

## 悪天候時レーンキーピングシステム

### —絶対位置と相対位置による自己位置推定の評価—

#### Development of Lane Keeping System in Adverse Weather Conditions - Evaluation of Self-Localization Using Absolute and Relative Position -

○田上浩平, 御室哲志, 高梨宏之, 礪田陽次

○Kohei Tagami, Tetsushi Mimuro, Hiroyuki Takanashi, Yoji Isota

秋田県立大学

Akita Prefectural University

キーワード : 実車実験(Actual Running Test), レーンキーピング(Lane Keeping),  
悪天候 (Adverse Weather), ビークルダイナミクス(Vehicle Dynamics)

連絡先 : 〒015-0055 秋田県由利本荘市土谷字海老ノ口 84-4 秋田県立大学  
システム科学技術研究科 共同ライフサイクルデザイン工学専攻  
御室哲志, Tel.: (0184)27-2216, Fax.: (0184)27-2188, E-mail: mimuro@akita-pu.ac.jp

### 1. はじめに

これまで悪天候時の対策は, 道路側, 車両側の双方で種々実施されてきている. しかしまだ不十分で, 悪天候下での重大な事故も報告されている<sup>(1)</sup>. 特にレーン逸脱は重大な事故に直結するので, この対策が必要である.

現在, 様々なレーンキーピングシステム技術が実用化されているが, これらのシステムはカメラ映像を用いている等, 悪天候下での使用が困難である.

そこで筆者らは悪天候時の利用を想定した路肩マーカを用いたレーンキーピングシ

ステムを提案した<sup>(2)</sup>. 路肩マーカは道路の左路肩に, ある間隔で設置するものと仮定する. この路肩マーカから通信で得られる道路線形情報と, 車載レーザセンサによる路肩マーカと車両の相対位置情報を用いてレーンキーピングを行う. このコンセプトを実証するための走行実験用システムを構築中である. 本論文では, レーザセンサによる相対位置情報の精度検証の結果を報告する.

### 2. 従来のレーンキーピングシステム

ここではレーン逸脱警報, レーンキーピン

グアシスト, 自動操縦を伴うレーンキーピングシステム等を総称してレーンキーピングシステムと呼ぶ。様々な機関や自動車メーカーでレーンキーピング技術の開発が進められている。図1に代表的なレーンキーピング技術を示す<sup>(3)</sup>。

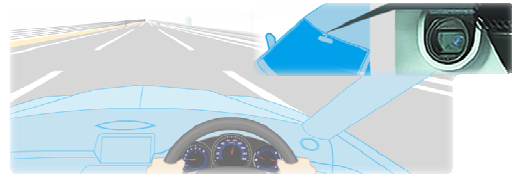


Fig. 1 Example of lane keeping system with camera Honda's LKAS[Lane Keep Assit System]<sup>(3)</sup>

現在, 実用化されているレーンキーピング技術は主にカメラの映像で白線を検出するものであり, 豪雨や豪雪, 地吹雪などの悪天候下では, レーン認識が困難になる。

カメラを用いないレーン誘導システムとして, 走行路直下に配置された磁気ネイルあるいは路肩マーカを用いた開発事例<sup>(4)</sup>もあるが, メンテナンスが難しいことや雨天時等のレーン誘導性能に課題があり, 本格実用に至っていない。また自動走行研究用等にはRTK-GPS と高精度地図の組合せの絶対位置ベースのレーンキーピングも利用されている<sup>(5)</sup>が, 実用性という意味では, 機器が高価であり, 電波遮蔽に弱く, リアルタイム性に欠けるといった問題がある。

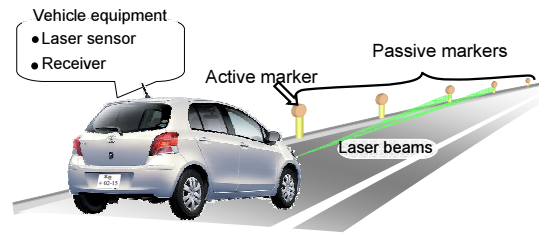


Fig. 2 Lane keeping system using roadside

電磁誘導方式による車線逸脱防止装置が, 北海道開発研究所で開発されている<sup>(6)</sup>。これは積雪寒冷地(降積雪条件)において車線逸脱を防止するものである。図3のように車両にアンテナを搭載し, 路面に埋め込んだレーンマーカを認識するものである。レーンマーカはレーン中央に設置されており, 車両に取り付けた2個のアンテナの電圧の差からレーン中心線とのずれを検出する。冬期間の実車走行実験の結果, 車両のレーン中央線からの位置ずれは10cmであった。誤差に関しては実用範囲であるといえるが, レーンマーカを路面に埋め込むため, 道路及びマーカのメンテナンスに手間がかかると考えられる。

