

擬似衛星(スードライト)を用いた車両位置検出の基礎検証

柳原 徳久 (技術研究組合 走行支援道路システム開発機構 日立研究室)
渡邊 正彦 (技術研究組合 走行支援道路システム開発機構 日立研究室)

要約

日本においては、米国のGPS (Global Positioning System) を用いたカーナビゲーションが広く普及しているが、都市部のビル影、高架道路下などでは十分な数のGPS衛星が捕捉できず、測位が困難であるという問題がある。そこで、GPS衛星を代用する擬似衛星(スードライト)を用いて車両等の高速移動体に対し高精度な位置検知が可能かを検討するために、基礎的な実験検証を行ったのでその結果を報告する。

Basic Verification of High Accuracy Position Detection Using Pseudo Satellites (Pseudolites)

Norihisa Yanagihara and Masahiko Watanabe,
Advanced Cruise-Assist Highway System Research Association

Abstract

Car navigation systems using the US Global Positioning System (GPS) have become widespread in Japan, but there are problems that sufficient numbers of GPS satellites cannot be acquired in the shadow of buildings, under elevated roads and other urban areas, making position measurement difficult. Therefore, this paper reports the results of basic experimental verification to investigate whether high accuracy position detection is possible for cars and other high-speed moving objects using pseudo satellites (pseudolites) as substitutes for GPS satellites.

1 . 背景と目的

日本では、米国のGPS (Global Positioning System) を利用した位置案内システムが、カーナビゲーション、携帯情報端末、携帯電話などに用いられている。特にカーナビゲーションは広く普及しており、新車への装着率は約30%に達している。カーナビゲーションでは、GPSで測位された位置と地図を照合することにより自車位置を特定している。その精度は、FM電波によりD-GPS (デファレンシャルGPS) の補正情報を受信できる都市部で数m、単独測位となる郊外で20m程度である。単独測位の精度は、2000年5月に米国がS/A (Selective Availability: 意図的精度劣化) を解除して飛躍的に高まった。しかしながら、都市部においてはGPS衛星がビル、高架道路などで遮蔽されることが多く、十分な数の衛星が補足できず測位が不可能となる場合が多い。

そこで、GPS 衛星を代用する擬似衛星（スードライト）を衛星数が不足する場所に設置し、同一の受信機により GPS 測位を可能とする技術が注目されている。本技術によりどこでも精度良く位置を特定することができれば、位置案内システムはもとより車の運転支援サービス、運転補助システム、歩行者の案内システムの高度化など利用範囲が大きく拡大するものと思われる。

本報告は、GPS 衛星を代用する擬似衛星（スードライト）を用いて車両等の高速移動体に対し高精度な位置検知が可能か、基礎的な検証を行った結果を報告する。

2．擬似衛星システム

図1に擬似衛星を利用したデファレンシャルシステムの構成例を示す。図では、GPS 衛星2個と擬似衛星（PL）2個の合計4個の衛星からの電波により測位している例を示している。

擬似衛星は米国インテグリーノティクス社製の IN400 である。擬似衛星は GPS 衛星の電波を同時に受信して時刻の同期を取っている。基地局は、GPS 衛星および擬似衛星の電波を受けて、デファレンシャルの補正情報を生成する。基地局の受信機は米国インテグリーノティクス社製の IN2400 である。補正情報の送信には無線を利用している。移動局は、GPS 衛星および擬似衛星の電波と補正情報を受け取って位置の計算を行う。受信機としては基地局と同じ米国インテグリーノティクス社製の IN2400 を用いている。

擬似衛星は受信機を共通とするために GPS 衛星の電波と同じ周波数を利用している。GPS 衛星との電波干渉を避けるために、デューティー約 3% 程度のパルスとしている。また GPS 衛星とは異なる衛星番号（33,34）を割り当て区別できるようにしている。

