

準天頂衛星「みちびき」の利用

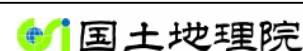
—準天頂衛星による高精度測位補正に関する技術開発—

測地観測センター
地理地殻活動研究センター



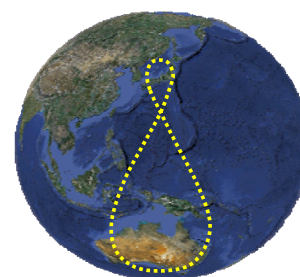
Geospatial Information Authority of Japan

準天頂衛星の概要



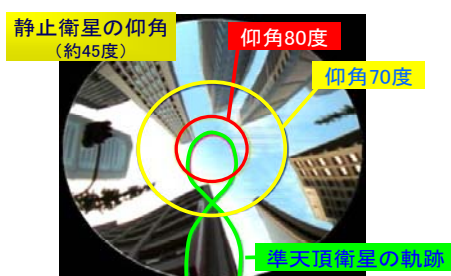
- **準天頂軌道**
 - 静止軌道と同じ周期, 軌道傾斜角 45°
- **日本付近で高仰角**
 - 都市部, 山間部で測位可能性の向上
- **GPS補完&GPS補強**
 - GPS補完
 - GPS互換信号、衛星幾何学配置改善
 - GPS補強
 - 補正情報によるGPS測位精度向上

準天頂軌道の地表投影



準天頂衛星の送信信号

信号	中心周波数(MHz)	概要
L1C/A	1575.42	GPS補完信号
L1C	1575.42	
L2C	1227.60	
L5	1176.45	
L1-SAIF	1575.42	高速移動体用
LEX	1278.75	JAXA独自実験用GPS補強機能用



目的

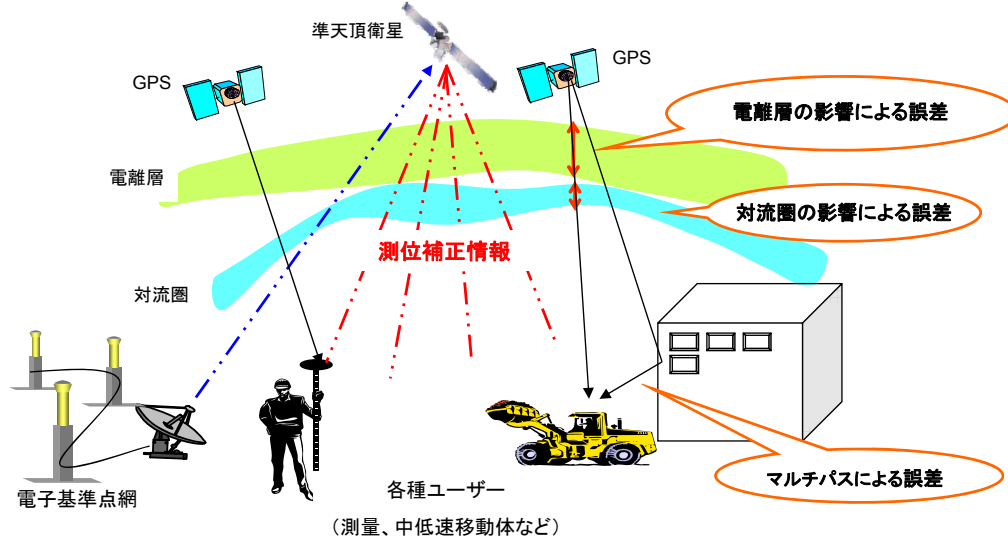
- ・準天頂衛星システムの利活用による、測位情報利用地域の拡大、高精度測位サービスの実現及び移動体への適用を実現する

効果

- ・高精度測位サービスの実現による国民生活の安全性・利便性の向上(交通、防災、測量、国土管理等の分野への利用が期待)
- ・民間活力の活用による新産業創出等の経済活性化

内容

- ・中低速移動体(作業用車両等)へのRTK-GPS適用化技術等の開発 <国土技術政策総合研究所>
- ・準天頂衛星測位システムの精密測量への応用技術の研究開発 <国土地理院>
- ・次世代電子基準点に関する研究開発 <国土地理院>
- ・高精度測位補正情報等技術の実証実験 <国土地理院>



