

5. DGPS進入におけるメガフロート空港の潮汐の影響

電子航法開発部 ※朝倉 道弘 田嶋 裕久

1. はじめに

航空機の着陸段階における航法性能要件RNP (Required Navigation Performance)を満たすためのGPS補強システムのGBAS(Ground Based Augmentation System)は、空港毎に基準局を設置し、CAT-II以上が実現できる^{[1][2][3]}。

一方、海上空港の一つに超大型浮体式構造物(メガフロート)を利用したメガフロート空港が検討されている。1995年から2000年までメガフロートの空港モデルの実用化に向けて当研究所のILS GP^[4]などの種々の研究が横須賀沖合において行われた。メガフロート空港は浮体式のため潮の干満により空港の高さが変化する。このようなメガフロート空港に航空機の進入着陸誘導として、地球を基準とした地球座標系で測位するGPS(Global Positioning System)を利用する場合、潮汐の影響について問題がないか検討する必要がある。

今回、メガフロート技術研究組合の受託試験として、GBASの要素技術であるディファレンシャルGPS(DGPS)の実験装置と電子航法研究所の実験用航空機を使用し、潮汐の影響を検討するためメガフロート空港モデルに対して進入着陸の実証実験を行ったので、その結果を報告する。

2. 基準局情報の伝送方法

浮体空港で、GBASによるDGPSを利用するためにDGPS基準局を設置する場合、以下の方法が考えられる。

(1)陸上と同様のシステムを浮体上に設置し局所的座標を使用する方式、(2)陸上に基準局を設置し地球座標を使用する方式、(3)浮体上に基準局を設置し地球座標を使用する方式

以上の方法はコードディファレンシャルでもキネマティックでも同様に扱うことができる。上記の(2)および(3)の方法は、SBAS(Satellite Based Augmentation System)と同様に基準が陸地に固定された座標系となるため、SBASとの接続で座標の差がないという利点がある。しかし、浮体空港の動的に変化する座標を伝送するシステム

にする必要があり、陸上空港を想定したシステムでは信頼性の低下と共にコストの上昇となる。

(1)の方法は、浮体空港の浮体面がDGPS基準局と共に平行移動したとき、GBASで形成される進入コースも平行移動し、滑走路との相対的位置関係は保たれる。さらに、航空機側の装置が陸上空港に着陸する場合と同じで良いため互換性に優れ、機上及び陸上システムのコストが抑えられる。ただし、局所的座標と地球座標にずれが生じるため航空路でSBASを使用しメガフロート空港のGBASへ切り替える場合は、その許容誤差が十分大きいところで行う等考慮する必要がある。

3. 実験方法

今回、上記(1)の方法を用いて、潮の干満によるメガフロート空港の高さの変化に合わせて航空機の進入コースも同じように上下に変化し、正しく着陸できることを実証するため飛行実験を行った(図1)。

実験は横須賀港沖合の長さ1000mのメガフロート空港モデル(以降、メガフロートと呼ぶ)において、2000年8月~9月に電子航法研究所の実験用航空機(Beechcraft 99)を使用した進入飛行を約50回行ってデータ収集した。