移動局受信機は、パルスとして埋め込まれた擬似衛星からの電波を受け取ることができる擬似衛星対応の受信機を用

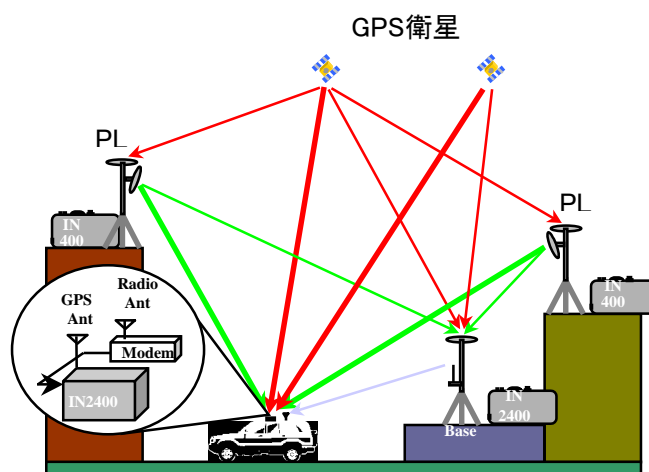


図1 擬似衛星システム構成例

い、擬似衛星の番号および位置をあらかじめ入力してある。これによって、GPS 衛星と擬似衛星からの電波を受けて位置計算を行うことができる。

3．実験構成

前記システムを用いて、実際に走行する車での測位実験を行うための施設の構成を図2に示す。実験は国土技術政策総合研究所（国総研）の試験走路南ループ部分で行った。

4 個の擬衛星アンテナを走路内側の高さ約 20m の電柱上部に取り付ける。基地局のアンテナは、擬衛星および GPS 衛星の電波が受信可能となる電柱の比較的下部に取り付ける。補正情報の送信には特定省電力無線を用いる。移動局として、試験車両の屋根に GPS 衛星アンテナ、無線アンテナを設置し、車内に擬衛星対応の受信機を搭載している。

