

## 光ビーコンを使用した連続自車位置推定方式

森 信一郎<sup>†1</sup> 沢田 健介<sup>†1</sup> 肥田 一生<sup>†1</sup>  
峰野 博史<sup>†2</sup> 水野 忠則<sup>†2</sup>

近年、安心、安全な車社会を実現する ITS システムを実現するために、高精度な自車位置情報が要求されている。従来、カーナビなどで使われている GPS を使った測位システムは、複数の人工衛星が発射する電波を同時に受信するといった原理上、マルチパスなどが発生し、安全支援のシステムとしての精度と信頼性を確保することが難しい。そこで本稿では、光ビーコンを利用して車両の正確な位置情報を取得する技術と、複数の光ビーコンを使った車頭方位の検出技術、および出力ドリフトを補正したジャイロと車速パルスを使った高精度な自律航法技術を組み合わせることで、GPS よりも高信頼で高精度な車両位置推定方式を提案する。提案方式の位置推定精度を実車を使用して評価した結果、自車位置の推定誤差は約 1,800 m 走行した際に約 20 m であることが分かった。

### A Seamless Dead-reckoning Navigation Method Using Infrared Beacons

SHINICHIRO MORI,<sup>†1</sup> KENSUKE SAWADA,<sup>†1</sup> KAZUO HIDA,<sup>†1</sup>  
HIROSHI MINENO<sup>†2</sup> and TADANORI MIZUNO<sup>†2</sup>

This paper describes a novel method of car positioning using existing the optical beacon infrastructure which has been spreading in Japanese road and the dead-reckoning navigation algorithm without map matching. Currently, the GPS (Global Positioning System) system was a popular as a car positioning. However, in applications of safety assist, the GPS system has problems at accuracy and reliability in its principle. Therefore, we approach the new technics which are the positioning system using the optical beacon infrastructure, the dead-reckoning navigation algorithm without map matching and detected the direction of the vehicle. This method is composed of the positioning method using infrared beacons and the autonomous navigation method using gyroscope. The experimental result shows that the location error was about 20 m, where the dead-reckoning travelled distance was 1.8 km.

### 1. はじめに

近年、カーナビゲーションシステムをはじめ、リアルタイムプローブ<sup>1)</sup> や運行管理システム<sup>2)</sup> や、車両の安心安全を目指したインフラ協調システム<sup>3)</sup> など、車両の測位を利用した ITS 関連のサービスが増加している。

しかし、その測位精度と技術に対する要求条件はサービスごとに違っている。安心安全のインフラ協調システムに利用するためには 50 cm 程度の高精度な測位技術<sup>4)</sup> が必要であり、車両の寿命が約 10 年であることを考えると、10 年は保守なしで測位精度が維持できなければならない。カーナビゲーションシステムや運行管理システムなどは、すでに GPS を使った測位システムで運用されており、測位精度は GPS と同等の約 30 m<sup>5)</sup> は必要である。また、トンネルや高層ビル街での測位も必要である。しかし、一般的に利用されている GPS (L1 波利用) はマルチパスにより、数十 m も測位精度が悪くなることが知られている。それを補正するために、カーナビゲーションシステムではマップマッチング方式が採用されているが、最新の地図情報でなければ正確な測位を維持できない。

以上の理由から、ITS 関連のサービスに求められる測位精度は約 50 cm から約 30 m 以内である。技術に対する要求条件は、トンネルや高層ビル街などの測位環境によって測位の可否に変化がないこと、10 年間は保守無で測位精度を維持できること、そして、高い信頼性を提供することがあげられる。本稿では、信頼性を測位精度の誤差の範囲で表現する。たとえば、GPS の場合、測位精度は約 30 m<sup>5)</sup> とされているが、高層ビル街では約 45 m<sup>14)</sup> になると報告されている。この場合、測位精度誤差は 15 m であるので、信頼性は 15 m と表現する。測位精度が環境によって変動しなければ、信頼性は 0 m である。信頼性は 0 に近いほど信頼性が高い。測位精度が環境ごとに設定できる場合は、環境ごとに信頼性を評価する。

表 1 に既存の測位システムの比較を示す。GPS はマップマッチングを利用しなければ、トンネル内や高層ビル街では測位ができない。マップマッチングの測位精度は、地図の情報に依存するため、地図が古くなると測位精度が劣化する。よって、信頼性は 15 m 以上である。無線 LAN は測位に新たにインフラを設置する必用があり、測位環境のマルチパスによ

<sup>†1</sup> 株式会社富士通研究所  
Fujitsu Laboratories, LTD.

<sup>†2</sup> 静岡大学  
Shizuoka University

表 1 既存の測位方式の測位精度

Table 1 Performance of the existing positioning technologies.

測位方式	測位精度	信頼性	備考
GPS	約 30 m <sup>5)</sup>	15 m 以上	単独測位
無線 LAN	約 1.3 m <sup>8)</sup>	予測が困難	新たなインフラが必要
レーンマーカ	約 0.5 m <sup>9)</sup>	0 m	新たなインフラが必要
光ビーコン	約 6 m <sup>4)</sup>	6 m	通信エリアの検出
	約 0.5 m <sup>7)</sup>	0 m	遮光板使用

る測位精度の劣化は、予測することは困難<sup>8)</sup>と報告されているので、信頼性も予測が困難である。レーンマーカは環境に依存せずに測位が可能であるので、信頼性は 0m であるが、新たなインフラが必要であるなど、普及が難しい<sup>6)</sup>。設置位置が分かっている路側装置の、通信エリアを検出することでスポット的な測位を行う光ビーコンによる測位<sup>4)</sup>は、受信機やフロントガラスの赤外線透過率の違いによって測位精度にバラツキが発生する。遮光板を使用する光ビーコンによる測位方式<sup>7)</sup>は高精度、高信頼な測位が可能であるが、狭小エリアでの測位しか対応できない。