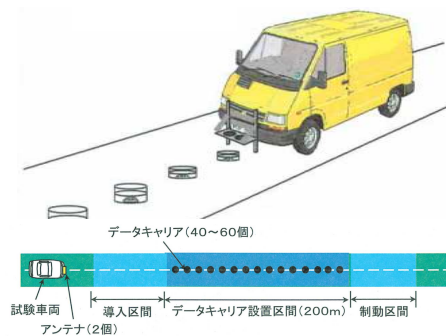


Fig. 3 Lane-marker deviation-prevention device

### 3. 悪天候用レーンキーピングシステムのコンセプト

#### 3-1 路肩マーカの利用

本研究では悪天候下でも利用可能な路肩マーカと車載レーザセンサを用いたレーンキーピングシステムを提案する。図2に示すように, 車両はレーザセンサにより, 路肩パッシブマーカの相対位置情報を得る。また路肩パッシブマーカの絶対位置情報を通信で得て, 両者からレーン位置を推定し, レーン内走行を支援する。

レーザセンサによる相対位置情報と, 事前に構築された絶対位置情報のマッチングに

よる高精度自車位置推定の先行研究<sup>(7)</sup>があり、本研究はその類型的なアプリケーションとも考えられる。

### 3-2 レーザセンサ

レーザセンサは車両の先端部に設置され、通常の目的は車間距離制御や衝突被害軽減ブレーキ用に先行車や障害物を検出することである。電波レーダは光学式センサに比べて悪天候下の性能に優れている<sup>(7)</sup>が、角度分解能に難があるため、今回は使用しなかった。本研究におけるレーザセンサの使用目的は、パッシブマーカと車両の相対位置情報を得ることである。最悪条件でも車両から 10m 程度の距離にあるパッシブマーカ位置を得る必要があるが、これは現在市販されているレベルのレーザセンサで可能と考えている。

### 3-3 路肩パッシブマーカ

左路肩にマーカ設置間隔ルールに従ってパッシブマーカを設置する。ここで、パッシブマーカとはレーザセンサで検出し易い部品で構成され、積雪期においては道路境界を視覚的に識別し易いものである。マーカ設置間隔ルールとは、標準的な道路曲率毎の設置密度に適合するとともに、その範囲で積極的に不等間隔として、一種の暗号を盛り込むものとする。

#### PM (Passive Marker) 情報

レーザセンサは図 4 に示すように車両から路肩マーカまでの距離  $d_n$  と角度  $\theta_n$  を検出する。至近距離マーカの極座標  $(d_1, \theta_1)$  を自動車  $x$ - $y$  座標で  $(x_{PM0}, y_{PM0})$  と表し、その後サンプリング時間  $\Delta t$  毎の車両の移動に対応して (1) 式の変換を行い、至近距離マーカから車両後方へ 10 個のマーカの相対位置情報を蓄える。この蓄えた (2) 情報を PM 情報と呼ぶ。

$$\begin{bmatrix} x_{PMi+1} \\ y_{PMi+1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \Delta\varphi & \sin \Delta\varphi \\ -\sin \Delta\varphi & \cos \Delta\varphi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_{PMi} - \Delta x \\ Y_{PMi} - \Delta y \end{bmatrix} \quad i = 0, 1, 2, \dots, 9 \quad \dots(1)$$

$(x_{PM}, y_{PM})$ : 路肩マーカの相対位置座標  
 $\Delta x, \Delta y$ :  $\Delta t$  の間の車両移動距離  
 $\Delta\varphi$ :  $\Delta t$  の間の車両移動ヨー角

$$\text{PM 情報} = \begin{bmatrix} x_{PM0} & x_{PM1} & x_{PM2} & x_{PM3} & \dots & x_{PM9} \\ y_{PM0} & y_{PM1} & y_{PM2} & y_{PM3} & \dots & y_{PM9} \end{bmatrix}$$

