

交通状況と運転行動の整合性評価に基づく 高リスク心的状態の検出

Detecting Transition of Psychological State into a Risky Condition by Evaluating Appropriateness of Driver's Behavior to the Current Traffic

伊藤 誠¹ 古川 宏¹ 稲垣 敏之¹
Makoto Itoh¹ Hiroshi Furukawa¹ Toshiyuki Inagaki¹

1) 筑波大学大学院 システム情報工学研究科リスク工学専攻

1) Department of Risk Engineering, Faculty of Systems and Information Engineering,
University of Tsukuba
itoh@risk.tsukuba.ac.jp

Abstract: The purpose of our study is to develop a method for real-time detection of transition of driver's psychological state into a risky condition by evaluating consistency of driver's behavior with a traffic condition. We conduct an experiment with utilizing a fixed based driving simulator in order to investigate how the driver's body movement and eye movement change when he or she becomes inattentive to the driving.

1. はじめに

事業用自動車の交通事故の抜本的な削減を目指し、文部科学省科学技術振興調整費重要課題解決型プロジェクト「状況・意図理解によるリスクの発見と回避」が進行中である¹⁾。そこでは、運転員は状況の認識を誤っていないか、適切な意図形成に失敗していないか、疲労や漫然状態に陥っていないか等を検知し、潜在危険状態への移行を防止したり、早期に通常の状態へ戻す予防安全型技術の開発を目指している。

運転支援の技術が高度化・一般化するにつれ、アダプティブクルーズコントロール (ACC) のようなシステムが多くの自動車に搭載されるようになる。運転支援システムの導入によって多くの事故は防ぐことができるようになると予想されるものの、新たな問題が発生することも懸念される。たとえば、運転支援システムを利用した運転において、システムの能力をドライバが誤解・過信したり、現在平穏な交通状況が今後も続くと思い込んだりすることによって、運転者が状況の認識を誤ったり、必要な注意を十分に払わなくなるようなことが考えられる。

本研究は、リスクを高めうる心的状態にドライバが陥った際に、これを非拘束のセンシングで早期に検出するための技術の開発を行っている。本稿では、運転中にドライバが周囲に十分に注意を払えない状況に陥っている際に体動と視線の動きに現れる特徴を明らかにする。

2. 交通状況と高リスク心的状態

2.1 交通状況に応じた多層的支援

自動車運転中の行動がどの程度危険であるかは、周囲の交通状況に依存する。たとえば、周囲にまったく他車のいないまっすぐな高速道路上であれば、少々のわき見をしたとしてもそれが直ちに危険となるわけではない。これに対し、混雑しているジャンクションなどでわき見をしていると、不意に他車の割込が発生するなどして短時間のうちに緊急事態に直面することも容易に想定できる。

周囲の交通状況は、たとえばつぎの3つのレベルにわけて考えることができる。

- ・危険事象の発生時
- ・危険源の存在時
- ・平穏時

ここで、危険事象とは、ただちに何らかの対処を行わなければ事故に至る事象を意味するものとし、危険源とは、近い将来に危険事象の発生をもたらす可能性のある要因を指すものとする。高速道路での走行において、危険事象、危険源、平穏状態それぞれの例を挙げる。

危険事象：自車の前方を走行する直近の車両（先行車）が急減速して自車に急接近し、ただちに減速操作を行わなければ追突する。

危険源：2車線のうち左車線を自車が走行中、右車

線のみ前方で混雑があり、流れが遅くなっている。右車線後方から一台の車両 (A) が追い上げてきている。A のスピードから、近い将来に、A が自車を追い越し、自車の直前に割り込んでくる事態が予想される。

平穩: 自車以外に走行している車両が周辺に存在しない。

抜本的な事故未然防止のためには、危険事象が発生したときに初めて対処するのではなく、交通状況の各レベルに応じて多層的な支援を行う必要がある。各レベルでそれぞれ支援すべき内容を以下に示す。

