

3G03 疑似準天頂衛星を用いた都市における 高精度測位技術の研究開発

○辻井利昭, 富田博史, 奥野善則(JAXA 総合技術研究本部)
イワン・ペトロフスキ, 浅子正浩, 小神野和貴(測位衛星技術株式会社)

R&D of High Precision Positioning System in Urban Area Using Pseudo Quasi-Zenith Satellite

Toshiaki Tsujii, Hiroshi Tomita, Yoshinori Okuno (ISTA, JAXA)

Ivan Petrovski, Masahiro Asako, and Kazuki Okano (GNSS Inc.)

Key Words: QZSS, Pseudolite, GPS, GNSS, Multipath

Abstract

Multipath mitigation is a key technology for the QZSS positioning system since the improvement of GNSS availability in urban area is one of the most important advantages of the QZSS. Therefore, the Institute of Space Technology and Aeronautics, JAXA, and GNSS Inc. has started the R&D of a high chip rate pseudolite in order to demonstrate the effect of the multipath mitigation. Also, the flight experiments using the pseudo quasi-zenith satellite, a helicopter on which the pseudolite is installed, is planned to simulate the characteristics of the QZSS signal in urban area. The results of preliminary flight test using a commercial GPS pseudolite is demonstrated in this paper.

1. 目的と研究開発計画

準天頂衛星は主に都市部での利用性向上を目的としているが、高精度化のためには建造物等による多重伝搬誤差を低減する必要がある。そのため、JAXA 総合技術研究本部と測位衛星技術株式会社は高チップレートの測位信号発信装置（疑似衛星、スードライト）の研究開発を行っている。また、同装置をヘリコプタに搭載して疑似準天頂衛星とし、衛星と同様の電波伝搬環境で試験することにより、高精度測位技術の研究開発および性能評価を行うことを計画している（図1）。疑似準天頂衛星の信号を測位に使用するためには送信アンテナの位置を精密に測定する必要がある^{1, 2)}。従ってヘリコプタには DGPS/INS を搭載してヘリ上部の GPS アンテナ位置を精密に計測し、姿勢角から下部スードライト・アンテナの位置を推定して、スードライトの航法メッセージとしてユーザに送信する。ヘリコプタは人工衛星と違って不規則に移動するため、位置情報の更新頻度を高くする必要がある。本研究では1 Hz で更新することを目標とし、そのため GPS では 50bps となっている航法メッセージのデータレートを 1000bps とする計画である。表1に研究開発のスケジュールを示す。16年度は、高データレート GPS/L1 スードライトを開発する。17, 18年度に高チップレート化を行い、地上試験, 飛行試験を実施する。受信機は、開発の高速化, 低コスト化のためソフトウェア・レシーバとする。H15年度以前は、市販のスードライトを使用して基盤技術の開発および実証を行ってきた。2, 3節では試験設備とこれまでの成果について述べる。

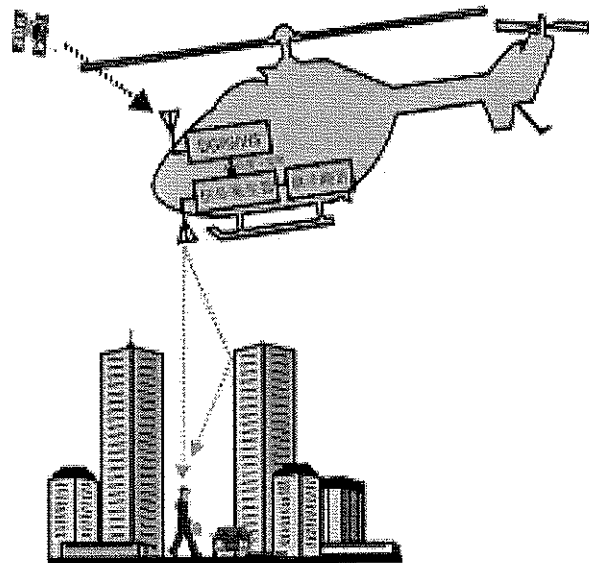


図1 疑似準天頂衛星による測位試験概念図

表1 研究開発スケジュール

	H16	H17	H18
○スードライトの開発・製作			
高データレートPL	■	■	■
高チップレートPL		■	■
○ソフトウェアレシーバ			
RF製作	■	■	■
ソフトウェア改修		■	■
○地上試験	■	■	■
○飛行試験	▲	▲	▲ ▲

