

(53) 各種の電波遮蔽環境における準天頂衛星の LEX 信号を用いた測位に関する検討

Study on the Positioning Characteristics using LEX Signal of Quasi-Zenith Satellite under the Various Surrounding Conditions

池田隆博¹・佐田達典²・石坂哲宏³・水野雄一⁴・棚橋知世⁴

Ikeda Takahiro, Sada Tatsunori, Ishizaka Tetsuhiro, Mizuno Yuichi, and Tanahashi Tomoyo

抄録：準天頂衛星システムは、天頂方向から長時間にわたり GPS と互換性のある測位信号を送信しており、遮蔽物の多い都市部において衛星測位の利便性向上が期待される。また、送信される測位信号には、実験用測位信号である LEX が含まれており、この信号に測位用補正情報を乗せて配信することで、観測者はリアルタイムなセンチメートルオーダーの測位を可能としている。本検討では、LEX による補強効果を検討するため、複数の観測条件において LEX による測位と RTK 測位を同時に実施し、測位率と測位精度の比較を行った。その結果、RTK 測位では観測できない箇所でも測位できること、平均値を中心とした解のばらつきは RTK 測位と同一の傾向が示された。

キーワード：準天頂衛星, GPS, LEX, RTK, 遮蔽環境, 衛星配置, 測位解, 測位精度

Keywords : Quasi-Zenith Satellite, GPS, LEX, RTK, Various Surrounding, Satellite Position, Solution, Positioning accuracy

1. はじめに

2010 年 9 月 11 日に、我が国の測位衛星である準天頂衛星システム (QZSS : Quasi-Zenith Satellite System) の初号機「みちびき」が打ち上げられた。静止衛星と同高度の楕円軌道であり、日本上空を遠地点 (Apogee) とすることで、天頂方向から長時間にわたり衛星電波の送信を可能としている¹⁾。

準天頂衛星から送信される測位信号は、GPS と互換性のある L1, L2, L5 波に加えて、現行 SBAS 類似的な補強信号である L1-SAIF と実験用測位信号の LEX である²⁾。図-1 に示すように LEX では、電子基準点での観測情報等から生成された補正情報を乗せて送信しており、搬送波位相測位によるセンチメートル級の位置精度がリアルタイムに得られる³⁾。実時間で高精度測位解が得られる RTK 測位と比較し、ローカル基準局からの搬送波位相データの送信を必要としないため、電波遮蔽物となるビル群の多い都市部において、高精度測位の利便性向上が期待される。

本稿では、(財)衛星測位利用測位センターが主催する「準天頂衛星初号機を用いた民間利用実証実験」に参加し実施した実験結果について報告する。本実験では、準天頂衛星の LEX による補強効果を検討するため、LEX を用いた高精度測位とローカル基準局を用いた RTK 測位を複数の観測条件において同時に実施した。評価対象は、測位率と測位精度であり、静止状態での測位と低速移動による測位を実施し検討を行った。

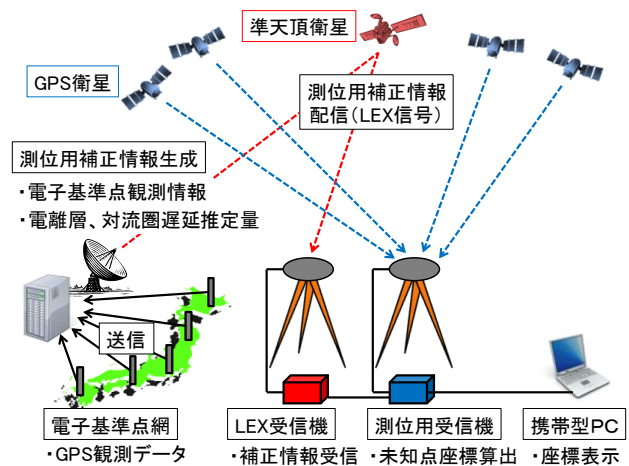


図-1 LEX を用いた測位のシステム構成³⁾

2. 実験器機の構成

静止時と低速移動時の LEX による補強効果を検討するため、自動車に LEX 関連機器と RTK 測位用の機器を搭載し同時測位による実験を実施した。図-2 に示すように、LEX による測位では低速移動体端末 (LEXR) を車両内に設置し、LEX 受信機で受信された補正情報と GPS アンテナで受信されたデータを利用して測位を実施した。出力される測位解については、RTK 測位と同様に Fix 解と Float 解であり、測位用補正情報の配信状態が不安定な場合は測位不能となる。

