

9. 空港面における AeroMACS 信号品質の評価

監視通信領域 ※金田 直樹, 住谷 泰人, 米本 成人, 河村 暁子, ニッ森 俊一,
本田 純一, 岡田 国雄, 塩地 誠

1. はじめに

将来の航空交通量の増大に対応するため、空港面の航空用高速デジタル通信システムとして、Aeronautical Mobile Airport Communication System (AeroMACS) が、国際民間航空機関 (ICAO) にて検討されている。AeroMACS は出力最大 1W, 5091 MHz から 5150 MHz までの周波数で Worldwide Interoperability for Microwave Access (WiMAX) 技術を用いた通信システムである。AeroMACS では覆域の欠損がなく十分な性能が得られるよう設計するため、基地局 1 局の覆域と性能を調べる必要がある。

本報告では、AeroMACS 試験信号を用いた仙台空港の実験結果を報告する。測定の結果、覆域の欠損が見つかったため、コンピュータシミュレーションと空港面探知レーダを用いて解析した。さらに、基地局の位置を変更したコンピュータシミュレーションによる改善策を述べる。

2. 実験条件

2.1 システム構成

仙台空港にて実施した実験機材の概要を図 1 に示す。送信システムは送信アンテナと送信機から成る。送信アンテナは仙台空港に隣接する当所岩沼分室の高さ約 30m の鉄塔上に、送信機は送信アンテナ直下の庁舎に設置する。受信システムは受信アンテナと受信機から成る。受信アンテナは測定車上のグランドプレーン上に、受信機は測定車内に設置する。測定車を場周道路、誘導路、滑走路内で時速約 30km/h で走行させながら、約 4 秒間隔で受信する。

2.2 送信システム

送信システム (Tx) は送信部と送信アンテナ Moxa ANT-WSB5-ANF-12 より成る。送信機の構成を図 2 に示す。送信機は信号発生器、増幅器、フィルタ及びアイソレータから成る。信



図 1 送信システムおよび受信システムの設置状況

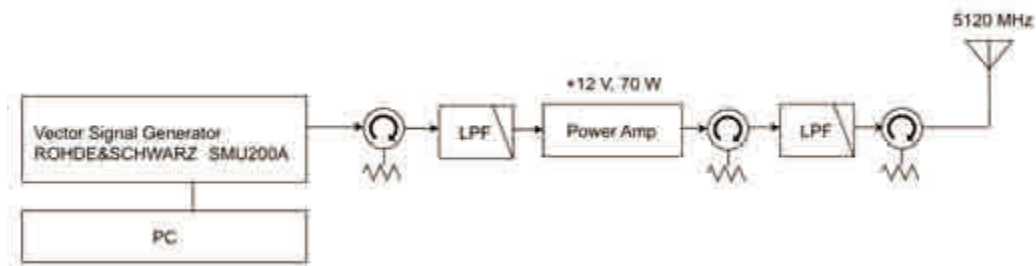


図 2 送信部構成図



図 3 送信アンテナ設置状況

号発生器は中心周波数 5120 MHz、帯域幅 5 MHz のモバイル WiMAX（IEEE 802.16e-2005）に準拠した試験信号を生成する。それを増幅器で約 1W まで増幅し出力する。フィルタはスプリアス除去、アイソレータは各回路保護のため適宜挿入した図 3 に送信アンテナの設置状況を示す。仙台空港の両滑走路を見渡せるよう北西の角の支柱に固定した。

今回使用したアンテナは 5GHz 帯無線 LAN 用であるため、本来適用される周波数は異なる。よって、事前に電波無響室にて 5090MHz から 5150MHz までアンテナ放射特性を測定した。垂直方向の放射特性測定結果を図 4 に示す。なお、水平方向の放射特性は無指向性である。垂直方向では 4 度下向きで、10 度の半値幅であった。また、5120MHz における利得の実測値は 9dBi である。

