

## 20. AeroMACS の基地局配置及びハンドオーバーに関する検討

監視通信領域 ※森岡 和行，長縄 潤一，本田 純一，金田 直樹，ニッ森 俊一，河村 暁子，富田 武，米本 成人，住谷 泰人

### 1 はじめに

空港面における次世代の高速デジタル通信システムとして WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access)規格[1]をベースにした AeroMACS (Aeronautical Mobile Airport Communications System)の検討が行われている[2][3]。表1に AeroMACS 規格の概要を示す[4]。電子航法研究所では，将来の我が国航空安全通信分野における AeroMACS の導入を見据え，空港面における AeroMACS 試験信号の評価等，基礎検討を行った[5][6]。さらに，AeroMACS の実環境による性能評価を行うため，平成 26 年度には，弊所岩沼分室に AeroMACS プロトタイプシステムを構築し基本性能評価[7]を実施した。本稿では，平成 27 年度に実施した，基地局配置の検討及び基地局 2 台を用いてのハンドオーバーに関する基本性能評価の結果について報告する。

### 2 実験システム構成

図1に AeroMACS プロトタイプシステムの基地局(BS)構成の外観を示す。基地局及び中央装置を青色の測定車の中に設置した。本測定車は 10m まで延長可能なポールを備えており，ポールの先端に基地局用のコリニアアンテナを設置した。コリニアアンテナの利得は 11dBi である。基地局は 2 つの出力端子を備えており，出力電力はアンテナ 1，アンテナ 2 各々 0.2W である。また，基地局とアンテナ間のケーブルロス は 3dB である。中央装置(サーバ群)は，Home Agent (HA) サーバ，Authentication, Authorization and Accounting (AAA) サーバ，Access Service Network gateway (ASN-GW) サーバ，基地局管理サーバから構成されている。複数の基地局及び中央装置は全体として WiMAX Forum の規定する ASN プロファイル C に従って接続される。図2に移動局構成の外観を示す。移動端末(MS)

表1 AeroMACS 規格の概要

周波数	5030MHz ~ 5150MHz
複信方式	Time Division Duplex (TDD)
多重アクセス方式	Orthogonal Frequency Division Multiple Access (OFDMA)
チャンネル帯域幅	5MHz
変調・符号化方式	64QAM-3/4, 64QAM-2/3, 16QAM-3/4, 16QAM-1/2, QPSK-3/4, QPSK-1/2 (64QAM is optional for Mobile Station)

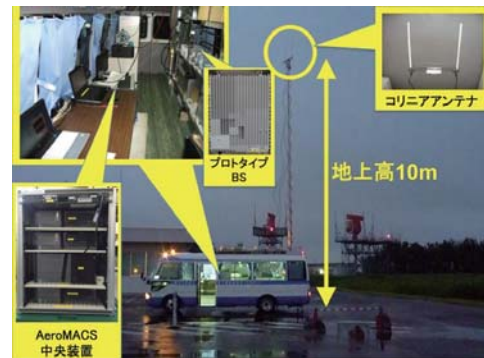


図1 基地局構成の外観



図2 移動局構成の外観

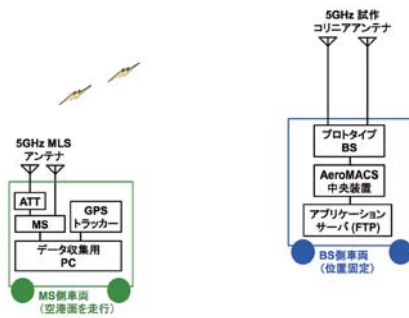


図3 ブロックダイアグラム

は緑色の測定車の中に設置され、測定車の天井に設置されたアンテナに接続されている。移動端末用アンテナは MLS (Microwave Landing System) 用の  $1/4 \lambda$  モノポールアンテナを用いている。MLS アンテナの利得は 0dBi である。また、MLS アンテナと移動端末用アンテナ端子までのケーブルロス は 3dB であり、さらに MLS アンテナと移動端末用アンテナ端子 1 の間には、スプリアスを減らすために、6dB のアッテネータを挿入している。

図 3 に実験システムのブロックダイアグラムを示す。本プロトタイプシステムは 5091MHz から 5150MHz の周波数で動作し、帯域幅は 5MHz である。物理レイヤと MAC レイヤの規格は、IEEE 802.16 (Mobile WiMAX)規格[1]に準拠している。移動端末は、測定用ノート PC にイーサネットケーブルで接続されている。通信速度の測定を行うために、測定用ノート PC と中央装置に接続されたアプリケーションサーバとの間で File Transfer Protocol (FTP) によるファイル転送を行った。空港内を走行しながらファイル転送を行い、1 秒おきに通信速度を取得した。同時に、GPS からの位置情報を取得し、各測定ポイントにおける通信速度を記録した。通信速度はダウンリンク(BS から MS)方向のみを測定した。