(1) 平穩時

平穩時でも、ドライバの心的状態によっては潜在的にリスクが高まることありうる。たとえば、ドライバが運転以外のことを考え込んでいて、運転への注意が十分に向けられていない状態が長く続く場合、その間に危険源が出現したり、危険事象が突如として発生すれば、十分な対処ができない可能性があるという意味で、潜在的にリスクが高まった状態であるということができる。このような、「ドライバ自身の状態に起因するリスク」をドライバが認知できていない場合には、システム側からのリスク認知支援が必要である。

(2) 危険源存在時

ドライバが危険源を適切に認識できていない場合に、必要な状況認識支援を行う必要がある。危険源に対しては、それが危険事象の発生につながるように、あらかじめ防衛的に対処しておくことが望ましいと考えられるからである。

ここでは、Naturalistic Decision Making²⁾の観点から、何をすべきかの判断を直接支援するというよりもむしろ「状況認識支援」と限定して考える。すなわち、職業ドライバーであれば、いかなる対処をすべきかは、状況が正しく認識できれば直ちに判断可能であると考えられる。とくに、きっかけさえつかめれば、現在の交通状況を理解するのは十分可能であると考えられることから、状況認識モデル³⁾におけるレベル1、すなわち、「何かが起こっている」ことの認識を支援することが中心となる。

(3) 危険事象発生時

危険事象発生時においても、事故回避の判断と操作は基本的にはドライバにゆだねるべきであるが、判断に利用できる時間が極めて短い場合などでは、安全性の確保のためにはシステムによる安全制御がなされるべきとも考えられる。ただし、すべての危険事象を対象にするのではなく、ドライバが適切に対応できていない場合にのみシステムが安全確保のために介入するべきとも考えられる。すなわち、

ドライバが危険事象を認識できているか、速やかな対処ができるための準備が整っているかに応じて、システムによる支援の方法を調整する必要がある。

たとえば、先行車急減速に対して、ドライバの注意が低下しているような場合にやや早めに警報を提示する、ドライバの対応操作が遅れている場合にはシステムによる緊急ブレーキ操作を行う、などの方策が考えられる。

2.2 高リスク心的状態とその検出

事故の未然防止のために多層的な支援を提供するためには、ドライバの行動をモニタリングして、ドライバの心的状態が事故発生の可能性を高めやすくなっていないかを評価する必要がある。

ドライバの運転中の心的状態を、注意のリソースの配分の観点から分類してみると、たとえば次のようになる。なお、ここでの「運転行動」とは、現在おかれている交通状況において、安全な位置を確保し、スムーズに車両を走行させることとして考える。

- (i) 運転行動に対して十分な注意をむけることができている
- (ii) 運転行動に対して十分な注意をむけられていない
 - (ア) 疲労などにより利用できる注意のリソースが不足している
 - (イ) 利用できるリソースの総量の不足はないが、結果として運転行動に対して十分に注意をむけることができていない

なお、疲労に関しては本研究では扱わない。プロジェクトの中の別項目として、疲労検出技術の開発が進められている。

また、(イ)については、つぎのように細分することができる。

- α : 運転行動における通常からの逸脱: 外見上は運転行動のみを行っているように見えても、考え事に陥ることなどによって、注意が運転行動以外のところに向けられている
- β : 運転行動以外の行為実行: よそ見をしたり、カーナビやテレビを操作するなど、目に見える身体の挙動を伴う行為をしている

上記の α と β ではドライバの行動への現れ方は異なることから、検出の方法もそれぞれに応じて開発することが必要である。 α にはいわゆる漫然運転とよばれる状態が含まれる。そのとき置かれている状況によ

っては、注意深く運転しているつもりでも、運転以外のことへ注意が集中しすぎる場合があるという意味で、 α の検出が重要課題といえる。本研究においては、漫然状態の検出と、運転行動以外の動作の検出を並行して進めているが、本稿では α の検出に限定して進捗状況を報告する。

本研究では、片側2車線の高速道路環境を模擬するドライビングシミュレータを用いる。走行するコースは直線路と、ゆるいカーブ (R800, R2000) とで構成されており、動揺装置はついていない (図1)。このシミュレータにおいて被験者に走行をさせたときの運転行動を解析する。ドライバの行動の評価に利用できるデータは次のとおりである。

