

電子基準点を利用したRTK-GPS実験

RTK-GPS Experiment Using the GPS-Based Control Station

測地観測センター 後藤勝広
Geodetic Observation Center Katsuhiko GOTOU

測地部 石原 操, 井上武久
Geodetic Department Misao ISHIHARA, Takehisa INOUE

要旨

RTK (Real Time Kinematic) - GPSは、近年、急速にGPS測量に導入されるようになってきた。その理由は、即時性 (リアルタイム)、高精度 (ハイアキュラシー) という利点に尽きる。従来GPS測量の主流は静止 (スタティック) 測位であった。これは複数のGPS受信機で1~数時間の観測を要し、観測終了後は一旦データを持ち寄って計算をしなければならなかった。いわゆる「後処理」型の測量方式である。一方、RTK測位は、その名のとおり即座 (リアルタイム) に、求めようとする位置が正確にわかるという画期的なシステムである。これを導入することにより、現場で結果の確認ができ、作業効率が格段に向上し、コスト縮減にも一役買っている。

国土地理院では、全国に展開する電子基準点のうち数点を利用してRTK測位を行う実験を行ったので報告する。これにより、電子基準点を使ったRTK-GPSの実用化に向けて一歩前進したと言える。

1 はじめに

国土地理院は、郵政省と共同で電子基準点を利用したRTK-GPSに関する公開実験を1997年10月から実施している。この実験内容は、関東および関西のそれぞれ6点ずつの電子基準点にDMCA無線と呼ばれるデジタル移動無線装置を設置し、実験に参加している利用者へデータ提供を行っている。

実験開始に先立ち同年7月に、「RTK-GPS実験推進協議会」が設立され、参加の申し込み受付、機器の無償貸出、技術指導、実験結果報告書のとりまとめなどを行っている。現在約220社 (名) の会員が実験に参加し、精力的に取り組んでいる。また、1998年5月には、技術研究発表会が開かれ、測量をはじめ船舶や移動体などへの有効利用の例について発表が行われた。

また、ホームページ (<http://mekira.gsi-mc.go.jp/rtk-gps/rtk-gps.html>) を開設し、RTKの紹介や利用の促進を図っている。

2 RTK-GPSのしくみ

RTK-GPSとは、位置が正確にわかっている観測点 (基準局) で観測されたGPSデータを、これから求めようとする観測点 (移動局) に無線などの通信を利用し、リアルタイム (1秒毎) に伝送し、移動局の正確な位置を割り出すシステムである (図-1)。

RTK測位は、相対測位の一種であるので、スタティック測位と同様にバイアスを決定する必要がある。これを初期化という。初期化には、OTF (On The Fly) と呼ばれる機能を用いて高速でバイアスを決定する技術を用いる。ただし、OTFを使用するためには2周波型受信機が必要であり、通常、観測開始後1~2分で終了する。初期化が終了すれば、通信が切断されない限り、連続で移動局の位置を測定することができる。その精度は、水平方向で $1\text{ cm} \pm 2\text{ ppm} \cdot D$ (D は2点間の距離、単位はkm。10kmの距離で最大3cm程度) といわれている。

