

## V-PEACE 方式におけるドップラーシフトの影響改善のための一検討

北村 長<sup>†</sup> 永長 知孝<sup>†</sup> 森 香津夫<sup>†</sup> 小林 英雄<sup>†</sup>

<sup>†</sup> 三重大学工学部 〒514-8507 三重県津市上浜町 1515

<sup>‡</sup> 関東学院大学工学部 〒236-0037 神奈川県横浜市金沢区六浦東 1-50-1

E-mail: <sup>†</sup> {takeru@com., kmori@, koba@}elec.mie-u.ac.jp, <sup>‡</sup> nagaosa@kanto-gakuin.ac.jp

あらまし 本稿では、車車間通信における通信手法の1つとして提案されている V-PEACE 方式を用いて車両間で位置情報を交換する場合の受信精度について検討を行っている。V-PEACE 方式はパルスの送信タイミングが道路上の自車両の位置によって決定されるため信号衝突を回避することが可能である。一方、道路上を走行する車両間の速度差によって生じるドップラーシフトは送信信号を劣化させる要因となる。特に車車間通信やレーダ用に周波数割り当てが行われているミリ波を用いた場合にはその影響が大きく、補償を行う必要がある。

本稿では、ミリ波による V-PEACE 方式の実現を目的として、ドップラーシフトが与える影響を改善するため、従来の V-PEACE 方式において送信される時間信号に PN 符号を乗算し、その相関値によって信号を検出する方式が提案されている。そして、直接波と路面反射波を考慮した 2 波環境下において、車両位置情報の受信精度が計算機シミュレーションによって評価されている。その結果、従来の V-PEACE 方式との性能比較により提案方式の有効性が示されている。

キーワード 高度交通システム, 車車間通信, V-PEACE 方式, ポジショニングシステム, ミリ波, ドップラーシフト

## A Study on the improvement of performance degradation caused by the Doppler Shift in the V-PEACE Scheme

Takeru KITAMURA<sup>†</sup> Tomotaka NAGAOSA<sup>‡</sup> Kazuo MORI<sup>†</sup>  
and Hideo KOBAYASHI<sup>†</sup>

<sup>†</sup> Faculty of Engineering, Mie University, 1515 Kamihama, Tsu-shi, Mie 514-8507, Japan

<sup>‡</sup> Faculty of Engineering, Kanto-gakuin University, 1-50-1 Mutsuura-higashi, Kanazawa-ku, Yokohama-shi, Kanagawa 236-0037, Japan

E-mail: <sup>†</sup> {takeru@com., kmori@, koba@}elec.mie-u.ac.jp, <sup>‡</sup> nagaosa@kanto-gakuin.ac.jp

**Abstract** The V-PEACE (Vehicle Position Environment Acquisition and Communication Evolution) scheme has been proposed as one of Inter-Vehicle Communications (IVC) methods, which can provide the autonomous channel assignment for the vehicles with free of signal collision. However, the vehicle position accuracy exchanged among vehicles would be degraded relatively due to the Doppler shift when the employed carrier frequency band is higher such as Ka band. This paper proposes the improved V-PEACE scheme, which employs the PN code as the transmission signal in conjunction with the differential detection method. This paper presents various computer simulation results to demonstrate the effectiveness of proposed method under the higher Doppler shift environments.

**Keyword** Intelligent Transport Systems, Inter-Vehicle Communication, V-PEACE, Positioning Systems, millimeter wave, Doppler shift.

### 1. まえがき

安全かつ効率的な自動車交通を実現するための1つの手法として、車車間通信[1][2]により交換される近接車両の情報に基づいた車両制御が挙げられる。各車両が速度、位置、車両 ID などの情報を車両のスピードや人間の反応速度よりも十分速い間隔で交換するこ

とにより、周囲車両の挙動の予測が可能となり、安全性の向上が可能となる。

この車車間通信を実現するために解決すべき問題の1つに、各車両間における通信チャネルの予約手法の確立が挙げられる。道路上で車両が通信を行う際、路側に基地局が存在する場合は、基地局がチャネルの

