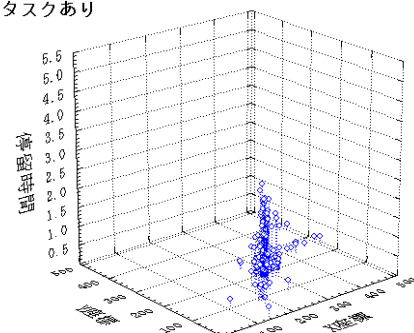
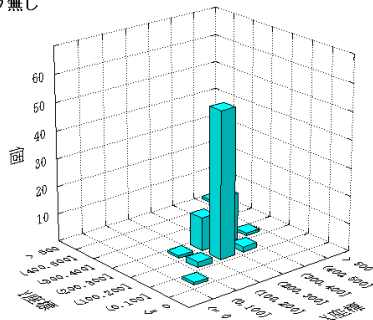


図 4 停留時間の 2 次元分布
(被験者 C, ACC, 暗算, 4 試行目, 8-12 分区間)
Fig.4 Two dimension distribution of stationary time
(Subject C, ACC, mental calculation, 4th trial, Section of 8-12min)

(a)サブタスク無し



(b)サブタスクあり

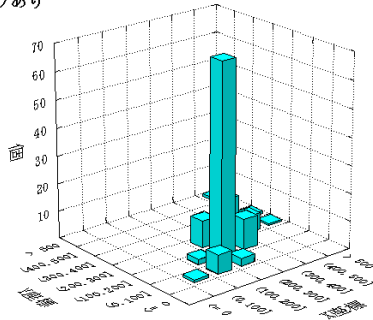
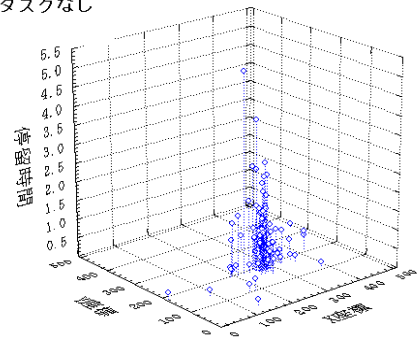


図5 停留点の2次元分布
(被験者 C, ACC, 暗算, 4 試行目, 8-12 分区间)
Fig.5 Two dimension distribution of stationary point
(Subject C, ACC, mental calculation, 4th trial,
Section of 8-12min)

(a)サブタスクなし



(b)サブタスクあり

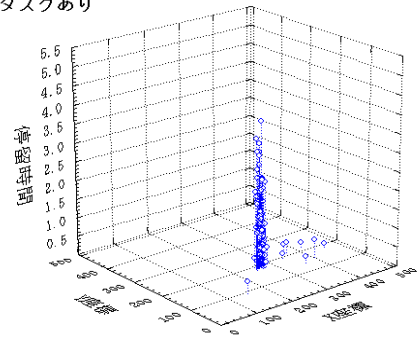


図7 停留時間の2次元分布
(被験者 C, ACC, 暗算, 4 試行目, 12-16 分区间)
Fig.7 Two dimension distribution of stationary time
(Subject C, ACC, mental calculation, 4th trial,
Section of 12-16min)

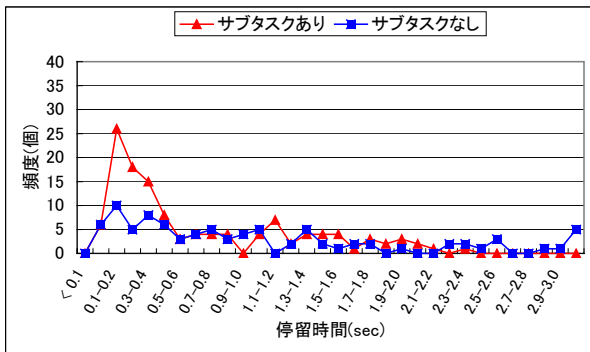
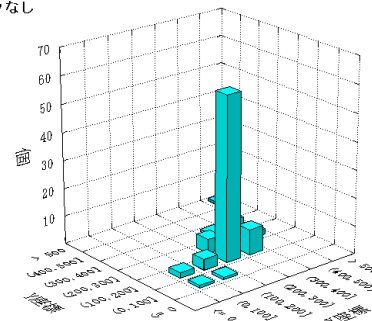


図6 停留時間の分布
(被験者 C, ACC, 暗算, 4 試行目, 8-12 分区间)
Fig.6 Distribution of stationary time
(Subject C, ACC, mental calculation, 4th trial,
Section of 8-12 min)

5.1.2 傾向 2

図7は試行中の12分～16分の区間での視線の停留位置とその停留の長さ, 図8は停留の頻度の2次元分布をサブタスク無しと有りについて示したものである. 図7, 図8からサブタスクを与えられたことで停留点のX-Y方向への分布が減っていることがわかる. また, 図9は同区間での停留時間の度数分布であるが, サブタスクを与えられることによって, 0.1～1秒程度の停留の頻度が減少し, 1秒以上あるような長い停留の頻度が増加していることがわかる. つまり, サブタスクを与えられたことによって視点が前方の1点へ集中し, 視線移動が低下している状態であると考えられる.