- ・ アクセル・ブレーキペダル操作量
- ・ 右足位置 (ペダルに触れる前の準備状態をレザ変位計によって検出する)
- ・ ステアリングホイール操作量
- ・ 着座時座・背面の接触圧分布 (面圧分布センサ)
- ・ 頭部位置・角度 (ヘッドトラッカ)
- ・ 視線方向 (アイマークレコーダ)

なお、ペダル・ホイール操作量は、シミュレータの記録機能を利用する。



図1 定置型ドライビングシミュレータ

3. 運転行動における通常状態からの逸脱の検出

運転中の状況としては、アダプティブクルーズコントロールやレーンキープサポートなどのシステムを利用している場合もあることから、ドライバの行動を解析するにあたり、ペダルやホイールの操作量は利用できないこともある。操作量以外のデータのうち、本研究では、まず着座時の接触圧分布ならびに視線方向によって、ドライバの漫然状態の検出を試みている。詳細は文献[4,5]を参照されたい。

3.1 検出方法

体動からの検出

運転中の体の動きを、面圧分布センサによって計測する。

運転以外のことへ注意をむける原因としては、システムの支援能力を過大に解釈していたり、危険な交通状況は発生しないと思いつまむことが挙げられる。このような場合、積極的に運転行動以外の行為をするわけではないが、交通の平穏さや運転支援システムのスムーズな制御によって運転の状況が極めて単調になり、ドライバがぼんやりとした心的状態となることを誘発するものと考えられる。そのような心的状態が長く続く場合には、それが潜在的なリスク要因となりうることから、ドライバの注意低下の状態を検出する必要がある。

ぼんやりとした状態がさらに進むと、単調性による眠気が生じる可能性がある。立位姿勢で眠気を感じたとき、重心動揺が大きくなることが知られている⁹⁾ことから、運転姿勢をとっているときにも、注意が低下し、ぼんやりとしているときや眠気をもよおすときには、座面荷重分布の重心位置の変化が大きくなるとの仮説を設定した。

また、当人が意図せず結果的に漫然状態に陥る場合も考えられる。自分としては運転行動へ十分な注意を向けていたつもりであるが、考え事などに陥ることなどの場合である。このような状況が起こりうることは、いくつかの航空機事故が証明している。この場合、当人としては一生懸命運転に注意を向けようとしていることから、運転行動と考え事の両方に注意を向けようとするところから、かえってドライバの精神的緊張度が通常の状態に比べ高まっていると考えられる。緊張することで体が固くなる結果、ドライバの体動が減少する、すなわち座面荷重の重心位置の変化が小さくなるとの仮説を設定した。

以上、いずれの場合も、座面荷重の重心位置を計測することによって評価できる。なお、予備実験によれば、本シミュレータにおいて無意識的に起こる体動として意味があるのは、前時刻の重心位置とのズレがおよそ0.1~1.0inchの範囲内のものである。

視点位置の変動からの検出

運転中の視線の動きをアイマークレコーダによって計測する。ヘッドトラッカの頭部位置・角度の情報と統合させれば3次元空間内のどの部分を見ているかを特定することも可能であるが、ここでは、周囲をスキャンするパターンにのみ注目する。飯田ら¹⁷⁾や高

橋ら⁸⁾は、思考負荷によってドライバの視線の停留点や停留時間の分布に影響が現れうることを示しており、このことから、考え事などに陥ることによって結果的に漫然状態になる場合には、停留点分布に変化が生じることが予想される。

3.2 実験

目的

ドライビングシミュレータ上での運転中に認知的負荷がかかるサブタスクを与えた場合に、体動や視線の動きにいかなる影響が現れるかを調べる。また、眠気をもよおした時に、体動に現れる影響についても調べる。

実験方法

ドライバには、シミュレータでの走行を行わせ、周囲の状況に合わせて左車線を安全に走行することを課す。また、運転中にサブタスクを課す。他のことに気を取られたり、運転行動に集中したりすることを交互に繰り返すこともあると考えられることから、本実験では被験者に 2 分毎にサブタスクを提示する。サブタスクの種類としては、つぎの 3 つを用意した。

I. 情報検索

物語の朗読を聞かせ、特定のキーワード(人名)が聞こえたらハンドルについてボタンを押させる。これは、渋滞情報などをラジオから聞こえることに相当するものと考えられる。

