

光ビーコンを使った高精度測位技術

森 信一郎^{†1} 肥田 一生^{†1} 沢田 健介^{†1}

近年、より高度な 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きている。従来、自車位置情報を取得するために多用されてきた GPS 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して測位するといった原理上、高度な ITS サービスを実現するために必要な精度と信頼性を持った位置情報を取得することが困難だった。また、レーンマーカなどの新しいインフラを用いて自車位置情報を取得する技術には高い精度が期待できるが、新しいインフラを設置するためには設置コストの問題をクリアする必要があった。そこで我々は、既存の道路情報提供インフラである光ビーコンが車両との通信のために発射している赤外線に着目し、車両側での赤外線の発射地点を精密に標定することによって、自車が光ビーコン路側装置の直下に位置している状態を検出する技術を考案した。赤外線は直進性が高いことから、その発射地点を標定することは電波と比べて容易である。また、光ビーコンシステムは短距離通信であることから、通信の信頼性も高い。本稿では、まず、これらの光ビーコンシステムの特徴を生かすことで高精度な自車測位を実現する技術の原理を説明する。そして、本技術が従来技術では不可能だった精度 50 cm の自車測位を実現できることを実証実験の結果によって示す。

Advanced Car Positioning Method Using Optical Beacon

SHINICHIRO MORI,^{†1} KAZUO HIDA^{†1}
and KENSUKE SAWADA^{†1}

This paper describes about a novel vehicle positioning method using the existing optical beacon infrastructure that has been spreading on Japanese roadways. In recent years, importance of information of vehicle position has been risen for advanced ITS (Intelligent Transport Systems) systems. GPS is now a popular means of providing vehicle-positioning systems. However, when applying GPS to more critical purposes, it generally lacks the necessary accuracy and reliability. To solve these problems, we have proposed a novel vehicle positioning method using the existing optical beacon infrastructure. This method is based on the principle of precisely locating optical source of the infrared-rays being received. Moreover, the optical beacon infrastructure is designed for short-range communication, and thus offers high reliability. It is also easier

to estimate the direction of the source of infrared-rays than radio waves since infrared-rays travel in a straight line. Experimental results show the proposed method can realize vehicle position measurement accuracy of 50 cm at right under point of the optical beacon roadside unit.

1. はじめに

近年、交通事故や渋滞などの社会問題を解決する ITS (Intelligent Transport Systems) を実現するために、人と道路と車両を高度な情報通信ネットワークでつなぐ技術の研究が活発に行われている¹⁾。警察庁が推進する UTMS (新交通管理システム) は、光ビーコン²⁾などの路側インフラを用いて個々の車両と交通管制システムとの双方向通信を実現し、「安全・快適にして環境にやさしい交通社会」の実現を目指している³⁾。

なかでも、車両と路側インフラが協調することで交差点の交通事故を予防する DSSS (安全運転支援システム) の普及が推進されている⁴⁾。DSSS では、路側のカメラやセンサが検出した他車両の情報を運転者に通知し注意を促す。さらに、衝突、追突、および信号見落とし車両に対する減速停止支援 (介入制御) を含めた研究の実証実験も行われている。これらの安全サービスを実現するために、車両の位置情報が利用されている⁵⁾。本稿では、車両の位置情報を取得する手段として路側インフラ (光ビーコン) を使った高精度測位システムに関し、システム要件を示し (2 章)、システム要件を満足する技術を提案し (3 章)、提案技術の検証実験結果を示す (4 章)。

2. 車両高精度測位

2.1 車両高精度測位のシステム要件

JARI によって安全運転支援システムを実現するための高精度測位システムの要件が報告されている⁶⁾。我々は文献 6) を参考に、測位精度と信頼性をシステム要件とした。

- (1) 測位精度
文献 6) で示された技術要件に鑑み、本研究では測位精度の目標値を 50 cm とする。
- (2) 信頼性
文献 6) では精度と信頼性を両立するために技術を組み合わせる必要があることが示

^{†1} 株式会社富士通研究所
Fujitsu Laboratories, LTD.

されている．そこで，本研究は路側インフラからの支援を受ける方式を提案する．ここで「高い信頼性」とは「理想環境における精度と比較して，実環境における精度の劣化量が小さいこと」と定義する．実環境による精度劣化量は小さいことが望ましい．安全運転支援システムでは，これらの要件を満たす測位技術が望まれる．次に，既存の測位技術の精度と信頼性について述べる．

2.2 既存技術

従来多用されている自車測位技術は，カーナビゲーションシステムが採用している GPS 測位⁷⁾である．GPS 測位はすでに稼働中のインフラである GPS 衛星を用いるため，導入・保守コストが低い．また，搬送波位相を用いたキネマティック GPS (RTK-GPS) 測位では数 cm の測位精度が実現している．しかし GPS 測位はその原理上，測位精度が電波伝搬環境の影響を受けやすい．また，障害物が多い環境では測位に利用可能な衛星が限定されることから測位精度が劣化する．RTK-GPS 測位は搬送波位相の連続した履歴情報を用いるといった原理上，衛星からの電波が寸断されると測位不能になり，再び測位可能になるまで長い復帰時間を要するという問題もある．

無線を使った測位システムには，GPS 測位のほかに，無線 LAN⁸⁾ のような近距離無線を用いる測位技術がある．しかし，電波を利用するため，GPS 測位と同様に電波伝搬環境の影響を受けて測位精度が劣化しやすい．したがって，安全運転支援システムのような信頼性を必要とするシステムにこれらの技術を単独で使用することは適切ではない⁶⁾．

一方で，自車の測位技術には，レーンマーカ，光ビーコンなど，路側インフラを利用するものも存在する．レーンマーカを使った測位技術は，車両が道路に埋め込まれた磁気マーカが発する磁気を検出することで測位を行う．測位精度と信頼性ともに優れた技術だが，設置保守コストが高いといった問題がある．また従来の光ビーコンを用いた測位技術は，スポット的な位置補正を行う原理上，測位精度が低い⁶⁾．しかし，光ビーコンは，既存の路側イン