一方、RTK 測位では既知点に基準局を設置し、GPS アンテナのケーブルを分岐させて移動局に接続するこ

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, Tel : 047-469-8147, E-mail : ikeda.takahiro@trpt.cst.nihon-u.ac.jp)

2 : 正会員 博士(工) 日本大学教授 理工学部社会交通工学科 (E-mail : sada@trpt.cst.nihon-u.ac.jp)

3 : 正会員 博士(工) 日本大学助教 理工学部社会交通工学科

4 : 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

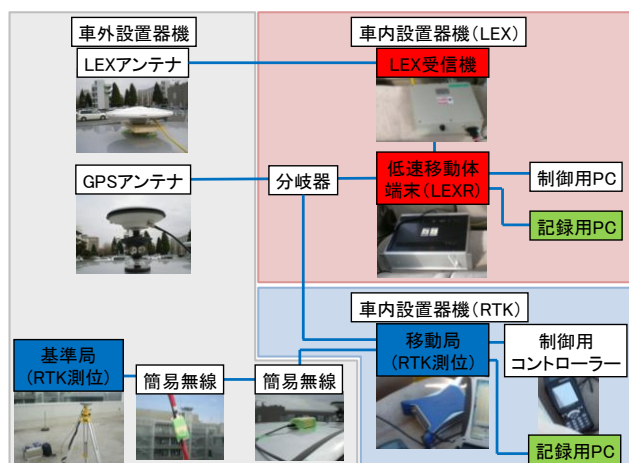


図-2 実験時のシステム構成

とで測位を実施した。使用した受信機は基準局、移動局ともに日立造船製 NetSurvG6 であり、受信機間の通信リンクは、簡易型無線を使用して基準局側の搬送波位相データの送信を行った。

3. LEX の補正情報を用いた静止測位実験

(1) 実験概要

LEX の補正情報を用いた高精度測位の検証を行うため、図-3 に示す日本大学理工学部船橋キャンパス内の遮蔽状況の異なる観測点 B1~B7 の計 7 箇所では LEX による測位（以下 LEX）と RTK 測位（以下 RTK）による同時観測を実施した。実験日時は、2011 年 2 月 1 日 10:00~16:00 であり、データ出力間隔を 5Hz に設定し、各観測点で 5 分間測位を実施した。なお、B3 は本実験では観測を行っていない。

(2) 観測点毎の衛星配置と測位割合

各観測点の衛星配置による測位時の影響を調べるため、GPS と QZSS の Almanac データ（衛星の軌道情報）と観測点周辺の遮蔽環境から、観測可能な GPS 衛星の数と準天頂衛星の位置を確認した。図-4 より、全観測点において準天頂衛星が確認でき、LEX による補正情報が受信可能であることがわかる。また、観測可能な GPS 衛星は、B1 と B5 で 7 衛星、B7 で 6 衛星、B2 と B4 および B6 で 5 衛星確認された。

次に、各観測点について、LEX と RTK で得られた測位解の割合を求めた。表-1 より、LEX では RTK の Fix 解の割合が 0% の観測点でも Fix 解が得られる場合が確認された。観測点別に比較を行うと、LEX では北方向遮蔽の B2 および複数方向遮蔽の B6、B7 において Float 解が断続的に出力され、測位不能となる場合が確認された。一方、RTK では北方向および東方向の遮蔽を含む B2、B4、B6 において Float 解が出力され、測位時の衛星数が影響しているものと推察される。