実験で使用した装置の構成図を図2に示す。今回の飛行実験は当研究所で開発したCバンド

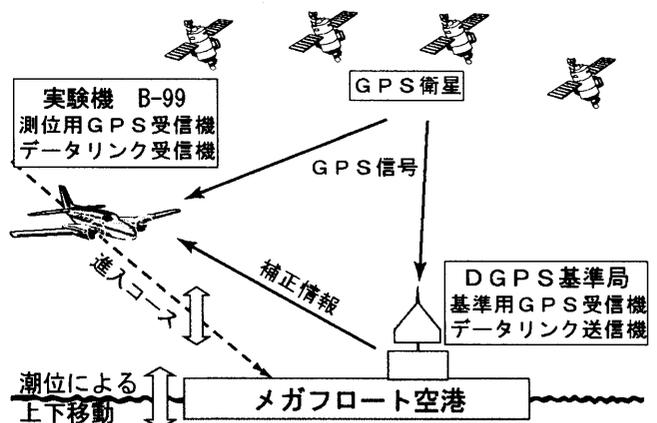


図1 メガフロート空港のDGPSによる補正

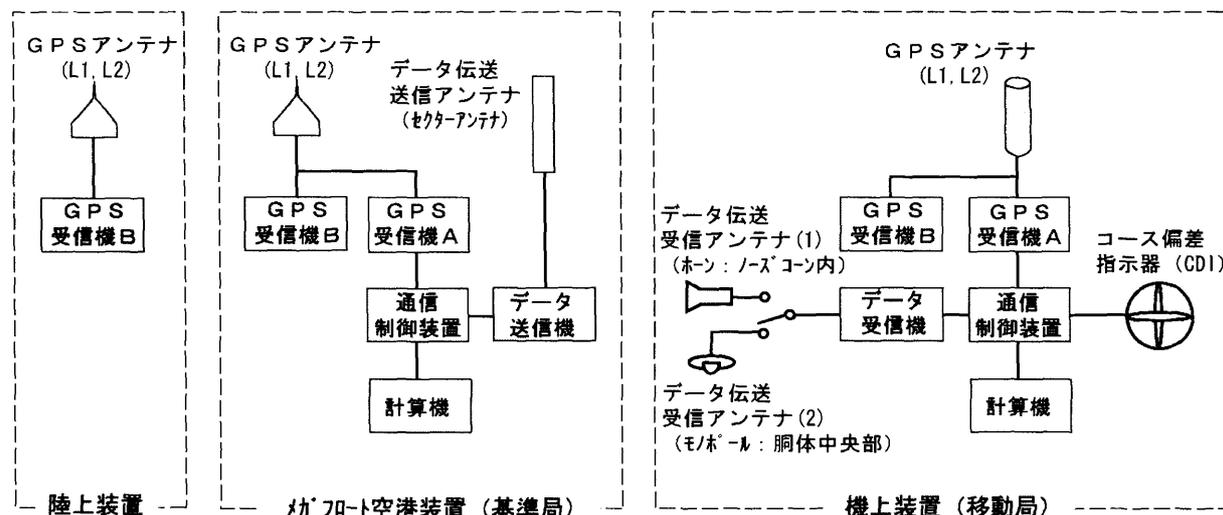


図2 実験装置の構成

(5GHz帯)のデータリンクによるGBAS実験システムを使用した。システムはメガフロートに設置したメガフロート空港装置(基準局)と航空機に搭載した機上装置(移動局)および後処理用基準局の陸上装置から構成する。メガフロートの基準局は、あらかじめ測量した平均的な三次元位置に基づき、補正データ等を送信する。送信出力は5064MHzで15W、変調は15.625kbpsのDPSKである。送信アンテナは水平面80度のビーム幅のセクターアンテナを使用した。移動局は、補正データを利用して航空機位置を算出すると共に、パイロットに対してコース偏差をコース偏差指示器(クロスポインタ)で表示する。パイロットはこのコース偏差がゼロになるように操縦することにより、設定コースに乗って着陸できる。

GPS受信機は、DGPSまたはRTKによる進入飛行実験用GPS受信機A(Novatel RT-2)のほかに、GPS受信機Aの誤差の算出に必要な基準位置を得るための後処理K-GPS(Kinematic GPS)用受信機B(Trimble 4000sse)の2台をメガフロート上、機上共にそれぞれ設置し、さらに固定位置の基準とするための受信機Bをメガフロートに近い陸上に1台設置した。メガフロート、機上ともにGPS受信機A、Bは同じアンテナを分岐しているので測位位置は一致している。

GPS受信機Aは、12チャンネル、ナローコリレータ受信機(L1,L2,2周波)で、受信機内ソフトウェアにより移動中初期化するOTF(On The Fly)のRTKが可能である。GPS受信機Bは、9チャンネル測