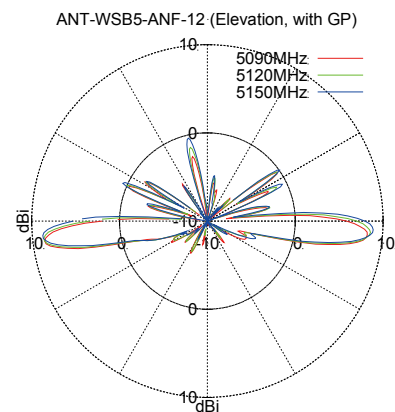


図 4 送信アンテナ垂直方向放射パターン



図 5 受信および GPS アンテナ設置状況

2.3 受信システム

受信システム (Rx) は受信アンテナ Sensor Systems 製 S65-5366-4M と受信機より成る。受信アンテナは航空機のマイクロ波着陸装置 (MLS) 用のアンテナである。受信アンテナの設置状況を図 5 に示す。測定車上にグラウンドプレーンを置き、その上に受信アンテナと GPS 外部アンテナを設置した。受信アンテナも同様に 5090MHz から 5150MHz までアンテナ放射特性を測定した。垂直方向の放射特性測定結果を図 6 に示す。

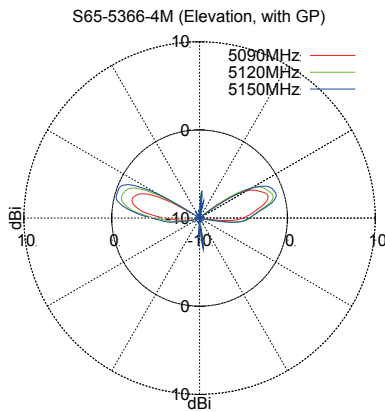


図 6 受信アンテナ垂直方向放射パターン

本アンテナは航空機に装備して使用するため、グランドプレーンを取り付けてアンテナ放射特性を測定した。なお、水平方向の放射特性は無指向性である。垂直方向では17度上向きで、32度の半値幅であった。5120MHzにおける利得の実測値は0dBiである。受信部の構成を図7に示す。受信部はバンドパスフィルタ、増幅器、シグナルアナライザ、解析用PC、およびGPS受信機から成る。周波数の異なる信号を除去するためバンドパスフィルタを、微弱な受信信号を増幅するため、2段の増幅器を挿入した。増幅器の合成利得は46dBである。シグナルアナライザはAgilent N9020Aを用いて、復調したIQ信号データをLAN経由でPCに取り込む。ベクトル信号解析ソフトウェアAgilent 89600-B7Yを用いて、AeroMACS信号の品質を約4秒間隔で解析・記録する。今回は測定車を移動させながら測定するため、GPS受信機（ニコントリブル GeoExplorer 6000）で時刻および位置を取得した。

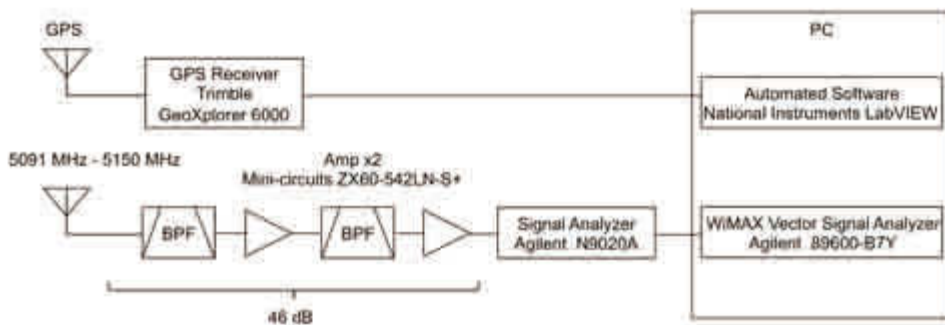


図 7 受信部構成図

3. 実験結果

受信信号の品質を評価するため、仙台空港における AeroMACS 試験信号の受信信号強度 (Received Signal Strength Indicator, RSSI) と変調精度 (Relative Constellation Error, RCE) を測定した。まず、GPS 位置情報をもとに、その場所で観測された RSSI を図 8 に示す。航空写真上に、RSSI を大きい順に赤、黄、緑、青に色分けし表示した。送信システムの設置場所は図 8 上では矢印の先端となる。