これらの結果は、RTK では Fix できない観測条件でも、LEX では Fix 可能な場合を示しており、高精度測

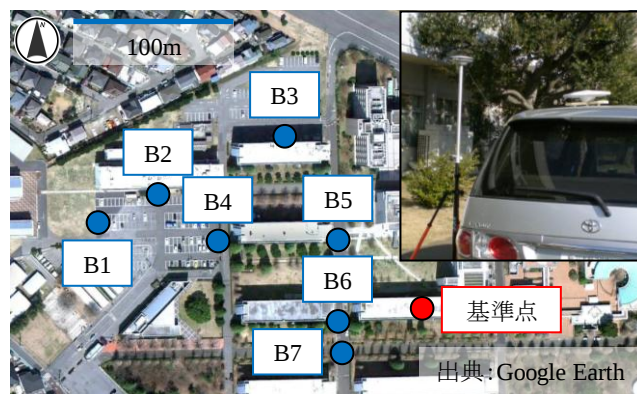


図-3 観測点位置と実験状況

●: 準天頂衛星 ●: GPS 衛星 (観測可能) ●: GPS 衛星 (観測不能)

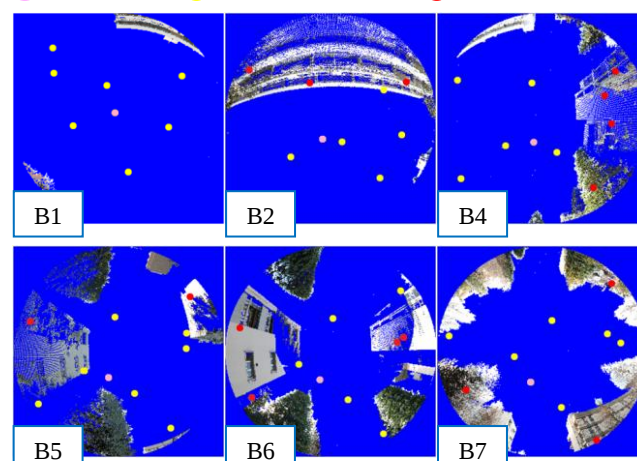


図-4 観測点毎の衛星配置（測位開始時）

表-1 観測点毎の測位解の割合（単位：%）

観測点	測位不能		Float 解		Fix 解	
	LEX	RTK	LEX	RTK	LEX	RTK
B1 (遮蔽物なし)	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	100.0
B2 (北方向遮蔽)	13.0	0.0	71.0	100.0	16.0	0.0
B4 (東方向遮蔽)	0.0	0.0	0.0	100.0	100.0	0.0
B5 (西方向遮蔽)	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	100.0
B6 (東西南方向遮蔽)	62.1	0.0	37.9	100.0	0.0	0.0
B7 (斜め方向遮蔽)	77.1	0.0	20.2	0.0	2.7	100.0

位可能なエリアの増加が考えられる。Float 解および測位不能となる観測点については、受信される LEX 信号の安定性等の要因が考えられるが、本実験で得られた観測データからは明確な検証はできなかった。

(3) 静止時における精度比較

LEX と RTK の精度を比較するため、双方で Fix 解が 100% 得られた B1、B5 について検討を行った。図-5 より、Fix 解の平均値を基準値として LEX の平均値との差分を比較すると、B1、B5 とともに南北方向、鉛直方向において差分が 5.0mm 以内となることが確認された。一方、東西方向では差分が B1 で 33.3mm、B5 で 14.9mm となることが確認でき、RTK に対して東方向に解が分布する傾向が見られた。RTK の概略精度は 5.0mm~20.0mm であるため、LEX における南北、鉛直方向の精度については、RTK と同品質の精度が得られるものと推察される。