フラ装置であることから信頼性とコスト面で優れている．そこで本稿では光ビーコンを用いた車線方向に対する自車測位技術を高精度化するための技術を提案する．表 1 に既存測位システムの性能比較を示す．

3. 光ビーコンを用いた高精度測位

3.1 光ビーコン概要

光ビーコンは，車両との間で双方向通信をするための路側インフラ装置であり，日本国内の主要な一般道路を中心に設置されている．路側装置と車両搭載装置間の通信には赤外線が使用され，路側装置は車両搭載装置に渋滞情報や旅行時間情報などを含む交通情報を提供する²⁾．同様に，車両搭載装置が路側装置に情報を通知することも可能である．光ビーコンの通信は路側装置周辺でのみ行われるスポット通信であり，路側装置を車線ごとに設置することにより車両が走行している車線の識別も可能で，2008 年現在，日本国内に約 48,000 基設置されている²⁾．図 1 に路側装置（投受光器）の外観を，図 2 に通信エリアの仕様をそれぞれ示す²⁾．

3.2 光ビーコンを用いた測位技術の検討

3.2.1 従来の光ビーコンを用いた測位技術

従来の光ビーコンを用いた測位技術はスポット通信を利用した位置補正方式であった⁶⁾．この場合，測位精度は通信エリア長に比例し，測位精度はダウンリンク通信エリアの長さである 3.7 m となる（図 2 参照）．したがって，従来の技術では 50 cm の車線方向に対する測位精度を実現することは困難だった．

3.2.2 提案技術

そこで，筆者らは光ビーコンのアップリンク通信エリアとダウンリンク通信エリアの境界

表 1 既存測位システム性能比較

Table 1 Accuracy and reliability of another positioning systems.

項	測位方式	理想環境における精度	実環境における精度劣化量（信頼性）	備考
1	GPS 方式 ¹⁴⁾	5.3	15.9 以上	単独測位
2	無線 LAN 方式 ⁸⁾	0.27	1.06 以上	
3	レーンマーカ方式 ¹²⁾	0.1	0.32 以上	
4	光ビーコン方式 ⁶⁾	3.7	6.3 以上	4.1 節参照
5	光ビーコン方式 ¹³⁾	5.86	0.34 以上	

単位 (m)

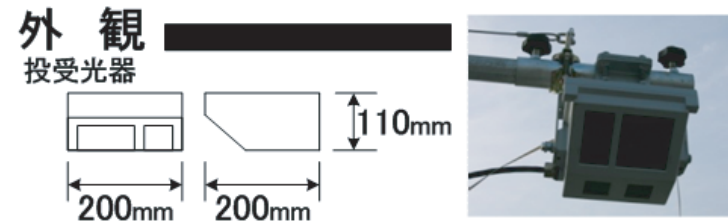


図 1 光ビーコン路側装置（投受光器）の外観

Fig. 1 The optical beacon roadside unit.

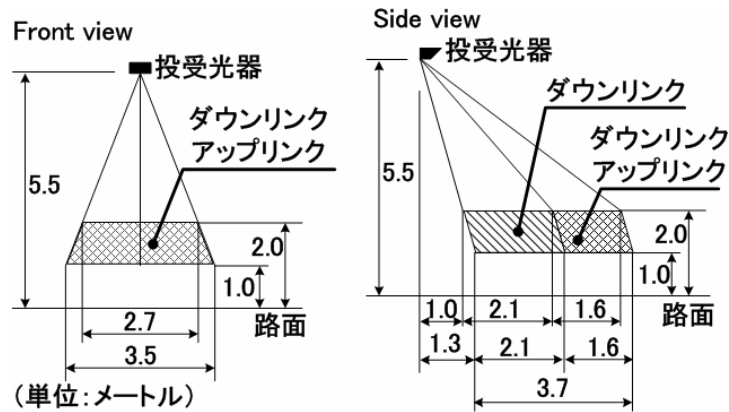


図 2 通信エリアの仕様

Fig. 2 The specification of spot communication area.

を検出することにより、高精度な自車測位を実現する技術を提案する。

光ビーコンは波長 850 nm および 950 nm の赤外線を使用しているため、通信の媒体が電波と比較して回折しにくく、直進性が強いといった特徴を持つ。提案技術は、この性質を利用して光ビーコンのアップリンク通信エリアとダウンリンク通信エリアの境界を正確に検出することにより高精度測位を行う。具体的に通信境界とは、

- (1) DL 圏内境界 (DL 通信エリアへの進入時)
- (2) DL 圏外境界 (DL 通信エリアからの退出時)
- (3) UL 圏内境界 (UL 通信エリアへの進入時)
- (4) UL 圏外境界 (UL 通信エリアからの退出時)

DL: ダウンリンク UL: アップリンク

の 4 つである。図 3 に通信境界の定義を示す。

提案技術には、以下 (a) ~ (c) に示す誤差要因が存在する。

(a) 路側投受光器の取付角

光ビーコン路側装置が作り出す通信境界は、図 3 に示すように、投受光器から道路に向けて傾きを持った平面として存在しているため、投受光器の取付角が変化することにより、通信境界の位置が変化する。そのため、車載機による境界検出誤差が生じる。

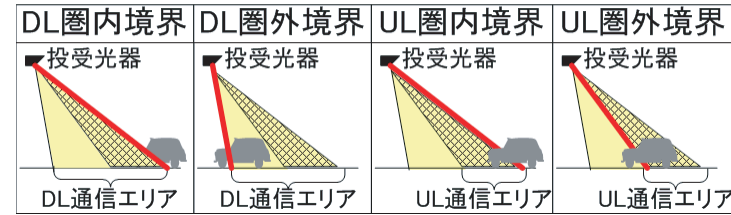


図 3 通信境界の定義

Fig. 3 Explanation drawing of the communication boundary.