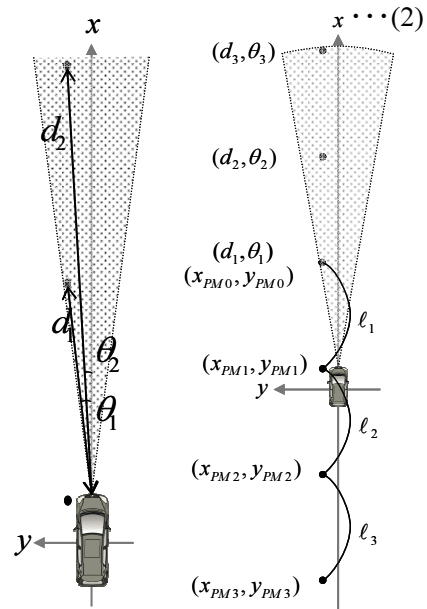


Fig. 4 PM- information

### 3-4 路肩アクティブマーカ

10 個のパッシブマーカ列の 1 個目にはアクティブマーカ機能を持たせる。ここで、アクティブマーカとは車両に搭載されている電波マーカ受信器からの電波を受けるとスリープモードから出て、それ自身および前方の 9 個、計 10 個分のパッシブマーカの絶対位置情報(緯度経度情報)を送信する。使用するアンテナには指向性を持たせ、隣り合うアクティブマーカとの干渉はないとする。

#### AM (Active Marker) 情報

図 5 に示すように、電波マーカ受信器の受信範囲に入ったアクティブマーカにより、車両に送られた情報と、既に通過した分を含め 20 個分のアクティブマーカ列の絶対位置を (3) 式のように蓄えておき、これを AM 情報と呼ぶ。

$$\text{AM 情報} = \begin{bmatrix} x_{AM0} & x_{AM1} & x_{AM2} & x_{AM3} & \dots & x_{AM19} \\ y_{AM0} & y_{AM1} & y_{AM2} & y_{AM3} & \dots & y_{AM19} \end{bmatrix} \quad \dots(3)$$

マッチング

マッチングに使用するのは PM 情報(2)式と AM 情報(3)式である. PM 情報と AM 情報において, それぞれのマーカ間の距離を(4), (5)式のように求める.

$$\ell_{PMi} = \sqrt{(x_i - x_{i-1})^2 + (y_i - y_{i-1})^2} \quad i = 1, 2, 3, \dots, 9 \quad \dots(4)$$

$$\ell_{AMj} = \sqrt{(x_j - x_{j-1})^2 + (y_j - y_{j-1})^2} \quad j = 1, 2, 3, \dots, 19 \quad \dots(5)$$

10 個のマーカからなる PM 情報がマーカ間距離の意味で最も適合する 10 個のマーカ列を, 20 個のマーカからなる AM 情報から特定するために, (6)式の最小 2 乗演算を行う.

$$\Delta_i^2 = \sum_{j=1}^9 \left[ \left\{ \ell_{AM(i+j-1)} \right\}^2 - \left\{ \ell_{PMj} \right\}^2 \right] \quad i = 1, 2, 3, \dots, 11 \quad \dots(6)$$

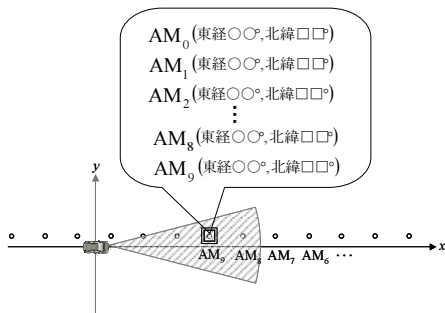


Fig. 5 AM- information

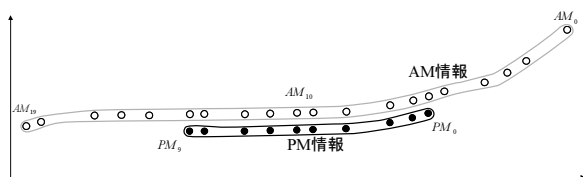


Fig. 6 Matching PM- information to AM- information

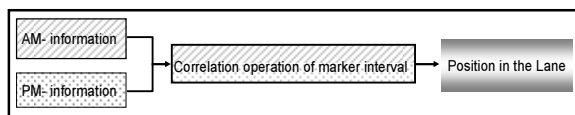


Fig. 7 Matching diagram

$\Delta_i^2$ の最も小さい*i*を選ぶと, これが正しい PM 情報と AM 情報の組み合わせとなる. これにより, 現在位置よりも前方の AM 情報を使用して, 自車と路肩の相対位置関係を判別できるようになる (図 6, 7).