次に、各方向の Fix 解のばらつきを調べるため LEX

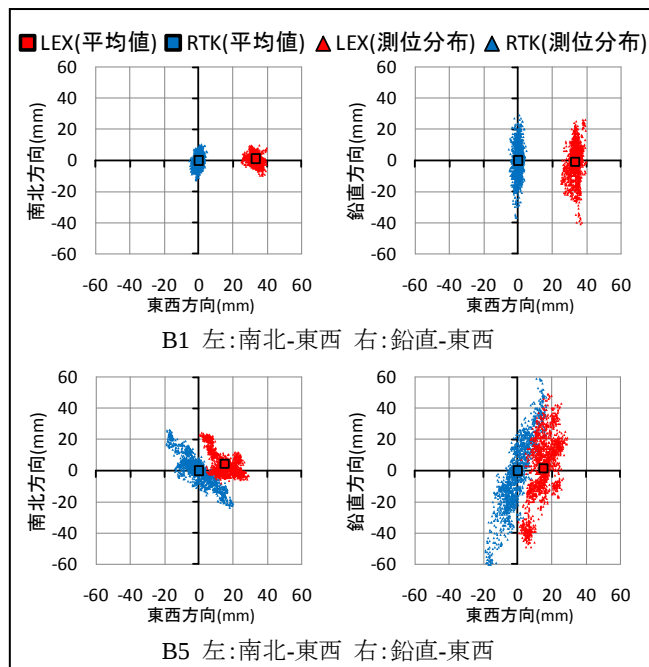


図-5 LEX と RTK の測位分布

表-2 観測点毎の標準偏差 (単位: mm)

観測点	南北方向		東西方向		鉛直方向	
	LEX	RTK	LEX	RTK	LEX	RTK
B1(遮蔽物なし)	3.1	3.7	2.3	1.6	10.6	9.8
B5(西方向遮蔽)	6.7	9.2	5.9	8.2	20.3	26.3

と RTK における B1, B5 の標準偏差を求めた. 表-2 より, LEX と RTK の差分は B1 で 3 方向ともに 1.0mm 以内となり同様の傾向が見られた. 一方, B5 では LEX の方が 3 方向の標準偏差は小さく, ばらつきは小さくなる傾向が見られた. B1, B5 とともにセンチオーダーの差分は確認できず, 平均値を中心とした Fix 解のばらつきは同様の傾向にあると考えられる.

4. LEX の補正情報を用いた低速移動測位実験

(1) 実験概要

低速移動での LEX の補正情報を用いた測位検証を行うため, 静止測位と同様に図-7 に示す日本大学理工学部船橋キャンパスにおいて遮蔽状況の異なる 3 つのコースを設定 (図-8) し, LEX と RTK および自動追尾型 TS による同時観測を実施した. 実験日時は, 2011 年 1 月 27 日 14:00~16:00 であり, データ出力間隔を LEX と RTK は 5Hz, TS は 1Hz に設定して各コースを約 4km/h で走行し, それぞれ測位を 2 回行った.

なお, 本稿では A コース (遮蔽物なし) の 1 回目を「A-1」, 2 回目を「A-2」とし, B コース (東西方向遮蔽), C コース (南北方向遮蔽) についても 1 回目を「B-1」「C-1」, 2 回目を「B-2」「C-2」と示す.

(2) コース毎の観測可能な衛星数と測位割合

各コース移動時の観測可能な衛星数を調べるため, 静止測位と同様 GPS と QZSS の Almanac データを基に TS で取得された座標値およびその周辺の遮蔽環境が

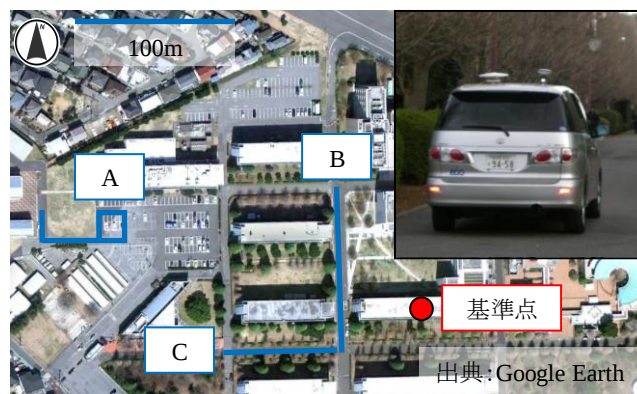


図-7 走行コースと実験状況

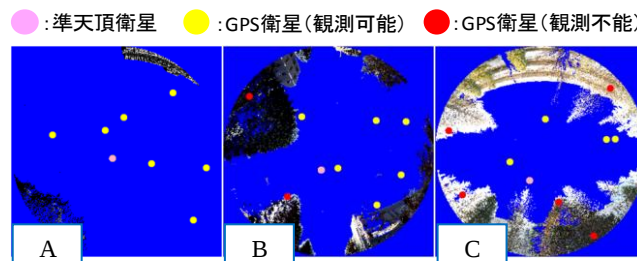


図-8 遮蔽状況と衛星配置 (往路走行時の中間地点)

