

## WiMAXを用いた時刻表転送機能の開発



辺田 文彦\*



相馬 真\*\*



茂木 重満\*\*\*



長澤 巖自郎\*

輸送混乱時の運転整理に伴う乗務列車の変更の際、乗務員へ担当する列車の時刻表をFAXで送信し、手渡している。その運用変更に伴う乗務員への変更伝達作業を軽減、迅速化することを目的とし、昨年度まではWiMAXを用いた時刻表転送機能の開発、一つのWiMAX装置で複数のアプリケーションデータを送信するトンネリング機能を開発し、正常に機能することが確認できた。また、取扱い面での確認試験として、WiMAXによるデータの転送速度と運転台モニタへの時刻表表示時間が、現行のICカードのデータ挿入から画面への表示時間とほぼ同等であることが確認できた。今年度以降は、実用時の車両搭載アンテナの選定、開発機能のフィールド試験を実施していく。

●キーワード：乗務員運用、運用整理、時刻表、WiMAX、TIMS

### 1. はじめに

事故や災害などの輸送混乱が生じた場合、列車の遅延や運休に伴い、当初予定されていた列車や乗務員の運用を変更することがある。(駅到着場面にて計画と異なる列車に折返変更する等) このとき乗務員は、自分が本来乗務するはずではなかった列車に乗務しなければならないが、乗務員は本来乗務する列車以外の時刻表を携帯していない。

時刻表には時刻だけでなく、編成両数、動力車の数、注意事項など、列車を運転するうえで必要となるさまざまな情報が記載されている為、時刻表無しで列車を運転することはできない。(一部の特定線区を除く)

そのため乗務員は、乗務列車が変更となった場合は、これから乗務する列車の時刻表を必ず入手しなければならない。

現在乗務員は、駅員や乗務員区所の当直を介して手渡しで時刻表を入手している。しかし、時刻表は元々乗務する計画であった乗務員の乗務員区でのみ管理されているため、乗務員が出先で時刻表を受け取る場合は、FAX送信と、電話による送信打合わせ、送達確認を行い、そこにまた駅社員が中継を行わなければならないので、非常に手間と人手のかかる作業となっている。このため、時刻表を入手するまでに時間がかかり、場合によっては発車時刻に車両と乗務員はそろったのだが、時刻表が届かない為発車できないという事態も稀に発生している。

異常時の輸送混乱を早期に収束させるためには、的確な運用整理を素早く行うこともあるが、計画された運用整理を迅速に伝達し実施する手法の構築も重要である。

### 2. 開発の目的

JR東日本研究開発センター先端鉄道システム開発センター輸送システムグループでは、輸送混乱時における乗務員の運用整理を支援する「乗務員運用整理支援システム」の開発を進めている。本システムでは、乗務員の位置把握および情報伝達の機器として携帯型端末(PDA)を用いている。乗務員が運用変更により予定と異なる列車に乗務する場合には、乗務員一人一人が携帯するPDAに時刻表を、携帯電話回線を使用しダウンロード、そのデータを運転台に搭載した無線LANアクセスポイントを経由し運転台モニタ装置(TIMs)に転送、表示する機能(無線LAN方式による時刻表転送機能)を2004年度に開発した。

その後、無線技術の向上を受け、車両-地上間のデータ通信の方法として、デジタル無線やWiMAXなどの通信機器が整備されてきた。とりわけWiMAXは高速で大容量の移動体通信が可能であり、今後鉄道沿線における通信基盤としての拡大が期待されている。

そこで本開発では今後のWiMAXの展開拡大を踏まえ、すでに開発を完了した無線LAN方式による時刻表転送機能を、WiMAXに通信方式を変更、PDAから運転台モニタに時刻表表示先を変更し、時刻表転送機能を開発することとした。

## 3. 開発の概要

本開発ではSTEP1として

- ① WiMAXを用いた時刻表転送機能の開発
- ② V-LANカプセルリング/トンネリング機能の開発

STEP2として

- ③ 開発機能のフィールド試験

を行うこととした。

本開発では特に①の開発に主眼に置いたため、これまでの開発で行ってきたPDAは使用せず、乗務員は既存の運転台モニタ（TIMS）にて時刻表データを要求、地上側サーバから時刻表データを送信する構成とした。

WiMAX通信に必要となる車上装置については、コスト削減の為、既存のものを活用し車両改造などを極力行わないこととした。なお、2009年から配備されているE259系（成田エクスプレス用車両）については、情報提供装置（VIS：Visual Information System）用コンテンツ更新のためにすでにWiMAX送受信装置が車両に搭載されており、2010年3月より実運用に供されている。今回は、このWiMAX送受信装置を活用することで、車両への新たな改造工事を行うことなく、時刻表データ転送機能を実現するための開発を行った。