2. 試験設備

2-1 GNSSシミュレータ・ドーム

JAXA 航空宇宙技術研究センター飛行場分室にはGPSや擬似準天頂衛星を用いた新しい航法測位システム開発のための実験施設として、直径10mのGNSSシミュレータ・ドームがある。GFRPとウレタン発泡体のサンドイッチ構造のレドームで、GPSのL1/L2帯の電波を98%以上透過する。また、内壁と床にはマルチパスを防ぐため電波吸収体を貼っている。図3に示すようにドームを通過したGPS衛星信号およびドーム内壁に設置したスードライト信号を用いて航法測位試験を行う。

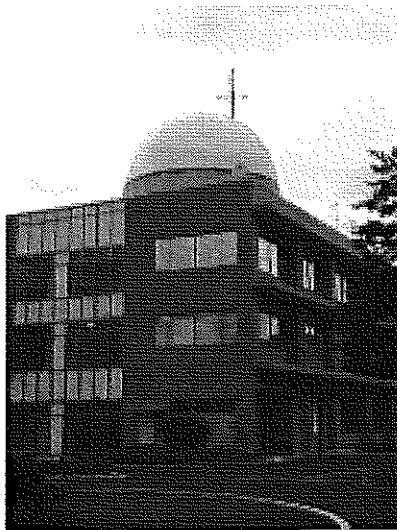


図2 レドーム外観

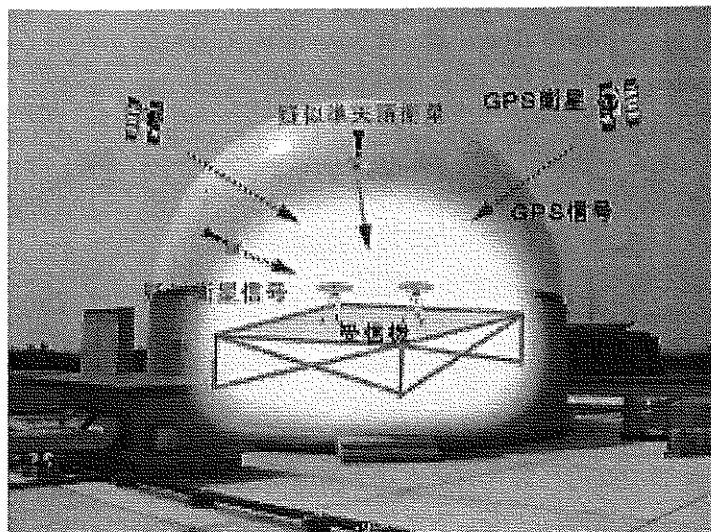


図3 GPS/PL地上試験概念図

2-2 実験用ヘリコプタ

実験用ヘリコプタMuPAL-eは三菱MH2000Aを母機とし、飛行特性、航法・誘導・制御、ヒューマン・ファクタ等、ヘリコプタに係わる技術課題を実際の飛行で実証するための飛行実証技術の研究に供されており、超音波速度計、DGPS/INS複合航法装置等、さまざまな実験用システムを搭載している。胴体下面にはスードライト・アンテナが取り付けられ(図4)、市販GPSスードライトを用いた予備試験を平成15年度より開始している。

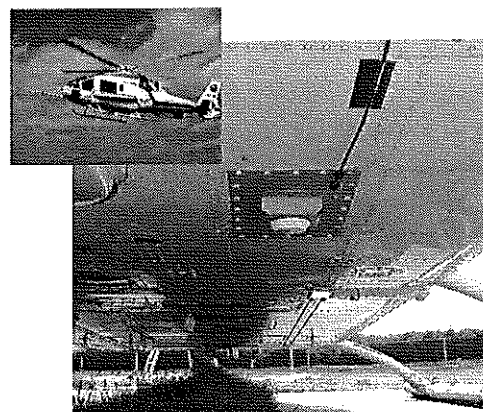


図4 MuPAL-eと胴体下面のアンテナ

3. これまでの成果

3-1 歩行者ナビゲーション実験

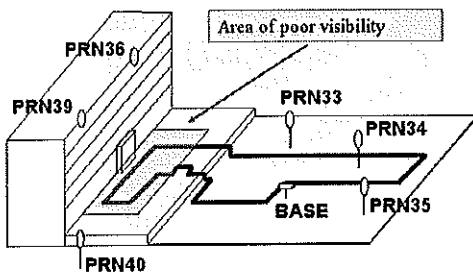


図5 つくば市（土木研究所構内）における実験ルート

一方、都市空間における GPS 信号遮へい環境でのスードライトと GPS 衛星によるハイブリッド測位の検証を目的として、つくば市内にある国土交通省土木研究所内、および東京都内（丸の内）で GPS/PL システムの基礎検証を実施した。スードライトは IntegriNautics 社製 IN400、受信機は同社 IN2400 受信機を用いた。本試験では建物屋上等にスードライト6式、GPS/PL 基準局を地上に設置し、移動局では基準局からの補正データを受信し測位をおこなった。GPS 衛星が3個ないしそれ以下した捕捉できない環境下においても 10cm レベルの精度で測位が可能であることを確認した。