表-3 コース毎の観測可能衛星数のデータ数

観測可能衛星数 (基)		Aコース		Bコース		Cコース	
		A-1	A-2	B-1	B-2	C-1	C-2
GPS 衛星	2	0	0	4	2	0	0
	3	0	0	7	8	4	1
	4	0	0	26	23	31	23
	5	4	2	40	36	53	59
	6	11	12	28	28	8	29
	7	59	60	20	16	1	4
	8	53	52	0	0	0	0
準天頂衛星	1	127	126	125	113	97	116

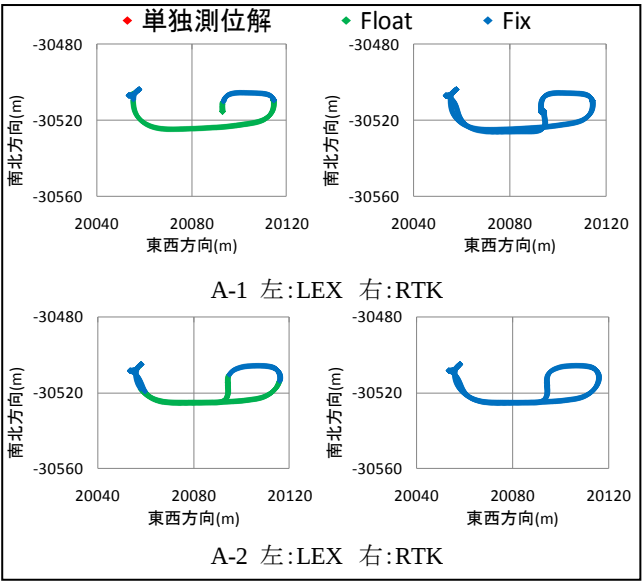
ら, 観測可能な GPS 衛星の数と準天頂衛星の位置を確認した. 表-3 より, A コースでは遮蔽物が少なく常に GPS 衛星を 5 衛星以上観測できるが, B, C コースでは 4 衛星以下となる位置が確認された. また, C コースでは, 7 衛星以上となる位置がほとんど確認できず, 衛星の観測状況は最も悪いと考えられる. なお, 準天頂衛星については, 全コースで常に観測可能であることが確認された.

次に, 各コースについて, LEX と RTK で得られた測位解の割合を求めた. 表-4 より, A コースでは RTK の場合 Fix 解は途切れる事無く得られているが, LEX では, 「A-1」「A-2」とともに一定の箇所で Float 解または測位不能となることがわかる (図-9). RTK では, Fix 解が得られる環境にあるため, LEX 信号の受信が不安定になった可能性が考えられるが, 本実験データからは要因の特定には至らなかった.

一方, B コースでは表-5 より, LEX の方が Fix 解は多く得られているが, 静止測位における B6 付近の箇所で Float 解となることがわかる (図-10). RTK についても同箇所でも単独測位解が得られており, 建物等の遮蔽物による衛星電波の干渉など GPS 衛星を用いた高精度測位が出来ない環境にあったと考えられる.

表－４ A コースにおける測位解の割合（単位：％）

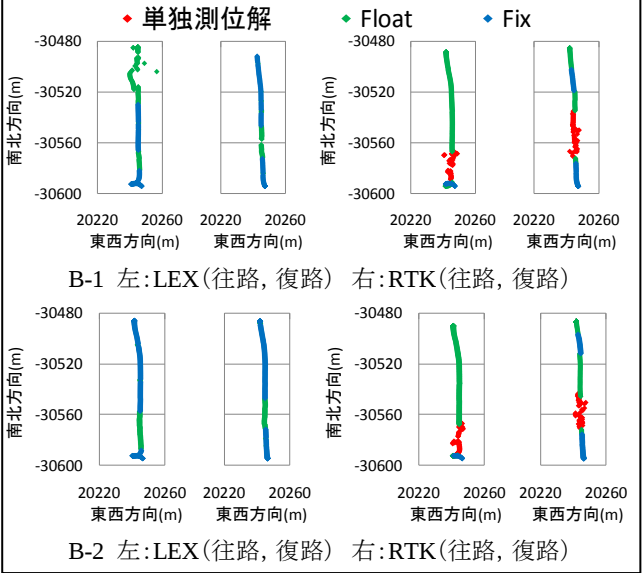
測位解	A-1		A-2	
	LEX	RTK	LEX	RTK
Fix解	28.5	100.0	38.4	100.0
Float解	43.4	0.0	61.6	0.0
単独測位解	0.0		0.0	
測位不能				
	28.1	0.0	0.0	0.0