赤は半径約 500m、黄は半径約 1km の範囲で分布している。送信システムから最も離れた場所でも緑の点が分布している。これより出力 1W の基地局 1 局で中規模の空港に対し十分な RSSI が得られることが示された。しかし、RSSI が低く通信が見込めない青い点が主に西側およびターミナルビル周辺に分布している。

次に、同様に観測された RCE を図 9 に示す。RCE も同様に誤差が少ないほうから赤、黄、緑、青に色分けし表示した。

赤は 64QAM、黄は 16QAM、緑は QPSK による通信が期待できる場所である。また青は誤差が大きいため通信が期待できない場所、黒は誤差のデータが得られなかった場所である。受信信号が大きすぎるとき、正確な RCE が算出できないため、図 9 から除外した。図 8 と同様に、空港西側およびターミナルビル付近で条件が悪いことがわかる。よって、RSSI が劣化している場所と RCE が劣化している場所には相関関係があり、覆域が欠損することが想定される。RSSI が十分な場所においては良好な RCE が得られていることから、出力 1W の基地局 1 局で十分な通信性能を得られることがわかった。

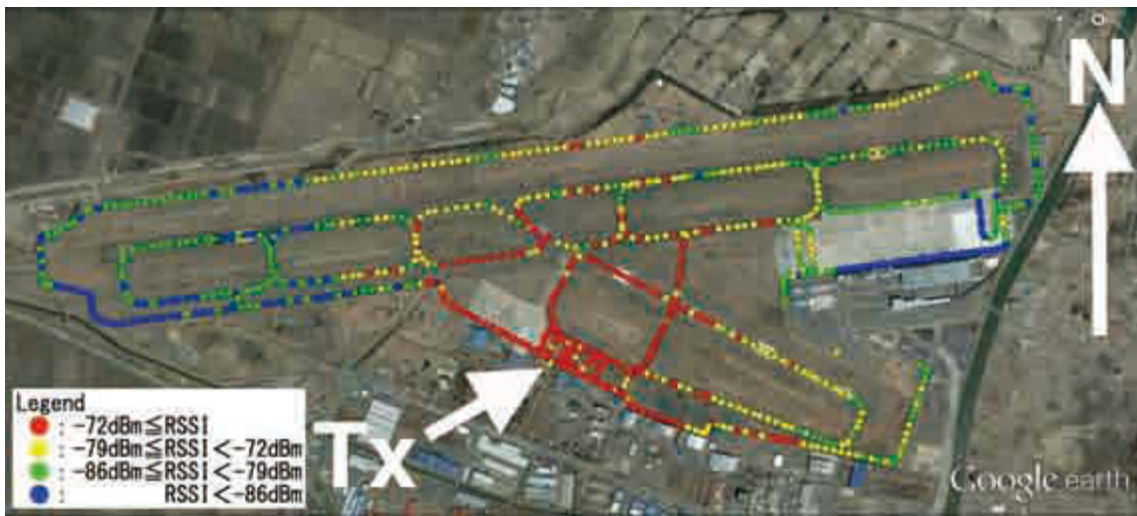


図 8 RSSI の測定結果



図 9 RCE の測定結果

4. 解析および改善策の検討

先の実験結果において、覆域欠損をなくするためには、RSSI が十分に大きくなるよう送信機を設置することが好ましい。本章では、RSSI 低下の原因を分析し、覆域欠損の改善策を検討する。

まず、空港周辺の建物等の影響を評価するため、レイトレーシング法による RSSI のコンピュータシミュレーションを行った。計算結果を図 10 に示す。RSSI の大きいほうから赤、黄、緑、青で示し、灰色はシミュレーションにて電

波の届かなかった場所である。シミュレーションと実験結果を比較する。シミュレーションでは建物の陰は RSSI が低く、実験結果でも同様の傾向がみられる。また、シミュレーションでは、RSSI の低い領域が同心円状にみられる。これは直接波と地面による反射波が干渉することにより発生するフェージングである。同様の現象が北側の場周道路や滑走路上の観測結果に表れている。

