(21) 準天頂衛星によるLEX-PPPを用いた低速移動測位に関する研究

岩上　弘明[1]・佐田　達典[2]・石坂　哲宏[3]・江守　央[4]・池田　隆博[5]

[1]学生会員　日本大学大学院　理工学研究科社会交通工学専攻（〒274-8501 千葉県船橋市習志野台7-24-1）
E-mail:cshi13004@g.nihon-u.ac.jp

[2]正会員　日本大学教授　交通システム工学科（〒274-8501 千葉県船橋市習志野台7-24-1）
E-mail:sada@trpt.cst.nihon-u.ac.jp

[3]正会員　日本大学助教　交通システム工学科（〒274-8501 千葉県船橋市習志野台7-24-1）
E-mail:ishizaka.tetsuhiro@nihon-u.ac.jp

[4]正会員　日本大学助教　交通システム工学科（〒274-8501 千葉県船橋市習志野台7-24-1）
E-mail: emori.hisashi@trpt.cst.nihon-u.ac.jp

[5]学生会員　日本大学大学院　理工学研究科社会交通工学専攻（〒274-8501 千葉県船橋市習志野台7-24-1）
E-mail:ikeda.takahiro@trpt.cst.nihon-u.ac.jp

準天頂衛星から送信されている補強信号（LEX）を用いた，単独搬送波位相測位（PPP）によって，センチメートル級の測位が可能になると期待されている．日本の天頂付近に長時間留まる軌道を持つ衛星システムであるので，周辺に建築物がある環境下における移動体測位にも用いることができる可能性がある．本研究では，キャンパス内を仮想の街として，異なる遮蔽環境下で，移動体にセグウェイを用いて，現行のLEX信号を用いたリアルタイムLEX-PPP測位の精度を検証した． また，JAXAが開発した複数GNSS対応高精度軌道・時刻推定ツールMADOCAによって生成した暦を用いた後処理PPP測位も実施し，測位精度の比較を行った．その結果，遮蔽環境によって異なる測位精度を確認した．

Key Words : *QZSS, LEX-PPP,GPS,Mobile positioning,Positioning accuracy*

1.　はじめに

宇宙航空研究開発機構（JAXA：Japan Aerospace Exploration Agency）は，準天頂衛星初号機「みちびき」を 2010 年 9 月 11 日に打ち上げた．準天頂衛星システム（QZSS : Quasi-Zenith Satellite System）は，日本の真上付近を長時間留まる軌道を持つ衛星システムであるため，山間部や都市部のビル街など，GPS（Global Positioning System）を用いて測位を行うために必要な数の衛星が見通せない場所においても，「みちびき」の信号を加えることにより測位可能な場所と時間を拡げることができる [1].

「みちびき」から送信される信号は，補完信号と補強信号がある．補完信号は，近代化GPSとの共存性，相互運用性を確保することから，近代化GPS信号をベースとしており，L1C/A信号，L1C 信号，L2C 信号，L5 信号を送信している[2]. 補強信号は，L1-SAIF（L1-band Submeter-class Augmentation with Integrity Function）信号及びLEX（L-band Experiment）信号を「みちびき」から送信することで，測距補正情報の送信による高精度化，ヘルス情報の通知や故障判定による高信頼性化及びGPS衛星の捕捉支援情報等をユーザへ通知してユーザの利便性の向上に寄与することができる[2]. LEX信号を利用した単独搬送波位相測位（PPP : Precise Point Positioning）によって，これまで概ね10m程度の測位精度であるGPS単独測位に比べ，10cmから数cmまで向上することが期待されている.

本研究では，JAXAと共同で実験を行い，異なる遮蔽環境下で，現行のLEX信号を利用したリアルタイムLEX-PPP測位精度の検証を行うことを目的とする.