本稿では、ITS 関連サービスで必要な測位技術に関し、前述した方式が持つ課題を解決するために、光ビーコンと車両の自律航法を組み合わせたシステムを提案する。2 章で関連研究について説明し、3 章で提案手法の詳細を述べる。4 章で実車による評価実験と結果について報告し、5 章でまとめを述べる。

## 2. 関連研究

マップマッチングとは論理的なアルゴリズムを使用して位置情報と地図情報を符合させる技術であり、自律航法や GPS 測位の補完技術としてカーナビゲーションシステムで使用されている。マップマッチングは、似た形状の道路が近接している場合に、誤った道路に自車の位置情報をマッチングしてしまうという問題がある。オープンスカイでの GPS 測位結果と併用した場合のマッチングの成功率は約 75% であり<sup>10)</sup>、マルチパスなどが多発するビル街においてはさらに信頼性が劣化する。

宮下らは、自車の過去の走行履歴から、確からしい道路情報に重み付けを行うことで信頼性を向上させるアルゴリズムを提案している<sup>10)</sup>。しかし、このアルゴリズムでは、車両を利用するほかの人には適用できない。また、車両の寿命である 10 年先までの道路計画を反映させた地図情報がなければ、新しい道路ができた際、間違った測位をする可能性が高い。

また、RTK-GPS と、光振動ジャイロおよび車速センサを使用した自律航法を組み合わせた位置推定システムも開発されている<sup>11)-13)</sup>。このシステムの位置推定誤差は 4 km の自律航法に対し 7.6 m である。しかし、このシステムは RTK-GPS を使用することから位置基準局とのリアルタイムな通信手段が必要である。また、RTK-GPS は搬送波の位相を検出するという原理上、ビル陰などで搬送波の位相の検出が寸断されると、位相の再検出に時間を要する<sup>14)</sup>ため、環境によって信頼性が変動する。

醍醐らはジャイロと車速パルスを使った実験<sup>14)</sup>を行っている。実験によって約 1400 m 走行して相対誤差が最大 58.3 m の誤差が発生したことを報告している。特に途中から誤差の累積が変動することを報告している。これには車頭方位が考慮されていないので、相対位置しか判別できない。また、ジャイロによる誤差が大きいので、測位誤差の累積が変動するものと思われる。

以上のように、約 50 cm の車両測位精度や、トンネル、高層ビル街に影響を受けない車両の寿命に合った測位システムや、高い信頼性を維持する測位システムは実現されていない。

## 3. 提案方式

### 3.1 概要

車両の位置推定を実現するためには、測位が必要な場所で確実に測位ができることも重要である。確実な測位を実現する方法として、公共インフラ設備の利用があげられる。光ビーコンなどの公共インフラ設備は、新旧のあらゆる車両へ適用できるよう路側設置方法を含めて設計されているため、車両の長い寿命にも対応が可能である。そこで、路側に複数の公共インフラ設備を使った測位基準点を設け、測位基準点間を自律航法で補間して車両位置を推定するシステムを提案する。しかし、従来方式の自律航法<sup>14)</sup>では、車頭方位やジャイロの補正が行われなため、信頼性を向上させることが難しい。そこで、測位基準点で車両の位置を校正し、複数の測位基準点の位置情報を使用して車頭方位を補正する。さらに、車両停止ごとのジャイロの情報からジャイロの出力ドリフトを補正し、車両を周回させてジャイロの感度を補正することで、自律航法による位置推定誤差を改善する車両位置推定システムを提案する。

このシステムは、複数の測位基準点間の車両の位置を自律航法で推定するため、連続した車両の位置推定が実現できる。測位精度は、測位基準点からの移動距離に応じて劣化するが、移動距離が分かればその場所での測位精度を推定することができる。また、高い測位精度が必要な交差点などでは、その直前に測位基準点を設置することで、高い測位精度を実現

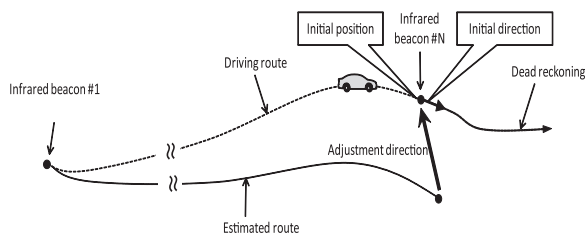


図 1 提案方式概要  
Fig. 1 Overview of the proposed method.

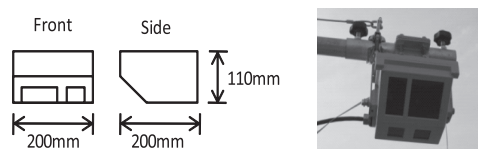


図 2 光ビーコン路側装置  
Fig. 2 Roadside beacon unit of the IR beacon.

できる。これらの特徴から、高精度で高信頼な測位システムを実現することが可能と考えられる。本稿では、測位基準点に公共インフラ設備である光ビーコンを使った測位システム<sup>7)</sup>を利用した。

図 1 に提案方式の概要を示す。提案方式は、複数の光ビーコン路側装置の直下で車両が測位を行い、自律航法によって推定された走行軌跡と比較することによって、正しい車頭方位（車両の向いている方位）を算出し、次の光ビーコン路側装置までの自律航法に適用している。このシステムを実現するためには以下の技術が必要である。

- (1) 光ビーコンによる高精度測位技術
- (2) 光ビーコン間の自律航法技術
- (3) 車頭方位検出技術

本稿では、特に自律航法技術と車頭方位検出技術について検討を行い、実証実験を行った。3.2~3.4 節で、これらの技術の概要を述べる。

### 3.2 光ビーコンの高精度測位技術

本節では光ビーコン路側装置が発射する漏洩赤外光を利用して自車の位置を推定する技術<sup>7)</sup>の原理を述べる。光ビーコン路側装置は図 2 に示す装置で、2005 年度末までに日本国

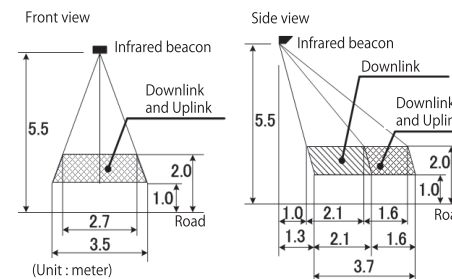


図 3 光ビーコンの通信エリア仕様  
Fig. 3 Specification of communication area of the IR beacon.