II. 暗記

7つの数字を音声で提示し、暗記させる。最初に 2 秒間隔で 7つの数字を提示した後、2 分後に提示された順に全ての数字を口頭で答えさせた。これは、電話番号を覚える行為や、目的地への目印を覚える行為に相当する。

III. 暗算

3 秒間隔で 1 桁の数同士の加減算を行わせた。このタスクは同乗者との会話や密な通信に相当している。

サブタスクは事前に録音した音声データを用い、運転中スピーカーから被験者に聞かせた。

実験計画

普通自動車免許を有する女性 2 名、男性 2 名の計 4 名 A,B,C,D (年齢 22~27 歳) を被験者とする。すべての被験者に、情報検索・暗記・暗算のタスクを行った走行をさせる。

1 走行を前半 (0-18 分) と後半 (18-36 分) に

わけ(表 1)、マニュアル走行と ACC を使用した走行を切り替える。マニュアル走行と ACC 走行の順番は、被験者によって異なる。表 1 に示すように、マニュアル走行・ACC 使用走行中それぞれにおいて、各サブタスクを 4 回ずつ行わせる。

サブタスクの提示は、暗算、暗記、情報検索の順に行う。各サブタスクについて 4 走行行うこととした。すなわち、ひとつのサブタスク条件においてマニュアル走行時、ACC 使用時それぞれ 16 回のサブタスクを行うことになる。なお、ひとつのサブタスク条件で 4 走行を終えたらつぎのサブタスク条件へ進めるようにした。

表 1 サブタスクが与えられるタイミング

時間	0-2	2-4	4-6	6-8	8-10
タスク	無※	有	無	有	無
時間	10-12	12-14	14-16	16-18	18-20
タスク	有	無	有	無	無※
時間	20-22	22-24	24-26	26-28	28-30
タスク	有	無	有	無	有
時間	30-32	32-34	34-36		
タスク	無	有	無		

※ACC の動作状態を切り替えるため解析には用いない。

実験手順

いずれの被験者もシミュレータ上の運転ならびに ACC の使用に慣れており、実験の内容を説明したのち、ただちに走行実験を開始した。1 人の被験者について、1 日に 2 走行を行った。また、各走行の間には 15 分程度の休憩を取った。

なお、走行開始直後の 2 分間と、18-20 分の 2 分間は、ACC の操作をするための大きな体動が現れることから、ここではこれら各 2 分間についてはデータの解析には使用しない。

評価指標

面圧分布センサのサンプリング周波数を 2 Hz とし、隣り合う時刻での重心位置を比較し、0.1-1 インチの範囲で重心位置のズレが見られれば、1 回の体動と判定する。20 秒をひとつの単位として、その中での体動の回数を求める。

視線位置は 60Hz でサンプリングする。停留点は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。

アイマークレコーダを用いれば、瞬きの間隔や瞬き中の目を閉じている時間(閉眼時間)を算出すること

ができる。眠くなると閉眼時間が長くなる傾向があることから、ここでは閉眼時間を取得する。

体動からの眠気の検出結果⁴⁾

図2は閉眼時間と20秒あたりの体動回数の時間的変化の一例である。図2では、閉眼時間が長くなる時には体動回数も増える傾向を見出すことができる。これは他のデータにおいても共通であった。すなわち、座面荷重重心の変動減少から眠気が検出できる可能性が示された。

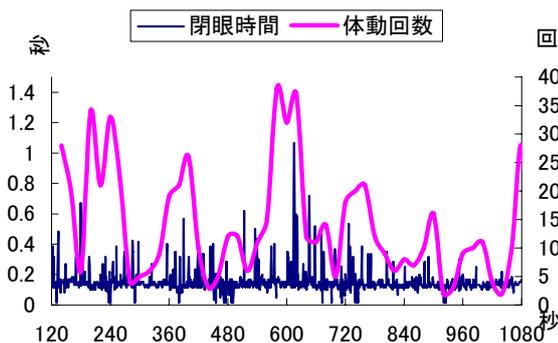


図2 被験者C, 閉眼時間と体動回数⁴⁾
(暗算, マニュアル1回目)