量用GPS受信機(L1,L2,2周波)である。補正データは、GPS受信機Aの出力のRTCA(Requirements and Technical Concepts for Aviation)D0-217に準じたフォーマットで送信できる。ただし、現在は航空機の航法用に認められたGBAS用のDGPSまたはK-GPS受信機はなく、本実験で使用した受信機Aは実験用の参考計器として使用した。

4. 実験用GPSの測位モード

実験では、GPS受信機Aの測位モードはDGPSと2周波RTKを切り替えてデータ収集した。DGPS測位モードは地上装置から誤差補正情報を機上装置に送る。GPSスペクトル拡散変調コードの時間検出を基に測位し誤差は数m程度であるが、あいまい性がないため測位結果の信頼性が高く収束も速い。2周波RTKは地上装置から2周波搬送波位相を含む誤差補正情報を機上装置に送る。波長の整数倍のあいまい性を決定するための情報量が1周波RTKより多くなり、収束時間が短縮される。

2周波RTKで正しく収束したデータが得られれば潮位の変化は補正されていることが確認できるが、DGPSでは誤差と潮位の変化(約1.8m)が同程度であり、その判別は困難である。また、今回の2周波RTKの実験は、装置の改造後初めてのため理想的に動作しない場合も想定した。

そこで、測量によって決定する滑走路面の標準の高さを10m高くシフトし、進入コースも同時に+10mシフトした設定とした場合についても実験データを収集した。これは標準の高さより潮