また、シミュレーションと実測を比較すると、空港西側では低い RSSI の領域が広く観測され

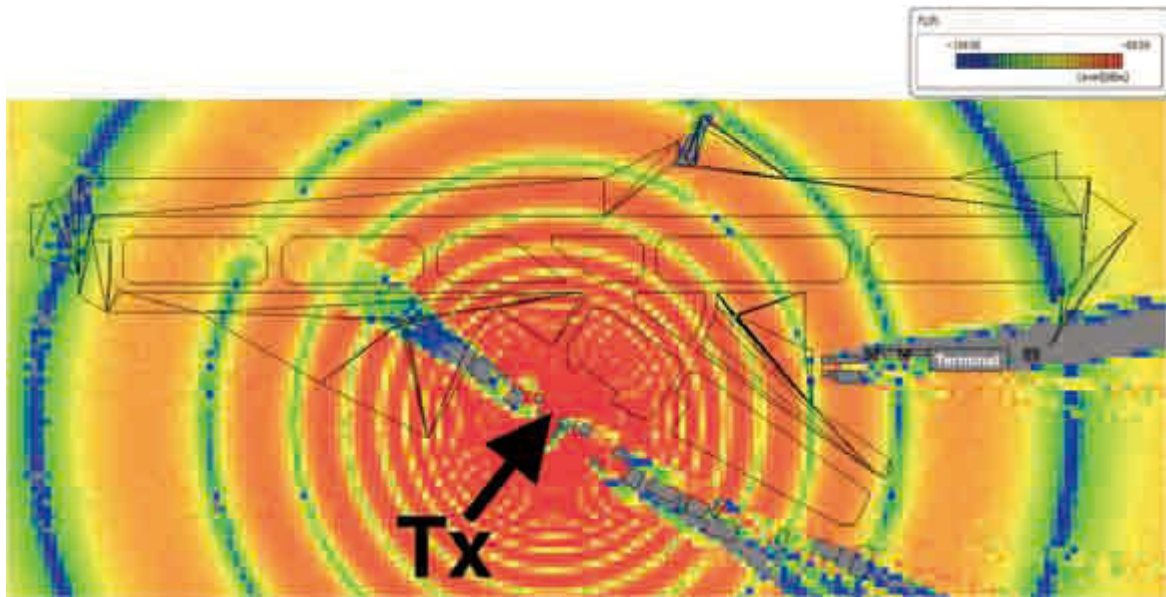


図 10 コンピュータシミュレーションによる RSSI の計算結果



図 11 岩沼分室の当所 ASDE 出力結果



図 12 アンテナ設置位置より西の方角の建物および樹木

た。この原因を探るため、送信アンテナに併設する空港面探知レーダ(ASDE)のデータを調べた。結果を図 11 に示す。ASDE の周波数は 24.5GHz である。このデータは生データをそのまま画像にしたものである。放射状に伸びる影がブラインドエリアを示しており、送信点から電波が届きにくい場所を示している。シミュレーションと比較すると、空港の西側により多くの影がみられる。鉄塔上部から西方向を撮影した写真を図 12 に示す。滑走路があるはずの西方向に建物といくつかの樹木が見える。これらの結果から樹木の影響で空港西側の RSSI が低くなると考えられる。

これらの結果を受け、覆域欠損の改善策について検討する。ターミナルビル、ILS GP 局舎、西側の対空送信所などいくつかの場所に基地局を設置した条件でシミュレーションを行った。消防庁舎付近 (ASR 隣の送信用鉄塔) に基地局を設置した場合のシミュレーション結果を図 13 に示す。図 13 は図 10 と同様、RSSI の大きいほうから赤、黄、緑、青で示し、灰色はシミュレーションにて電波の届かなかった場所である。地面反射によるフェージングは見られるが、おおむね空港面全域が覆域となった。これにより、消防庁舎付近に出力 1W の基地局 1 局を設置すれば、空港全体の RSSI が改善され、覆域欠損が解消できる。