体動からのサブタスク実施時の検出結果⁴⁾

情報検索と暗記タスクの場合、サブタスクを実施しているときと実施していないときとは、体動に顕著な差異はみられなかった。ただし、暗算の場合は、サブタスクを行っているときにドライバの体動が減少する傾向が全32データ(一人8回(マニュアル走行で4回, ACC利用時で4階)×4人)中26データで見られている。たとえば、時間の経過に伴い体動回数の推移をみると、図3のようになる。

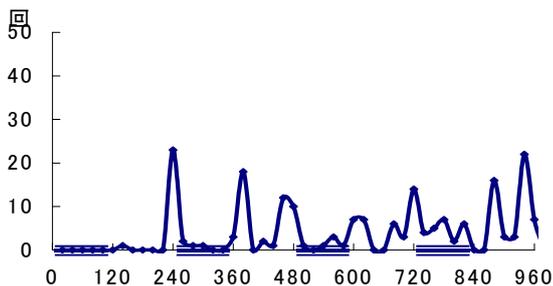


図3 被験者C, 20秒毎の体動回数⁴⁾
(暗算, ACC1回目)

1回の走行におけるサブタスク実施中の総体動数(2分×4=8分間分)について、サブタスクの有無, ACCの使用状況を要因として、被験者毎に2要因の分散分析を行ったところ、3人の被験者(B, C, D)

において、暗算の有無で有意差($p < 0.05$)が見られた。また、被験者Aは統計的には有意な差を認められなかったものの、p値が0.0544と有意傾向を示した。

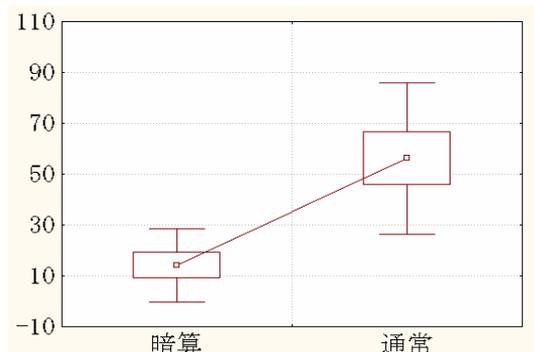


図4 被験者D, 体動回数の分散(暗算)

視線の停留からのサブタスク実施時の検出結果⁵⁾

サブタスクのある2分間とその直後のサブタスクのない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試行目のデータを例に説明する。

傾向1: 頻繁に視線移動が行われる

サブタスクを行うときに短い停留が発生する頻度が高くなるものである。視点が停留している時間が短いことから、頻繁に視線移動が行われているといえる。実際、停留位置を2次元平面上でプロットしてみると、停留位置は広く分布している。

図5は傾向1の典型的な例である。1走行中の8分~12分の区間での停留時間を0.1秒ごとに区切って、頻度をカウントしたものである。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増加していることがわかる。

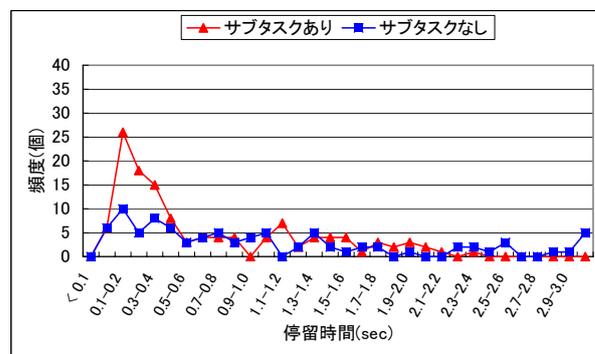


図5 停留時間の分布: 傾向1⁵⁾
(被験者C, ACC, 暗算, 4試行目, 8-12分区間)

傾向2: 視点がある範囲内に固着する

サブタスクを行うときに短い停留が発生する頻度

が低くなり、長い停留が若干増えるものである(例、図6)。視点の停留時間が長いものが現れることに顕著に示されるように、視線移動が活発でない状態を表すといえる。実際、停留位置を2次元平面上でプロットしてみると、停留位置の分布は狭く、特定の範囲内に固着する傾向が見られる。