2

高精度測位の現状と技術開発の目標

— 測量における高精度測位 —

プロジェクト開始当初の現状	技術開発目標
<測量> ・準天頂衛星等の次世代測位衛星を用いた測量の標準的な方法や精度管理等が未確定 ・電子基準点が次世代測位衛星に対応していない ・スタティック測量は観測時間が60分 ・現在のネットワーク型RTK-GPSに制約 - サービス域が限定(携帯電話使用) - 双方向通信方式 2周波測量機は高価	<精密測量への応用技術の研究開発> GPS補完 ・衛星測位シミュレータを開発し、これを用いて次世代測位衛星も含めた精密測量作業規程(案)をまとめる <次世代電子基準点に関する研究開発> GPS補強 ・準天頂衛星の放送機能等を利用した高精度測位補正技術の開発 10分程度の観測時間で測位解を得る - 全国でサービス可能 - センチメートル級の測位 - 放送方式(片方向通信) - 安価な1周波測量機に対応 <高精度測位補正情報等技術の実証実験> ・静止衛星及び準天頂衛星実機を用いた実験 - 実験を通して測量作業マニュアル(案)を作成する

期間延長後

※RTK-GPS: Real Time Kinematic GPS。GPS電波の位相差を用いてリアルタイムで高精度に測位する方式。

3

準天頂総プロ期間延長(H15-H19)→(H15-H22) 国土地理院

平成18年3月31日 測位・地理情報システム等推進会議

平成18年2月、民間が準天頂衛星の「通信・放送の事業化」断念を受けて、内閣府の「測位・地理情報システム等推進会議」は、準天頂衛星システム計画の推進に係る基本方針を以下のとおりとした。

1. まず、**官が主体**となって準天頂衛星システム**計画**を立ち上げる
2. 準天頂衛星システムには**S帯の機能を持たせず**に、**L帯のみのシステム**(補完、補強に利用)とする。
3. **官が中心となって1機の準天頂衛星**(平成21年度に打上げ目標)の**利用実証**を行う。
4. 実機による第1段階(**技術実証・利用実証**)は、**文部科学省がとりまとめ担当**となり、**総務省、経済産業省、国土交通省の協力を得て計画を推進**する。

第2段階は、第1段階の結果の評価を行った上で、初号機を含めた3機の準天頂衛星による**システム実証を実施**する。

* 測位・地理情報システム等推進会議:平成17年9月(発足)～平成20年6月、以後「地理空間情報活用推進会議」と名称変更

平成19年5月30日 地理空間情報活用推進基本法(抜粋)

(衛星測位に係る研究開発の推進等)

第二十一条 **国は**、衛星測位により得られる地理空間情報の活用を推進するため、**衛星測位に係る研究開発並びに技術及び利用可能性に関する実証を推進**するとともに、その成果を踏まえ、**衛星測位の利用の促進を図るために必要な施策を講ずるものとする**

4

技術開発計画の全体構成

 国土地理院

H15	H16	H17	H18	H19	H20	H21	H22	
4省研究開始	開発研究	民間が通信・放送の事業化断念 2月 基本方針決定 測位・地理情報システム推進会議 3月31日 S帯からL帯へ	開発		初号機 打上げ予定	2～3号機 打上げ予定 変更、打上げ目標 延期	初号機 打上げ予定 8月2日 延期 9月11日	
当初の技術開発期間					延長期間			
調査検討 計画	基本検討	技術開発 要素	プロトタイプ 開発	実証 実験	実証実験 及び 技術開発			最終報告
シミュレータ完成 補完機能の効果 等評価	シミュレータ補強版 完成 衛星利用配信確認 TEC比較	補正情報S帯 1Mb仕様作成	L帯プロトタイプ完成 衛星測位シミュレー タ要件定義	L帯改良班完成	送受信・測位率等 確認	受信・測位率等確認	マニュアル(素案) 報告書	
I 準天頂衛星測位システムの精密測量への応用技術の研究開発					精密測量作業 シミュレータ 衛星測位 マニュアル素案			
衛星測位シミュレータの開発 精密測量への応用技術の研究								
精密測量への応用技術の開発								
II 次世代電子基準点に関する研究開発					III 高精度測位補正等技術の実証実験			
次世代電子基準点の基本事項調査					静止衛星を利用した実証実験			
次世代電子基準点更新手法の検討					実機による実証実験とマニュアル			
次世代電子基準点の開発					案作成			
					公共測量作業 マニュアル素案			