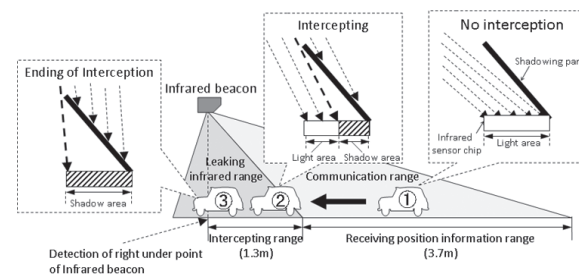


図 4 光ビーコン測位技術の原理  
Fig. 4 Principle of the positioning technique using the IR beacon.

内の主要道路上に約 48,000 基設置されている<sup>15)</sup>。

光ビーコンの通信エリア仕様を図 3 に示す<sup>16)</sup>。

実際には図 3 で示した通信エリアの外側にも漏洩赤外光が存在することが分かっており、光ビーコン測位技術はこの漏洩赤外光を利用する。光ビーコン測位技術の原理を図 4 に示す。

図 4 で、右から走行してきた車両は通信エリア内で赤外線通信により路側装置の高精度な位置情報を入手する(①)。そして漏洩光エリア内で遮光板の動作により徐々に弱くなる漏洩赤外光の強度を監視し(②)、光ビーコン路側装置の直下地点で赤外光が完全に遮断されるイベントを検出した際に通信エリアで入手した光ビーコン路側装置の位置情報を適用する(③)。

この技術を使うことで、高精度で高信頼な測位基準点を構成することができる。

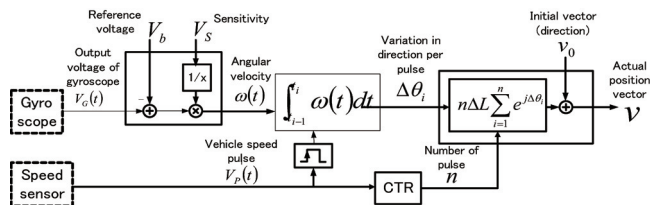


図 5 ジャイロを使用した自律航法技術の原理

Fig. 5 Principle of the existing autonomous position tracking technology.

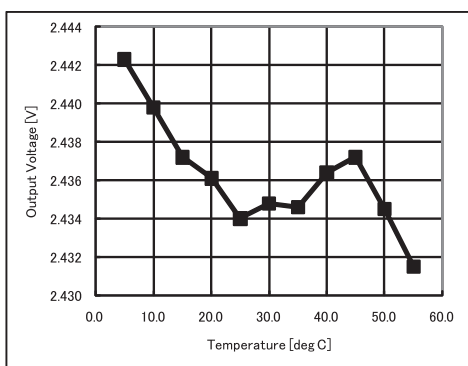


図 6 ジャイロの温度特性

Fig. 6 Temperature characteristics of gyroscope.

### 3.3 光ビーコン間の自律航法技術

本節ではジャイロを使用した既存の自律航法技術の原理・性能・課題を述べる。

図 5 に代表的なジャイロスコープと車速パルスを使用した自律航法技術の原理を示す<sup>14)</sup>。図 5 で、ジャイロの出力電圧は角速度  $\omega(t)$  に変換され、 $\omega(t)$  を車速パルスが出力されるタイミングごとに積分することで積分開始時の車両の方位を基準とした相対方位を算出する。さらに、1 車速パルスあたりの移動距離  $\Delta L$  と車速パルス数  $n$  を乗算することで  $\omega(t)$  の積分開始時を基準とした移動距離を算出する。このようにして求めた相対方位と移動距離に、 $\omega(t)$  の積分開始時に車両が持っていた初期ベクトルを加算することで現在位置と車頭方位を算出する。

今回実験で使用したジャイロの零点電圧の温度特性（温度変化にともなう出力の変化）を図 6 に、経過時間特性（時間経過にともなう出力の変化）を図 7 に示す。

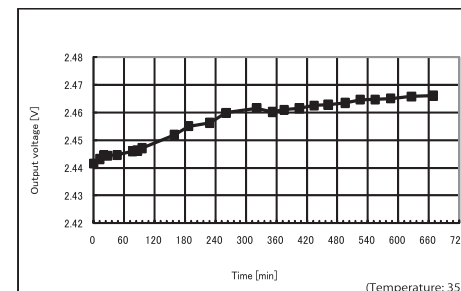


図 7 ジャイロの経過時間特性 (温度=35°C)

Fig. 7 Transition characteristic of gyroscope (Temp=35°C).

図 6 と図 7 から、ジャイロの出力は周辺温度や経過時間ともない変動することが分かる。同様に感度も周辺温度と時間経過によって変動することが予想される。その結果、醍醐らの実験<sup>14)</sup>のように走行途中から測位精度の劣化が観測されると思われる。しかし、変動には規則性がある。たとえば、図 7 から時間経過にともなう変化は緩慢であることが読み取れるので、前後の値が分かれば値を補間することができる。

そこで、これらジャイロの出力の変動を補正する方法を検討した。車両は道路上しか走れないという制約と、停止時は動けないという特徴を使って変動を補正する。

具体的なジャイロ出力の変動の補正方法を以下に示す。

(1) 零点電圧の変動の補正：

車両が停止しているときは角速度が 0 であることを利用して、ジャイロの零点電圧の変動を補正する。車両の停止間の零点電圧の変化から、移動中の零点変動を補正する。

(2) 感度の変動の補正：

同一地点を 2 度通過し自律航法による位置推定誤差を算出することで感度を補正する。

ジャイロの感度補正による効果を確認するため、図 8 に示すように、同一ルートを車両で 5 周 (300 m/周) する実験を実施した。

まず、車両速度と車速パルスの誤差について調査を行った。実験道路で 70 m の直線距離を車両の速度を変えて走行し、その際の車速パルスを計測し誤差を調査した。調査結果を表 2 に示す。

道路の状態によって変動は予想されるが、道路上に砂や凹凸がない場合は時速 60 km 以

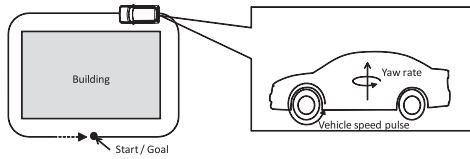


図 8 自律航法性能の評価実験コース

Fig. 8 Experiment course to evaluate the dead-reckoning navigation method.