割り当てを制御することが可能である。しかし、基地局を路側に配置できない場合に通信性能を劣化させること無く、車両が自律的にチャンネルの割り当てを行うことは非常に困難である。このような問題を解決可能な通信手法として、我々は V-PEACE 方式 (Vehicle Position Environment Acquisition and Communication Evolution Scheme) を提案している[3]。V-PEACE 方式において各車両は時分割フレーム上に送信されたパルスによって、互いの位置情報が交換可能である。このパルスの送信タイミングは道路上の自車両の位置によって決定されるため、信号衝突を確定的に回避することが可能である。一方、道路上を走行する車両間の速度差によって生じるドップラーシフトは送信信号を劣化させる要因となる。特に車車間通信やレーダ用に周波数割り当てが行われているミリ波を用いた場合には、携帯電話など従来の移動体通信で使用されている周波数領域よりもドップラーシフトの影響が大きく、補償を行う必要がある。これまで、V-PEACE 方式はシステム構成の提案と車両位置情報の雑音特性についての評価は行っているが[4]、ドップラーシフトを考慮した通信路における評価は行っていない。

本稿では、ミリ波による V-PEACE 方式の実現について検討を行う。ドップラーシフトによる通信精度の劣化を改善するため、従来の V-PEACE 方式において送信される時間信号 (パルス) に PN 符号を乗算し、その相関値によって送信信号を検出する方式を提案する。そして、直接波と路面反射波を考慮した 2 波環境下において、車両位置情報と車両サイズの受信精度を計算機シミュレーションにより評価する。提案方式の性能を従来の V-PEACE 方式と比較し、その有効性を明らかにする。

## 2. V-PEACE 方式

V-PEACE 方式は道路上の車両間で情報交換を行うために提案された自律分散型の車車間通信方式である。図 1 は V-PEACE 方式の概念である。各車両は道路上の車両位置に対応する時分割フレーム上でパルスを送信する。各パルスは車両長に対応する時間幅で時分割フレーム中の相当位置に送出される。したがって、各車両において自車両の位置情報が正確に獲得可能であれば、信号衝突は確定的に回避可能であり、各車両は他車両から送出されるパルスの位置と幅を観測することで簡易に周囲車両の情報 (位置, サイズ) を獲得可能となる。

各車両は GPS や PN 符号化磁気マーカ[5]などの車両位置測位システムを用いて自車両の位置を知る必要がある。そして、車両間におけるフレーム同期のために外部参照信号を用いる。また、道路上の参照点

(Reference point) はモジュール則によって決定され、全ての車両はナビゲーションシステムによって自車両のモジュール上の位置を獲得できるとする。

図 2 に V-PEACE 方式の送受信機構成の一例を示す。ここでは GPS から得られる位置情報と時間情報をそれぞれ参照点からの距離、時間フレームタイミングの算出に用い、それらを元にパルスを発信する。受信したパルスとフレームタイミング、位置情報を組み合わせてディスプレイを通して表示するなどしてドライバーに周囲車両情報を伝達する。

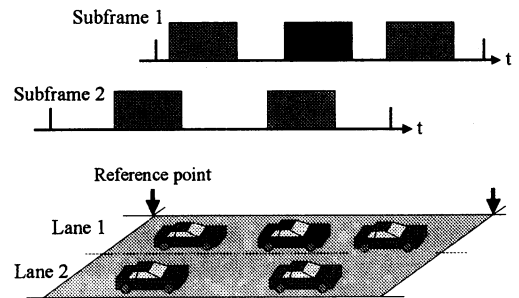


図 1 V-PEACE 方式の概念

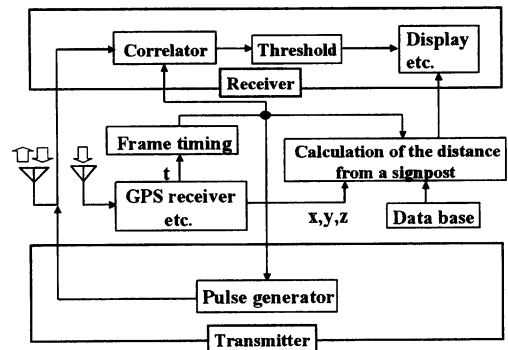


図 2 V-PEACE 方式のブロックダイアグラム

図 3 は V-PEACE 方式におけるパルス送出タイミングの決定方法を表している。時分割フレーム周期  $T_F$  は道路のモジュール長  $L_M$  と対応している。車両 A はパルス  $P_A$  を道路上の位置  $d_A$  に対応する時分割フレーム上の位置  $T_A$  で送出する。パルス長  $T_{PA}$  もまた車両長  $l_A$  と対応し、 $T_A$  と同様に決定される。