### 3 基地局配置に関する検討

実験では、移動端末を搭載した緑色の測定車にて通信速度を測定しながら場周道路及び、滑走路・誘導路を走行した。図 4 に平成 26 年度に実施した実験結果を示す。平成 26 年度には、



図4 平成 26 年度の通信速度実験結果 (弊所岩沼分室付近に BS を配置した場合)



図5 平成 27 年度の通信速度実験結果 (消防庁舎付近に BS を配置した場合)

基地局の位置を図 4 中の「BS」で示した位置に配置した。基地局用アンテナは約 30m の高さの鉄塔に取り付けた。赤色はスループットが 5Mbps 以上であった箇所を示している。また、青色はスループットが 1Mbps 未満であった箇所を示している。図より、基地局からブラインドエリアとなるターミナルエリア付近において通信速度が低速になるエリアが見られる[7]。この基地局配置において、5Mbps 以上の通信速度を達成できたのは、全体の 57.5%であったが、測定不可であった場所が全体の 4.5%であった。

図 5 に平成 27 年度に実施した実験結果を示す。平成 27 年度には、基地局を図 5 中の「BS」で示した消防庁舎エリア付近に配置した。基地局の配置をターミナルエリアから見通しのとれる位置へ配置することで、ターミナルエリアにおいても約 3Mbps 程度のスループットが実現できている様子が分かる。この基地局配置において、5Mbps 以上の通信速度を達成できたのは全体の 38.9%で、0.1Mbps 以上 1Mbps 未満の通信速度であった場所は全体の 2.3%であった。また、全体を通して測定不可能な場所

表 2 基地局配置によるカバーエリアの比較

通信速度 (Mbps)	平成 26 年度 (弊所岩沼分室付近に BS を配置)	平成 27 年度 (消防庁舎付近に BS を配置)
測定不可	4.5%	0.0%
0.1~1	0.0%	2.3%
1~3	14.5%	15.5%
3~5	23.5%	43.3%
5~	57.5%	38.9%

はなかった。表 2 に評価結果をまとめた。SD 画質(解像度 720x480 ピクセル)の動画ストリームを快適に見るためには 1Mbps~2.4Mbps 程度の伝送速度が必要である。表 2 より、消防庁舎付近に BS を配置することにより、ほとんどのエリアで 1Mbps の伝送速度が実現できることが分かる。仙台空港のような 3km 四方程度の中小規模空港では、適切に基地局を配置すれば、基地局 1 局で空港の全エリアをカバー可能であることが分かった。羽田空港のような大規模空港においては、基地局を 2 つ以上配置する必要がある。そこで次節において基地局を 2 つ配置した場合のハンドオーバーに関する基本性能評価結果を示す。

#### 4 ハンドオーバーに関する検討

本節では、基地局 2 つを用いたハンドオーバーに関する基本性能評価結果を紹介する。本評価の詳細については文献[8]で詳しく述べられている。図 6 にハンドオーバー試験の概要を示した。本試験では BS1 を弊所岩沼分室の 30m 鉄塔上に配置し、BS2 を図 1 に示した青色の測定車にて仙台空港の西端付近に配置した。図 6 に示した誘導路にて、東から西方向と西から東方向へ移動することでハンドオーバーを発生させ、その際の RSSI (Received Signal Strength Indicator)や RTT (Round Trip Time)を測定した。

図 7 にハンドオーバー時の RSSI を示す。図 7 の青色で示した点線は、BS1 のみを用いた場合の RSSI を、赤色で示した点線は、BS2 のみを用いた場合の RSSI を表している。また、青い丸で示した箇所は両 BS 使用時に BS1 に接続されていたことを、赤い×印で示された箇所は BS2