表 2 車両速度と車速パルス誤差

Table 2 Speed pulses error at constant speed.

車速	パルス数/70 m
30 km/h	178
45 km/h	177
60 km/h	178

下でパルスの誤差は 1 パルス以下であることが分かった。この結果より、この実験道路では車速パルスの影響が十分小さいと考えられる。

図 8 で、走行開始前と停車直後にジャイロの零点電圧の変動を補正し、感度の変動の補正を行わずに自律航法を使って、実験道路を時速 30 km 以下で走行した車両の移動軌跡を図 9 に示す。

図 9 より、車両がコースを 1 周するごとに車両の移動軌跡が回転していることが分かる。図 5 に示すように、自律航法は車速パルスとジャイロの情報から相対位置を算出している。実験道路での車速パルスの影響は微小であるから、車両の移動軌跡が回転している原因はジャイロにある。ジャイロの誤差要因である零点電圧変動は補正済みであることから、ジャイロの感度が変動していることが原因と予想される。

そこでジャイロの感度から、自律航法による位置推定誤差を計算した。ジャイロの感度の値を前後に振り、図 9 の Start(true) と Goal(estimated) の距離の差 (距離誤差) を計算しプロットした結果を図 10 に示す。

図 10 から感度が 24.434 mV/deg/sec のとき、最も距離誤差が小さくなることが分かった。そこで、感度 (24.434 mV/deg/sec) を使用してジャイロの感度変動を補正したところ、車両の移動軌跡は図 11 のようになり、正しく感度が補正されていることが分かった。また、同様の実験を複数回行ったところ、距離誤差の最大値は 260 cm であった。

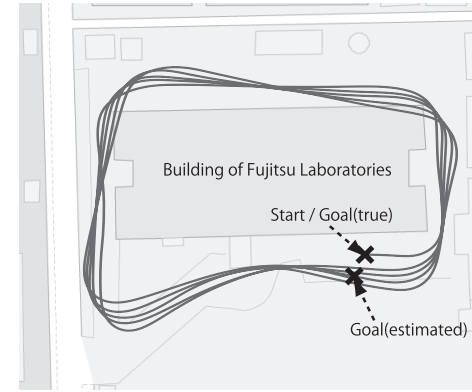


図 9 自律航法による車両の移動軌跡 (感度補正なし)

Fig. 9 Swept path of the vehicle without correction of sensitivity.

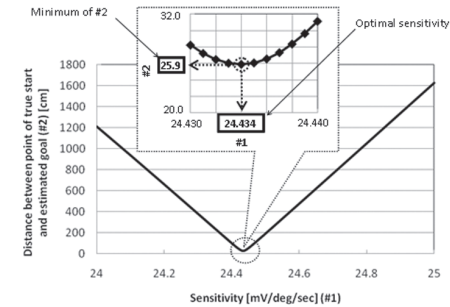


図 10 感度と自律航法による距離誤差の関係

Fig. 10 sensitivity of gyroscope – dead-reckoning error characteristics.

### 3.4 車頭方位検出技術

3.3 節で説明した自律航法技術では車頭方位を認識することができない。そのため、車頭方位を認識する手段が必要である。図 12 に車頭方位を認識する方法を示す。自律航法技術により描かれた軌跡ベクトルを A、光ビーコン P と光ビーコン Q を結ぶベクトルをベクトルを B とすると、車頭方位の補正角  $\theta$  は式 (1) で表される。

$$\theta = \frac{\mathbf{A} \cdot \mathbf{B}}{|\mathbf{A}| \cdot |\mathbf{B}|} \quad (1)$$

ここで、ベクトル  $A$  は、 $i$  番目の車速パルスが出力されてから次の車速パルスが出力されるまでの車両の移動距離を長さに、ジャイロの出力を積分した結果を方位に持つベクトルを  $a_i$  とした場合に、 $n$  パルス出力された後の合成ベクトルであり、式 (2) で示される。

$$A = \sum_{i=1}^n a_i \tag{2}$$

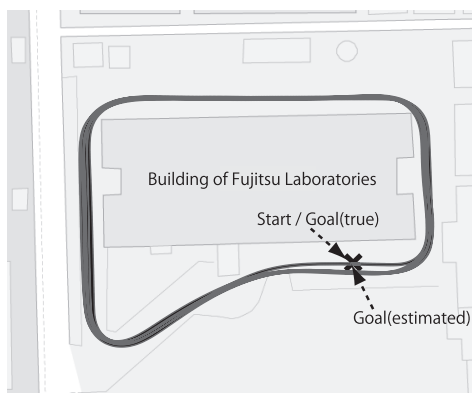


図 11 自律航法による車両の移動軌跡 (感度補正あり)  
Fig. 11 Swept path of the vehicle with correction of sensitivity.