(a)サブタスクなし



(b)サブタスクあり

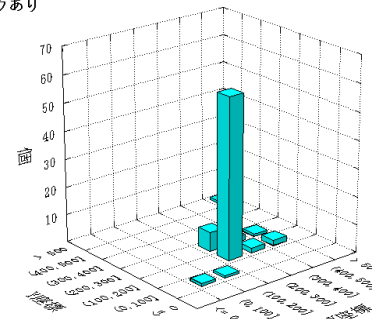


図8 停留点の2次元分布
(被験者 C, ACC, 暗算, 4 試行目, 12-16 分区间)
Fig.8 Two dimension distribution of stationary point
(Subject C, ACC, mental calculation, 4th trial,
Section of 12-16min)

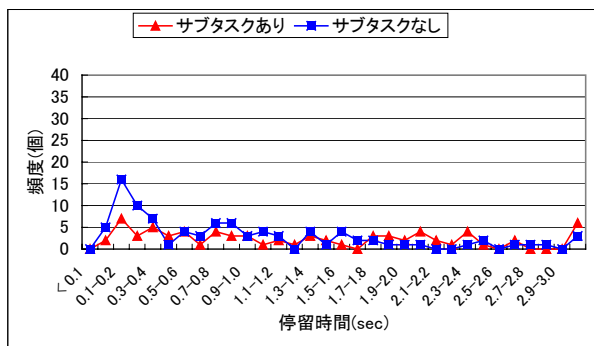


図 9 停留時間の分布
(被験者 C, ACC, 暗算, 4 試行目, 8-12 分区間)
Fig.9 Distribution of stationary time
(Subject C, ACC, mental calculation, 4th trial,
Section of 8-12 min)

5.2 サブタスクの種類・運転支援システムの有無による傾向の比較

図 10～13 は、サブタスクの種類、運転支援システムの有無ごとに、傾向の現れた回数と現れなかった回数を、被験者ごとにカウントし、まとめたものである。これらの結果から、今回の実験では、タスクによる傾向の差などはみられなかった。また、マニュアル運転と ACC を利用した運転を比較した場合も、今回の実験では被験者の視点移動の変化に差異はみられなかった。

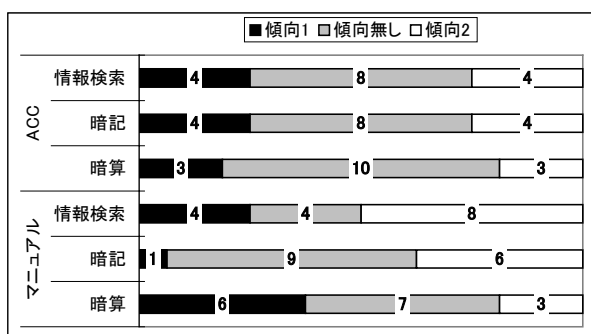


図 10 傾向の比較 (被験者 A)
Fig.10 Comparison of tendencies (Subject A)

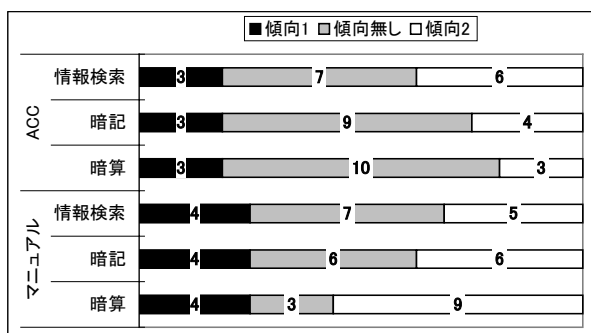


図 11 傾向の比較 (被験者 B)
Fig.11 Comparison of tendencies (Subject B)

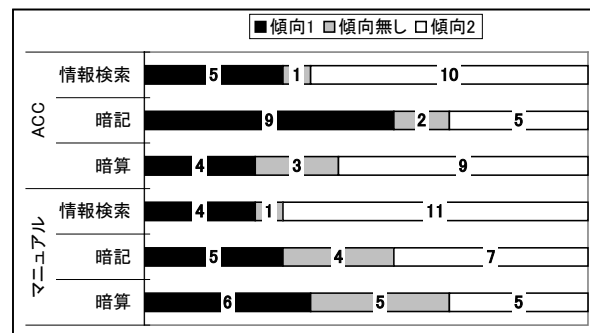


図 12 傾向の比較(被験者 C)
Fig.12 Comparison of tendencies (Subject C)