図 3 に実験施設の設置場所、図 4 に施設概要（写真）を示す。

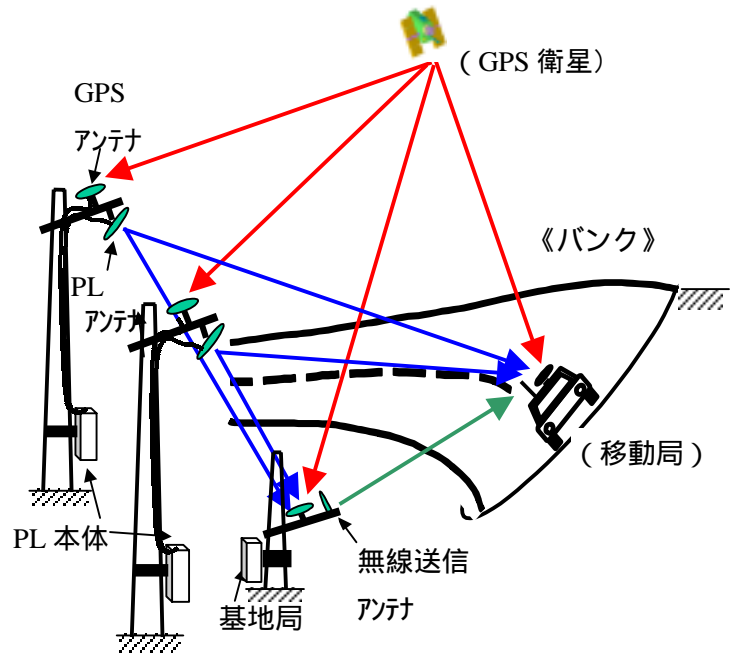


図 2 実験施設イメージ



図 3 実験場所（国総研試験走路）

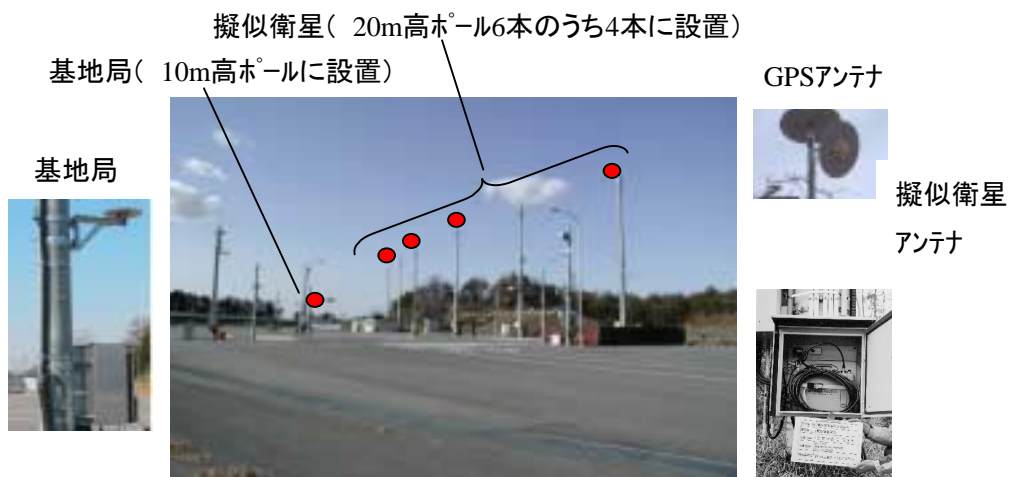


図 4 実験施設の概要（写真）

本施設では、4 つの擬衛星（PL）の衛星番号を 33～36 に割り当てている。図 5 に各擬衛星の出力タイミングを示す。

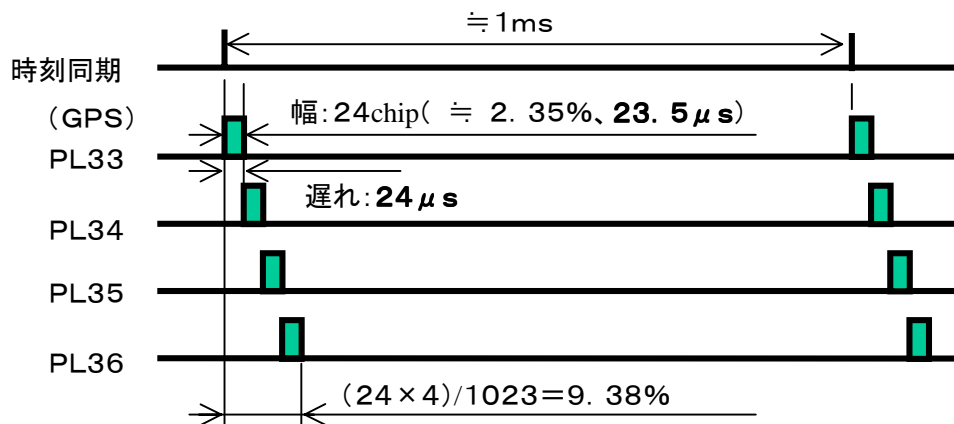


図5 各擬似衛星の出力タイミング

図5 からわかるように、GPS 衛星の時刻信号によって4つの擬似衛星を同期させ、各擬似衛星が重ならないよう23.5 μs の期間電波を出すように設定している。従って、受信機では約10%程度の期間、存在しないGPS 衛星からの電波を受信することになる。既存の受信機では、衛星番号が33以上の衛星は認識しないのでこの時間が短ければ影響はないと考えて良い。