(b) 車高

大型車など車高が高い車両では、道路から高い位置に車載受信機が設置されることが予想される。光ビーコンの通信境界は、投受光器から道路に向けて傾きを持った平面として存在しているため、道路から高い地点においては道路から低い地点と比べて、車両進行方向投受光器側に近い地点で通信境界を検出する。このため、境界検出誤差が生じる。

(c) フロントガラスの材質

自動車のフロントガラスには赤外線を遮断する加工が施されているものがあり、この種のガラスは光ビーコン路側装置から到来する赤外線を減衰させる働きを持つ。そのため、車両に使用されているフロントガラスの材質に依存して車載受信機の受光素子に到達する赤外線の光量が増減することから、境界検出地点の検出誤差が生じる。

上記誤差要因の影響を少なくするには以下の条件を満足する必要がある。

- 車載機が投受光器の可能な限り直下に位置すること (a, b 対策)
 - 車載機への到達光量が可能な限り大きい (投受光器との距離が近い) こと (c 対策)
- これらの条件を満足することにより提案技術による車の進行方向に対する高精度測位が実現する。

4. 検証実験

提案技術の有効性を検証するために、実物の光ビーコン路側装置を使用して検証実験を行った。

4.1 光ビーコンの通信エリア

光ビーコンの通信エリアの仕様を図 2 に示す。本仕様で示された通信エリアの形状を確認するための実験を行った。

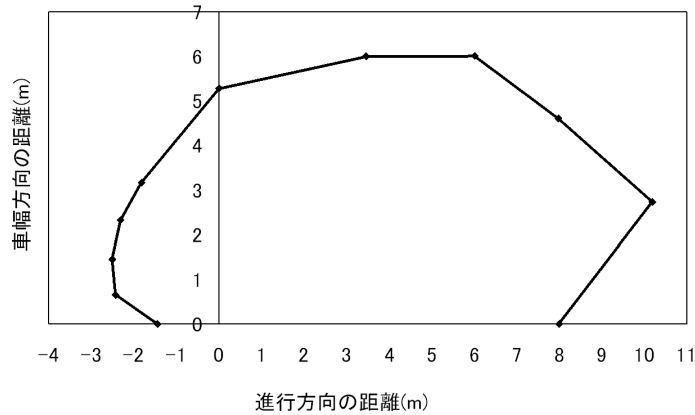


図4 DL通信エリア形状(TopView)の測定結果
Fig.4 Measurement result of the downlink communication boundary (TopView).

実験は、安全が確保された実験専用コース上に光ビーコン投受光器を設置して実施した。車両の代わりに手押し台車を使用した。手押し台車に三脚を固定し、三脚上に車載受信機を路面から1mの高さ(図2仕様で示した車載受信機の最下位置)になるように設置した。そして、受信機の受光レベルと光ビーコン路側投受光器との通信状況を測定器(データロガ)で監視しながら台車をゆっくり移動し、通信が不可能になった地点をダウンリンク圏外境界エリアと判定し記録する。光ビーコンは投光器から放射状に光を放射しているため、投光器からの距離を測定してダウンリンク境界エリアの形状を求めることにした。具体的には、投受光器直下地点から、地面に対し平行に受光素子を設置した台車を放射状に移動し、ダウンリンク圏外境界地点を検出する。通信エリアの形状は進行方向に対し対称であると予想されることから、片側(投受光器右方向)の通信エリアの形状だけ測定した。通信エリア形状(TopView)の測定結果を図4に示す。

図4の原点(0,0)は投受光器直下地点である。縦軸は車幅方向の距離を、横軸は進行方向の距離をそれぞれ示す。横軸の正方向、負方向は、投受光器の前方、後方をそれぞれ示す。つまり、車両はこの横軸上を右から左に移動する。

ダウンリンク通信エリアは、車幅方向には1車線以上の範囲を、進行方向には投受光器手前10mから投受光器後方2mまでの範囲をカバーしている。

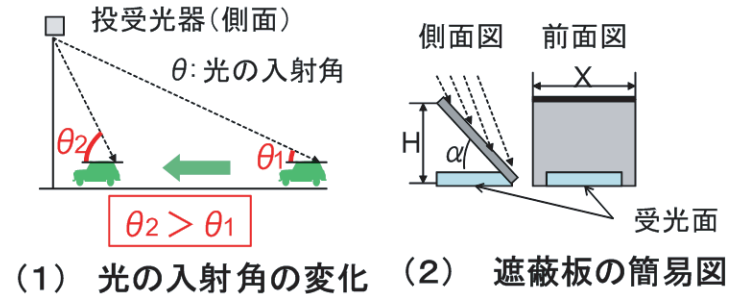


図5 遮蔽板による高精度測位の原理
Fig.5 Principle of detecting the downlink communication boundary.

4.2 遮蔽板を用いた投受光器の直下地点検出技術

4.2.1 遮蔽板の効果

4.1節より、投受光器から発射される赤外線は、仕様上のダウンリンク圏外境界より3.3m以上投受光器の後方まで伸びていることが分かった(仕様ではダウンリンクエリアは投受光器手前1.3mで終了しているが、上記から投受光器後方2mまで光が漏洩していたため、 $2\text{m} + 1.3\text{m} = 3.3\text{m}$ となる)。そこで、我々は、この漏洩光の存在を利用し、車載受信機に遮蔽板を装着することにより、投受光器直下で正確に人工的なダウンリンク圏外境界を作り出すことで測位精度の高精度化を実現する技術を提案する。次に本技術の原理を説明する。

図5(1)は、車両の位置と車載受信機における赤外線の入射角の関係を示す。図5(1)から分かるように、投受光器から離れた地点では、車載受信機に入射する赤外線の入射角 θ_1 は小さい。そして車両が投受光器に近づくとき車載受信機に入射する赤外線の入射角 θ_2 は大きくなる。車載受信機に遮蔽板を装着し、一定の入射角以上で入射する赤外線を遮断する特性を持たせることにより車載受信機において赤外光の受光レベルを監視することを可能にし、ダウンリンク通信境界を判別することを実現する。図5(2)に遮蔽板による高精度測位の原理を示す。

遮蔽板は車両進行方向に向かって仰角 α で、車載受信機の受光素子上方に設置する。 α に加えて、遮蔽板の高さ H 、および幅 X を調整することにより、光遮断の開始/終了地点を制御することができる。次に遮蔽版の設計パラメータの詳細を説明する。