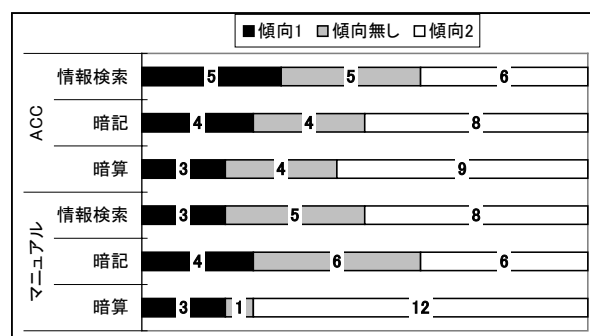


図 13 傾向の比較(被験者 D)
Fig.13 Comparison of tendencies (Subject D)

5.3 傾向 1 と傾向 2 の比較

傾向 1 と傾向 2 はサブタスクや運転方法もしくは個人に依存せず現れていた。そこで、2 つの種類の傾向が現れる原因を検討するために、両者の現れた場面を実験中のシミュレータ画面を録画したビデオによって比較した。すると次のような特徴が見られた。

傾向 1： 自車両の近くに他車両が多く存在している、右車線から追い抜いていく車がいる、など比較的交通の変化の激しい場面で多く見られた。

傾向 2： 自車両の近くにあまり他車両がない、交通の変化があまりない安定した場面などで比較的多く見られた。

以上のことから停留点の分布状況などを加味した上で考えると傾向 1 と傾向 2 は次のようなドライバの状態を示している可能性がある。

傾向 1： サブタスクによって運転行動へのリソースの振り分けが阻害されているが、運転行動のパフォーマンスを保とうと努力している状態

傾向 2： サブタスクに多くのリソースを振り分けており、運転行動へのリソースの振り分けが大幅に減少している状態。

6. まとめ

漫然運転を誘発させる目的でドライバにサブタスクを与えた結果、ドライバの停留点や停留時間の分布に次のような変化があらわれることが確認できた。

傾向 1： 0.1 秒～1 秒付近の短い停留時間の停留点が増加する(視線移動が頻繁になる)

傾向 2： 0.1 秒～1 秒付近の短い停留時間が減少し、1 秒以上あるような長い停留時間の停留点が増える(視線移動が減少し、視点がある 1 点に集中する)

これらの 2 つの傾向が現れる原因については明らかにすることができなかったが、傾向 1 や傾向 2 のような停留点の変化が現れた場合に、ドライバの状況認識や危険回避などの運転パフォーマンスが低下していることが確認できれば、傾向 1 や傾向 2 が現れた状態を漫然運転とし、視線運動の停留時間の分布をドライバの漫然運転を検出する指標として利用できる。よって、今後の課題としてこれらの傾向が現れた状態で、ドライバの運転パフォーマンスが低下するかどうかを確認する実験を行うものとする。

7. 参考文献

- [1] 警察庁交通局: 平成 16 年度中の交通事故の特徴及び道路交通法違反取締り状況について, p.39 (2005).
- [2] 内閣府: 交通安全白書, P.23 (2005)
- [3] Wild, G.J.S.: Risk homeostasis theory and traffic accidents; *Ergonomics*, **Vol. 31**, No.4, pp.441-468 (1988)
- [4] 宇野宏, 内田信行, 野口昌弘: ドライバの覚醒水準に及ぼす運転支援機能の影響; *自動車研究*, **Vol. 24**, No.9, pp.25-28 (2002)
- [5] 荒川俊也, 松雄典義, 木下昌裕: 視線挙動にもとづくドライバの漫然状態評価の試み; 社団法人自動車技術会学術講演前刷集, No.10-05, pp.5-8 (2005)
- [6] 榊原清美, 田口敏行, 佐々木隆: 運転者の緊張度評価法; *人間工学*, **Vol. 40**, No.3 pp.182-185 (2004)
- [7] Cacciabue, P.C., Mauri, C., Owen, D.: Development of a model and simulation of aviation maintenance technician task performance; *Cognition Technology and Work*, **Vol. 5**, No. 4, pp.229-247 (2003)
- [8] 飯田健夫, 伊藤孝幸: 自動車運転時における視覚特性への思考負荷の影響; *交通科学*, **Vol. 28**, No. 1-2, pp.60-65 (1998)
- [9] 高橋功次, 仲山実, 清水康敬: ドライブシミュレータ操作時の視点移動と瞳孔面積の変改に関する検討; 電子情報通信学会技術研究報告(ET 教育工学), **Vol. 98**, pp.51-58 (1998)
- [10] 内田信行, 浅野陽一, 橋本健志郎: 携帯電話による対話が運転時の視線コントロールに及ぼす影響; *自動車研究*, **Vol. 24**, No.6, pp.27-30 (2002)