4. 実験結果

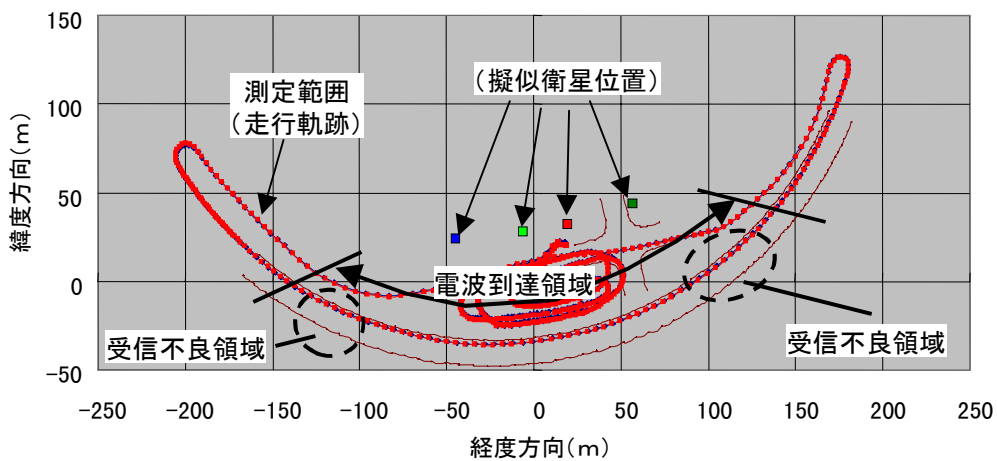
本施設により、実際の走行状態（移動速度：0～120km/h）で各種実験を行った。実験は、以下の3項目について測定を行い、現状の米国インテグリノーティクス社製擬似衛星システムを評価した。

- (1) 擬似衛星の電波ゾーン
- (2) GPS 衛星と擬似衛星の電波干渉
- (3) GPS 衛星と擬似衛星を併用した位置検出精度

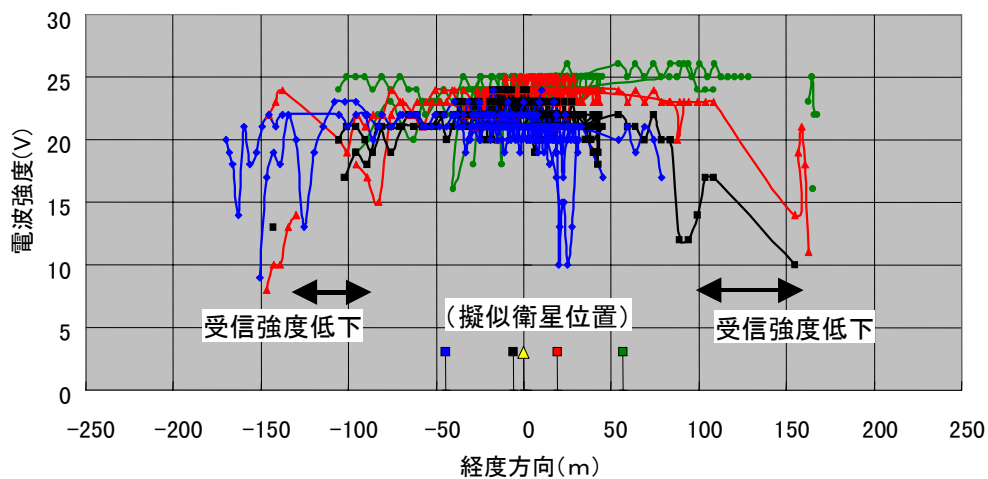
(1) 擬似衛星の電波ゾーン

南ループ大交差点付近に設置した4台の擬似衛星が出力する電波について、その電波到達範囲と各擬似衛星の電波強度を位置に対応した受信強度を測定した結果を図6に示す。測定は、試験車両を(a)に示す範囲で移動させ、車載の擬似衛星受信機で受信された(b)各擬似衛星の受信強度を調べた。

図6より、擬似衛星電波の到達範囲としては、南バンクの約1/2の領域（基地局を中心として経度方向±150mの範囲）がカバーされており、個々の擬似衛星については設置位置に対応して到達範囲がシフトしていることがわかる。また、電波の到達領域のほぼ両端部分に電波受信強度が低下する領域が存在しているが、この原因が障害物といった周辺環境であるかは不明である。