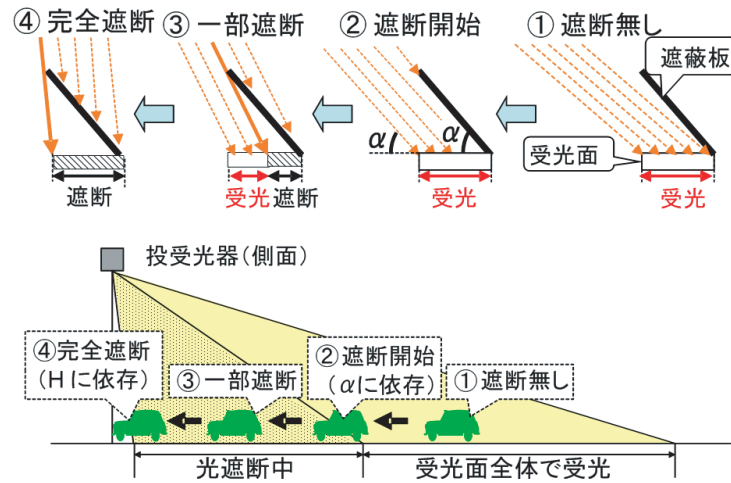


図 6 α と赤外線遮蔽特性の関係
Fig. 6 Relation between α and infrared ray intercept characteristic.

4.2.2 遮蔽板の設計パラメータ

- α (遮蔽板の仰角)

α は進行方向の光遮断開始位置を決定するパラメータである。図 6 に示すように、車両の移動にともない、光の入射角が大きくなる。 α を光遮断を開始したい地点における光の入射角とすることで、光の入射角が α 以下のときは、受光面全体で受光することが可能で、入射角が α よりも大きくなると、遮蔽板は受光面への入射光を遮断し始める。

α は式 (1) により求められる。

$$\alpha = \arctan \frac{H_b}{L_s} \quad (1)$$

ここで、 H_b は車載受信機と投受光器の高低差、 L_s は投受光器と光遮断開始地点間の水平距離である。この H_b と L_s を与えることにより α を求めることができる。

- H (遮蔽板高さ)

H は光遮断完了地点を決定するパラメータである。車両が α により決定する光遮断開始地点を通過すると、遮蔽板は車載機の受光面に入射する赤外線の遮蔽を開始する。車両の移動にともない光の入射角が大きくなると、赤外線の遮光量が多くなる。このとき、受光面中の遮蔽されている部分と受光している部分の面積比は H により決定される。車両が

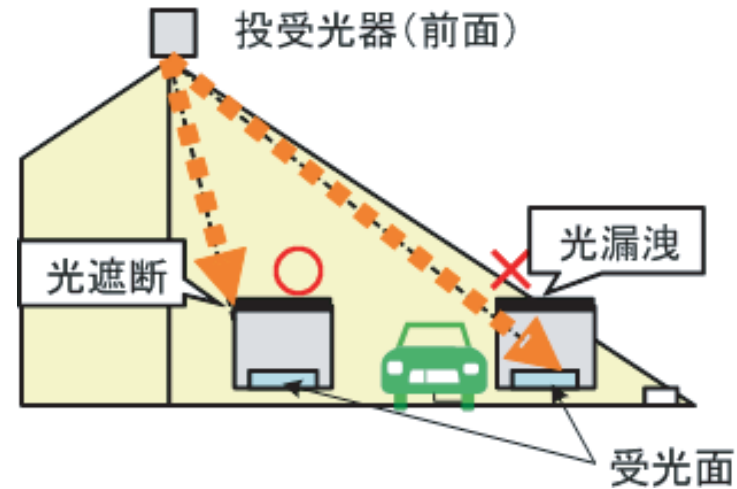


図 7 車幅方向に走行位置が逸れた場合の光遮断の様子
Fig. 7 The infrared ray leaks from the shadowing panel on the corner of the lane.

路側機に接近すると、さらに赤外線の遮光量が多くなり、遮蔽板の先端部を通る入射光が受光面の端に到達すると、遮蔽板は完全に赤外線を遮断する(図 5, 図 6)。つまり、赤外線が遮蔽板の先端部を経由して受光面の前端に到達するときの車両の位置が光遮断完了地点となる。このことは H を調整することで、光遮断完了地点を決定することができることを意味する。 H は式 (2) より求められる。

$$H = \frac{H_b d_c \tan \alpha}{H_b - L_f \tan \alpha} \quad (2)$$

ここで、 d_c は受光センサ面の進行方向の長さで、 L_f は投受光器と光遮断完了地点の水平距離である。 H は d_c と L_f を与えることにより求めることができる。

- X (遮蔽板の幅)

X は車両が車幅方向のどの位置を通行しても光遮断完了地点を同一の場所に保障するためのパラメータである。車両の走行位置が車幅方向に逸れた場合の遮蔽の様子を図 7 に示す。 X が短いと車両が投受光器から車幅方向に逸れて走行した場合に側方から入射する光の遮蔽が不十分になり、光遮断地点において正確な境界検出ができない。そこで、車両が投受光器から車幅方向に逸れた地点を走行しても光を遮蔽するよう X を調整する必

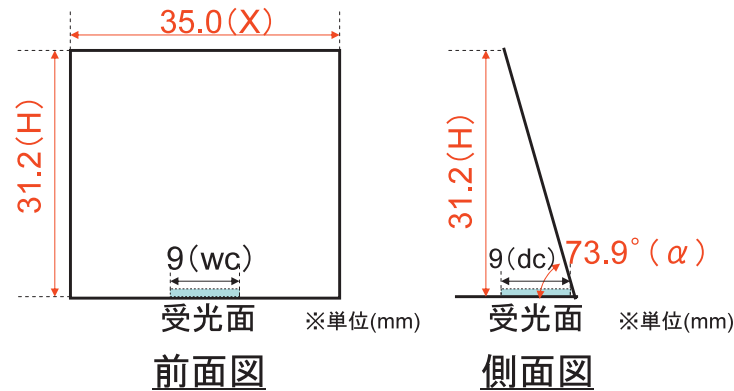


図 8 遮蔽板の設計図

Fig. 8 Dimensional drawing of shadowing panel.