5

GPS補完 衛星測位シミュレータの開発



図 都市部(東京都心部)

シミュレーションデータを作成してモデル地域を評価

モデル地域：都市部、山岳部、平地部

ケース：準天頂衛星有無の2通り

など

(全体的に)準天頂衛星による補完によって

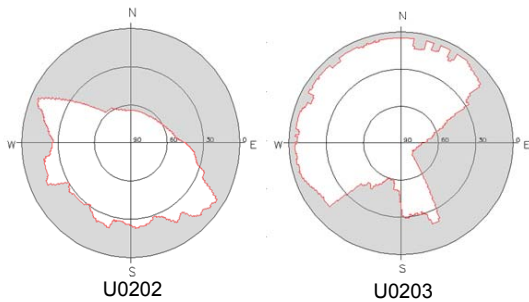
- ・上空視界のよい条件では測位時間率の改善度合いは少ない。
- ・上空視界の悪い条件で顕著な測位時間率の改善がある。
- ・GPSのみでは測位時間率が著しく低いような遮蔽条件でとくに補完効果が著しい。

実機利用以前に観測地点を評価

表 測位時間率

PDOP<6		
都市部 2km		
基線名	測位時間率	
	GPS	GPS+QZSS
U0201-U0200	92%	100%
U0202-U0200	42%	83%
U0203-U0200	75%	92%
U0204-U0200	79%	96%
U0201-U0202	42%	83%
U0202-U0203	25%	63%
U0203-U0204	42%	88%
平均値	51%	84%
最大値	92%	100%
最小値	25%	63%

凡例
 : 上空視界良好基線
 : 上空遮蔽あり基線



測位時間率(PDOP<6、都市部)

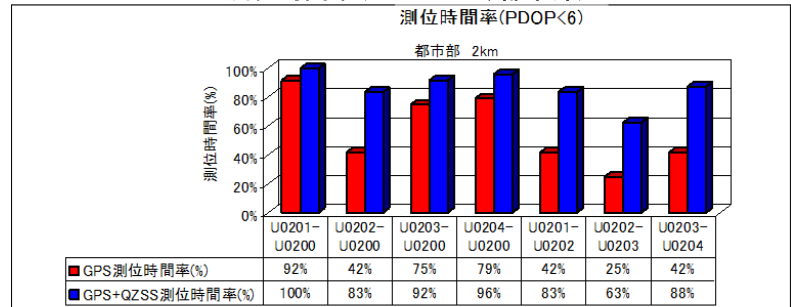


図 測位時間率(都市部) (2km基線)

6

次世代電子基準点に関する研究開発

GPS補強 電子基準点を利用した測位補正情報生成・配信技術の開発

GPS測量の現状と課題

精度 (水平)	携帯電話圏内 (国土の6割)	携帯電話圏外 (国土の4割(山間部等))
1cm ↕ 10cm	スタティック法(静止測量) 観測 1時間~ ネットワーク型RTK法 等 観測時間 数分~	効率的な手法がない