(a) 電波ゾーン測定範囲



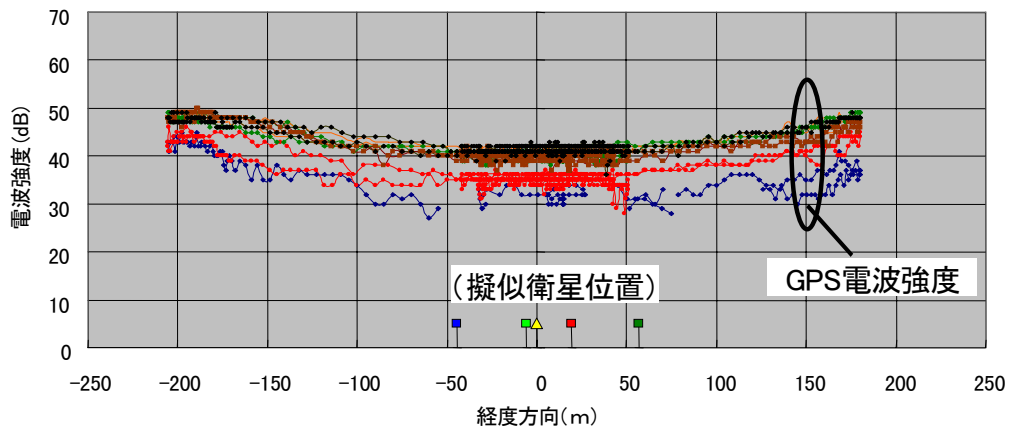
(b) 測定範囲内の擬似衛星電波強度

図 6 擬似衛星電波ゾーンと電波強度

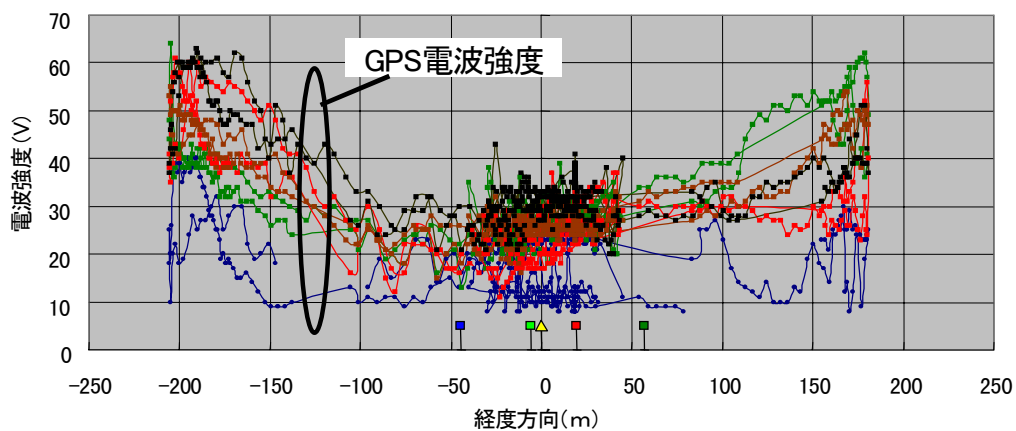
(2) GPS 衛星と擬似衛星の電波干渉の影響

擬似衛星電波の出力に伴う GPS 衛星電波への影響を測定した結果を図 7 に示す。車両に搭載された既設の K-GPS (Kinematic-GPS) 受信機 (a) および擬似衛星受信機 (b) の各々について、測定位置に対応した GPS 衛星電波受信強度を測定した。K-GPS (Kinematic-GPS) は、測量用の高精度な GPS であり、国総研試験走路内で 1s 毎に cm 精度で位置が検出できる施設として設置、利用されているものである。

測定範囲および測定方法は図 6 と同一であり、南バンクのほぼ全域において位置に対応した受信強度を測定した。測定結果より、(a) K-GPS 受信機および (b) 擬似衛星受信機の双方とも、擬似衛星電波到達領域において受信レベルが低下しており、擬似衛星電波の影響を受けていることがわかる。尚、この受信感度の低下により位置検出の品質が低下する場合があることが (3) 位置特定精度の実験によって確認されている。