2.　LEX-PPPの概要

LEX-PPPとは，現在地上に配置された「みちびき」のモニタ局9局とGPS用のモニタ局3局の計12局（国内：4

図-1　観測ルート

局，海外：8局）で観測されたデータをもとに高精度にGPSと「みちびき」の軌道及び時刻等を推定し，この結果をもとにした補正情報をLEX信号に乗せ利用した単独搬送波位相測位である．

特徴として以下のようなことがあげられる．

①単独測位

従来，高精度な測位を行うにはRTK（Real Time Kinematic）測位による2つの受信機間での搬送波の位相差を測定し，相対位置を求める手法があった．しかしLEX-PPPによる測位では，1台の受信機で高精度に測位が行える．

②グローバルなシステム

ユーザ測位精度の地域依存性が少なく，補正情報を取得できればどこでも高精度な測位を行うことができる．

③センチメートル級の高精度測位

GPSからの測位信号と「みちびき」からの補正信号を受信することでcm級の測位を実現できる．

リアルタイム測位による目標測位精度は水平方向30cm（rms），鉛直方向60cm（rms）である．

④高精度軌道・時刻推定ツール「MADOCA」

JAXAが開発したソフトウェアMADOCA（Multi-GNSS Advanced Demonstration tool for Orbit and Clock Analysis）は，複数のGNSSに対応しており，高精度に衛星の軌道と時刻の推定を行うシステムである[3]．目標の測位精度は，水平・鉛直方向ともに10cm（rms）である。

3.　LEX-PPPによる実験の概要

(1)　実験の目的

LEX-PPPの測位精度を検証するため，キャンパス内を仮想の街として，異なる遮蔽環境で移動測位を行い，遮蔽環境によって，測位精度にどのような影響を与えるか検証する．

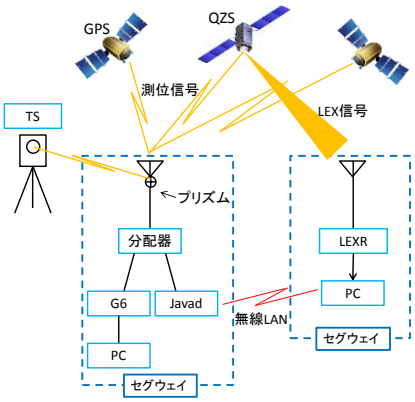

図-2　実験時の機器構成

表-1　観測日時

観測ルート名	観測日時
NI1：遮蔽物なし　東西南北直進ルート	2012年10月29日 14:47～14:58
NI2：遮蔽物なし　直進ルート	29日 15:07～15:39
NI3：東西方向遮蔽ルート	30日 11:34～12:08
NI4：南北方向遮蔽ルート	30日 15:23～15:55

(2)　実験の方法

日本大学理工学部船橋キャンパスの遮蔽物のない交通総合試験路で 2 ルート（NI1：東西南北直進ルート，NI2：直進ルート）と，4 階建ての建物が立ち並ぶキャンパス内で 2 ルート（NI3：東西方向遮蔽ルート，NI4：南北方向遮蔽ルート）の計 4 ルートを選定（図-1）した．実験日時は，「みちびき」が高仰角に配置される日時を選定したため，各ルートの観測日時は，表-1 のときに実施した．走行回数は各ルート往復 5 回とし，走行速度は，歩行やシニアカーを想定して，各ルート時速 6km と，自転車を想定して，遮蔽物なしの NI2 では時速 15km での観測も行った．

また，後処理による測位を2種類行った．1つは，JAXAが生成したLEX信号を用いた後処理LEX-PPPである．もう1つは，MADOCAを用いた後処理MADOCA-PPPである．

(3)　実験機器の構成

LEX-PPPによる測位精度の検証評価を行うため，LEX-PPP関連機器と仮想基準点を用いたネットワーク型RTK-GPS測位であるVRS（Virtual Reference Station）測位用の機器による同時測位を実施した．また，距離と角度が連続して同時に測位が可能な自動追尾型TS（Total Station）による測位も行った．図-2に，機器構成を示す．2台のセグウェイを用いて，1台には，JAVADのアンテナから分配器を用いて，LEX-PPP測位用のJAVADの受信機とVRS測位用の日立造船製NetSurvG6の2つを繋ぎ，アンテナの下にはTS用のプリズムを設置した．もう1台のセグウェ