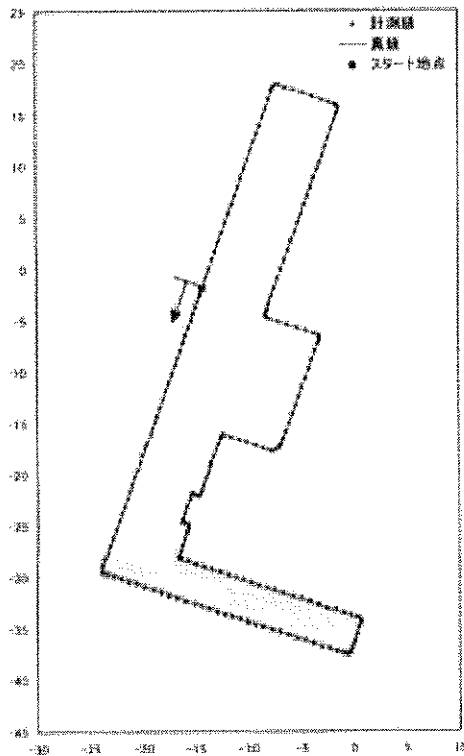


図6 実験時の航跡例

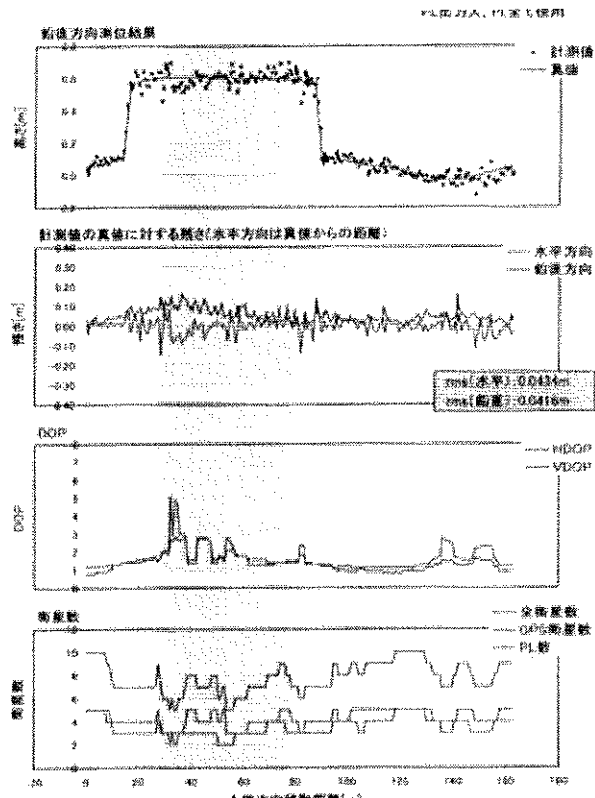


図7 鉛直および水平誤差、DOP、衛星数

つくばでの実験を踏まえ、実際の市街地におけるシステムの有効性を検証するため、丸の内においてプロトタイプ歩行者ナビ・システムの評価実験をおこなった。ここでは単独の測位センサーとしての GPS/PL 対応受信機のほかにも、歩行者 ITS グループメンバーが開発した音声認識装置、マップマッチングの装置などを組み合わせて実験を実施し、障害者の方々へのガイダンスシステムとしての歩行者 ITS の可能性を十分に示したとともに、社会基盤としてのスードライトの可能性をも証明できたと考える。