また、信号の減衰を考慮してモジュール長を設定しないと遠方の車両から発信されたパルスがエイリアスとなり、時分割フレーム上で観測したパルスの位置が実際の車両配置と異なってしまふ。モジュール長は通信範囲の 2 倍以上に設定する必要がある。

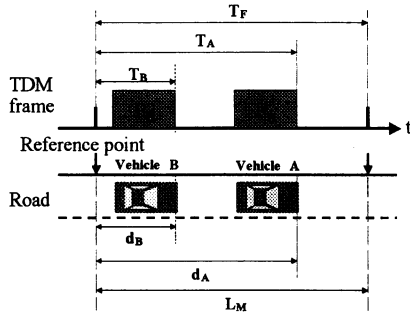


図3 V-PEACE方式におけるパルス発信タイミングの決定

### 3. PN符号を用いた改善法の提案

提案方式は従来の V-PEACE 方式で用いられる時間パルスに PN 符号を乗算し、受信側で相関器により、ピーク値を検出するという方式である。PN 符号を乗算し、マルチパルス化することによって、従来の V-PEACE 方式のようにモノパルスを送信する場合よりも相対速度特性の改善が考えられる。

提案方式の送受信方法を図4に示す。まず送信側において、従来の V-PEACE 方式において送信されるパルスに対して、PN 符号を乗算して二次変調を行い、モノパルスをマルチパルス化して送信する。

次に受信側では二次変調に用いたものと同じ系列の PN 符号を用いて相関検波を行うことによってピークを検出する。このピークの個数、即ち用いる PN 符号の周期数を車両長に対応させることによって、車両の位置誤差と車両長の検出を行う。本稿において PN 符号は自己相関特性に優れている M 系列を用いた。また、ピークの検出にはスレッシュホールド（閾値）を設定し、相関値が設定したスレッシュホールドを超えた値があれば、ピークが検出されたとした。今回の検討においてピークを検出するために用いるスレッシュホールドは相関器出力の最大値の 70% と設定した。

このように二次変調を行うことによって、提案方式の所要周波数帯域は従来方式と比較して非常に大きくなる。これは用いる PN 符号の系列長によって変化する。今回の検討で用いたパラメータでは従来方式が 0.2 [MHz] であったのに対して、提案方式は 25.4 [MHz] となった。図5は本稿における V-PEACE 方式の所要周波数帯域を従来のコンテンツン型アクセス方式と比較した図である。Pure-ALOHA, Slotted-ALOHA, non-persistent CSMA 方式は通信半径 100 [m] 内の車両が通信周期 20 [ms] でパケット (40 [byte]) を送信した際のパケット損失率が 1.0% 以下となる所要周波数帯域であり、文献[6]において自律走行型交通流シミュレータを用いて評価された数値である。また、比較のためにこの図に提案方式の部分を追加した。これは、

V-PEACE 方式において各車両が自車両の正確な位置とタイミングが得られると仮定し、文献[6]におけるシミュレーションと同様の諸元によって理論計算を行ったものである。図5からわかるように、提案方式を従来の V-PEACE 方式と比較すると、所要周波数帯域は 127 倍と非常に大きくなっているが、従来のコンテンツン型アクセス方式と比較すると最も帯域の小さい Slotted-ALOHA 方式と比較しても約 1/22 と非常に小さく、重大な問題は生じないと考えられる。