(a) K-GPS 受信機の受信強度



(b) 擬似衛星受信機の受信強度

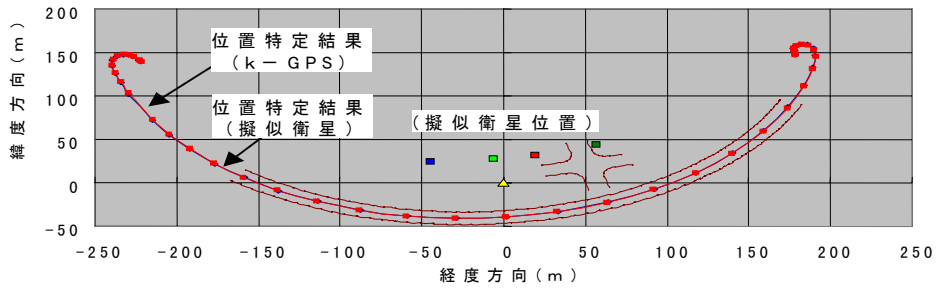
図 7 擬似衛星電波の GPS 衛星電波への影響

(3) GPS 衛星と擬似衛星を併用した位置特定システムの精度評価

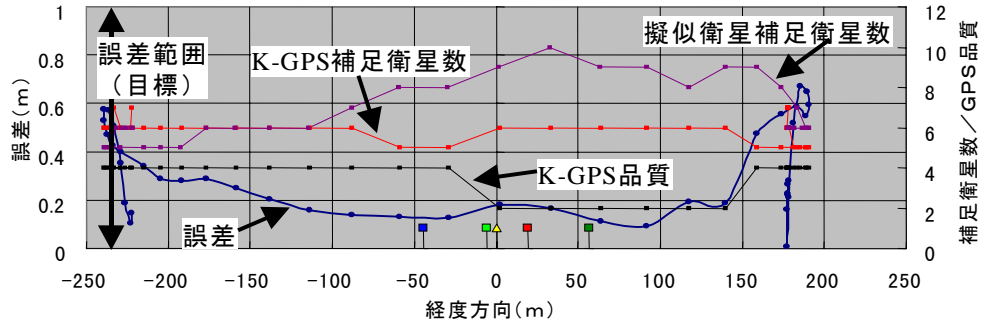
走行時の擬似衛星による位置特定精度について、走行速度 120km/h (最高速度) での結果を図 8 に、走行速度 80km/h での結果を図 9 に示す。

位置特定精度の評価方法としては、擬似衛星受信機と既設 K-GPS 受信機の位置検出値を同時に取得し、K-GPS 受信機の位置検出値を基準とし、擬似衛星受信機での位置検出値との誤差を求め検出精度とした。

図 8 および図 9 には、(a) 走行軌跡と (b) 走行時の位置誤差と環境を示している。(a) 走行軌跡は、擬似衛星受信機で検出した位置と既設 K-GPS 受信機で検出した位置を、基地局を原点とした横軸経度方向、縦軸緯度方向の地図上に表示したものである。(b) 走行時の位置誤差と環境は、横軸を経度方向として位置誤差を示したものであるが、合わせて捕捉した衛星数および受信の品質を数値 (右側の軸) で示している。K-GPS の受信品質は、4 がキネマティックの固定解 (cm 精度)、2 がディファレンシャル (数十 cm 精度) を意味している。

