

20. 新石垣空港におけるVDBの覆域評価

航法システム領域 ※毛塚 敦，齋藤 享，吉原 貴之

1 はじめに

電子航法研究所では、GBAS (Ground-Based Augmentation System:地上型衛星航法補強システム)の開発を行ってきており、カテゴリⅢ着陸に対応したGBAS (GAST-D)の実験用プロトタイプを新石垣空港に設置した[1]。本システムでは、地上に設置されたVDB (VHF Data Broadcast)送信機により、機体に対してDGPS補正值、インテグリティ情報、進入経路情報を送信する。GBASカテゴリⅡ &Ⅲ Development Baseline SARPs[2]によると、CAT-Ⅲでは、オートランドとロールアウトをサポートするため、滑走路においてもVDBの覆域を形成する必要があり、12ftの高さにおいて-72dBmの電界強度が要求されている。また、機体アンテナがランディングギア付近に取り付けられる場合を考慮し、同等の電界強度を8ftにおいて実現することも検討されていた。さらに、ICAO NSPのWGW(国際民間航空機関 航法システムパネル 統括ワーキンググループ)では、滑走路上のVDBリンクバジレットの変更が承認され、垂直尾翼のVORアンテナの使用を考慮し、滑走路36ftにて-62dBmの電界強度の要求が追加された。これらの覆域要件に対して、石垣空港に設置したGBAS VDBの滑走路上覆域の性能を実験およびシミュレーションにより調査したので報告する。

2 GAST-D プロトタイプにおけるVDB設置位置

新石垣空港に設置したVDBアンテナは、図1(a)に示すように3段スタックで構成されており、各素子は水平偏波で放射する。そして、図1(b)に示すように、通信鉄塔に設置されており、中央の素子の高さは地上約20mとなる。新石垣空港におけるVDBアンテナの設置位置を図2に示す。通信鉄塔は、空港の制限エリア外に設置されており、エプロンエリアに比べてかなり低い位置となる。このため、VDBアンテナは鉄塔

上部に取り付けられているものの、エプロンエリアに対するVDBアンテナの相対的な高さは6m程度であると考えられる。

滑走路全域を考慮すると、VDBアンテナと航空機機体のアンテナとの間の距離は通常長くなる。このため、VDBアンテナが低所に取り付けられた場合、地面反射波の地面への入射角は極めて大きくなる。図3に示す地面反射モデルを用いて、機体アンテナが12ft、VDBアンテナが6mの位置に取り付けられた場合の入射角を図4に示す。これより、VDBアンテナから最も近いRWY04端においても、入射角が89°以上になることが分かる。この場合、半径係数はほぼ1となり、完全反射に近くなる。さらに、水平偏波であるために、反射点において位相が反転する。VDBアンテナ高および機体アンテナ高が10m程度以下であるに対し、VDBと機体間の距離は2000m程度離れているため、直接波と地面反射波の光路長に差が付きにくい。すなわち、VDBアンテナからの直接波と地面反射波が同振幅・逆相となるため、地面反射波により大きく減衰してしまう。これは、VDBを低い位置に取り付ける際の問題点である。図3のモデルを用い、滑走路全域における地面反射による減衰量を計