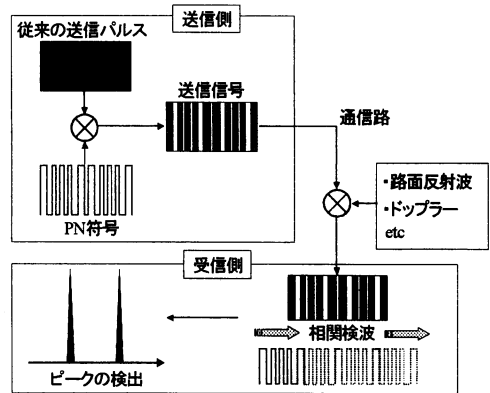


図4 提案方式の送受信方法

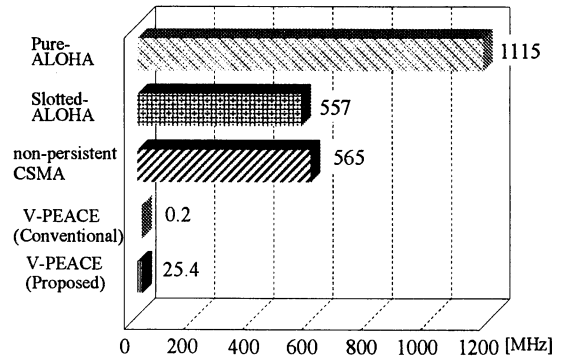


図5 諸方式の所要周波数帯域 ([6]より引用, 一部追加あり)

### 4. 伝搬モデル

本稿では、通信媒体としてレーダや車車間通信用の帯域として割り当てられているミリ波の使用を仮定している。基礎的な検討のため、伝搬モデルは一車線の直線道路とし、考慮する波は直接波と路面反射波の 2 波モデル[7]を用いる。同一車線上を速度  $V_r$  で走行する受信車両と、速度  $V_t$  で走行する送信車両が通信を行うと仮定する。

図6のように水平距離  $r_d$  離れた位置に高さ  $h_t$  の送信機と高さ  $h_r$  の受信機を設置し、直接波と路面反射との 2 波を想定した場合の受信電力  $P_r$  は、次式のように与えられる。

$$P_r = \frac{P_t G_t G_r}{L(r_d)} \left( \frac{\lambda}{2\pi r_d} \right)^2 \sin^2 \left( \frac{2\pi h_t h_r}{\lambda r_d} \right) \quad (1)$$

ここで、 $P_t$ は送信電力、 $G_t$ と $G_r$ はそれぞれ送受信アンテナの正面方位利得、 $r_d$ は直接波の光学経路長、 $L(r_d)$ は60[GHz]帯における酸素吸収減衰項(15[dB/km])、 $\lambda$ は搬送波の波長である。

また、路面反射波の経路長 $r_r$ は次式のように与えられる。

$$r_r = \sqrt{r_d^2 + (h_t + h_r)^2} \quad (2)$$

(2)式より求めた路面反射波の直接波に対する遅延時間を図7に示す。また、伝搬モデルのパラメータを表1に示す。

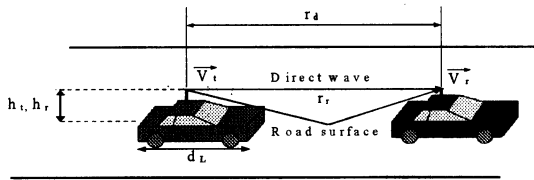


図6 伝搬モデル

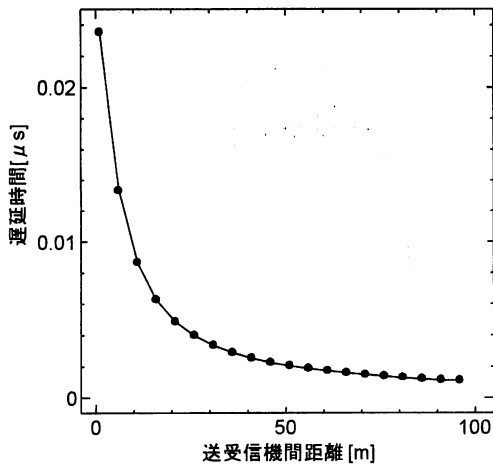


図7 路面反射波の遅延時間

表1 伝搬モデルのパラメータ

送信電力 $P_t$	10 [dBm]
アンテナ利得 $G_t, G_r$	20 [dBi]
車両長 $d_L$	4.0 [m]
アンテナ高 $h_t, h_r$	1.5 [m]
路面の反射係数	0.5
酸素吸収減衰係数	15 [dB/km]