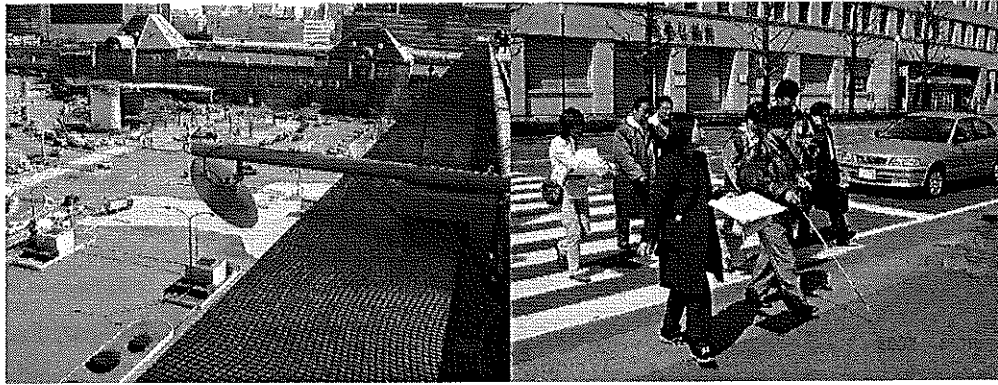


図8 歩行者ナビゲーション実験

3-2 ヘリ搭載スードライトと GPS による複合測位試験

移動するスードライト・アンテナ位置を精密推定する技術（逆 GPS 法）を地上試験により実証した後²⁾、ヘリコプタにスードライトを搭載して GPS/PL システムの飛行試験を行った⁴⁾。本試験の目的は①

飛行体の精密軌道を搭載 DGPS/INS を用いるのではなく、地上受信機で取得したデータを用いて逆 GPS 法により推定することと、②飛行体からのスードライト信号が測位に使用可能なことを実証することである。

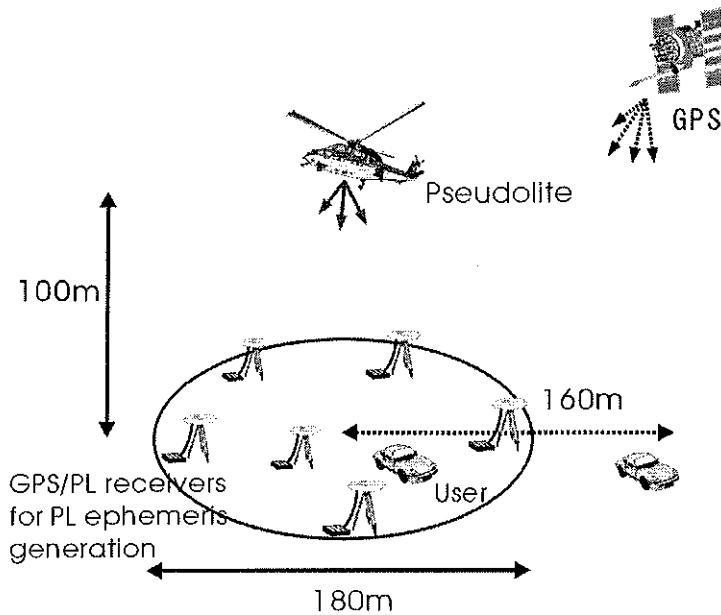


図9 GPS/PL システム飛行実験概念図

図9に実験概念図を示す。地上の半径約90mの領域に設置されたGPS/PL 受信機(Furuno PL-10)6台は、精密軌道暦作成用である。各受信機にはマルチパス軽減のためAshtech社製チョークリングアンテナを接続した。スードライトはSpirent社製GSS4100を用いた(図10)。図4に示したアンテナよりスードライト信号を送信する。また、ユーザ受信機もFuruno PL-10を用いた(図11)。アンテナはAshtech社製Geodetic IVである。