## 4. 走行実験用システム

### 4-1 実験車両

車両ではレーザセンサから路肩マーカ相対位置情報, 姿勢センサから GPS による経緯度と車両の 3 軸角速度と加速度, A/D から車速パルスとアクセル開度の情報をノート PC でリアルタイム処理する. 無線 LAN 通じて助席側のダッシュボード上に取り付けたタブレットに警報などの情報を表示する.

(図 8)

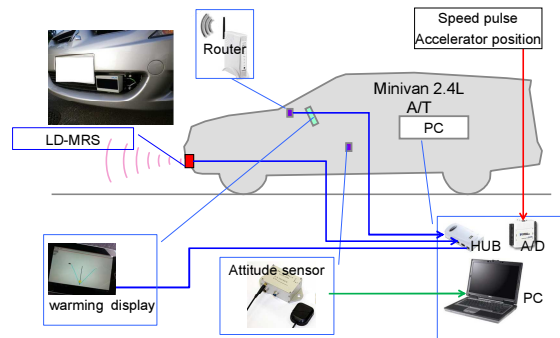


Fig. 8 Configuration of test vehicle

### 4-2 路肩パッシブマーカ

大学構内道路に, 路肩パッシブマーカとして, スノーポール 21 本を図 9 のように設置した. マーカの絶対位置は GPS 測量により高精度に計測されており, マーカ間距離は, 3-3 で述べたように意図的に不等間隔とした.

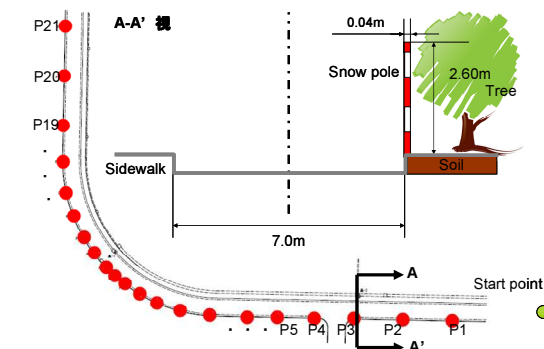


Fig. 9 Layout of passive markers

### 4-3 路肩アクティブマーカ

今回の実験ではスタート地点側から 4 本目のスノーポール近傍に通信用 PC と 2.4GHz 帯ルータと試作した 2 パッチアンテナを設置し、アクティブマーカとした。このアクティブマーカが自身を含め前方の 10 個分のパッシブマーカの絶対位置情報を送信する。送信された絶対位置情報を車両側の指向性アンテナを介して受信する (図 10) <sup>(9)</sup>。



Fig. 10 Active marker

### 4-4 レーザデータによる路肩マーカの位置検出

レーザセンサによるパッシブマーカを捕えられている状況を図 11 に示す。レーザビームは垂直面内に  $0.8^\circ$  ずつの 4 つのレイヤを持ち、水平面内は角度分解能  $0.25^\circ$  で計測している。反射データは下から赤、青、緑、黄で表示されており、道路両側の赤を中心としたデータは縁石等である。左の縁石上には、黄の点 (実は 4 色が重なった点) があり、これがパッシブマーカである。

別のシーンだが図 12 はそれを全レイヤ、第 2 レイヤ、第 3 レイヤ第 4 レイヤ別に表示している。今回のシンプルな試験コースでは、左縁石付近で 4 つのレイヤの反射点位置が重なればマーカと判断できる。全レイヤの黄色がマーカである。