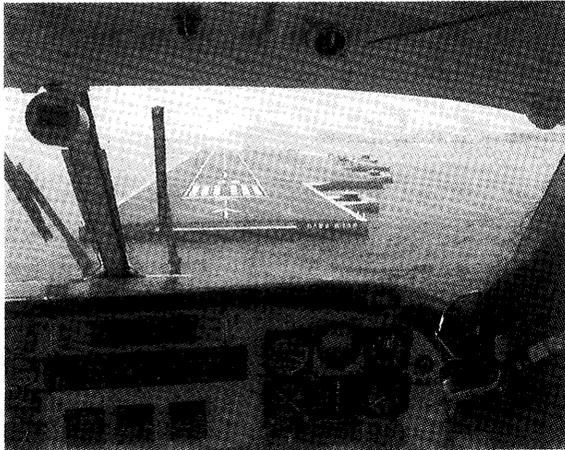


図3 実験用航空機操縦席から見たメガフロート空港

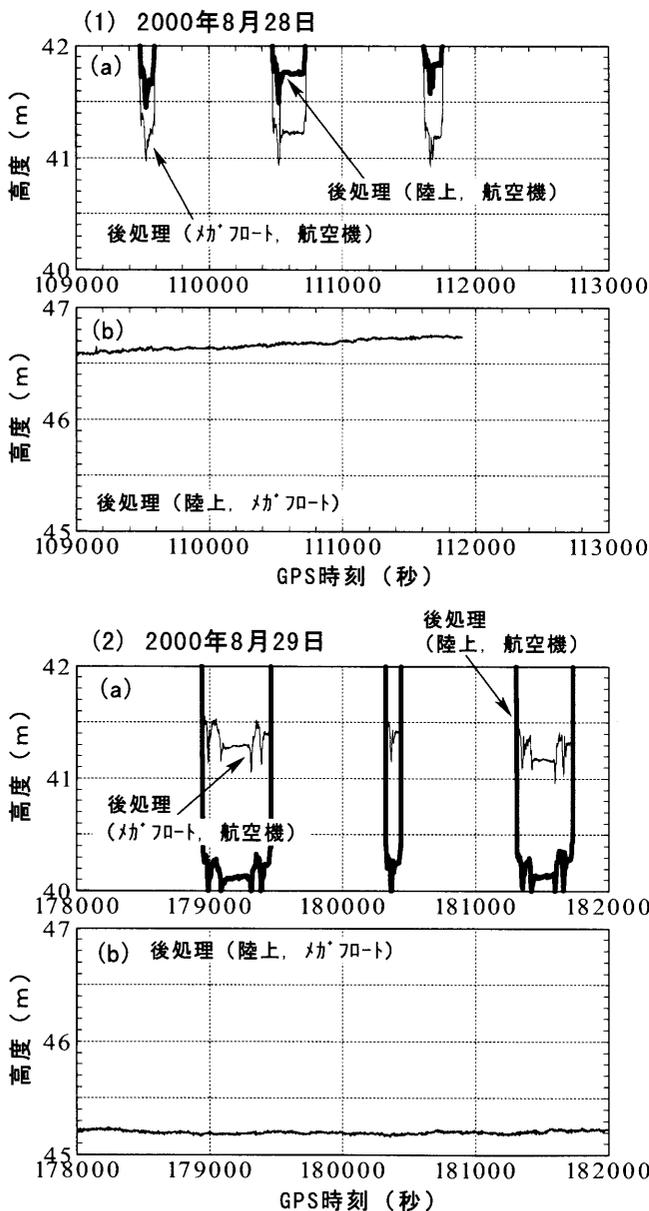


図4 潮位による高度への影響

位が10m下がった状態をGBASで模擬しており、DGPS誤差も10mより小さいのでGBASによって補正されることが確認できる。また、RTKについても潮位の変化が収束に影響しないか確認できる。

したがって、実験では測位モードがDGPSとRTKおよび基準局の高さ設定データが通常の場合と10mずらした場合の4通りの組み合わせについてデータを収集した。

5. 実験結果

5.1 相対測位の効果

飛行実験は2000年8月22日から9月6日まで行った。実験用航空機操縦席から見たメガフロート空港の写真を図3に示す。飛行実験期間中の潮汐モデルによる計算結果ではメガフロートの高さは約1.8mの変化があった。

相対測位の効果を確認するため、着陸する航空機のGPSによる高さを受信機Bの後処理KGPSによる陸上を基準とした場合と、メガフロートを基準とした場合の測位結果を図4に示す。

図4(1)は8月28日、(2)は8月29日の実験結果を示す。(1)、(2)共に(a)図はメガフロートに3回着陸した様子を示す。後処理(陸上, 航空機)のプロットは、陸上のGPS基準局による測位結果であり、地球を基準としたGPSにおける通常の地球座標系(WGS-84)である。地球座標系の高度は、海面の平均水面を基準とした標高と異なる。後処理(メガフロート, 航空機)のプロットは、メガフロート上のGPSを基準とした測位結果であり、メガフロートの潮位による変化分だけ上下に変動するメガフロートの局所座標系である。(b)図は、潮位によって変動するメガフロートの同時刻の高さをみるため、陸上を基準としたメガフロートの高さを示す。

上記の結果から、航空機が着地しているときの陸上を基準とした高さは潮位に従って変動するが、メガフロートを基準とした高さは相対測位の効果によって、楕円体高でほぼ41.2mと一定の高さになっていることが確認された。

5.2 測位モードによる結果

着陸した時の複数回の飛行データを、重ねて設定状態ごとにプロットした結果を図5に示す。DGPS測位モードを(a)図、2周波RTK測位モードを(b)図に示す。これらの図は航空機の垂直方向