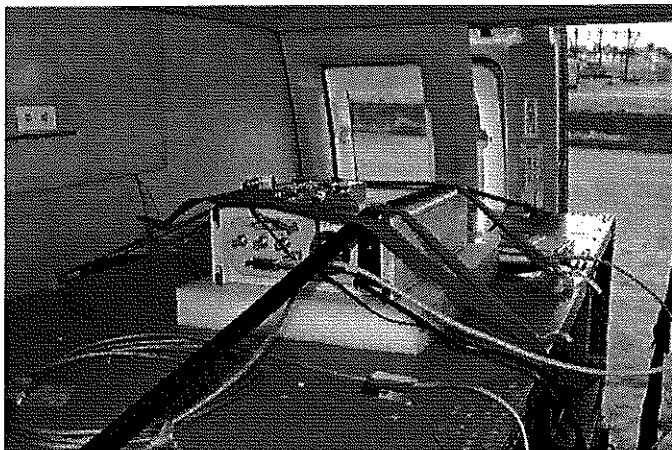


図10 GSS4100 スードライト



図11 ローバ受信機

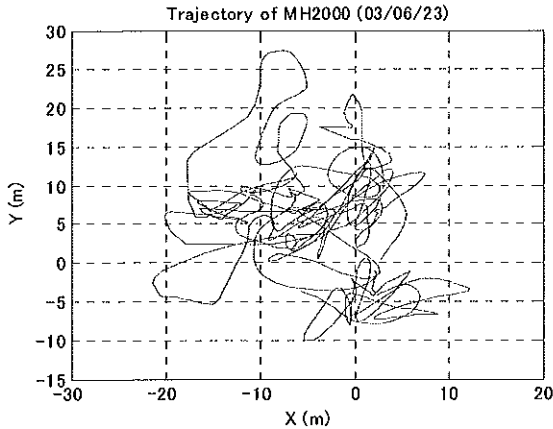


図 12 ヘリコプタの軌跡 (水平面図)

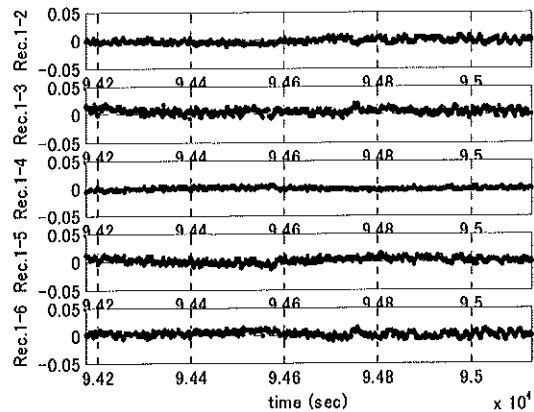


図 13 PL 2重差の残差 (単位m)

飛行試験は平成15年6月23日に北海道大樹町の多目的航空公園で実施した。試験におけるヘリコプタの軌跡を図12に示す。半径約15mの領域に約16分滞空した。高度は70mから100mであった。この軌道を逆GPSによって決定したときのPLデータの2重差観測残差を図13に示す。軌道精度評価のためのリファレンス軌道はないが、残差のRMSは2.2 - 7.0mmで、DOPが約3だったので測位誤差は約6cm (3σ) と考えられ、精密軌道決定が達成できたといえる。

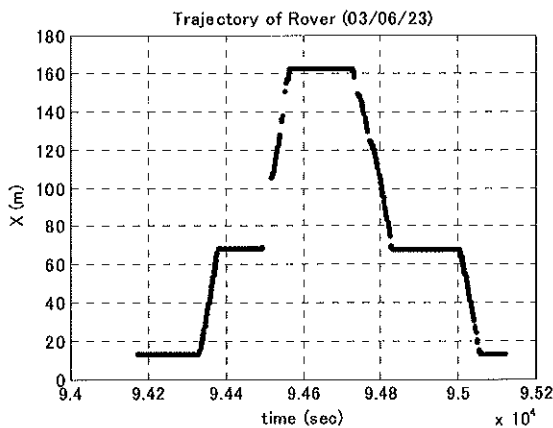


図 14 ローバの軌跡 (滑走路方向)

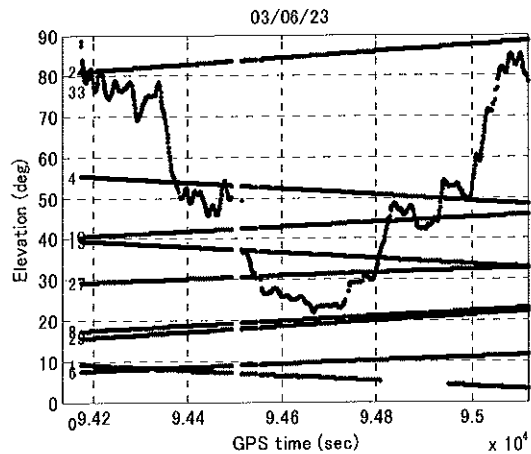


図 15 ローバから見た GPS/PL の仰角

次に飛行体からのPL信号を地上ユーザが使用可能か評価するためにローバの測位試験を行った。ローバは、軌道決定用受信機の中心付近を出発し、滑走路方向に約60m移動して静止、その後さらに約90m移動して静止したのち出発点に戻った(図14)。この時、ローバから見たGPS衛星とヘリコプタの仰角を図15に示す。GPS衛星の仰角の変化は緩やかだが、ヘリコプタの仰角は高度が低いいためローバの移動と共に大きく変化することがわかる。