## 5. 計算機シミュレーション

各車両はポジショニングシステムによって自車両の正確な位置と参照点からの距離が獲得可能であると仮定する。また、外部参照信号によって近接する車両間でのフレーム同期が可能であるとする。本章において、車両長4.0[m]の1台の車両が自車の車両長に相当した時間幅のパルスを送信した場合を仮定してシミュレーションを行った。また、通信半径を100[m]と設定した。ここにおいて、V-PEACE方式を使用する際に送信される最も小さい幅のパルスを仮定し(基準パルス幅)、それを二輪車(2.0[m])が送信する20[ $\mu$ s]とした。そして、4章で述べた伝搬モデルにおいて、車両長4.0[m]の車両が時分割フレーム上の相当位置に自車の車両長に相当する時間幅(40[ $\mu$ s])でパルスを送信した際の受信精度について提案方式の性能評価を行った。また、提案方式においてはM系列1周期(ピーク1つ)を車両長2.0[m]に対応させているため、車両長の解像度は2.0[m]である。相関器によってピークが1つ検出されれば車両長は2.0[m]となり、ピークが2つ検出されれば車両長は4.0[m]と検出されると仮定した。V-PEACE方式のパラメータを表2に示す。この検討においてモジュール長を1000[m]に設定した。よって、各車両はモジュール則により自車両の前後500[m]の車両を識別することが可能である。また、片側三車線の道路における通信を想定してサブフレーム長を6.6[msec]とした。

表2 V-PEACE方式のパラメータ

M系列周期	127 [chip]
チップレート	4.9 [Mchip/sec]
搬送波周波数	60 [GHz]
フレーム長	20 [msec]
サブフレーム長	6.6 [msec]
基準パルス幅	20 [ $\mu$ sec]
所要周波数帯域	25.4 [MHz]

図8に従来方式と提案方式の位置誤差の相対速度特性を、同様に図9に検出された車両長の相対速度特性を示す。図8, 9において遅延検波は受信側でM系列1周期分を遅延して検波を行った。また、位置誤差、検出車両長のどちらの相対速度特性においても提案方式は従来方式よりも同期検波の場合で相対速度特性が約30[km/h]、遅延検波の場合では約100[km/h]の改善がされたことがわかる。これは提案方式が時間パルスにM系列を乗算する二次変調を行うことによって、ドップラーシフトによる影響を改善できたためであると考えられる。遅延検波を用いた結果の相対速度約100[km/h]の改善とは、上下車線が分離されている自動車専用道

路において通信が可能であり、一般道においては市街地の交差点などを走行している場合には対向車とも通信が可能であるとうことを示している。本検討において、相対速度が高くなるに従って、位置誤差は大きくなっているが、これは相対速度が高くなるとパルス長が短くなるためにピークの検出される地点が異なるためである。また、提案方式の同期検波においては約 50[km/h]、遅延検波においては約 120[km/h]を超えると急に特性が劣化しているが、この理由としてはドップラーの変動が大きくなっていくに従って、相関値が小さくなりピークが検出されなくなっていること、送信信号の位相回転が大きくなっていることが考えられる。また、遅延検波を行った場合に改善度合いが大きいのは、搬送波成分を再生しないためにフェージングへの追従が可能であるからだと考えられる。

また、一般に普及している通信機器の精度を考慮し、通信機の長期安定度を  $10^6$  と仮定して、 $\pm 60$ [kHz]の周波数オフセットを考慮した検討を行った。図 10 に従来方式と提案方式の同期検波における検出車両長 対周波数オフセット量の図を示す。この図より、提案方式は従来方式と比較して約 16[kHz]の改善が見られるが、同期検波では周波数オフセットが約 10[kHz]で検出車両長が 4.0[m]未満になっている。これは、周波数オフセットの影響による送信信号の位相回転により、ピークが検出できなくなったためであると考えられる。これより、従来方式と提案方式の同期検波は $\pm 60$ [kHz]の周波数オフセットに対しての耐性が弱いことがわかる。よって、この後の検討では遅延検波による評価のみを行った。