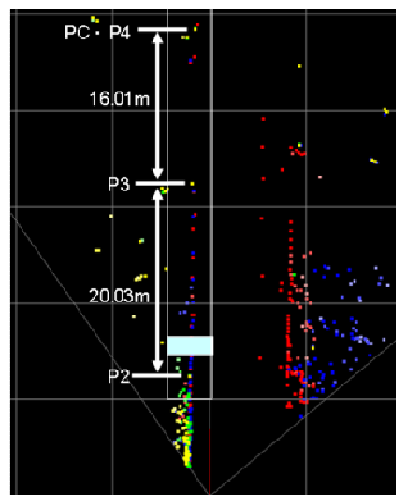


Fig. 11 Reflection data by laser sensor

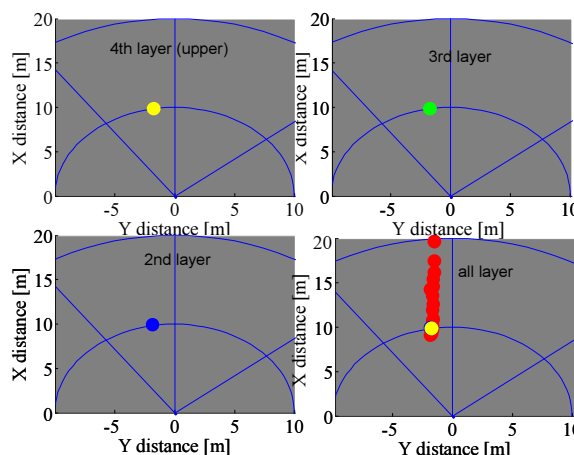


Fig. 12 Laser reflection data of each layer

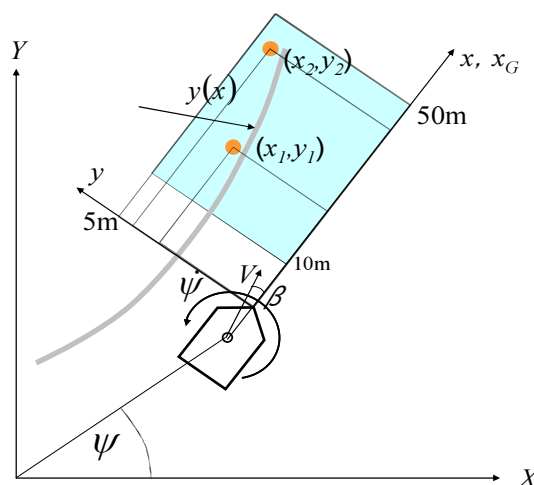


Fig. 13 Coordinates and PM relative position

レーザセンサのデータから  $10\text{m} \leq x \leq 50\text{m}$ ,  $0\text{m} \leq y \leq 5\text{m}$  だけを使って、左路肩位置を推定する(図 11, 13).

## 5. レーザセンサによるポール検出性能の検証

### 5-1 レーザセンサの仕様

角度分解能によるレーザのレーザセンサからの距離と角度分解能による精度を確認する. 角度分解能が  $0.25^\circ$  時のレーザ間は図 14, 15, 表 1 のようになっている.

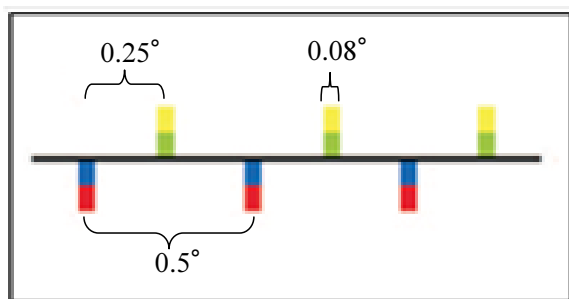


Fig. 14 Angular resolution

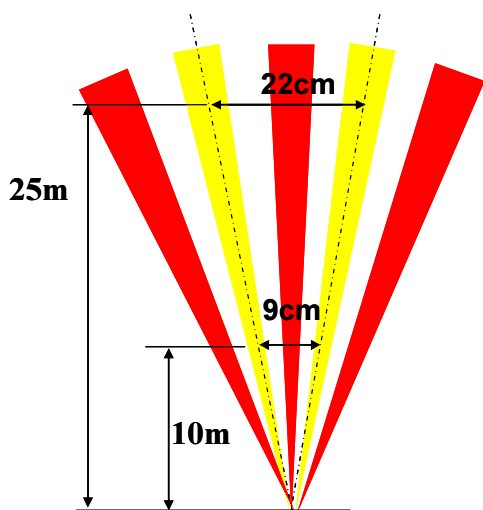


Fig. 15 Split interval between laser beams

Table 1 Specification of LD-MRS

使用天候	雨および雪
測定距離範囲	最大 200m 10%反射率のとき 50mまで
スキャン角度	$85^\circ \sim$
角度分解能	$0.125^\circ/0.25^\circ/0.5^\circ$
測定回数	12.5Hz / 25Hz / 50Hz
距離分解能	40mm

### 5-2 距離に対する検出性能

レーザセンサから  $5 \sim 30\text{m}$  の距離にあるスノーポールの距離情報は表 1 にあるとおりの高性能であった. 同じ距離範囲での検出確率を図 16 に示す. これより  $10\text{m}$  までであればポール (直径  $4\text{cm}$ ) を見落とすことはほとんど無いと言える.