ヘリコプタからのPL信号を用いてGPS/PLによる単独測位(マスク角30度)、およびキネマティック測位(マスク角10度)を行った結果を図16, 17に示す。上から、それぞれの場合における観測衛星数、GDOP、測位誤差である。測位誤差はGPSのみによるキネマティック測位結果を基準として計算した。ここには示していないが、GPS/PL単独測位精度はGPS単独測位精度より若干改善されるものの顕著ではなかった。これはPLが一台しか使用されなかったためと考えられる。またキネマティックGPS/PLとキネマティックGPSの差も高度方向で最大2cmと顕著ではなかった。本実験ではPLを追加しても測位精度の改善はなかったという結果が得られたが、重要な点はPL信号がGPS信号と同様に使用できたことである。また、PLを追加したことで冗長性が増し、Ambiguity Resolution性能が向上している。

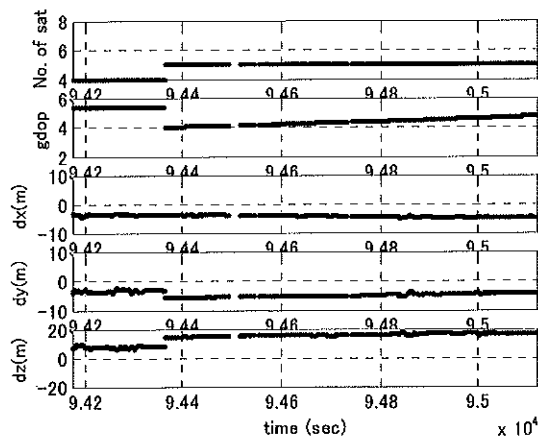


図 16 GPS/PL 単独測位における衛星数, GDOP, 測位誤差

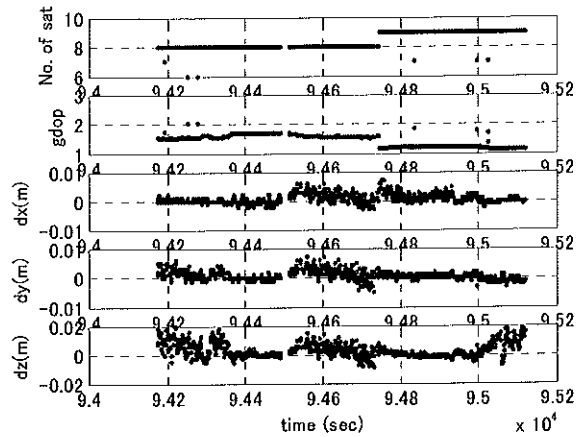


図 17 キネマティック GPS/PL 測位における衛星数, GDOP, 測位誤差

4. おわりに

JAXA 総合技術研究本部と測位衛星技術株式会社は従来、GPS とスードライトを用いた高精度測位技術の研究開発を行ってきたが、本研究課題が H16 年度総務省戦略的情報通信研究開発課題に採択され、3 年以内の高チップレート・スードライトの開発および都市部における高精度測位技術を確立することを目指すこととなった。ここに、総務省および関係各位に感謝の意を表す。本課題で開発するマルチパス誤差低減技術は、準天頂衛星測位システムへの応用のみならず、都市部での固定型スードライトや、インドア測位に有効であり、高精度測位インフラの構築に貢献すると考えられ、今後精力的に研究開発を進めていく計画である。

参考文献

- [1] 辻井, 張替, 原田: 高高度飛行体による航法測位システム, 航空宇宙学会論文集, 52(2004), 603 号, pp. 175-185.
- [2] Tsujii, T., M. Harigae, J. Barnes, J. Wang, & C. Rizos: Experiments of inverted pseudolite positioning for airship-based GPS augmentation system, 15th Int. Tech. Meeting of the Satellite Division of the U.S. Inst. of Navigation, Portland, Oregon, 24-27 September, pp 1689-1695, 2002.
- [3] I.Petrovski, S.Kawaguchi, H.Torimoto, and T.Hasegawa: Development of Highway ITS and Pedestrian ITS Based on RTK Network, Pseudolite and PN Coded Magnetic Markers, 14th Int. Tech. Meeting of the Satellite Division of the U.S. Inst. of Navigation, Salt Lake, USA, Sept. 2001.
- [4] Tsujii, T., M. Harigae, and K. Okano: A New Positioning/Navigation System Based on Pseudolites Installed on High Altitude Platforms Systems (HAPS), 24th Congress of the International Council of the Aeronautical Sciences, Yokohama, Japan, 29 August - 3 September, 2004.