図 11 に通信機によって発生する周波数オフセットを $\pm 60$ [kHz]として考慮した場合の平均位置誤差、車両長 対 相対速度特性を示す。図 11 より、図 8、9 のように周波数オフセットを考慮しない場合と比較すると、相対速度が大きくなるにつれて平均位置誤差は少しずつ大きく、検出車両長は少しずつ小さくなっていることがわかる。これは周波数オフセットによる送信信号の位相回転の影響によってピークが検出されず、位置誤差や車両長の誤差が大きくなったためであると考えられる。しかし、図 8、9 と比較すると受信精度に大きな劣化はなく、提案方式は送受信機間に $\pm 60$ [kHz]という大きな周波数オフセットが発生しても、通信を行うことが可能であるといえる。

## 6. まとめ

本稿では、信号衝突を確定的に回避可能な車車間通信方式として提案されている V-PEACE 方式の車両位置情報の受信精度についてドップラーシフトを考慮した直接波と路面反射波による 2 波環境において評価を

行った。通信路において問題となるドップラーシフトの影響を改善するために、従来の V-PEACE 方式において送信されるパルスに P N 符号 (M 系列) を乗算し、相関器によってそのピークを検出する方式の提案を行い、従来方式と比較し、その有効性を示した。その結果、提案方式は従来方式と比較して同期検波で約 30[km/h]、遅延検波で約 100[km/h]、相対速度特性が改善することを示した。これは遅延検波の場合には、上下車線が分離されている自動車専用道路において通信が可能であり、一般道においては市街地の交差点などを走行している場合には対向車とも通信が可能であるということを示している。また、提案方式の遅延検波においては送受信機の差異による周波数オフセットを考慮した場合においても大きな特性の劣化が無いことを示した。

今後の課題として、路面反射波だけではなく、道路周辺の構造物や他の車両を考慮した場合における評価など、より実際の通信路に近い環境を想定した検討が挙げられる。

## 参考文献

- [1] Kiyoshi MIZUI, "Inter-Vehicle Communication and Ranging System using FH/SS Technique", 2002 IEEE Intelligent Transportation Systems Conference CD-ROM, Sep.2002
- [2] Abhishck Pal, Atakan Dogan, Fusun Ozguner, and Umit Ozguner, "A MAC Layer Protocol for Real-time Inter-vehicle Communication", 2002 IEEE Intelligent Transportation Systems Conference CD-ROM, Sep.2002
- [3] Tomotaka NAGAOSA and Takaaki HASEGAWA, "A new scheme of nearby vehicles' positions recognition and inter-vehicle communication system with the decided transmission channel according to the sending position", proc. IEICE-ESS Conf. IEICE '99, pp.189, Sept.1999
- [4] Takeru KITAMURA, Tomotaka NAGAOSA, Takaaki HASEGAWA, Hideo KOBAYASHI, Kazuo MORI, "Vehicle Position Accuracy Exchanged among Vehicles in the V-PEACE Scheme", 2002 IEEE Intelligent Transportation Systems Conference CD-ROM, Sep.2002
- [5] Ari Widodo and Takaaki Hasegawa, "A new inter-vehicle communication network using spread spectrum techniques," Proc. of 5th World Congress on ITS, CD-ROM, Oct.1998.
- [6] Kaichi Fujimura and Takaaki HASEGAWA, "Performance Comparisons of Inter-Vehicle Communication Networks -Including The Modified V-PEACE Scheme Proposed", 2001 IEEE Intelligent Transportation Systems Conference Proc. pp.970-974, Aug.2001

[7] Akihiko KATO, Katsuyosi SATO, Masayuki FUJISE, Regular Members, and Shigeru KAWAKAMI, "Propagation Characteristics of 60-GHz Millimeter Waves for ITS Inter-Vehicle Communications", IEICE TRANS. COMMUN., VOL. E84-B, NO.9, Sep.2001