課題：携帯電話が利用できない地域において、一定精度を確保しつつ、短時間で効率的に測量を行うための手法が存在しない。

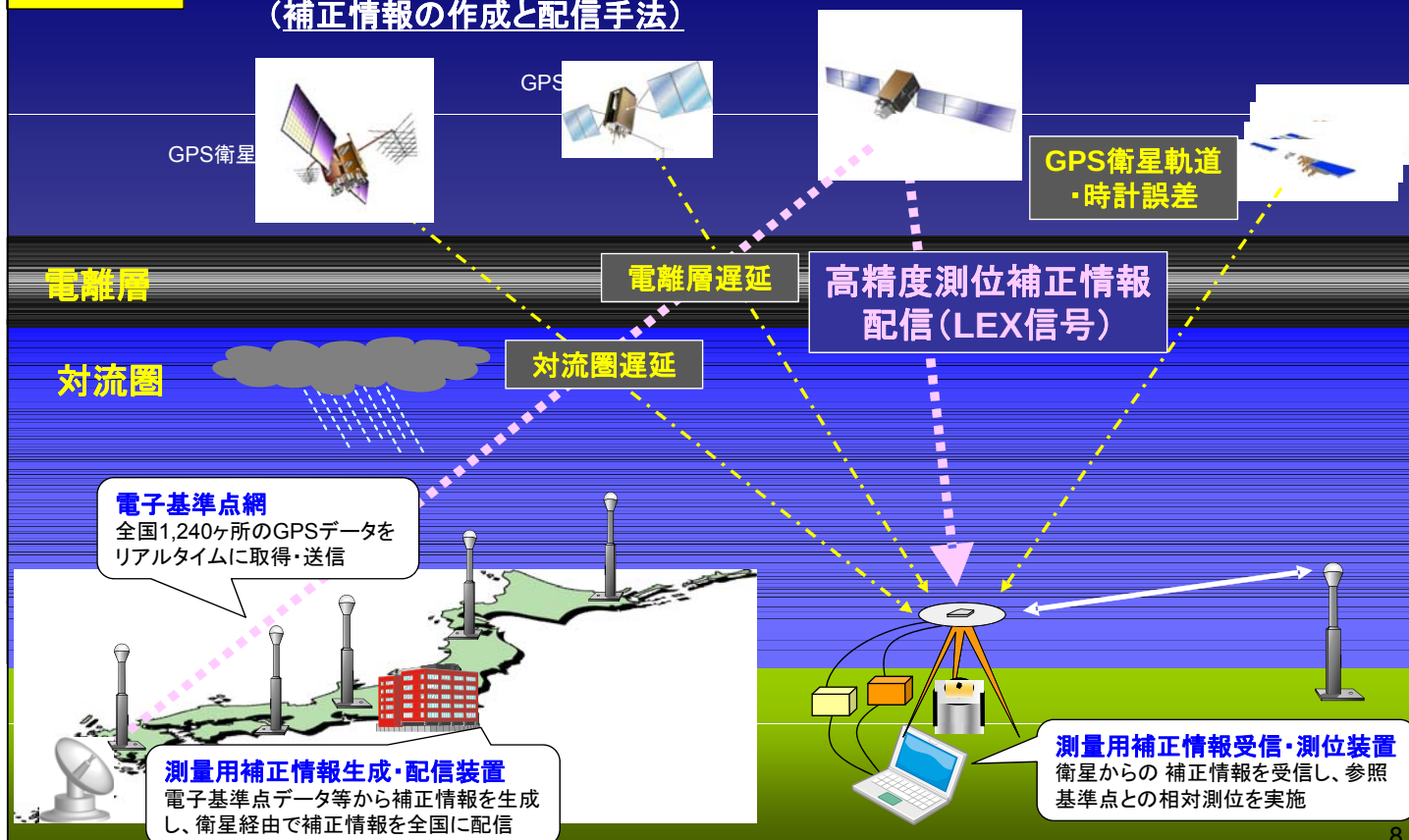
基本設計(技術条件)

- ・全国を対象とした放送方式による補正情報の配信(携帯電話に頼らない)
- ・GPS1周波受信機を用いた測量(2周波受信機に比べて安価)
- ・10分程度の観測時間で安定的なセンチメートル級の測量(高精度)

技術開発：準天頂衛星の放送機能を活用することで、携帯電話が利用できない地域でも、効率的な測量を実施可能とする方法の開発。

7

GPS補強 開発した測量向け測位補正技術の概要 (補正情報の作成と配信手法)



II 次世代電子基準点に関する研究開発

GPS補強 S帯からL帯へ変更

補正情報(L帯)の低容量化

- データ間引き
 - 配信レート
 - グリッドサイズ
 - 参照基準点数
 - データ圧縮
 - 差分表現
 - アーカイブソフトウェアの利用
- ・参照基準点情報、電子基準点の概略座標をあらかじめ受信機側で保持しておくことで、配信レート1.5kbpsを達成