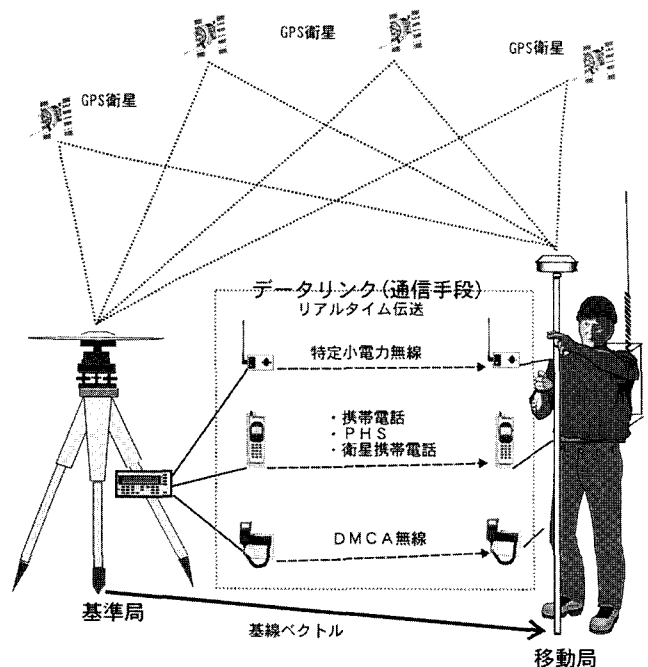


図-1 RTK-GPSのしくみ

3 データリンク（通信手段）

RTKでは、基準局のデータをいかにして移動局に正確に伝えるかが重要である。そのため的手段として一般的には無線が利用される。RTKが開発された当初は、「特定小電力無線」と呼ばれる免許の要らない、空中線電力が10mW以下の微弱な無線を利用していた。しかし、「送受信範囲が狭い（数100m程度）」、「市街地での混信が多い（雑音が入る）」など利用者の不満があった。また、ほかの伝送手段として携帯電話、PHS、衛星携帯電話、FM多重放送、専用波などが考えられるが、通信コストや免許、電波法上の問題があった。

そこで、国土地理院は、郵政省との共同実験で、コスト面で比較的安価で、送受信範囲の広いDMCA無線と呼ばれる移動体通信システムを採用した。DMCAとはデジタル・マルチ・チャンネル・アクセスの略で、全国に8つある(助)移動無線センターが運営する無線システムの一つである。携帯電話やPHSのように一般にはあまり知られていないが、タクシー、運送業、警備保障、イベントなどで利用されている無線システムである。

DMCAは、図-2のとおり指令局、制御局、移動局の3つから構成されており、指令局で発信された音声（データ）は、制御局を経由し移動局に着信される。一つの制御局でカバーするサービスエリアは半径30kmとかなり広範囲である。ただし、地形や周辺的环境によってこの範囲は異なる。

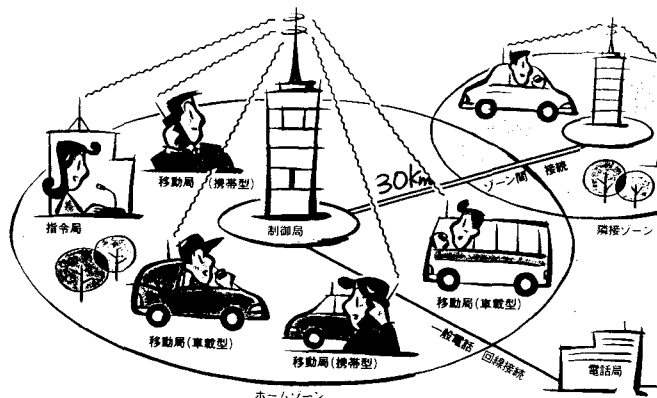


図-2 DMCAのシステム（MCA無線の資料から）

このシステムを利用し、電子基準点にDMCA無線機を設置し、これを指令局とし、RTK利用者（移動局）にデータを伝送する方法を採っている（図-3）。

4 実験エリア

今回の実験では表-1および図-4, 5, 6のとおり、関東と関西の電子基準点を選びDMCAを設置した。比較的利用が見込まれる場所を想定し、各無線制御局に対して、1点以上の電子基準点を選択した。