要がある。

X は式 (3) より求められる。

$$X = \frac{2L_w H}{H_b} + w_c \quad (3)$$

ここで L_w は投受光器直下地点から車幅方向に逸れて走行する距離の最大許容値で、 w_c は受光面の車幅方向の長さである。 X は L_w と w_c を与えることにより求めることができる。

4.2.3 遮蔽板の設計例

光ビーコンを用いた高精度測位技術を検証するために遮蔽板を設計した。図 8 に今回設計した遮蔽板を示す。図 8 に示した遮蔽板は、4.2.2 項で示したパラメータを用いて以下の 4 つの要求条件を満たすように設計した。

- (1) 遮蔽板の大きさ
一般的に、車載受信機は小型の方が設置場所の自由度が高い。したがって、遮蔽板を設計する際の α 、 H を可能な限り小さくし、遮蔽板が小さくなるようにする必要がある。
- (2) 光ビーコンで規定されている通信領域の確保
光ビーコンの通信領域は、図 2 に示す仕様により規定されているため、遮蔽板は規定通信領域内において光を遮蔽することは望ましくない。光遮断地点は、車載受信機

の設置高が図 2 に示す最下位置 (1 m) である場合、投受光器直下地点から 1.3 m 離れた地点であるので、これ以上離れた地点において光を遮蔽しないように遮蔽板を設計する必要がある。

- (3) 投受光器直下付近における通信境界の検出
遮蔽板を利用することにより、誤差要因の影響が少ない地点での境界検出を行うことができる。路側機の投受光器直下地点が境界検出地点として最適である。理由は投受光器直下における境界面は道路に対してほぼ垂直に存在していることから誤差要因の影響が少ないためである。すなわち、投受光器の取付角の違いに起因する通信境界の変化量が少なく、境界位置の検出誤差が少ない。通信境界面が道路に対して垂直に存在していることから、車載受信機の設置高の違いに起因する境界の検出誤差も少ない。また、投受光器直下地点では投受光器と車載機間の直線距離も最短になるため車載受信機への到達光量は最も強い。そのため、赤外線遮断加工済みのフロントガラスによる赤外線の減衰を考慮しても、境界の検出への影響は最小である。

- (4) 車幅方向に逸れた走行に対する耐性
一般に光ビーコン路側装置の投受光器は各走行車線の中央に 1 基ずつ設置されている。そのため、投受光器直下地点に対して車両が左右に逸れて走行する最大距離は、投受光器が走行車線の中央に設置されていると想定した場合、車線幅の半分である。道路構造令で規定された最大幅を持つ道路である第 1 種第 1 級または第 1 種第 2 級道路では、走行車線の幅員の最大値は 3.75 m であるため、車両位置検出時には、投受光器直下地点から 1.875 m 逸れて走行した場合まで考慮する必要がある。

要件 (2) より、仕様で規定された通信領域内で赤外線を遮断してはならないため、通信終了地点は、車載機の設置高が 1 m の場合に投受光器直下から 1.3 m 離れた地点となる。車載機の設置高を 1 m とし、投受光器の設置高を仕様通りに 5.5 m とすると、投受光器と路側受信機の設置高低差は 4.5 m となる。したがって、式 (1) より、 α の最小値は 73.9° となる。要件 (1) より α は可能な限り小さいことが望まれるため、 α を 73.9° とする。

次に H を求める。要件 3 より、投受光器直下付近で光遮断を行うために光遮断完了地点を投受光器直下地点とした。今回使用する車載機の受光センサ面の奥行き長が 0.9 cm であったため、式 (2) から H を 3.12 cm とした。今回の光受信素子の受信性能では光ビーコン設置位置手前約 40 cm から光量不足となる計算である。

最後に X を求める。要件 (4) より、投受光器直下地点から車両が逸れて走行した場合の最大許容距離は 1.875 m である。今回使用する車載機の受光センサ面の横幅は 0.9 cm であ

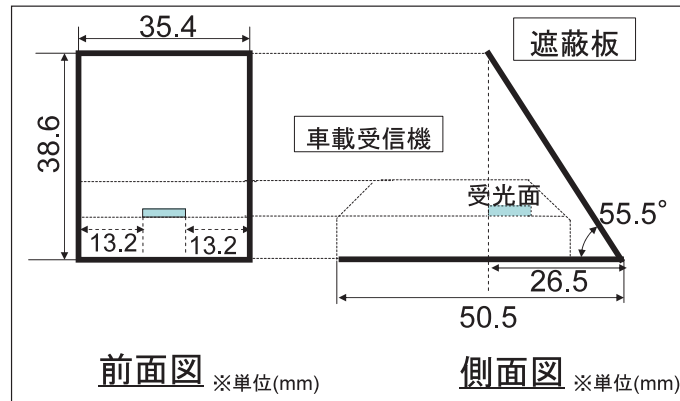
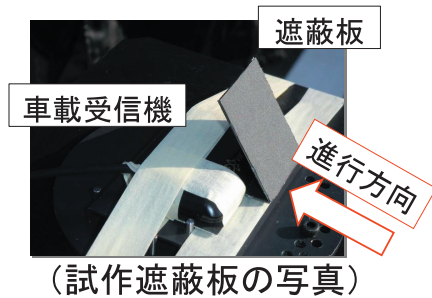


図9 試作遮蔽板の設計

Fig.9 Dimensional drawing of shadowing panel for this experiment.