表-2　水平方向の距離誤差の平均と標準偏差

単位（m）	リアルタイム LEX-PPP		後処理 LEX-PPP		後処理 MADOCA-PPP	
	平均	標準偏差	平均	標準偏差	平均	標準偏差
NI1	1.495	0.421	0.706	0.433	0.703	0.417
NI2(6km/h)	1.297	0.408	0.817	0.617	0.734	0.576
NI2(15km/h)	2.292	1.081	2.190	1.463	2.099	1.485
NI3	2.440	2.712	2.719	2.654	3.216	2.993
NI4	1.126	0.399	1.003	0.424	0.422	0.249

表-3　鉛直方向の距離誤差の平均と標準偏差

単位（m）	リアルタイム LEX-PPP		後処理 LEX-PPP		後処理 MADOCA-PPP	
	平均	標準偏差	平均	標準偏差	平均	標準偏差
NI1	0.953	0.052	0.751	0.093	0.045	0.025
NI2(6km/h)	0.736	0.080	0.922	0.267	0.037	0.024
NI2(15km/h)	0.805	0.065	0.870	0.185	0.033	0.023
NI3	4.334	2.495	4.330	2.909	3.982	4.065
NI4	0.664	0.569	1.003	0.769	1.219	0.781

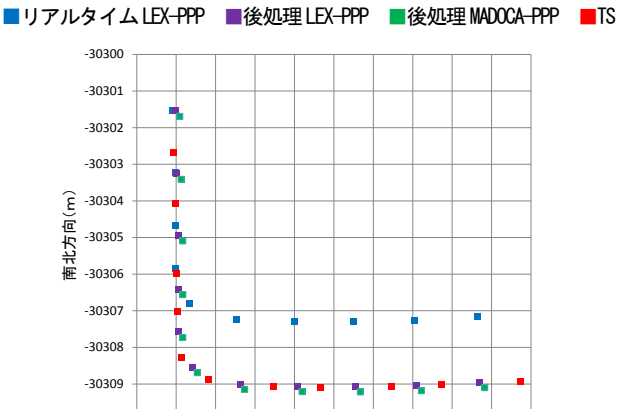

図-3　NI1のプロット図

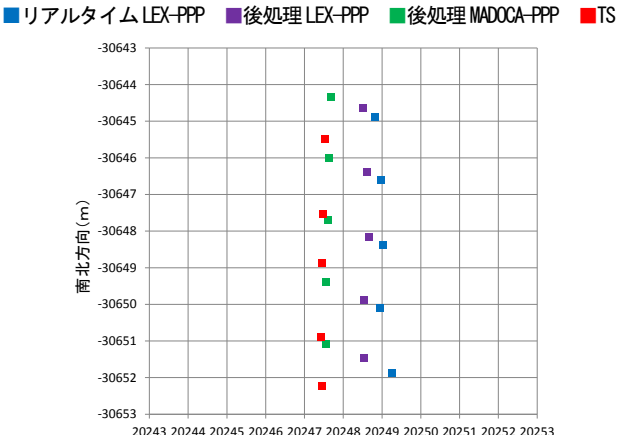

図-4　NI3のプロット図

イには，LEX信号を受信するためのLEXRと記録用のPCを搭載した．JAVADの受信機で受信したデータは，無線を通してPCに記録される．

4.　実験結果

本研究は，LEX-PPPの測位精度を検証するためVRSとTSによる同時測位を行った．しかし，VRSによる測位の結果は，通信が途絶えるなど安定して測位が行えなかったため，基準値をTSの測位結果で解析した．