表 各補正方式における格子サイズ

補正方式	格子サイズ(経度×緯度)
S帯補正方式	0.2° × 0.15°
L帯補正方式	0.4° × 0.3°

表 各補正方式における補正情報の最適更新頻度

補正情報	S帯補正方式	L帯補正方式
参照基準点観測情報	10秒	30秒
電離層遅延補正情報	30秒	120秒
対流圏遅延補正情報	30秒	240秒
衛星軌道・時計補正情報	30秒	240秒

性能評価等

- 最適な観測時間の選択 (S帯補正方式で10分、L帯補正方式で15分)
- 参照基準点からの距離によらない安定性
- S帯補正方式、L帯補正方式ほぼ同程度の測位誤差

補正情報の中身

L帯2kps
(LEX信号)

情報量が1/500に

S帯1Mbps

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
参照基準点					衛星軌道、時計補正情報+電離層グリッド間隔																		電離層1							
31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59		
電離層1					参照基準点					電離層2					電離層10										電離層3					
61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	
電離層3					参照基準点					電離層5					電離層8										電離層9					
91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120	
電離層11					参照基準点					電離層4					電離層6										電離層7					電離層12
121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131	132	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143	144	145	146	147	148	149	150	
参照基準点					対流圏遅延補正情報																		電離層1							
151	152	153	154	155	156	157	158	159	160	161	162	163	164	165	166	167	168	169	170	171	172	173	174	175	176	177	178	179	180	
電離層1					参照基準点					電離層2					電離層10										電離層3					
181	182	183	184	185	186	187	188	189	190	191	192	193	194	195	196	197	198	199	200	201	202	203	204	205	206	207	208	209	210	
電離層3					参照基準点					電離層5					電離層8										電離層9					電離層12
211	212	213	214	215	216	217	218	219	220	221	222	223	224	225	226	227	228	229	230	231	232	233	234	235	236	237	238	239	240	
電離層11					参照基準点					電離層4					電離層6										電離層7					電離層12

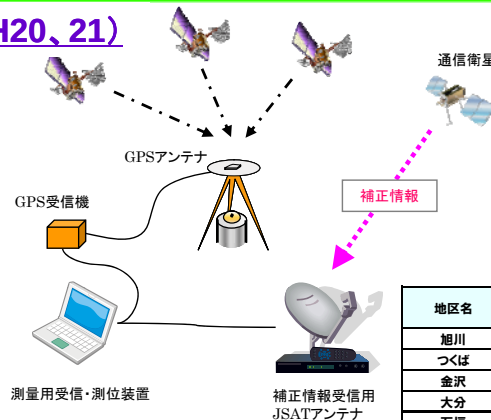
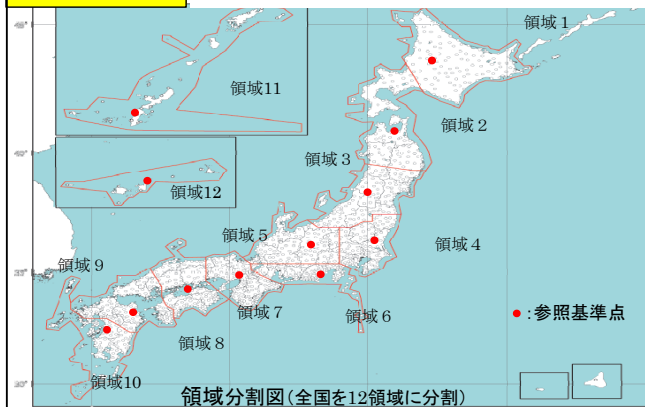
表 S帯及びL帯の実験による観測時間の長さとの測位誤差

沖縄地域	観測時間	長基線(約90km)		短基線(約30km)	
		Fix率(%)	RMS(cm)	Fix率(%)	RMS(cm)
S帯補正方式	10分	89.5	0.7	100.0	0.6
	7分	92.6	0.8	96.2	0.7
L帯補正方式	15分	83.3	0.9	75.0	3.0
	10分	83.3	1.0	66.7	1.2