るため、式(3)から X は 3.5 cm となる。このようにして設計した遮蔽板を車載受信機に装着することにより、誤差要因に対する影響が少ない高精度な自車測位が可能になる。

4.3 遮蔽板の性能評価

4.3.1 実験環境

前節で設計した遮蔽板を用いて、誤差要因が通信境界検出に対して与える影響を評価する。本実験用に試作した遮蔽板を図9に示す。本実験では受光センサ面に遮蔽板を直接装着することが困難であったため、車載受信機に遮蔽板を装着し、受光素子に直接遮蔽板を装着した場合と同等の性能が得られるように設計をすることで代用した。

本実験では誤差要因として想定した下記項目を評価項目とし、車両進行方向へ移動したと

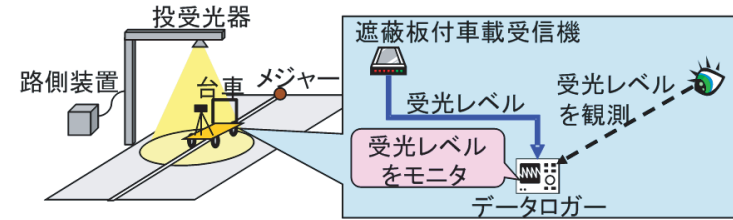


図10 遮蔽板の性能評価実験系

Fig.10 Configuration of the experiment equipment for evaluating basic function of shadowing panel.

きに各パラメータを変化させることによって、誤差要因の影響を評価する。

- 車幅方向の走行位置
- 車高
- 投受光器取り付け角度
- 車載受信機取り付け角度
- 赤外線遮断量

なお車高については、実験の便宜上、投受光器の高さを変え、投受光器と車載受信機との相対的な高さを変化させることで代用する。フロントガラスの代用として、光ビーコンで使用している帯域の赤外線を83%カットする特性を持つ車両用透明熱遮断フィルム(アルフォリア製サンクリアSC)を使用した。また、境界検出位置は投受光器を中心に車両進行方向に対し左右対称であると想定し、今回は片側(投受光器右側)の特性のみを検証する。

本実験の実験環境を図10に示す。車両の天井の影響を考慮し、車両の代用として台車を用いた。台車に三脚を設置し、三脚上に遮蔽板付車載受信機を設置する。遮蔽板付車載受信機は図2で示した領域の下限である道路から1mの地点に設置した。車載受信機を受光レベルをモニタし、ダウンリンク圏外境界を観測するためにデータロガーを使用した。データロガーで受光レベルを観測しながら台車を投受光器に向けて車両進行方向に移動させ、ダウンリンク圏外境界を観測した地点をメジャーにより測定して記録する。

4.3.2 評価結果

本実験の結果(台車位置-正規化受光強度特性)を図11に示す。

図11から、赤外線の正規化受光強度は台車の移動とともに緩やかに上昇し、光ビーコン投受光器の直下地点で急峻に下降していることが分かる。この結果から、投受光器直下で遮蔽板による人工的な光の遮断が機能していることが分かる。また、遮蔽板が図2に示

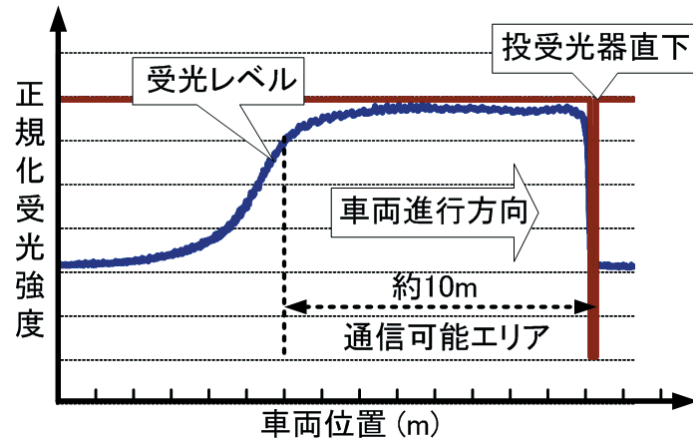


図 11 車両位置-受光強度特性

Fig. 11 Characteristic of the vehicle position and the infrared rays level.

ず通信エリア内における受光レベルに影響を与えていないことも確認した。図 12 に、誤差要因である評価パラメータを変化させたときの、通信境界検出位置の評価結果を示す。縦軸と横軸は、それぞれ投受光器直下を基点とした車線方向、車幅方向の距離である。原点 (0, 0) は投受光器直下地点であり、車線方向距離は正方向を投受光器後方、負方向を投受光器前方とする。また、グラフにおける評価パラメータの標準値とは、車線中央で、車高 1 m、車載機左右 0°、投受光器角度 0°、赤外線遮断なしの状態である。グラフから、誤差要因である車高や投受光器の設置角度、赤外線遮断は、境界検出地点が標準値と同様に投受光器直下から 20 cm 以内に収束している。以上の実験結果から、提案技術が誤差要因から受ける影響は小さいことが分かった。

また、車載受信機の左右設置角度については、台車の進入位置が車線幅方向に逸れると、ダウンリンク圏外境界検出地点が投受光器直下地点から離れる傾向がある。車載機の左右設置角度が 10° のときと 20° のときのダウンリンク圏外境界検出地点を比較すると、車載機の左右設置角度が大きくなるにつれて、ダウンリンク圏外境界検出地点が投受光器直下地点から離れていく。

表 2 に投受光器直下地点から境界検出地点までの距離を誤差とした、各誤差要因による最大累積誤差を示す。車載機の左右設置角度が 10° であるときの誤差要因による累積誤差は最大 41 cm であることから、目標である 50 cm を満たすことが確認された。この結果が

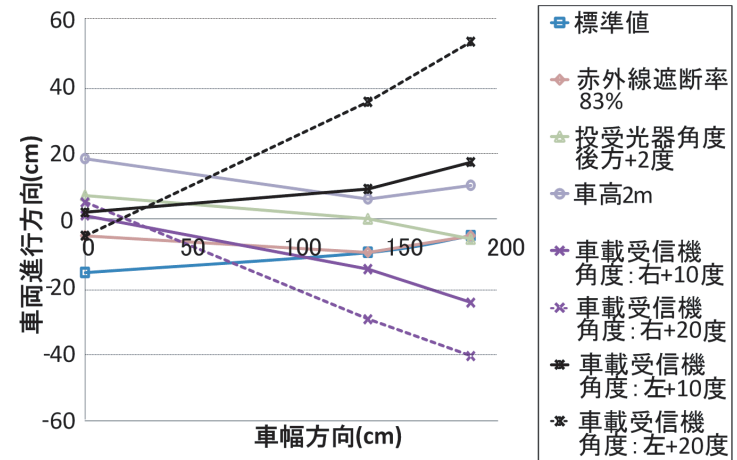


図 12 境界検出地点に誤差要因が与える影響

Fig. 12 Influence that the error margin factor gives to the DL communication boundary.