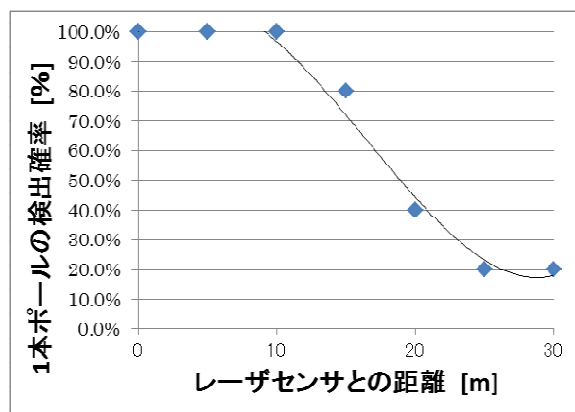


Fig. 16 Detection probability vs distance

### 5-3 角度に対する検出性能

レーザセンサを固定し, 2 本のスノーポールをポール間スキマが  $0 \sim 10\text{cm}$  になるように  $10\text{m}$  地点でランダムに動かし計測した. ポール間スキマによってスノーポールが 2 本に分離検出できる確率を図 17 に示す. ポール間スキマが  $4\text{cm}$  程度で 2 本に分離検出できることが分かる.



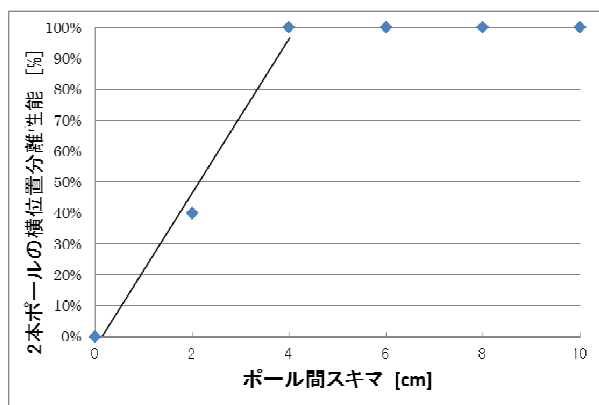


Fig. 17 Separation performance

## 6. 結言

本研究では、提案中の悪天候下でも利用可能な路肩マーカとレーザセンサを用いたレーンキーピングシステムの走行実験用システムの構築について報告した。レーザセンサによるボールの検出性能の検証では、レーザセンサから 10m地点でのパッシブマーカ検出性能は本システムにおいて十分精度があると考えられる。そのリアルタイム処理については今後の開発テーマである。

本研究は JST 研究成果最適展開支援プログラム フェージビリティスタディ【FS】ステージ 課題番号 AS232Z01853A の一環として実施した。

## 参考文献

- (1)安藤和彦；交通視環境問題と交通事故，照明学会誌，Vol.89，No.9，pp.632-635（2005）
- (2)クアドラバニア，高梨宏之，御室哲志；悪天候時のレーンキーピングシステム，日本機械学会交通・物流部門大会講演論文集，Vol.2011，pp83
- (3) Honda's LKAS（レーンキープアシストシステム）  
<http://www.honda.co.jp/tech/auto/acc-lkas/lkas-top/>
- (4) AHS 公道実験成功  
<http://www.hido.or.jp/letter/review2/1-5.html>

(1997)

(5) Omae M. et. al.； The Application of RTK-GPS and Steer-by-wire Technology to the Automatic Driving of Vehicles and an Evaluation of Driver Behavior, IATSS Research Vol.30 No.2, 2006

(6) 吾田洋一，浅野基樹；電磁誘導方式による車線逸脱防止装置の開発<その2>，北海道開発土木研究所月報，No.582（2001）

(7) 渋谷奈保，他；車載レーザスキャナによる距離データマップの構築と高精度自車位置推定，電子情報通信学会論文集 D Vol.J92-D No.2, 2009

(8) Kurata.R. et al.； Evaluation of Detection Characteristics of Road Sensors under Poor Visibility Condition, 10th World Congress and Exhibition on Intelligent Transport Systems and Services., ERTICO. Madrid, 2003-11

(9) 田口卓弥，磯田陽次；無線LANを用いた電波マーカの研究，電気関係学会東北支部連合大会講演論文集，Vol.2010，pp. 263（2010）

(9) 田上浩平，御室哲志，高梨宏之；悪天候時のレーンキーピングシステムー走行実験用システムー，日本機械学会交通・物流部門大会講演論文集，Vol.2012，pp99