Fix率: 測位解が得られた回数/観測総数 RMS: 参照基準点とのスタティック解を基準としたバラツキ

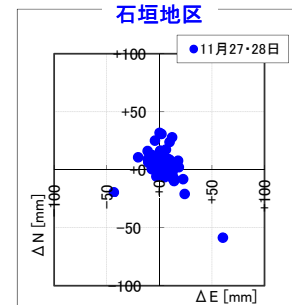
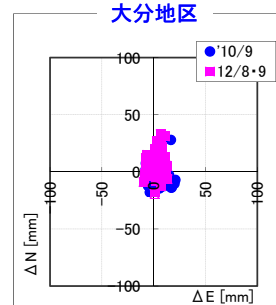
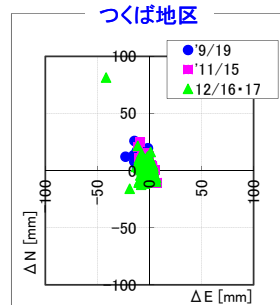
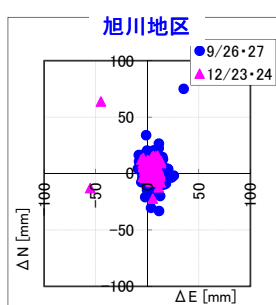
検証の結果、L帯においてもセンチメートル精度であることを確認

GPS補強 静止衛星を利用した実証実験(H20、21)



地区名	RMS (cm)		FIX率
	水平	上下	
旭川	1.2	2.2	92%
つくば	1.4	2.0	89%
金沢	5.4	5.9	92%
大分	1.9	10.7	84%
石垣	6.7	8.4	86%
下呂	2.1	3.4	97%
奈良	3.3	3.7	96%
高山	2.8	3.9	94%
冷泉小屋	3.7	5.3	93%
乗鞍	2.1	5.0	95%

補正情報による測位の実利用上の問題点の洗い出しを行うため、**地域、季節、気象条件等様々な条件下で実験**を行った。
Fix率は、概ね90%程度、測位精度は概ねセンチメートル級であった。



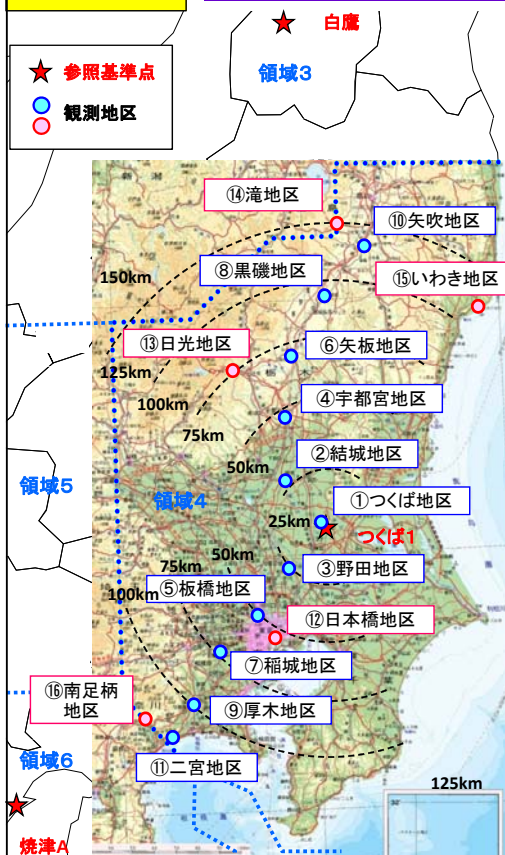
10

III 高精度測位補正等技術の実証実験

GPS補強 準天頂衛星実機を利用した実証実験(H22)

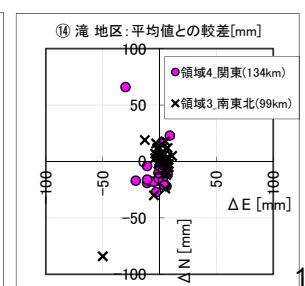
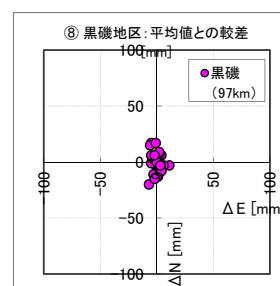
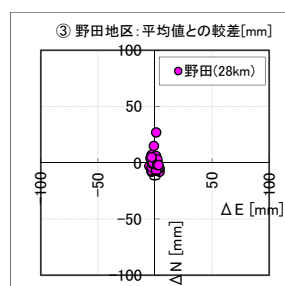
機器構成