表 2 誤差要因による累積誤差

Table 2 The maximum accumulation error margin that originates in each error margin factor.

	投受光器直下地点	投受光器直下から車幅方向に 137.5 cm 離れた地点	投受光器直下から車幅方向に 137.5 cm 離れた地点
標準値	-16	-10	-5
赤外線遮断率 83%	-10	-5	
車高 2 m	18	6	10
車載受信機角度左: +10 度 (右 +10 度)	2(1)	9(-15)	17(-25)
投受光器設置角: 後方 +2 度	7	0	6
最大累積誤差	27	-35	-41

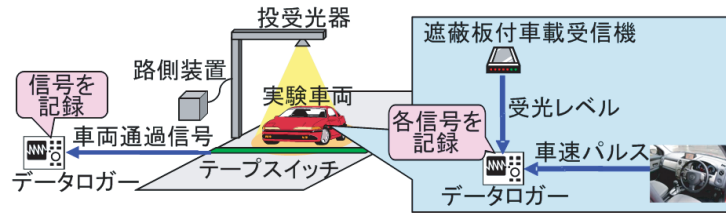
(単位: cm)

ら、走行車両が車線内を走行しており、車載機の左右設置角度 10° 以内であれば提案技術による測位誤差は 50 cm 以下になることが分かった。

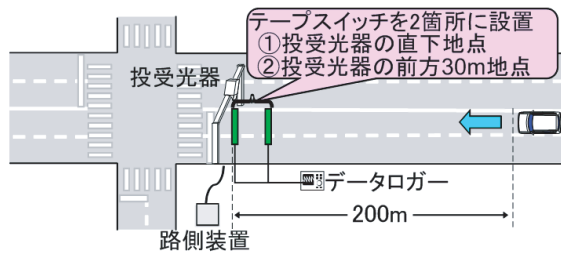
4.4 実車走行実験による性能評価

4.4.1 実験環境

遮蔽板を装着した車載受信機の実車環境における有効性を確認するために、車載受信機を実車両に搭載し、ダウンリンク圏外境界検出地点を測定した。台車を用いた実験では誤差要



(実験システム)



(実験レイアウト)

図 13 走行実験環境

Fig. 13 Configuration of the experiment equipment for evaluating function of shadowing panel on real road conditions.

因に関して詳細な評価を行ったため、実車を用いた実験では以下のような代表的な誤差要因のみを実験パラメータとした。

- 車幅方向の車両進入位置
- 車高
- 車速

本実験の実験環境を図 13 に示す。評価は車載受信機の受光レベルを記録し、受光レベルの立下り発生地点を追跡することによって行う。本実験で使用した光ビーコン車載受信機と投受光器は、台車による実験で使用したものと同一のものである。データロガを路側と車側に各 1 台設置し、路側のデータロガはテープスイッチの信号を記録し、車側のデータロガは車載機における受光レベルと実験車両の車速パルスを記録する。テープスイッチは投受光器直下に設置され、車両が投受光器の直下地点を通過したイベントの検出を行う。路側と車側のデータロガはあらかじめ同期しており、テープスイッチの出力信号と車速パルスと受光レ

表 3 走行実験における評価結果

Table 3 The maximum error margin that originates in each error margin factor.

誤差要因	実験パラメータ	誤差 (単位: cm)
走行位置 (車線中央)	投受光器直下地点	37
走行位置 (車線端)	投受光器直下地点から 1.8 m 右寄り	28
車高 (普通乗用車)	車高 1 m	37
車高 (大型自動車)	車高 2 m	19
車速 (高速)	110 km/h	21
車速 (低速)	30 km/h	37

ベルを同時に記録できるようにしてある。車両が通過しテープスイッチが入る前後の車速パルスと車載受信機の受光レベルを観測することにより、誤差要因による投受光器直下地点の検出誤差を観測することができる。

光ビーコン投受光器は、実験車両が十分に加速できるように、実験車両スタート地点から 200 m 離れた場所に設置する。

4.4.2 評価結果

表 3 に、実験結果 (各誤差要因による最大誤差値) を示す。各誤差要因による最大誤差は 37 cm であることが分かった。

以上から、提案技術による遮蔽板は、実車両においても適正に動作し、投受光器直下に近い地点で光遮断を正しく行うことが確認できた。投受光器直下での光遮断終了を遮蔽板の高さ H により設定しているため、この評価結果から、 H による光遮断性能は車両走行時においても有効であることが確認できた。また、車両の車線幅方向の走行位置が変化した場合も、投受光器直下付近でダウンリンク圏外境界検出をしていることを確認した。これらの結果から、遮蔽板の幅 X による車幅方向に対する動作保証は、実車においても有効であることが確認できた。

以上より、実際の走行車両時においても遮蔽板における角度 α 、高さ H 、幅 X の設計は有効であることが確認できた。

4.5 検証実験まとめ

検証実験では、自車測位システム要件のうち測位精度について、投受光器直下に近い場所でのダウンリンク圏外境界をとらえることにより高精度測位が可能になることを検証した。投受光器直下でのダウンリンク圏外境界を人工的に作り出すために、遮蔽板を装着し、複数の誤差要因の影響を評価した。結果、測位精度は 50 cm 以下となることが分かった。これは、表 1 の信頼性 (実環境における精度劣化量) では 10 cm (精度劣化量 = 実環境におけ

る精度 - 理想環境における精度) に相当する。これにより、本提案の有効性と必要性が示された。

5. 関連研究

路側に設置されたインフラを使った自車測位の関連研究として、レーンマーカ⁹⁾⁻¹²⁾ を利用した測位システムと、本稿と同様光ビーコンを使った測位システム¹³⁾ が報告されている。