(a) アンテナ素子

(b) 通信鉄塔

図1 VDBアンテナ設置位置

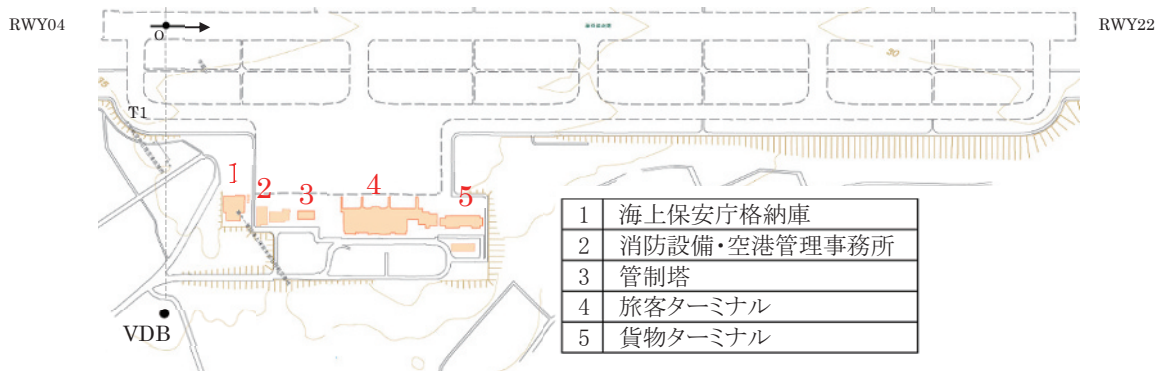


図2 新石垣空港におけるVDBの設置状況

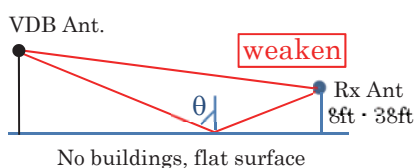


図3 地面反射による減衰計算モデル

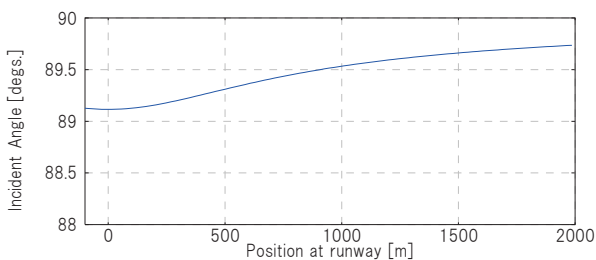


図4 入射角

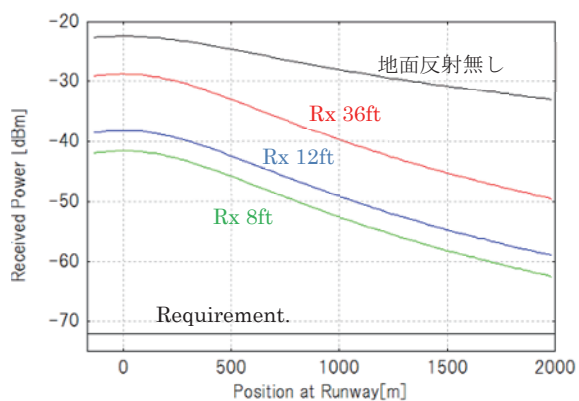


図5 地面反射による影響

算した結果を図5に示す。なお、反射点に対するVDBアンテナの高さは6mとした。図5より、地面反射がない場合に比べ、機体アンテナ高が低いほど減衰することが分かる。また、VDBアンテナと機体アンテナ間の距離が長くなるほど減衰量も増大する。これは、直接波と地面反射波の光路長に差がつかなくなるためである。た

だし、機体アンテナ高が最も低い8ftの場合においても、滑走路全域にわたって-72dBm以上の受信電力が得られている。すなわち、図2に示す設置位置において、覆域要件を満足していることが分かる。

建物が存在しない場合には、覆域要件を満足できるが、本プロトタイプ設置環境では、VDBと滑走路の間に様々な建物がある。海上保安庁の格納庫、消防施設・空港管理事務所、管制塔、旅客ターミナル、貨物ターミナルがVDBと滑走路の間に存在するため、VDBアンテナから機体アンテナを直接見通せなくなる。しかし、大規模空港に設置の際には建物による影響が少なからず発生し、また、本実験はプロトタイプであるために設置位置に制約があることを考慮すると、覆域形成において建物の影響が問題となることが予想されたものの、VDBの設置位置は図2のままとし、滑走路上の覆域の実現性能を詳細に検証した。

3 車両走行による覆域確認実験

滑走路上の覆域性能を評価するために、実験用車両を用いて電界強度測定を行った。車体に取り付けるアンテナ高が低い場合でも車体の影響を小さくするために、ステーションワゴンを使用した。測定車両のセットアップを図6に示す。車体ルーフ上にV字ダイポールアンテナを設置し、アンテナ高が8ftおよび12ftとなるように調整した。なお、V字アンテナ指向性は、図7で示すように方向により6dB弱の変動を生じるが、車両の向きによって測定値を補正している。また、GPSアンテナをルーフに設置し、車体の