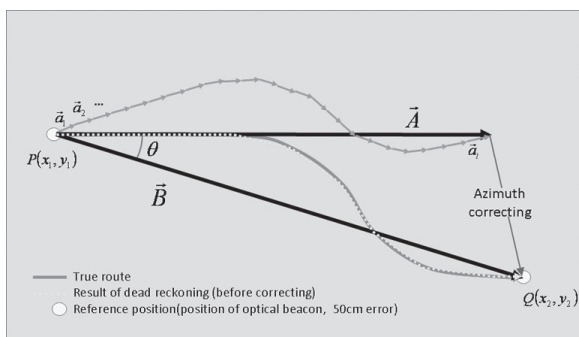


図 12 車頭方位検出方法  
Fig. 12 Detection method of initial direction.

自律航法で認識している車頭方位から  $\theta$  だけ補正した値が光ビーコン  $Q$  で適用される新しい車頭方位となる。

#### 4. 評価実験

実車を使用した走行実験により、提案方式による自律航法技術の性能を評価した。

##### 4.1 評価実験系の概要

実験系を図 13 に示す。図 13 で、光ビーコン車載装置は光ビーコン路側装置から正確な位置情報を取得するとともに、光ビーコン路側装置の直下地点を通過したイベントを正確に検出する。方位算出部と位置推定部は光ビーコン車載装置から光ビーコン路側装置の直下検出信号を受け取った後に車速パルスの計数を開始する。そして、車速パルスが出力されるごとにジャイロセンサの出力を積分し、光ビーコン直下地点を通過した後の自車位置を推定する。ジャイロセンサは、3.3 節で評価した小型圧電ジャイロ<sup>17)</sup> を使用している。

##### 4.2 自律航法技術の評価

本節では、自律航法技術の評価実験結果を示す。図 14 に実験のために車両が走行したルートを示す。車両の移動距離と車速パルス数の関係は事前に調査し校正している。

実験車両はスタート地点を発車後、約 400 m 走行して再びスタート地点に戻りいったん停止する。そして停止中にジャイロセンサの基準電圧と感度を補正する。そしてさらに実験車両は約 1.8 km 自律航法を行いながら走行し再びスタート地点に戻る。したがって、車載装置が推定したゴール地点の座標とスタート地点の座標の誤差が提案方式の位置推定誤差となる。

実験の結果、基準電圧と感度を補正した場合と補正しない場合の位置推定誤差はそれぞれ

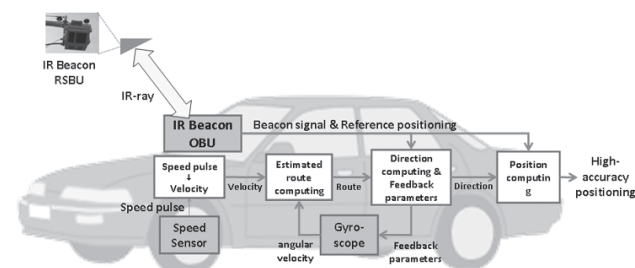


図 13 実車による評価実験系の概要  
Fig. 13 Overview of evaluation experiment system by real car.

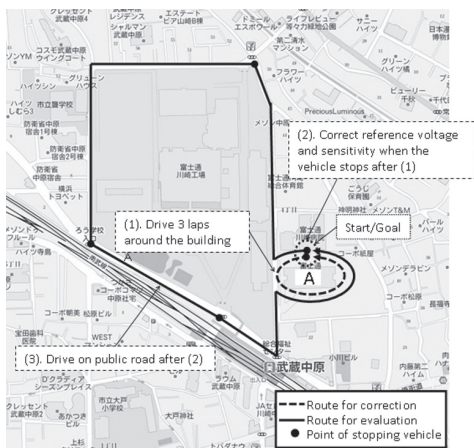


図 14 自律航法技術の単独評価走行ルート  
Fig. 14 Driving route of single evaluation.

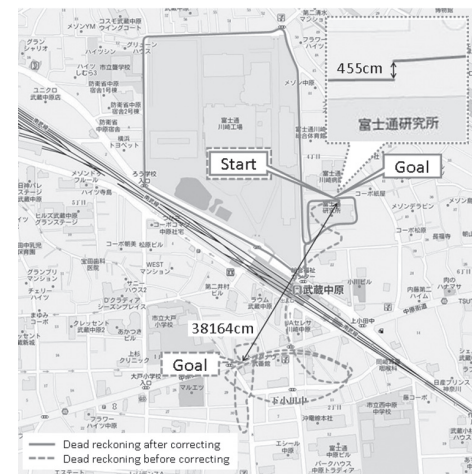


図 15 自律航法技術による誤差

Fig. 15 Dead reckoning error by autonomous navigation technology (before/after correction).

4.5 m, 381.6 m だった。基準電圧と感度を補正した場合（実線）としない場合の推定軌跡（破線）を図 15 に示す。

#### 4.3 提案技術の評価

本節では、提案方式（光ビーコンを使用した車両位置推定技術）の評価結果を示す。

車両が走行したルートを図 16 に、評価結果を図 17 にそれぞれ示す。本実験の条件は、信号停止時に基準電圧を補正し、基準地点の測位手段として光ビーコン測位技術を使用したほかは 4.2 節と同様である。また、各光ビーコン路側装置の正確な座標は国土地理院が設置した一等三角点を基準に測量した結果を使用した。図 16 で、車両は光ビーコン路側装置 A の直下を 2 度通過（破線）してジャイロの感度を補正し、光ビーコン路側装置 A と B の直下を通過（一点破線）することで車頭方位を修正し、光ビーコン路側装置 C の直下を通過（実線）するまで自律航法を実施した。破線の経路長は約 1,300 m、一点破線の経路長は約 215 m、実線の経路長は約 1,797 m だった。

本評価実験の結果、約 1,797 m 自律走行した場合の提案技術による位置推定誤差はレンジで約 21 m になることが分かった。よって、この実験環境での測位精度は最小 50 cm から最大 21 m である。測位精度は走行距離に比例して増大していくと考えられるので、推定することが可能である。つまり、信頼性は 0 m とすることができる。以上より、走行距離

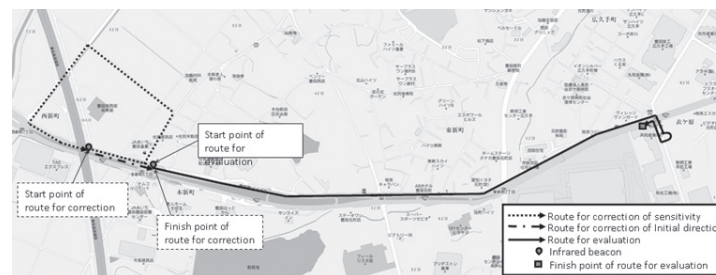


図 16 光ビーコンを使用した評価ルート

Fig. 16 Estimate route of vehicle (with IR beacon).