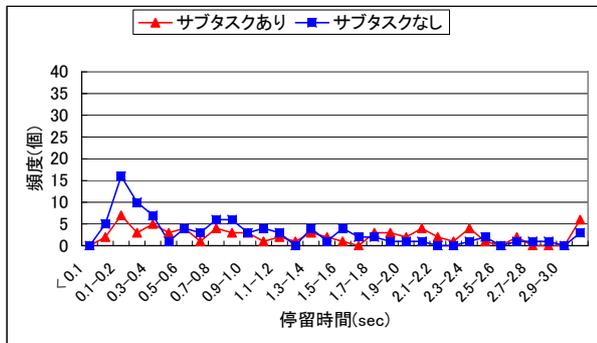


図6 停留時間の分布⁵⁾
(被験者 C, ACC, 暗算, 4 試行目, 8-12 分区分間)

4. 考察

視線の停留に関して傾向1が現れる状況、すなわち、通常の場合と比べて視線移動がより頻繁に行われている状況では、ドライバはそのときサブタスクと運転行動の両方に注意をしっかりと配分しようとしているものと考えられる。すなわち、ドライバにかかっている負荷がやや高い状態といえる。このような場合、ドライバが外界に注意を向けているつもりでも適切に状況を認識できなかつたり、サブタスクの負荷が外れたとたんに運転行動への注意も低下することが懸念される。したがって、傾向1が検出されたら、システムとしてはドライバの負荷の高まりとしてこれを認識しておき、ドライバの行動を注意深くモニタリングすることが必要になるのではないかと考えられる。

一方、傾向2が現れている状況では、すでに外界に対するドライバの注意は必ずしも十分でないことが考えられる。傾向2が出ているとしても、周囲の状況が平穏であれば直ちに危険なことにはならないが、危険源が出現した場合、すぐにはその存在に気づかないことが懸念される。危険源のあるときに傾向2が出ている場合には、危険源の存在を通知するためのリマインダをシステムから提示するなどの措置が必要になると考えられる。

現在、傾向1や傾向2が見られたときに、危険源が出現する状況や危険事象が発生する状況において、どの程度ドライバが適切に事態へ対処できるかを調べる実験を進めているところである。

また、暗算タスクを行っているときでも、傾向2が

出るような心的状態では体動がなくなるとは限らないとの仮説を立てることができる。体動情報と視線の停留情報とを組み合わせることによって、サブタスクへの没入度合を評価できるかを検討する必要がある。

5. 謝辞

この研究は、平成17年度文部科学省科学技術振興調整費重要課題解決型プロジェクト「状況・意図理解によるリスクの発見と回避」の一部として行われたものである。また、実験の実施・データ解析に主体的な貢献をいただいた、秋山知範君、永作浩君、高橋慶行君、屋所健司君に感謝する。

6. 参考文献

- [1] 稲垣敏之, 状況・意図理解によるリスクの発見と回避, ヒューマンインタフェース学会研究報告集, Vol. 7, No. 1, pp. 13-18, 2005
- [2] Klein, G., The Recognition-Primed Decision (RPD) Model: Looking Back, Looking Forward, In C. E. Zsombok and G. Klein (eds.), Naturalistic Decision Making, Chap. 27, LEA, 1997.
- [3] Endsley, M. R., Toward a Theory of Situation Awareness in Dynamic Systems, Human Factors, Vol. 37, No. 1, pp. 32-64, 1995.
- [4] 永作 浩, 屋所 健司, 稲垣 敏之, 古川 宏, 伊藤 誠, 体動情報に基づくドライバの漫然運転リアルタイム検出, ヒューマンインタフェースシンポジウム 2005 論文集, Vol. 1, pp. 351-356, 2005
- [5] 秋山 知範, 稲垣 敏之, 古川 宏, 伊藤 誠, 視点移動の解析によるドライバの漫然状態検出, ヒューマンインタフェースシンポジウム 2005 論文集, Vol. 1, pp. 345-350, 2005
- [6] 中野紀夫, 荒木和典, 道盛章弘, 井邊浩行, 萩原啓, 小山恵美: 覚醒レベルが立位姿勢維持能力に及ぼす影響; 日本睡眠学会, No.1, p.30 (2000).
- [7] 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)
- [8] 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)