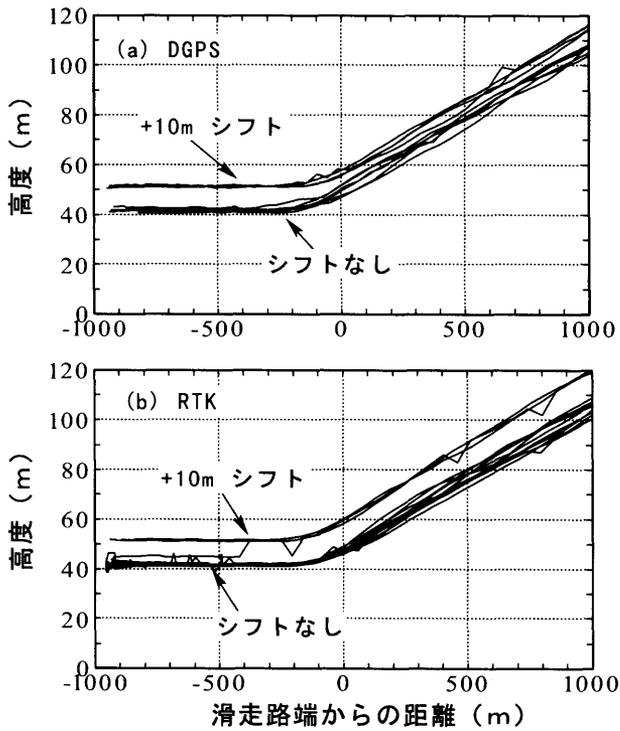


図5 進入コース1000m以内の航空機の軌跡

のパスの軌跡を示す。理想的な設定コースからの変位は、GPSの誤差とGPSの指示に合わせて飛行する操縦士の操縦誤差の合成であるが、特に遠方から進入しコースに乗るまでは操縦誤差が大きい。GPS誤差はDGPSの覆域内では距離に関わらず数m以内である。

DGPSでは高さ方向のばらつきは±1m程度である。高精度と言われているRTKの場合でも、運用においてはGBASの覆域に入ってから飛行中に初期化を行う必要がある。今回使用した2周波RTK-GPS受信機では、着陸までに収束しない場合の方が多く、収束中のデータはDGPSと比べて誤差の改善は少なかった。

今回の飛行実験の主目的はGBASの相対測位の確認である。以上の実験結果において、DGPSとRTKにおける基準局設定データを+10mシフトした場合には、航空機の高さの測位が+10mシフトした結果となることが確認された。これは、GPSの測位が基準局と相対的な測位となっていることを示す。メガフロート空港が潮位の変化によって上下に動いてもGBASの座標系はメガフロートと共に動く局所的な座標系となるため、設定した進入パスもメガフロートと共に同じように動き、相対的な位置関係には影響がないといえる。

6. まとめ

今回実験した基準局をメガフロート空港モデル上に設置する方法は、浮体を基準とした局所的な座標を使用する方式である。この方式は、地上装置及び航空機側の装置が陸上空港に着陸する場合と同様で、機上システムは一般の陸上空港で使うものがそのまま使え、互換性の点で優れており、地上システムも塩害対策等を考慮する程度でコストは特に増加することはない。

実験では高さが潮位によって変化しても相対測位の効果により陸上空港と同様にDGPSによる着陸できることが確認された。ただし、GBASによる高さは潮位の変化による変動分だけSBAS等の他の座標系の高さとの差が生ずるため、航空路でSBASを使用しメガフロート空港のGBASへ切り替える場合はその許容誤差が十分大きいところで行うなど考慮する必要がある。

謝辞

最後に、本研究にご協力いただいたメガフロート技術研究組合ならびに当研究所の岩沼分室の関係各位に感謝いたします。

参考文献

- [1] ICAO AWOP, "Draft manual on Required Navigation Performance(RNP) for approach landing and departure operation", ICAO, Montreal, 1997
- [2] 朝倉道弘, 田嶋裕久, 松本千秋, "DGPS進入着陸飛行実験による航法精度の検討," 第30回電子研発表会, PP. 9-12, 1998
- [3] 田嶋裕久, 朝倉道弘, 松本千秋, "DGPS進入着陸飛行実験による航法性能要件の検討," 信学会(B), Vol. J83-B, No. 8, pp. 1186-1194, Aug. 2000.
- [4] 横山尚志, "メガフロート空港面構造によるGP特性への影響," 第32回電子研発表会, PP. 37-40, 2000