が 1,800 m 以内であれば、提案技術は既存の GPS より高い測位精度を期待できることが分かった。

#### 4.4 考 察

本稿で提案するシステムは、光ビーコンを使用した測位により測位基準点を求め、その情報を基準として自律航法による車両位置推定を実施している。本提案はすでに、交差点安全支援サービスに適用され検証実験が行われている<sup>3)</sup>。しかし、本技術を広域に展開するた

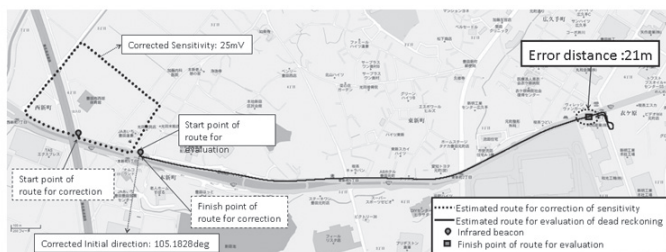


図 17 光ビーコンを使用した評価結果  
Fig. 17 Evaluation result with IR beacon.

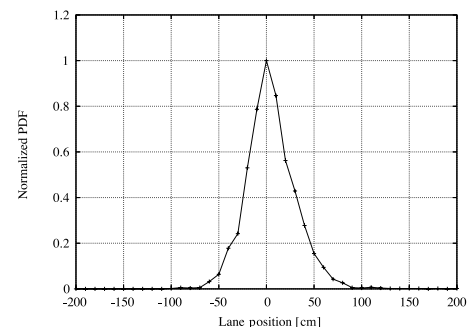


図 18 車両走行位置（レーン方向）の分布特性（PDF）  
Fig. 18 PDF of the detected vehicle position (lane position).

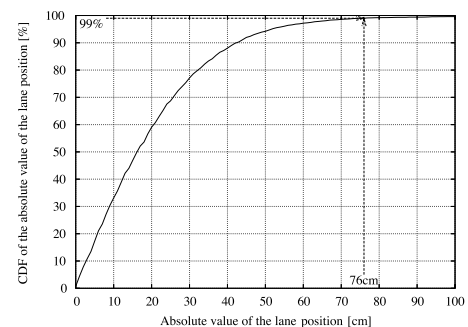


図 19 車両走行位置（レーン方向）の分布特性（CDF）  
Fig. 19 CDF of the detected vehicle position (lane position).

めには、光ビーコンを設置する間隔についても検討が必要である。サービスに必要な位置精度に合わせて設置間隔を決めるという方法がある。光ビーコンの設置間隔を短くすれば、位置推定精度は向上する。しかし、インフラ設備である以上、特定のサービスに限って設置することは難しい。一方、システムの特長に合わせて最適な設置間隔を決める方法もある。本提案の位置推定システムは、大きく 2 つの誤差が発生する。1 つは光ビーコンによる測位時に発生する測位誤差であり、1 つは自律走行時に発生する自律位置の推定誤差である。前者は光ビーコンの設置間隔が長くなると誤差の影響が小さくなる。後者は光ビーコンの設置間隔が長くなると誤差の影響が大きくなる。したがって、この 2 つの誤差の影響がお互い最も小さくなる光ビーコン間隔が存在するはずである。

そこで、本節では 4.2 節と 4.3 節の検証結果を基に、提案方式を使用した場合の最適な光ビーコン路側装置の設置間隔について考察する。

まず、光ビーコン測位による測位誤差について考える。光ビーコン測位技術は、その仕様上、車両の車幅方向における測位では、車両通行帯幅程度の精度しか持つことができない。しかしながら、多くの車両が車両通行帯内を走行するものと仮定すると、実際にはより高い精度が期待できる。本節ではこの仮定に基づき、実際の道路における車両の車両通行帯内における走行位置の分布特性を取得し、その特性を評価した。車両のサンプル数は約 2,000 台で、データは路側に設置した動画カメラによる画像解析によって取得した。

図 18 に車両走行位置における走行車両数の分布特性（PDF）を示す。車線中心の車両数を 1 として正規化している。図 18 から、ほとんどの車が車線中央を走行していることが分かる。図 19 に車両走行位置における走行車両数の分布特性（CDF）を示す。

図 19 から、99%以上の車両が車両通行帯の中央から  $\pm 76$  cm 以内の場所を走行している

ことが分かった。このことから、光ビーコン測位技術による車両のレーン方向の測位誤差は  $76 \times 2 = 152$  cm と考える。また、光ビーコンによる進行方向の測位誤差は  $-29$  cm  $\sim$   $+11$  cm であることが過去の検討により判明していることから<sup>7)</sup>、光ビーコンによる測位誤差エリアは図 20 に示す形状であると考えられる。

次に図 20 に示した光ビーコン測位誤差エリアの情報を使用して光ビーコン路側装置が 2 基ある場合の車頭方位の推定誤差を算出する。車両は、3.2 節で示した光ビーコン測位の原理から、図 21 で示した誤差エリアのいずれの地点を通過した場合も、光ビーコンの直下地点を通過したと判断する。図 22 に示すように、 $L$  [m] 離れて設置された 2 基の光ビーコン路側装置 #1 と光ビーコン路側装置 #2 を想定する。車両が光ビーコン路側装置 #1 と #2 の



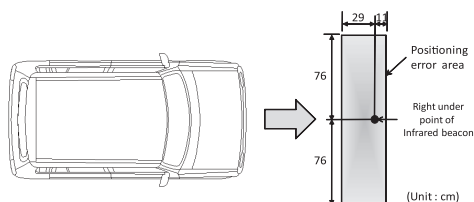


図 20 光ビーコン測位誤差

Fig. 20 Error area of the IR beacon positioning method.