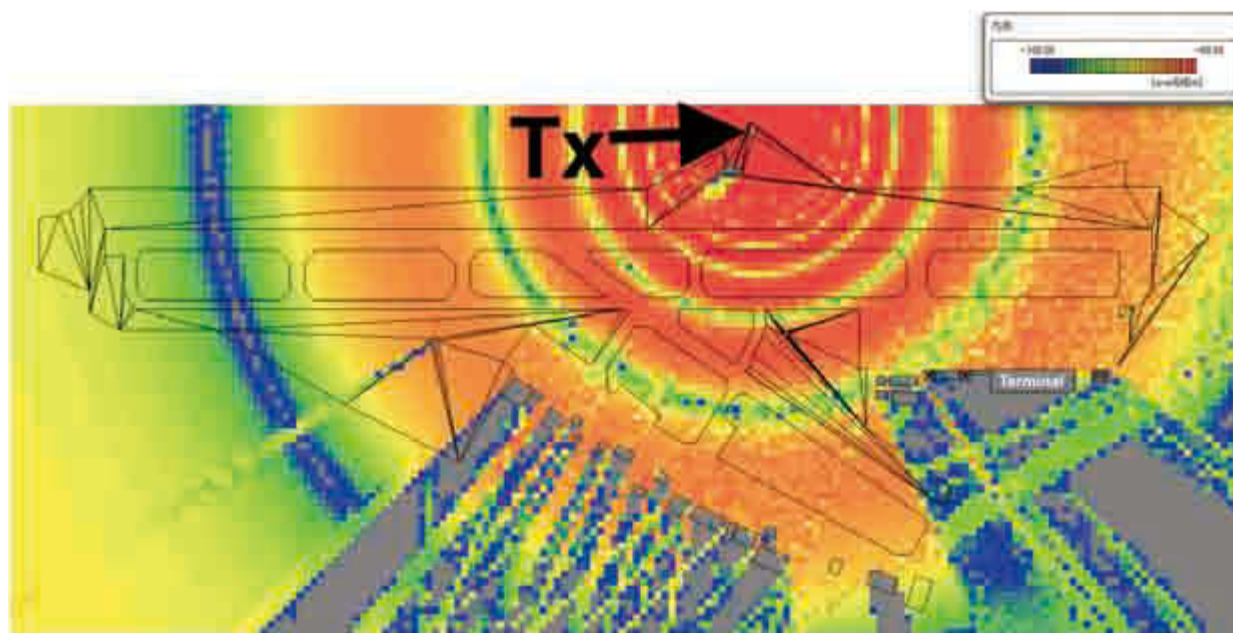


図 13 コンピュータシミュレーションによる RSSI の計算結果
[基地局を消防庁舎付近に設置した場合]

5. おわりに

仙台空港にて AeroMACS 試験信号を用いて、信号品質を評価した。出力 1W の信号を鉄塔上から送信し、測定車上の受信機で移動しながら受信した。場所によっては信号強度が低いことがわかった。信号強度が低い理由についてコンピュータシミュレーション及び空港面探知レーダの結果から分析した。その結果、信号強度の低い理由が地面反射によるフェージングと建物等による遮蔽の問題であることを明らかにした。最後に、コンピュータシミュレーションで基地局の場所を変更した結果、消防庁舎付近に設置すると空港全域の覆域欠損がほぼ解消できることを示した。今後、複数の送受信アンテナを同時に用いる、MIMO (Multiple-Input Multiple-Output) システムの通信評価を実施する予定である。

謝辞

実験にご協力いただきました国土交通省東京航空局仙台空港事務所関係各位に深く感謝いたします。

参考文献

- [1] B. Phillips and B. Pouzet., "Communications Operating Concept and Requirements," ICAO ACP #1, IP5, 2007.
- [2] ICAO, "Draft Report of ACP WG-S/2," ICAO ACP WG-S #2, 2012.
- [3] IEEE, IEEE Standard 802.16e-2005, 2005.
- [4] 金田, 住谷, 米本, 河村, ニッ森, 磯崎 "5GHz 帯の MIMO アンテナ配置と通信路容量," 第 12 回電子航法研究所研究発表会, 2012.