設置に際し、基準局となる電子基準点が、①DMCA

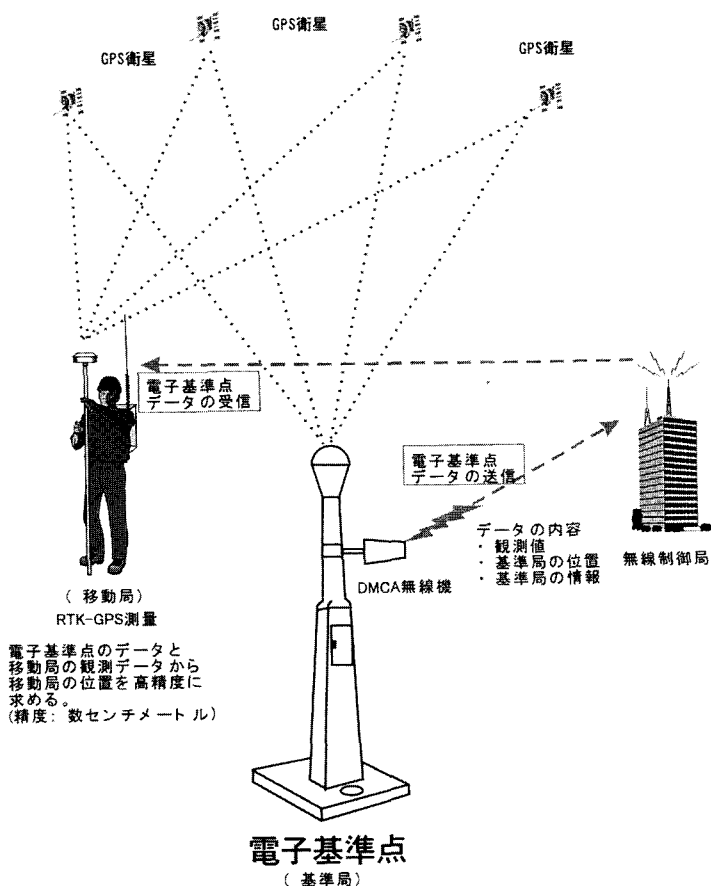


図-3 電子基準点とDMCA無線を利用したRTK-GPS

無線のサービスエリア内であること、②電波の送受信が良好であること、③DMCA無線の電波がGPS受信機に影響を与えないことなどを考慮した。特に③についてDMCAとGPSの電波周波数帯が同じ（いずれも1.5GHz帯）であるため、無線機の設置位置に関してはGPSの受信強度に影響を与えないよう、GPSアンテナと無線機を近づけ過ぎないなど十分配慮した。

電子基準点の座標値は、世界座標系であるITRF94*1

表-1 実験に使用されている電子基準点の一覧

番号	局名	所在地	施設名
92110	つくば1	茨城県つくば市	国土地理院
960583	石下	茨城県石下町	飯沼小
93005	江南	埼玉県江南町	江南浄水場
93017	練馬	東京都練馬区	田柄第二小
93026	神奈川川崎	神奈川県川崎市	玉川小
950225	千葉花見川	千葉県千葉市	幕張公園
960763	生駒	奈良県生駒市	桜ヶ丘小
960761	八尾*	大阪府八尾市	南山本小
950337	堺	大阪府堺市	八田荘小
950340	熊取	大阪府熊取町	北小
950355	西宮	兵庫県西宮市	小松小
950356	神戸中央	兵庫県神戸市	大倉山公園



図-4 電子基準点と無線制御局の配置図(関東)



図-5 電子基準点と無線制御局の配置図(関西)

系を採用している。

1998年は新たに北海道札幌地域(4点)と中部地域(6点)を加え、引き続き実験を行う。

注) 八尾はAshtech社製受信機のため伝送フォーマットの調整中

*¹IERS Terrestrial Reference Frame (国際地球回転事業における地球基準座標系)

5 伝送フォーマット

電子基準点のデータを移動局に伝送するためには統一されたデータ伝送フォーマットが必要である。本実験では、そのフォーマットとしてCMR (Compact Measurement Record) と呼ばれるフォーマットを採用している。一般にナビゲーションの分野で利用されるDGPS (ディファレンシャルGPS)*²ではRTCM SC-104*³と呼ばれるフォーマットを採用している。RTCMはメッセージタイプが1~63に分けられ、RTKとDGPSの両方に必要な情報はそのうち3, 18, 19, 22(最新ver. 2.2)である。RTCMはデータ伝送にはデータ量がかかり多く、通信に負担がかかる。その点CMRは3つのカテゴリーに分けられ以下のように定義されている。

- ・タイプ0=L1とL2の搬送波位相と擬似距離
- ・タイプ1=基準局の座標値とアンテナオフセット量
- ・タイプ2=基準局の名称と情報

このように、CMRはRTCMをスリム化したもので、RTCMのデータ量が約5200bitsであるのに対して、CMRのそれは約3分の1の1800bitsである。DMCA無線でのデータ通信速度は2400bpsであり、CMRはこの



図-6 DMCA無線を設置した電子基準点の一覧(関東と関西)

条件をクリアしている。

*² DGPS 座標の分かっている基準局で計算された擬似距離の補正量を移動局に伝送し、移動局で計算された擬似距離に送られてきた補正量を加え、移動局の位置を求める方法。その測位精度は、数m~10m程度。

*³ Radio Technical Commission for Maritime, Special Committee 104, ver2.2 (米国海上無線技術委員会, 特別委員会104号の規格)

6 測位精度の検証

国土地理院による実験は、関東地域において初期化やスタティックとRTKとの比較による測位精度の検証などについて行った。

実験観測に使用した機材は、GPS受信機Trimble 4000SSI (2周波)、アンテナCompact L1/L2とDM-CA無線機である。受信機と無線機は電子基準点に整備されたものと同じ仕様である (図-7)。