GNSSアンテナ



SJS (測位補正情報受信・測位装置PC)

参照基準点からの距離、地域差等を考慮し実証実験を行った。結果の概要は以下の通りである。
・測位精度は概ねセンチメートル級であった。
・地区によってFix率が低い地区がある
・アマチュア無線との干渉によりLEX信号の受信障害があった

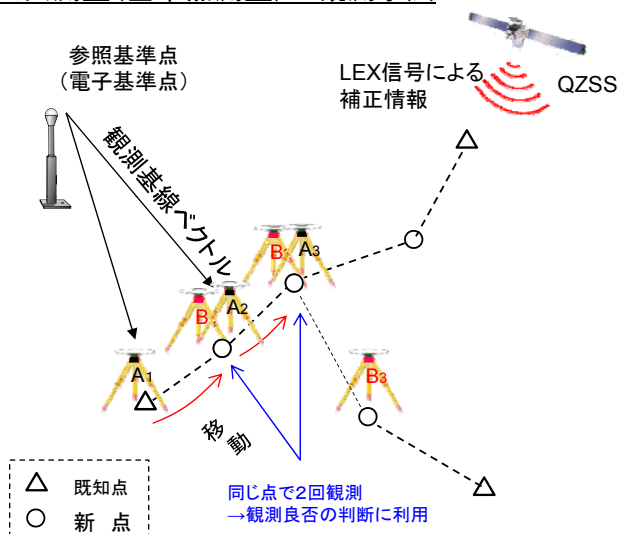


11

GPS補強 測量作業マニュアル(素案)

現行規定との比較

公共測量(基準点測量)の観測手法



- ・2台で観測点を順次移動しながら同時観測を行い、既知点、新点、交点等で構成する環閉合差
($\Delta N \cdot E$, ΔU) = (20mm $\sqrt{N}$, 30mm $\sqrt{N}$)から観測の良否を判定。
- ・各点では独立した2回の観測結果が算出されるため、そのセット間較差($\Delta N \cdot E$, ΔU) = (20mm, 30mm)から良否を点検。

	※QZS-QS法 マニュアル(素案)	現行の準則 *NW型RTK法、 **スタティック法
受信機の台数 (基準点測量の場合)	2台以上	*1台以上 **3~4台
受信機の台数 (地形測量等)	1台	*1台
受信機の性能	2級(1周波)	*1級(2周波) **1級(2周波:10km以上)、 2級(1周波:10km以内)
観測時間	15分以上	*10秒以上 **60分以上(10km以上は 120分以上)
データ取得間隔	5衛星以上(GPS衛星)	*5衛星以上(GPS衛星) **4衛星以上(GPS衛星)
衛星数	5衛星以上(GPS衛星)	*5衛星以上(GPS衛星) **4衛星以上(GPS衛星)
作業地域	全国	*携帯電話サービスエリア **全国

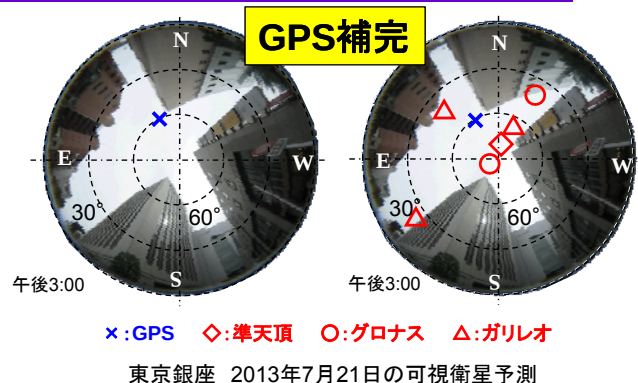
※ QZS-QS法: 1周波GPSデータと受信した参照基準点観測データ及び準天頂衛星のLEX信号による補正情報を組み合わせて相対測位を実施する測量方法。

マニュアルは、QZS-QS法の観測精度実験、観測及び点検方法の確認等の実証実験結果を踏まえて作成したものである。しかし、本マニュアルの実際の運用にはLEX信号の運用調整、補正情報配信事業の確立等の課題があるため素案とした。

12

技術開発成果の活用がもたらす効果

シミュレータの活用(マルチGNSSの効果)