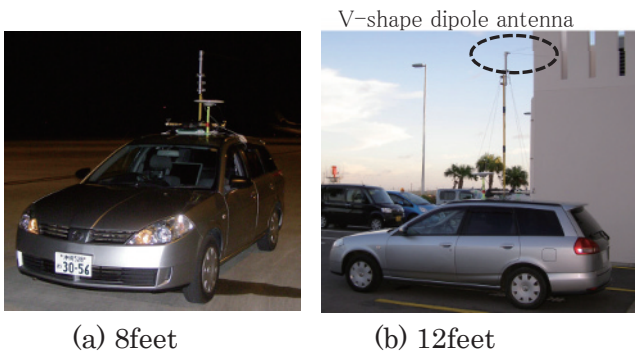


図6 測定車両

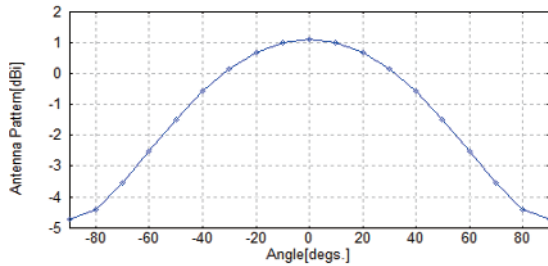
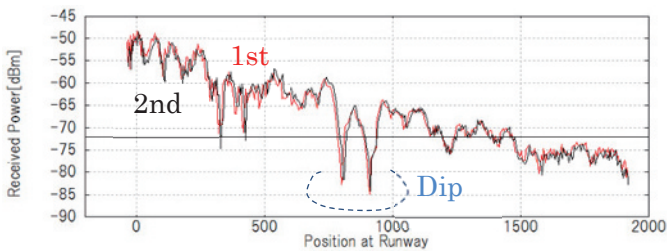
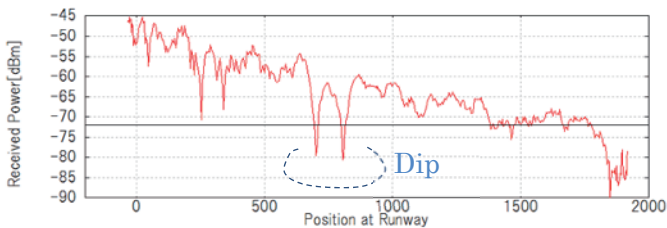


図7 V字ダイポール指向性

位置情報も計測している。測定結果を図8に示す。図8(a)はアンテナ高を8ftとして測定した場合の結果であり、誘導路T1から滑走路に進入し、04端から22端で1回目の電界強度測定を行い、22端でUターンをした後に22端から04端へ2回目の測定を行った結果である。また、図8(b)はアンテナ高を12ftとした場合であり、誘導路T1から滑走路に進入し、04端から22端で測定した結果である。図8(a)の結果より、1



(a) 8feet



(b) 12feet

図8 電界強度測定結果

回目と2回目の測定結果が極めて一致していることから、測定の再現性が得られていることが分かる。また、図8(a)(b)より、8ftと12ft双方において、対になる大きな落ち込み(Dip)が発生していることが分かる。これら落ち込みの発生は、滑走路上の覆域形成において課題となるものと考えられる。なお、22端側で覆域要件である-72dBmを満足していない部分もあるが、VDBアンテナ設置位置の変更により解決できるものと考えられる。

4 電磁界シミュレーションによる落ち込み要因の分析

車両走行実験において発生した滑走路電界強度の落ち込みの原因明らかにするため、電磁界解析によるシミュレーションを実施した。なお、電磁界解析にはレイトレース法を採用している Raplab[3]を用いた。本シミュレータは、Sketchup[4]を用いて、直観的な操作により地図等から建物の3次元モデリングが可能である。レイトレース法は、多重波伝搬を幾何光学的な光線の追跡により表現する。アンテナから出射した光線が反射・回折などの散乱を繰り返し受けて受信点に到達する過程をシミュレーションする。すなわち、図9に示すような建物による反射波や回折波を考慮してVDBアンテナから放射された電波による滑走路面上の受信強度分布の計算が可能である。