図-7 RTK-GPS測量中

初期化は、基準局と移動局で共通な衛星を5個以上捕捉する必要がある。図-8は基線長に対して初期化にかかる時間をプロットしたものであり、通常は1~2分で終了している。OTFによる初期化も衛星の位置変化に伴い発生する多重解から真の基線解を求める方法を用いるため、この変化量が小さい (Poor Ratio) 場合は、10分を超えることがある。

つぎに、スタティック法とRTK法の比較を行った。予めスタティックにより求めた観測点でRTKによる観測を行い、測位精度の比較を行った。基準局から移動局までの距離が80m~27kmまで14地点に観測点を設け、各移動局では5分間 (300個) のデータを取得し測位を行った。スタティックによる3時間観測により求めた値を基準値として、毎秒値との差を取り標準偏差を求めた (図-9)。電子基準点から10kmの範囲内での測位精度は、水平方向 $1\text{ cm} \pm 2\text{ ppm} \cdot D$ 、垂直方向 $2\text{ cm} \pm$

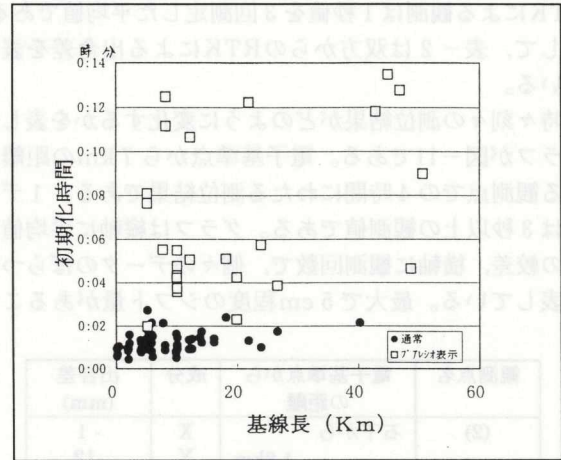


図-8 初期化に要する時間

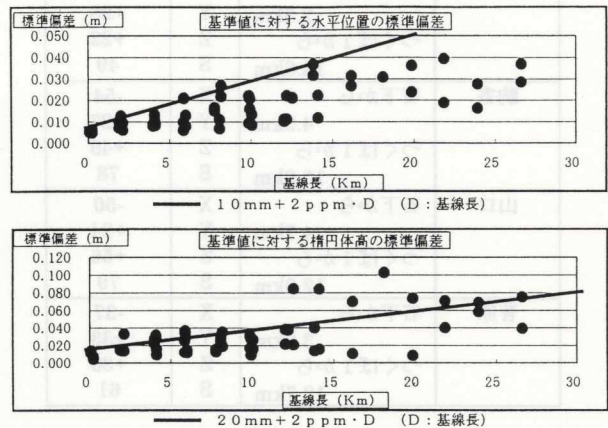


図-9 基線長に対する精度

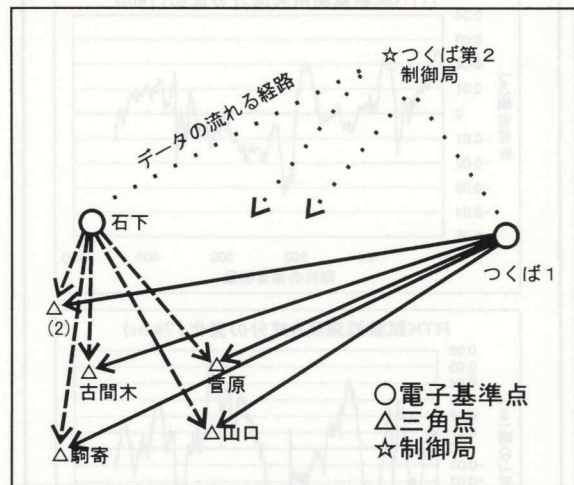


図-10 2つの電子基準点を使用したRTK測量

2 ppm · Dのカタログ値を概ね満たしているといえる。図-10は「つくば1」と「石下」による各観測点の測位の比較である。スタティックによる観測は12時間、

RTKによる観測は1秒値を3回測定した平均値である。そして、表-2は双方からのRTKによる出合差を表している。

時々刻々の測位結果がどのように変化するかを表したグラフが図-11である。電子基準点から7kmの距離にある観測点での4時間にわたる測位結果である。1データは3秒以上の観測値である。グラフは縦軸に平均値からの較差、横軸に観測回数で、個々のデータのばらつきを表している。最大で5cm程度のシフト量があること