図－９ A コースにおける測位解の軌跡

表－５ B コースにおける測位解の割合（単位：％）

測位解	B-1		B-2	
	LEX	RTK	LEX	RTK
Fix解	57.2	22.3	80.9	15.7
Float解	37.6	55.7	19.1	69.0
単独測位解	21.2		14.9	
測位不能				
	5.3	0.8	0.0	0.4

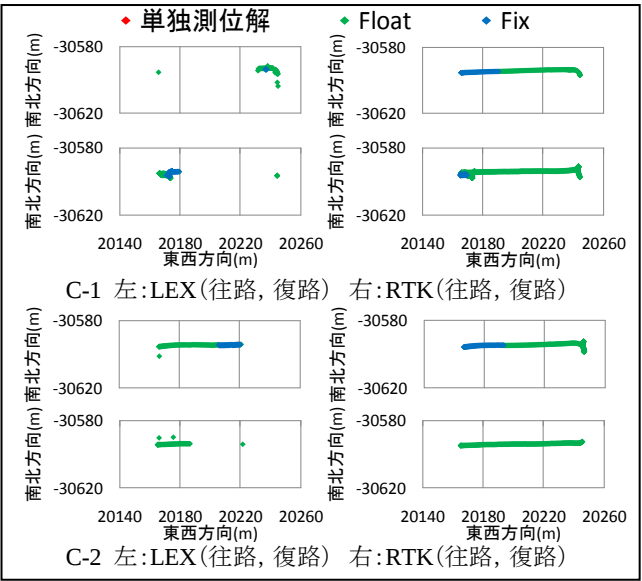


図－１０ B コースにおける測位解の軌跡

また、C コースでは表－６より LEX と RTK の双方において Fix 解はほとんど得られていないことがわかる。RTK において Fix 解は「C-1」「C-2」ともに観測開始時と終了時でのみ得られており、その他の箇所では GPS 衛星からの電波不足、および遮蔽物による衛星電波の干渉による影響が考えられる（図－１１）。LEX については、Float 解または測位不能となる箇所が

表－６ C コースにおける測位解の割合（単位：％）

測位解	C-1		C-2	
	LEX	RTK	LEX	RTK
Fix解	11.4	14.0	6.2	12.5
Float解	23.6	86.0	30.5	87.5
単独測位解	0.0		0.0	
測位不能				
	64.9	0.0	63.3	0.0



図－１１ C コースにおける測位解の軌跡

「C-1」「C-2」ともに約 90%を占めており、A コースと同様に LEX 信号の受信状態が不安定となった可能性が考えられるが、明確な理由は特定できなかった。

５．結論

静止時と移動時において LEX の補正情報を用いた高精度測位と既存の RTK による高精度測位との比較を行った結果、以下の点が明らかになった。

- ①RTK では Fix 解が得られない箇所でも LEX では Fix 解が得られ、その逆も確認された。
- ②平均値を中心とした Fix 解のばらつきは LEX と RTK で同様の傾向が見られた。

本検討より、LEX 信号が受信可能な環境でも Fix 解が得られない箇所が確認されたが、得られた観測データからは明確な理由が特定できなかった。遮蔽物と衛星の位置関係から LEX 信号に影響を及ぼす可能性があるため、今後検証をしていく予定である。

参考文献

- 1) 土屋 淳, 辻 宏道: GNSS 測定の基礎, 日本測量協会, pp.24-25, 2008 年 3 月
- 2) 宇宙航空研究開発機構: 準天頂衛星システムユーザーインタフェース仕様書, http://qzss.jaxa.jp/is-qzss/IS-QZSS_12Draft_J.pdf (入手 2011.7.13)
- 3) 国土地理院: 国土地理院による LEX 信号を用いた高精度測位補正の技術実証実験について, http://qzss.jaxa.jp/is-qzss/QZSSUM_05_02_05.pdf (入手 2011.7.13)