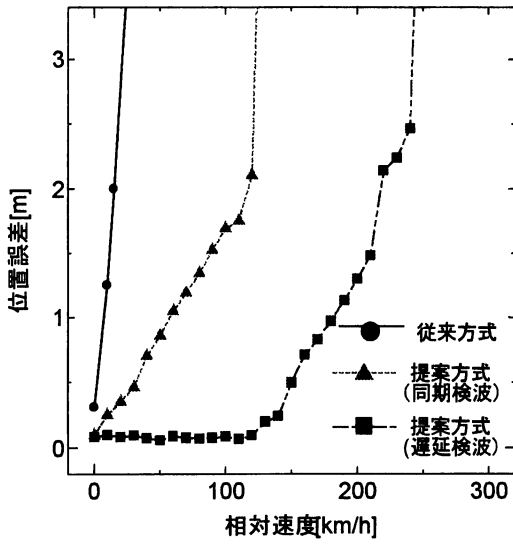


図 8 位置誤差 対 相対速度特性

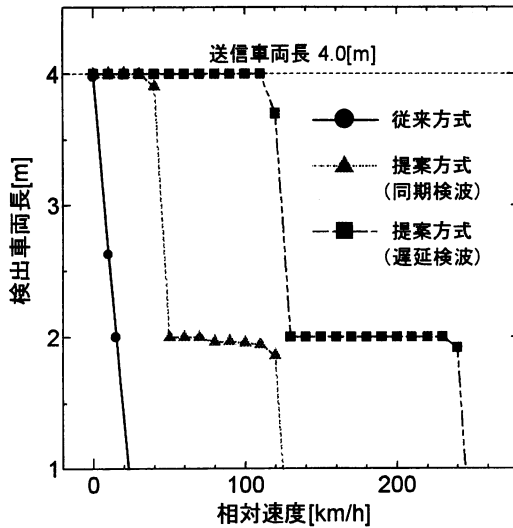


図 9 検出車両長 対 相対速度特性

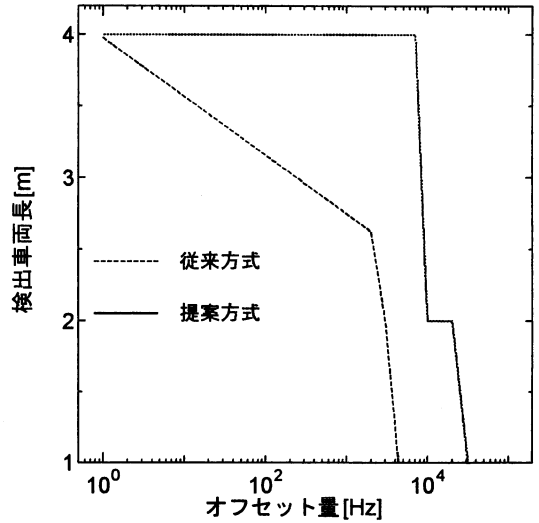


図 10 検出車両長 対 周波数オフセット

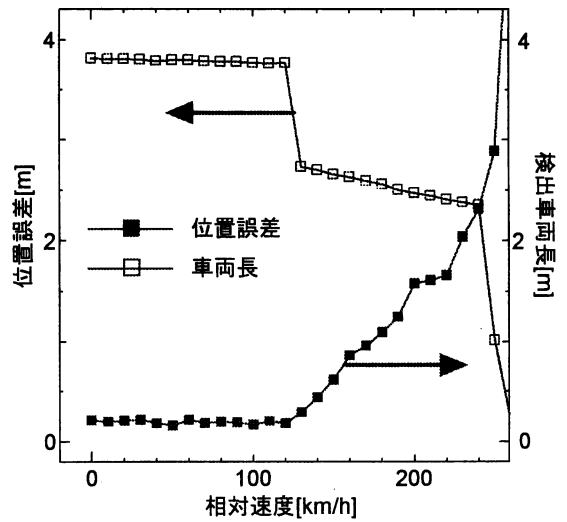


図 11 周波数オフセットを考慮した場合の相対速度特性