文献 11), 12) は、路面に沿って M-CubITS 素子を M 系列に従って配置し、車載カメラで M-CubITS の並びを検出し位置を算出する。この方式は、安価な車載カメラを利用した測位システムであるが、路面に描かれたマークを認識するため、路面の経年変化にともなうマーカの誤認識率が増えることが予想される。レーンマーカを使用した技術と本稿提案の技術を比較すると、本提案技術は短距離赤外線通信であり、かつ車線ごとに路真上に設置するため、障害物による通信障害も少ない。また、すでに全国で 48,000 基の稼働実績もある。

文献 13) は光ビーコンのアップリンク領域の車両を、車両からのアップリンクタイミングを光ビーコン投受光器が捉え自車測位を行う。この方式は投受光器より車線方向手前で測位するため、本稿でも述べたように

- (a) 投受光器の前後取り付け角度による劣化 (0.4 m)
- (b) 車高 (光ビーコン車載受信機設置高さ) による劣化 (0.3 m)
- (c) 車両フロントガラスの赤外線遮断加工による劣化

が発生する。また、文献 13) はアップリンクの車両位置に対する精度を上げるため、アップリンク領域を絞り込んでいる。そのため、約 65% の通信に輻輳処理が発生している。本稿提案の技術はすでに述べたように上記 (a) から (c) の誤差要因の影響は少ない。かつ、通信品質は従来方式と比較して劣化していない。また、文献 13) が既存の光ビーコンインフラを利用することができないのに対し、本稿提案技術では既存の光ビーコンインフラに手を加えることなく利用することが可能である。

6. むすび

本稿では、安全運転支援システムには高精度測位システムが必要であることとその測位システム要件を整理し示した。さらに、既存の光ビーコンの通信領域を調査し、光ビーコン投受光器直下でダウンリンク圏外境界をとらえることにより高精度な測位を実現する技術を提案した。提案技術の効果を検証するため、遮蔽板を車載機側光ビーコン受信機に取り付け、投受光器直下で測位が高精度に行われることを確認した。これにより本提案技術が、

以下に示すすべての測位システム要件を満足することを示した。

- (1) 測位精度：50 cm 以下
- (2) 信頼性：路側インフラを使った測位システム
- (3) 導入・保守コスト：既存インフラの利用

また、遮蔽板の機能要件を提示し、要件を満たす設計方法についても触れ、遮蔽板が設計思想に基づいたとおり動作することを確認した。

今回提案した遮蔽板付き光ビーコン受信機を使うことにより、既設 48,000 基のインフラをそのまま利用した高精度測位が可能となる。

今後はこの測位システムを車載センサシステム (車速パルスやジャイロセンサなど) と連動させ、光ビーコンで測位した高精度位置を基準とした自律航法システムに応用する予定である。

参考文献

- 1) 国土交通省道路局 ITS ホームページ. <http://www.mlitt.go.jp/road/ITS/j-html/>
- 2) 光ビーコン概要 (社団法人新交通管理システム協会ホームページ). <http://www.utms.or.jp/japanese/beacon/index.html>
- 3) UTMS 新交通管理システム (警察庁) ホームページ. <http://office.microsoft.com/ja-jp/default.aspx>
- 4) 安全運転支援システム (社団法人新交通管理システム協会ホームページ). <http://www.utms.or.jp/japanese/system/dsss.html>
- 5) 半場信宏: インフラ協調型安全運転支援システム (DSSS) の公道実験, (社) 新交通管理システム協会 (2007).
- 6) JARI: 移動体用高精度位置標定システムに関する研究調査 (2006).
- 7) 土屋 敦, 辻 宏道: GPS 測量の基礎, 社団法人日本測量協会 (1997).
- 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, 国土地理院 (2007).
- 9) 西村明彦, 長谷川孝明: 走行車線認識システムの位置検討, 電子情報通信学会技術報告, ITS2007-34, pp.19-22 (2007).
- 10) 間邊哲也, 長谷川孝明, 松岡義大, 古川誠治: M-CubITS・可視光通信協調型歩行者 WYISWYAS ナビゲーションシステムについて, 電子情報学会技術報告, ITS2007-10, pp.5-10 (2007).
- 11) 増田 亮, 金 帝演, 長谷川孝明: 指示位置指向の M-CubITS 車両 WYISWYAS ナビゲーションについて, 電子情報通信学会小特集, Vol.J91-A, No.1, pp.11-20 (2008).
- 12) 金 帝演, 長谷川孝明: M-CubITS を用いた夜間走行測位実験, 電子情報学会技術報告, ITS2005-113, pp.19-24 (2006).

- 13) Minakata, T., Kobayashi, M. and Seto, M.: DEMONSTRATION TEST FOR SIGNAL INFORMATION PROVISION SYSTEM IN DSSS BY UTMS, *World Congress On Intelligent Transport Systems*, Paper ID 3094 (2007).
- 14) 安田明生: GPS の現状と展望, 電子情報通信学会誌, Vol.82, No.12, pp.1207-1215 (1999).

(平成 20 年 4 月 7 日受付)

(平成 20 年 7 月 16 日採録)



森 信一郎 (正会員)

昭和 62 年関西大学工学部卒業。同年富士通 (株) 入社。半導体製造ロボットの開発, GPS 携帯端末関連の開発をへて (株) 富士通研究所に異動。次世代携帯電話の開発, 仮想世界/オーギュメンティッドリアリティに関する研究をへて, 現在車両における高精度測位の研究に従事。



肥田 一生 (正会員)

昭和 56 年生。平成 18 年静岡大学大学院情報学研究所修士課程修了。同年富士通 (株) 入社。車両の高精度測位技術の研究開発に従事。



沢田 健介

昭和 42 年生。平成 5 年長岡技術科学大学大学院工学研究科電気電子システム工学専攻修士課程修了。同年 (株) 富士通研究所入社。入社以来平成 17 年まで第三世代携帯電話システムの研究開発に従事。平成 17 年から ITS の研究開発に従事。電子情報通信学会, IEEE-CS, ITS, VTS 各会員。