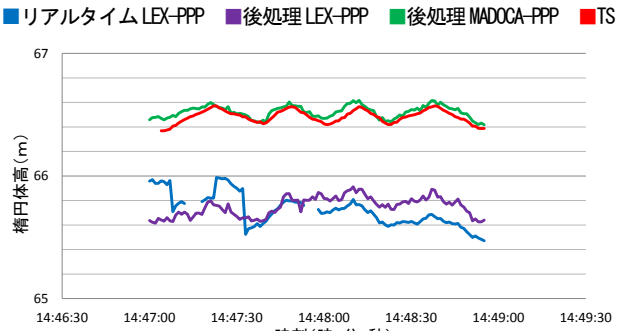

図-5　NI1の鉛直方向の結果

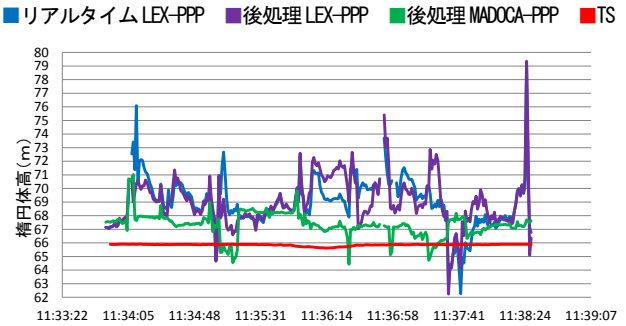

図-6　NI3の鉛直方向の結果

(1)　水平方向の結果

表-2は，観測ルート毎の解析処理別に得られた測位解の水平方向の精度を確認するため，TSを基準とした，距離誤差の平均値と標準偏差を求めたものである．処理方法別に比較すると，リアルタイム，後処理ともに目標には至らなかった．また，観測ルート別に比較すると，東西方向が遮蔽されたNI3以外では，後処理により測位精度の改善が見られるが，NI3だけは処理方法に関わらず距離誤差が大きくなることが見られた．

図-3と**図-4**は，**表-2**の平均値と標準偏差から小さい値を示した，遮蔽物のない東西南北直進ルートNI1と，大きい値を示した，東西方向が遮蔽されたNI3の1回目の観測で得られた測位解をプロットした図である．どちらのプロット図も観測ルートの一部である．**図-3**から，リアルタイムLEX-PPPの測位解は東西方向には格差が見られないが，南北方向には1m程度の格差が見られた．**図-4**から，リアルタイムLEX-PPPの測位解は，東西南北どちらの方向とも1m以上の格差が見られた．また，後処理

LEX-PPP では測位解の改善が見られなく，後処理 MADOCA では，東西方向の改善はあったものの南北方向の改善は見られなかった．

(2) 鉛直方向

表-3 は，**表-2** と同様に TS を基準とした，鉛直方向の距離誤差の平均値と標準偏差を求めたものである．LEX-PPP では，リアルタイム，後処理に関わらず目標精度には至らなかった．しかし，MADOCA-PPP による後処理測位では，周辺に遮蔽物のないルートで，数 cm に収まる傾向が見られた．**図-5** と**図-6** は，水平方向と同様に平均値の値が小さかった NI1 と，値が大きかった NI3 の鉛直方向のプロット図である．**図-5** から，遮蔽物のない NI1 では，後処理 MADOCA-PPP によって改善され安定した測位が行えていることがわかる．しかし，**図-6** からはリアルタイム，後処理のどちらもばらつきが大きく，安定して測位が行われていないことがわかった．

(3) 衛星数と衛星配置

衛星数および衛星配置による精度への影響を調べるため，**表-4**に観測ルート別の衛星数の割合，**図-7**では，衛星配置による精度劣化度（DOP：Dulition of Presision）を示し，PDOP（Position DOP）は位置，HDOP（Horisonal DOP）は水平方向，VDOP（Vertical DOP）は鉛直方向の精度劣化度である．