観測点名	電子基準点からの距離	成分	出合差 (mm)
(2)	石下から 1.8km つくば1から 15.4km	X	-1
		Y	-12
		Z	+5
		S	13
古間木	石下から 2.3km つくば1から 14.6km	X	-34
		Y	+28
		Z	+22
		S	49
駒寄	石下から 4.9km つくば1から 15.6km	X	-54
		Y	+27
		Z	+49
		S	78
山口	石下から 4.7km つくば1から 12.9km	X	-50
		Y	+24
		Z	+56
		S	79
菅原	石下から 3.2km つくば1から 12.7km	X	-37
		Y	+33
		Z	+36
		S	61

表-2 RTKによる2つの電子基準点からの出合差

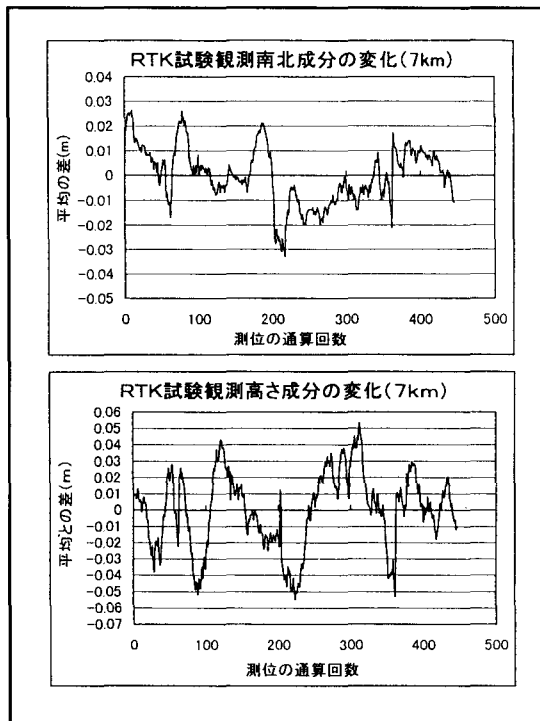


図-11 定点観測による精度

が分かる。このばらつきは時間とともに不規則に変化していることが分かってきた。衛星の配置による測定値の変化である可能性が高い。この原因として、RTKがスタティックに比べ非常に短時間で位置決定を行うため、マルチパスや衛星配置の急激な変化、PDOP（衛星配置の良否を表す指数；値が小さいほどよい配置）との関係などによる影響を敏感に受けやすいということが考えられる。

7 利用動向調査

国土地理院は、将来のRTKシステムの実用化に向けて、利用者の動向調査を行った。この調査は、①データをリアルタイムで送るための伝送システムに関する問題点、②公共測量分野へおよぼす効果、③地理情報システム（GIS）など他の分野への利用の可能性を把握するため、研究機関、測量業界および電子機器など関連する業界を対象に広範囲に行った。

本調査は、「RTK-GPS実験推進協議会」の参加者に対し、アンケート方式により行った。アンケートは2種類作成し、参加者全員を対象にした「総合アンケート」と実際に実験を行った会員を対象にした「評価アンケート」に分けた。前者は、参加者の業種、機器の保有台数、利用目的、利用地域、利用頻度、伝送方式、利用のアイディアなどについて回答を求めた。後者は、実験地域、受信状況、システムの問題点、改良すべき点、総合評価などについて行った。

以下に各項目ごとに問題点を整理した。

<電子基準点>

- ・従来成果と整合性がない。三角点は日本測地系、電子基準点は世界基準系（ITRF系）。

<DMCA無線機>

- ・2分（関東エリアで日中）で強制切断。連続通話ができない。DMCAの無線システムの宿命。
- ・都市部（ビル街）で受信不良。
- ・サービスエリア境界で受信不良。

<GPS受信機>

- ・重装備である（総重量10kg）。
- ・長距離（10km超）で初期化に時間を要する。

<測位精度>

- ・座標値にばらつきがある。
- ・衛星の入れ替わり時に数cmのシフトがある。

つぎに、利用可能な分野として考えられるかという設問に対して、以下のようなアイディアが寄せられた（図-12）。

- ・車両（救急車、パトカー、バス、タクシー、トラック、宅配など）の運行管理
- ・車両の自動運転支援（高度道路交通システム：ITS）
- ・重機の無人運転（ブルドーザー、除雪車など）
- ・船舶の精密着岸（大型タンカーの接岸誘導）
- ・精密農業（農業機械の制御、耕作、農薬散布、収穫）