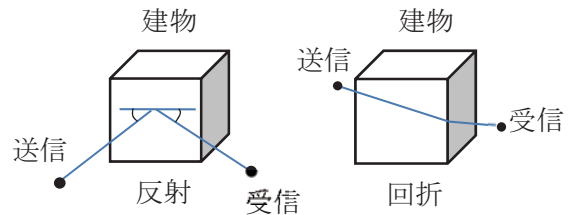
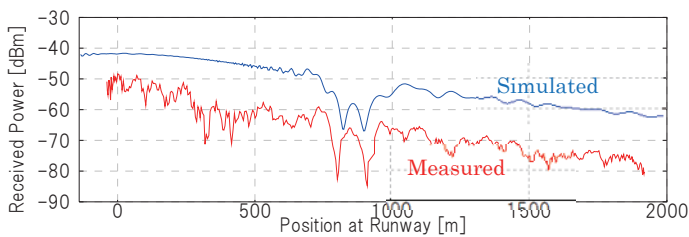
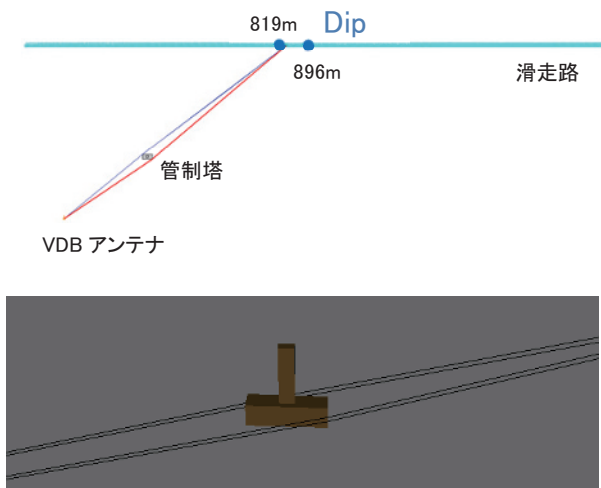


図9 建物による反射・回折

VDBアンテナと滑走路の間に存在する建物を個々にモデル化し、滑走路上の受信強度分布を計算した。図10(a)に、管制塔のみをモデリングした場合の滑走路面8ftの受信電力分布を示す。また、図10(b)にその場合の各光線を示す。図10(a)より、測定結果と同じ位置において対となる大きな落ち込みが発生していることが分



(a) 滑走上電界分布と測定結果の比較(8ft)



(b) 光線群

図 10 管制塔のみ考慮した場合のシミュレーション結果

かる。すなわち、滑走路中央の大きな落ち込みは管制塔による回折波が原因であると言える。そして、図 9(b)より、落ち込みの発生は、管制塔壁面エッジの両サイドを通る回折波の位相関係によって発生していることが分かる。

なお、滑走路全域に渡り、測定値に比べてシミュレーション値が高いが、他の建物等をモデリングしていないためであると考えられる。

5 まとめと課題

新石垣空港に設置したGBAS (GAST-D) のVDBの覆域に関して車両実験とシミュレーションにより評価した。VDBを低所に設置する際、地面反射による減衰が問題となることを定量的に示した。また、車両走行実験により、滑走路電界強度に対となる大きな落ち込みが発生していることが分かった。その原因を電磁界シミュレーションにより明らかにし、建物による遮蔽で生じる回折波が原因であることを示した。

今後は、シミュレーションによる検討を進め、高精度計算アルゴリズムの立案や実験値との比較によりシミュレーションの精度を高め、さらには空港を構成する各要素が滑走路上の覆域形成に与える影響を明らかにし、GBAS設置時ににおけるVDBの最適位置の検討に役立てる。

参考文献

- [1] 吉原 他, “カテゴリ III GBAS地上装置のプリとタイプ開発”, 第14回電子航法研究所研究発表会講演概要 16, 平成26年6月6日
- [2] T. Murphy and S. Naerlich, “Development Baseline SARP’s Proposal,” ICAO NSP WG, 17-28th May 2010
- [3] <http://network.kke.co.jp/products/raplab/>
- [4] <http://www.sketchup.com/>
- [5] A. Kezuka, S. Saito, T. Yoshihara, “VDB Coverage measurement at New Ishigaki Airport”, ICAO NSP WG1&2/5/IP8, 29th Sep. - 9th Oct. 2014
- [6] A. Kezuka, S. Saito, T. Yoshihara, “Analysis of VDB signal power above runway surface at New Ishigaki Airport”, ICAO NSP CSG IP, 16-20th Feb. 2015

謝辞

本研究を進めるにあたり、実験およびシミュレーションにて多大なご支援を頂きました国土交通省航空局、新石垣空港管理事務所、海上保安庁石垣航空基地の関係各位に深く感謝申し上げます。