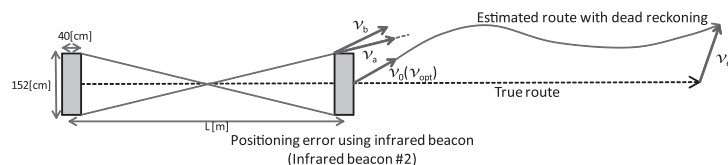


図 21 提案方式の理論位置推定誤差

Fig. 21 Theoretical positioning error of the proposed method.

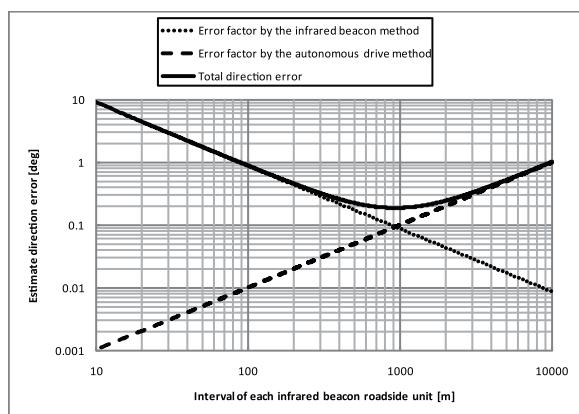


図 22 ビーコン間隔と自律位置推定誤差特性

Fig. 22 Estimate direction error.

直下地点を直線的に通過すると、車両は光ビーコン路側装置#1 と#2 のそれぞれの直下地点で図 20 に示す測位誤差を持つ光ビーコン測位を行う。

したがって、光ビーコン路側装置#2 の直下地点における測位誤差の最大値は図 21 のベクトル  $v_a$  となる。さらに、光ビーコン路側装置#1 と#2 の間を走行する際には、自律位置推定誤差に起因する誤差ベクトル  $v_b$  もまた発生することから、光ビーコン路側装置#2 の直下地点、すなわち基準地点で車両が持つ誤差ベクトル  $v_0$  は  $v_0 = v_a + v_b$  となる。そして、基準地点をスタートして自律位置推定を実施した際に、新たに自律位置推定誤差に起因して発生する誤差ベクトル  $v_c$  の影響を考慮すると、提案方式による最終的な誤差ベクトル  $v_e$  は、 $v_e = v_0 + v_c$  となる。

以上の考えから、光ビーコン路側装置の間隔と自律位置推定誤差の関係をプロットしたものを図 22 に示す。なお、3.3 節で行った周回実験によって得られた距離誤差の最大値を、ベクトル  $v_b$  およびベクトル  $v_c$  の加算ベクトルのスカラー量として使った。

図 22 の横軸は光ビーコン路側装置#1 と#2 の間隔  $L$  で、縦軸は  $v_e$  の方位誤差成分である。

図 22 から、光ビーコンによる誤差と、自律航法による誤差を考慮した、最も良い位置推定精度が得られる最適な光ビーコン路側装置の設置間隔は 900 m であることが分かった。

## 5. まとめ

本稿では、既存インフラである光ビーコンを使用した測位技術<sup>7)</sup>による測位基準点と、ジャイロと車速パルスを利用した自律航法による位置推定システムを提案した。その際、ジャイロの出力情報がドリフトする現象を明確にし、車両停止時のジャイロ情報を使って出力ドリフトを補正することで、高精度な車両の自律航法が可能であることを示した。また、光ビーコンによる複数の測位基準点を使って、車頭方位を補正し、自車位置推定の実車評価を行ったところ、約 1,800 m 走行して約 50 cm から約 21 m の誤差であることが分かった。さらに、光ビーコンによる測位誤差と自律航法による位置推定誤差の関係から、両誤差の最も小さくなる光ビーコンの設置間隔について考察し、最適な間隔は 900 m であることを示した。以上より、ITS 関連サービスを行うために必要な測位精度約 50 cm から約 30 m は満足していることが分かった。信頼性も連続測位が可能で他測位技術と比較して高いことが分かった。また、トンネルや高層ビル街での測位や、10 年間は保守なしで測位精度が維持できるなどの技術に対する要求事項も、提案技術の構成上、満足できることを説明した。

既存の測位システムは、測位精度を測位技術の要件ととらえてきた。しかし、広域で利用

する ITS 関連のサービスに使われる測位技術は、サービスの種類と測位する場所によって、それぞれ測位精度と技術に対する要求条件が変わってくる。たとえば、車両の衝突防止を防ぐサービスであれば、高い測位精度が必要である。近傍車両の注意喚起であればそれほど高い測位精度は要求されない。しかし、技術に対して共通して要求されるのは、測位精度の信頼性である。サービスは測位精度の最悪値、または最良値を認識して選択される。したがって、必要な場所で必要な測位精度と信頼性を提供する提案技術は、ITS 関連のサービスにとって大変理にかなったシステムであるといえる。光ビーコンはすでに一般道路に普及しているインフラ設備であり利用しやすい。提案技術のように、測位に利用すること以外に、基本機能として路車間の通信を実現している。通信と測位を組み合わせることで、ITS 関連のサービスと大変親和性の高いシステムの構築も可能と考えられる。

本稿では実車を使った実験を 3 種類行った。a: 実験道路でのジャイロ感度評価実験 (3.3 節) と b: 実道路での自律航法評価実験 (4.2 節), c: および提案技術の評価実験 (4.3 節) である。それぞれ走行した距離における誤差は a: 260 cm/1,500 m, b: 4.5 m/1,800 m, c: 21 m/1,800 m である。a と b は実験道路と実道路の差分が誤差に反映されているものと思われる。b と c の誤差は実道路での光ビーコン測位による誤差が反映されているものと思われる。