次世代衛星等様々な測位衛星のシミュレーションができ、精密測量等の手法の検討が可能となる。

観測可能エリアの拡大

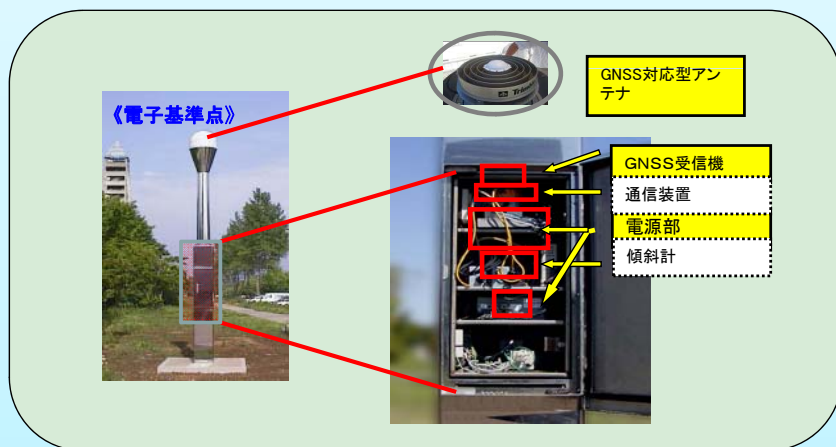


全国どこでも準天頂衛星の放送機能を用いた補正情報が送信されるので、特に山間部では測量作業等のコストダウンが可能となる。

13

●電子基準点の高度化

停電時の継続観測（約72時間）及び受信機に観測データの蓄積を可能（準天頂衛星を含むGNSS対応）とする電子基準点の高度化を実施。



効果

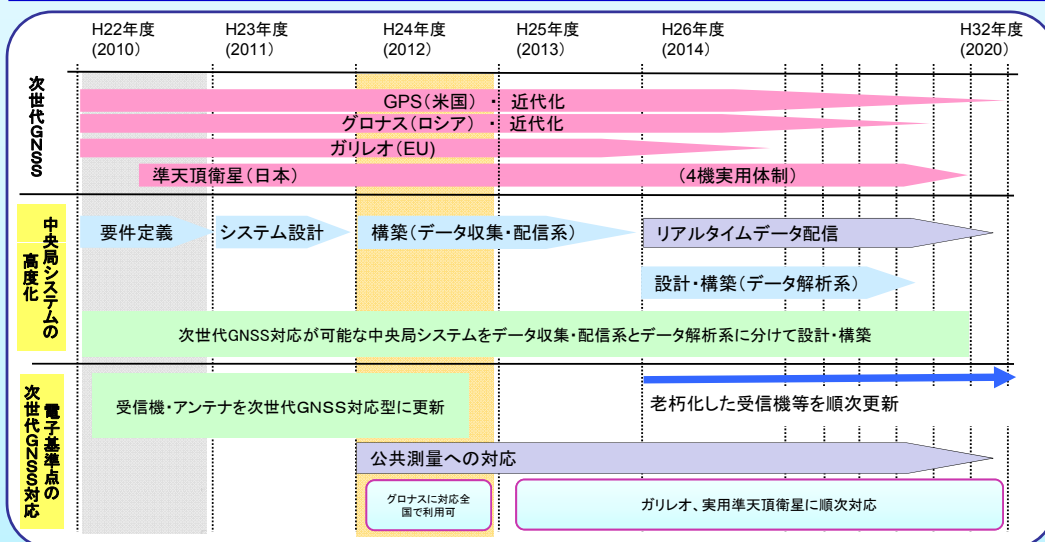
- ・地震による地殻（地盤）の変動を把握し、復興支援や防災・減災に貢献
- ・巨大地震発生時にも継続的な観測・情報提供ができるよう、機器の高度化による防災対応能力の向上

14

準天頂衛星を含む衛星システムへの対応

●GEONET中央局の高度化

準天頂衛星を含むGNSS対応とするGNSS連続観測システム（GEONET）中央局をデータ収集・配信系及び解析系に分けて順次整備



効果

多様な衛星測位システムへの対応により、利用者に価値ある情報の提供及び測量等の効率化に貢献

15