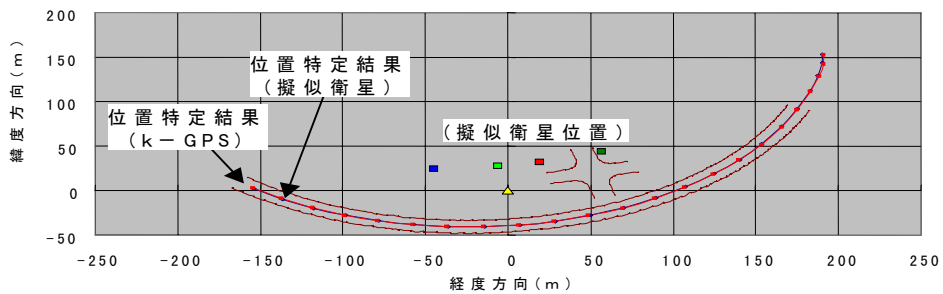


(a) 走行時の位置検出軌跡

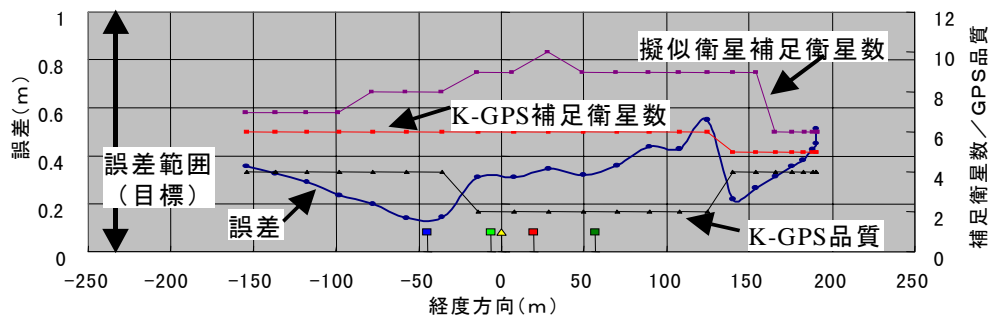


(b) 走行時の位置誤差と環境

図8 擬似衛星設備の位置精度 (走行速度 120km/h)



(a) 走行時の位置検出軌跡



(b) 走行時の位置誤差と環境

図9 擬似衛星設備の位置精度 (走行速度 80km/h)

図8、図9とも、(a) 走行時の軌跡を見ると、擬似衛星受信機と K-GPS 受信機の走行軌跡はほぼ重なっており、精度良く位置検出が行われていることがわかる。また、(b) 走行時の

位置誤差と環境を見ると、擬似衛星電波領域（経度方向±150m）に侵入することで、K-GPSの捕捉衛星数は変化していないのに対して、擬似衛星受信機の補足衛星数が増え、擬似衛星を併用した位置特定を実現していることがわかる。尚、衛星数の増加が少し遅れている（経度方向のプラス側にずれている）のは、試験車が経度方向のマイナス側からプラス側に走行しており、擬似衛星領域に入ってから受信機が擬似衛星を認識するまでに時間後れ（初期化時間）があるためと考えられる。擬似衛星領域内での位置誤差は、120km/hで最大約40cm程度、80km/hで最大約60cm程度であり、走行速度に依存することなく精度1m以下の位置検出が可能となっていることがわかる。この擬似衛星領域では、基準としているK-GPSシステムの検出品質が低下しており、この低下に合わせて誤差が増大していることから考えると、誤差はもっと小さい可能性もあると思われる。尚、このK-GPSシステムの検出品質の低下は、(2)で述べたように擬似衛星からの電波が影響しているものと考えられる。

5. 結言および今後の課題

本実験により高速移動体（120km/h）において、擬似衛星を用いて精度1m以下で位置検知が可能であることが確認できた。しかしながら、システム的には不明な点も多く、さらなる検討、検証が必要である。今後、以下の項目を中心に更に詳細な検討を行って行く予定である。

- ・電波環境（強度、領域など）の詳細把握と位置特定精度との関係
- ・擬似衛星電波出力によるK-GPSシステムの位置特定精度への影響
- ・利用するGPS衛星の減少に伴う、位置特定精度と初期化時間の関係
特に、衛星が捕捉困難な環境での実験が必要と考えられる。

なお、本研究は国土交通省国土技術政策総合研究所の委託を受けて実施しているもので、引き続きご指導を仰ぎながら研究を進めていく。

参考文献

- (1) H. Stewart Cobb, “GPS Pseudolite : Theory, Design, and Applications”, Ph.D dissertation, Stanford University, September 1997
- (2) H. Stewart Cobb, “Theory and Applications of GPS Pseudolite”, 日本航海学会 GPS 研究会 GPS シンポジウム 2001 テキスト、pp69-72、2001年11月