今後の研究として、実験道路と実道路の差分と思われる、タイヤと路面のスリップによる位置推定誤差の増大対策や、バンクカーブのような地面に水平でない場所での自律航法方法など、特異な環境における検討を進める予定である。また、本稿ではジャイロの感度を補正するため、車両を周回させて同じ位置を通過したが、将来は位置情報が既知である光ビーコンを複数使って行う方式も検討する予定である。

## 参 考 文 献

- 1) パイオニア (株): スマートループ. <http://pioneer.jp/carrozzeria/smartloop/>
- 2) 矢崎総業 (株): 矢崎テレマティクスサービス. <http://www.yazaki-keiso.com/product/telematics.html>
- 3) 富士通 (株): インフラ協調システム. <http://jp.fujitsu.com/group/labs/downloads/business/activities/activities-4/fujitsu-labs-its-001.pdf>
- 4) Minakata, T., Kobayashi, M. and Seto, M.: Demonstration test for signal information provision system in DSSS by UTMS, *Proc. World Congress On Intelligent Transport Systems*, p.Paper ID 3094 (2007).
- 5) 土屋 淳, 辻宏 道: GPS 測量の基礎, (社) 日本測量協会 (1995).
- 6) 走行支援道路システム開発機構: 技術研究組合位置特定技術の開発, 第 7 回 AHS 研

究報告会ポスターセッション報告 (2009). <http://www.ahsra.or.jp/jpn/c04j/7th/08pos/11pos3.htm>

- 7) 森信一郎, 肥田一生, 沢田健介: 光ビーコンを使った高精度測位技術, 情報処理学会論文誌, Vol.50, No.1, pp.87-97 (2009).
- 8) 神谷 泉: 無線 LAN と IC タグの測位への利用と屋内外のシームレス測位, 第 36 回国土地理院技術研究発表会報告, pp.46-56 (2007).
- 9) 金 帝演, 長谷川孝明: M-CubITS を用いた夜間走行測位実験, *ITS2005*, Vol.113, No.6, pp.19-24 (2006).
- 10) 宮下浩一, 寺田 努, 田中宏平, 西尾章治郎: 目的予測型カーナビゲーションシステムのためのマップマッチング手法, 情報処理学会論文誌, Vol.50, No.1, pp.75-86 (2009).
- 11) NovAtel Inc.: IMU-FSAS. <http://waypnt.com/Documents/Papers/FSAS.pdf>
- 12) Kenney, S., Hamilton, J. and Martell, H.: GPS/INS integration with the iMAR-FSAS IMU. [http://www.canalgeomatics.com/product\\_files/ts64\\_01\\_kennedy\\_etal.0472\\_139.pdf](http://www.canalgeomatics.com/product_files/ts64_01_kennedy_etal.0472_139.pdf)
- 13) Kenney, S., Hamilton, J. and Martell, H.: Architecture and system performance of SPAN. [http://waypnt.com/Documents/Papers/SPAN\\_PLANS2006.pdf](http://waypnt.com/Documents/Papers/SPAN_PLANS2006.pdf)
- 14) (財) 機械システム振興協会: 移動体用高精度位置標定システムに関する調査研究報告書, システム技術開発調査研究 16-R-1 (2005).
- 15) (社) 新交通管理システム協会: 光ビーコン概要. <http://www.utms.or.jp/japanese/beacon/index.html>
- 16) (社) 新交通管理システム協会: 光ビーコン技術的特徴. <http://www.utms.or.jp/japanese/beacon/gijutu.html>
- 17) 富士通メディアデバイス (株): 小型圧電ジャイロ FAR-S1BG シリーズ (2004). <http://edevice.fujitsu.com/jp/catalog/find/22-4j/pdf/p28-30.pdf>

(平成 22 年 3 月 31 日受付)

(平成 22 年 10 月 4 日採録)



森 信一郎 (正会員)

1987 年関西大学工学部卒業。同年富士通 (株) 入社。2003 年 (株) 富士通研究所に異動。半導体製造ロボットの開発, GPS 携帯端末関連の開発, 次世代携帯電話の開発, 仮想世界/オーギュメントリアリティに関する研究を経て, 現在 ITS 向け高精度測位技術の研究に従事。



沢田 健介

1993年長岡技術科学大学大学院工学研究科修士課程修了。同年(株)富士通研究所入社。2004年まで次世代携帯電話システムの研究開発に従事。2005年からITS向け新無線システム,同高精度測位技術,同携帯電話連携技術の研究に従事。電子情報通信学会,IEEE各会員。



肥田 一生(正会員)

2006年静岡大学大学院情報学研究科修士課程修了。同年(株)富士通研究所入社。同年からITS向け高精度測位技術の研究に従事。



峰野 博史(正会員)

1999年静岡大学大学院理工学研究科修士課程修了。同年日本電信電話(株)入社。2002年静岡大学情報学部助手。2007年同大学助教。工学博士。2001年NTTサービスインテグレーション基盤研究所長表彰,2007年船井情報科学奨励賞等受賞。モバイルコンピューティング,ヘテロジニアスネットワークコンバージェンスに関する研究に従事。電子情報通信学会,IEEE,ACM各会員。



水野 忠則(フェロー)

1945年生。1969年名古屋工業大学経営工学科卒業。同年三菱電機(株)入社。1993年静岡大学工学部情報知識工学科教授。1996年情報学部情報科学科教授。2006年より創造科学技術大学院長。工学博士。情報ネットワーク,モバイルコンピューティング,ユビキタスコンピューティングに関する研究に従事。著訳書としては『コンピュータネットワーク』(日経BP),『モダンオペレーティングシステム』(ピアソン・エデュケーション)等がある。電子情報通信学会,IEEE,ACM,Informatics Society各会員。情報処理学会フェロー。