図-12 電子基準点を利用したRTK-GPSの応用例

- ・徘徊老人の搜索，迷子調査
- ・身体障害者の支援（車椅子などに装着し誘導）
- ・遺跡，古墳調査
- ・鉱山，地質調査
- ・魚礁確保（漁業・養殖）
- ・災害（地滑り，崩落）の監視（防災モニタリング）
- ・事故，事件現場検証（航空機墜落事故など）
- ・GISへのデータ入力
- ・登山者のルート支援
- ・遭難者救助の支援
- ・動物の生態調査
- ・運動選手動態調査解析（マラソン選手など）
- ・高層ビルや長大橋の揺れモニタリング

以上のように，データ伝送の問題点としてサービスエリアやシステムの問題，公共測量へおよびず影響として座標系の問題，他分野への利用などを広く把握することができた。DMCAの2分間の通話制限に関しては，一旦強制終了された後，直ちに通話要求を行い，空きチャンネルがあれば即繋がるため，見かけ上連続通話と見なすことができる。今後はこれら問題点の解決を図っていかなければならない。また，総じてこのRTKのシステムが実用化されれば，利用したいという要望が高く（全体の97%），国土地理院の役割として，インフラ整備への期待は大きい。

8 公共測量作業マニュアルの作成

RTKを公共測量へ普及させることを目的として，「公共測量作業マニュアル（素案）」を作成した。3・4級

基準点測量，数値地形測量，応用測量を対象として調査した。前述の座標の差の問題について測量当該地域の既設点（三角点）で，電子基準点によるRTK測量を行い，電子基準点を基準とした座標を求め，既設の成果との差をシフト量として座標成果を平行移動させることにより当該地域での成果との関連性を保つことができる。したがって，この方法を採用すれば，現行法上での成果の不整合を回避できる。

数値地形図作成については，TS（トータルステーション）による地形図との比較の結果，ほとんど一致している。数値地形図の精度は±20cmであり，RTKによるデジタル平板の使用では十分な精度を確保できる。

応用測量では，逆打ち（ステークアウト）を最大限に利用し，中心線測量など図上で設計した点を現地で再現できることが確認され，RTKによる方法が有効的であるという結果がでた。逆打ちは，地中埋設物や積雪などにより埋没した地上の物体を探すときに有効である。実際に長野オリンピックでは，夏の間にクロスカントリーのコース取りのために打設した杭を，冬季の積雪時に再現し，コース設定を行っている。

今回の実験において，公共測量を行うための作業マニュアルの素案ができたので，今後は作業規程の改定へと進めていく必要がある。

9 まとめ

本実験では，電子基準点をRTK-GPSに利用するため以上述べてきたように様々な試みを行った。その結果，RTK-GPSのシステムの問題点や将来性を把握することができた。

また，今後は以下のような解決策を講じ，電子基準点の利用とRTK-GPS測位の普及に努めていきたい。

- ・現行法上の座標系との整合性を図る。
- ・公共測量作業規程の改定および作業マニュアルの作成を進める。
- ・次世代の基準点体系である「測地成果2000」の整備を進める。
- ・インフラの整備として，電子基準点のデータを提供するシステムを構築する。
- ・DMCAのエリア外では携帯電話，PHS，衛星携帯電話などほかのデータリンク方法も検討する。将来，情報通信インフラが整備されるにつれ，高速なデータリンクに移行していくと考えられる。
- ・ハード面では，受信機や通信機器などの一層のコストダウンをメーカー側は努力していく必要がある。

RTK-GPSは，リアルタイムでの位置情報産業である。測量はもとよりナビゲーションの分野でも，これから伸びる市場であると予想される。

この実験結果をもとに，電子基準点を利用したRTK-GPSの実用化に向けて，データ提供サービスの充実を行っていかなければならない。

参 考 文 献

- 国土地理院（1998）：電子基準点を利用したRTK-GPSに関する利用動向調査報告書
国土地理院（1998）：電子基準点を利用したRTK-GPS測量の応用技術に関する調査研究報告書
井上武久（1998）：RTK試験観測について，技術報告書
藤井慎裕（1998）：DGPS・RTKの利活用に関する研究，国土地理院部外研究員研究報告書
兼藤英明（1998）：RTK測量の利活用に関する研究，国土地理院部外研究員研究報告書
RTK-GPS実験推進協議会（1998）：RTK-GPSに関する技術研究発表会資料