衛星数を見ると，周囲に遮蔽物のない NI1 と NI2 では衛星数が多く，特に NI1 では 10 機以上で測位を行っている．しかし，遮蔽物のある NI3 と NI4 では，測位時の衛星数の変化が多く見られ，衛星数も NI1，NI2 と比較すると少ない．また，DOP 値からも NI1，NI2 では値が低いことがわかるが，NI3，NI4 の値は高いことがわかる．**図-8** は，遮蔽物のあるルート NI3 と NI4 の実験時の衛星配置である．どちらも東西方向に衛星が多く配置され，南北方向に衛星が少ないことがわかる．

5. 考察と今後の課題

本実験の結果から，LEX-PPP の測位精度は遮蔽環境に関わらず，目標とする測位精度には至らなかった．しかし，遮蔽環境によって測位精度への影響が異なることが確認された．このことから、衛星の数や配置によって測位精度に影響を与えると考えられる。遮蔽物の東西が遮蔽された NI3 では可視衛星数が少なく測位精度に影響したと考えられる．また，NI4 は南北方向に遮蔽されているため，東西方向の衛星が見えるはずだが，NI3 と比べ衛星数が少ないことから測位精度に影響したと考えられる．遮蔽物のない NI1 でも，TS と比較して東西方向には格差が少なく，南北方向には格差が大きいことから，東西方向には衛星が多く配置されていたが，南北方向には衛星が少なかったことが考えられる．

今後の課題として，衛星数や衛星配置，マルチパスの影響を考慮して LEX-PPP の測位精度について検証を行っていく．

表-4 観測ルート別の衛星数の割合（単位：%）

衛星数（機）	観測ルート				
	NI1	NI2 (6km/h)	NI2 (15km/h)	NI3	NI4
6	0.0	0.0	0.0	0.7	1.3
7	0.0	0.0	0.0	12.5	46.2
8	0.0	0.0	0.0	42.2	48.1
9	0.0	5.1	60.6	29.6	4.4
10	0.2	49.0	39.4	13.9	0.0
11	80.4	45.9	0.0	1.0	0.0
12	19.4	0.0	0.0	0.0	0.0

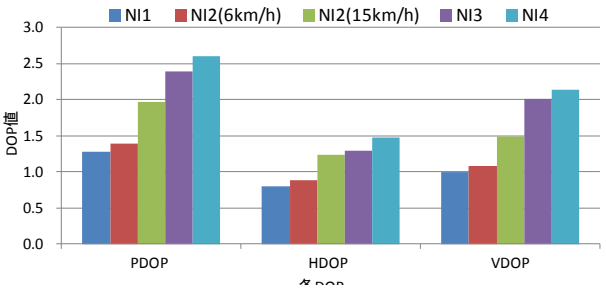

図-7 観測ルート別の DOP 値

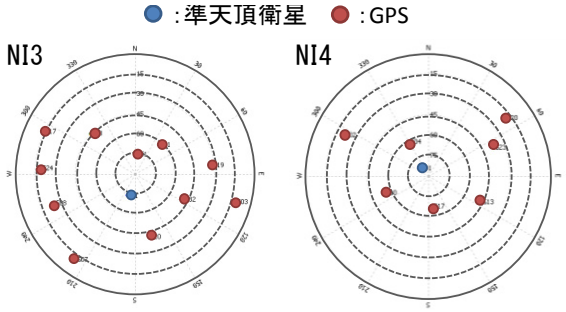

図-8 NI3 と NI4 の実験時の衛星配置

謝辞：多岐にわたるご指導・ご協力いただきました JAXA の吉川和宏氏に心よりお礼申し上げます．

参考文献

1) JAXA ホームページ：http://qz-vision.jaxa.jp，(入手 2013.5.14)

2) 宇宙航空研究開発機構：準天頂衛星システムユーザインタフェース仕様書，http://qz-vision.jaxa.jp/USE/is-qzss/DOCS/IS-QZSS_15_RH_J.pdf，(入手 2012.10.16)

3) 河手香織ら：準天頂衛星システムの LEX 信号を用いた PPP 実証実験地上システム開発状況,電子情報通信学会技術研究報告，pp.37-42，2012.6