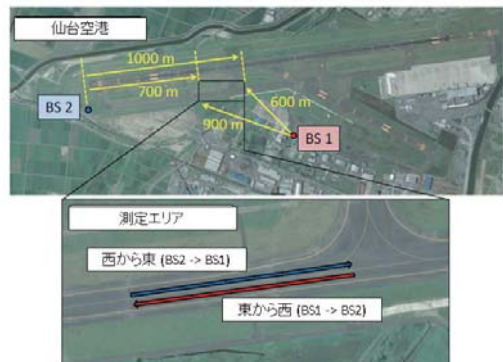


図 6 ハンドオーバー試験の概要

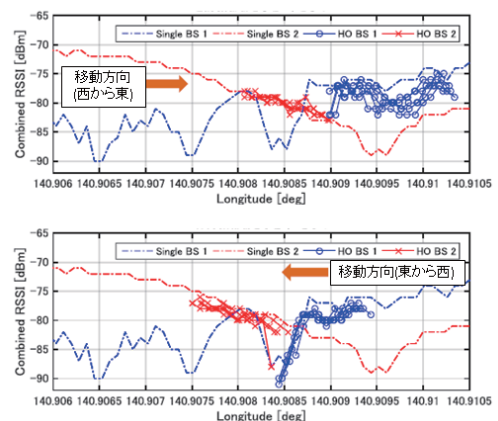


図 7 ハンドオーバー時の RSSI

に接続されていたことを表している。また、上側の図は西から東へ移動した場合の結果を示し、下側の図は東から西へ移動した場合の結果を示している。図 7 より、おおよそ RSSI が入れ替わるポイントにおいてハンドオーバーが発生している様子が分かり、有効にハンドオーバー機能が実現できていることが分かる。

表 3 にハンドオーバー時の RTT 評価結果をまとめた。ハンドオーバー試験は、移動端末に接続されたクライアント PC から、中央装置に接続されたサーバ PC へ ping を送信しながら走行し、ハンドオーバーが発生した際の RTT とタイムアウト回数を測定した。時速 30km で走行した場合と時速 60km で走行した場合について評価を行った。

表 3 より、東から西方向への移動では、RTT が約 500ms~700ms かかる場合があるのに対し、

表3 ハンドオーバー時 RTT 評価結果

東から西方向へ移動			
30km/h		60km/h	
Max RTT [ms]	Timeout	Max RTT [ms]	Timeout
494	0	173	1
170	1	194	1
358	1	398	1
133	2	668	1
787	1	513	1
西から東方向へ移動			
30km/h		60km/h	
Max RTT [ms]	Timeout	Max RTT [ms]	Timeout
144	1	168	0
162	1	199	0
224	1	128	1
159	1	179	1
133	1	198	0

西から東方向へは約 100~200ms 程度で安定していることが分かる。これは、図7の下図から分かるように、東から西への移動では、ハンドオーバー後の RSSI が大きく変動し、安定していないためと考えられる。伝搬環境の詳細な解析については文献[8]を参照されたい。

## 5 おわりに

本報告では、AeroMACS プロトタイプシステムを用いた基地局配置の検討及び、ハンドオーバーの基本性能評価結果について報告を行った。実験結果を解析したところ、3km 四方程度の中小規模空港であれば、適切に基地局を配置することにより、基地局1局で空港全体をカバー可能であることが分かった。また、ハンドオーバーについても有効に機能することが分かった。

## 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] IEEE std 802.16-2009, May 2009.
- [2] G. Bartoli, R. Fantacci and D. Marabissi, "AeroMACS: A New Perspective for Mobile Airport Communications and Services," IEEE Wireless Communications Vol. 20, pp. 44-50, Dec 2013.
- [3] "Communications Operating Concept and Requirements," ICAO Aeronautical Communications Panel #1, Information Paper 5, Oct 2007.
- [4] "Proposals to Amend ANNEX 10 Volume III Concerning AeroMACS," ICAO Communications Communications Panel #1, Working Paper 3, Dec 2014.
- [5] 森岡, 金田, ニッ森, 本田, 河村, 米本, 住谷, "実環境下における AeroMACS 試験信号解析", 電子航法研究所研究発表会 (第13回), pp.31-34, 2014年6月.
- [6] K.Morioka, N.Kanada, S.Futatsumori, J.Honda, A.Kohmura, N.Yonemoto, Y.Sumiya and D.Asano, "EVM and BER Evaluation of C band New Airport Surface Communication Systems", IEEE International Workshop on Antenna Technology 2014 (iWAT2014), Sydney, Australia, 2014.
- [7] 森岡, 金田, ニッ森, 河村, 富田, 米本, 住谷, "AeroMACS プロトタイプシステムの基本性能評価", 電子航法研究所研究発表会 (第14回), pp.31-34, 2015年6月.
- [8] J.Naganawa, K.Morioka, N.Kanada, J.Honda, T.Tomita, H.Tajima, S.Futatsumori, A.Kohmura, N.Yonemoto, and Y.Sumiya, "An Experimental Evaluation on Handover Performance of AeroMACS Prototype", Proc.of. Integrated Communication, Navigation, and Surveillance Conference (ICNS) 2016.