車上側の装置ではこのほか、乗務員が時刻表を要求するためのTIMSプログラムの改修を行い、地上側の装置としては車上からの要求に応じて時刻表データを送信するサーバを構築した（図1）。

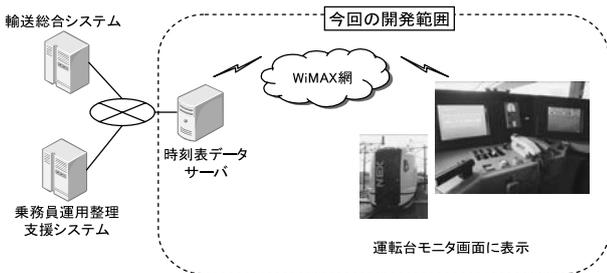


図1 システム概念図

### 3.1 システムの構成

#### 3.1.1 車上装置（WiMAX 制御装置、TIMS）

WiMAX車上装置は本来、既設装置と同様のものを使用するのだが、今回の試験では、試験用のドメインと、実運用中のVISのドメインを区別するため、試験前にWiMAX車上装置の設定変更作業が必要であった。

そこで別途、既設装置と同型の試験用WiMAX車上装置を用意し、事前に設定を済ませ、試験当日は既設のWiMAXアンテナとつなぎかえるのみで試験を行えるようにし（図3）、試験当日の事前準備作業時間の短縮を図った。

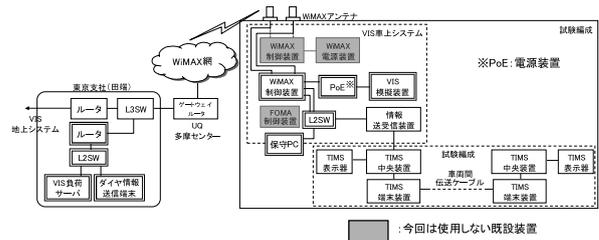


図2 システム構成図

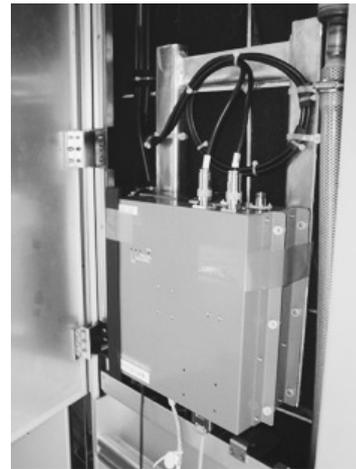


図3 仮設したWiMAX制御装置（手前）

運転台モニタ上で列車番号を入力し、現在駅と終端駅を選択することで、データ送信要求をWiMAX制御装置に出力するようソフトウェアの改修を行った。図4に改修後のTIMSにより時刻表情報を呼び出す手順を示す。

- ① 運転台 TIMS モニタを使用



- ② 列車番号を入力



- ③ 現在駅、乗務終了駅を入力（選択）



④WiMAX回線を経由して時刻表データを読み出し



⑤TIMS画面上に運転情報が表示される



図4 TIMS画面からの時刻表要求手順

### 3.1.2 V-LAN カプセルリング / トンネリング機能

車載のWiMAX制御装置に付与されるWiMAX網のIPアドレスは一つ（固定）である。WiMAX制御装置はルータ機能をもっており、WiMAX側と車上機器側をルーティングする。現状ではこのWiMAX制御装置が収容しているアプリケーションはVISのみであるため、外部から配下の車上側機器（VIS車上装置）にアクセスする場合は、WiMAX制御装置を固定IPとして、WiMAX制御装置のNAT（Network Address Translation）機能により、一つのアドレスへ変換される。NAT機能では、WiMAX制御装置の固定IPに対して接続される機器のIPアドレス一つにしか変換ができないため、複数のアプリケーションごとに異なるIPアドレスを付与することができない。これは実用化に当たり問題となる。

解決策としては、新たに追加するアプリケーションごとにWiMAX制御装置とアンテナをそれぞれ増設するという方法もあるが、その都度車両改造が必要となる上、WiMAX通信の高速大容量という特性を活かすには複数のアプリケーションデータを一つのWiMAX制御装置でまとめて送受信したほうが効率が良い。

そこで本開発では、一つのWiMAX制御装置で複数のアプリケーションデータを送受信する仕組みとして、WiMAX網上に仮想的にトンネルを構築し（トンネリング）、それぞれを仮想のネットワーク（V-LAN）化することで、複数のアプリケーションデータ（時刻表データ、VISデータ）を送信できる機能を開発した。

トンネルプロトコルはLayer2 Tunneling Protocol version 3（以下、L2TPv3）を採用した。L2TPv3は、主としてリモートアクセス用のVPNプロトコルであるL2TP（ver.2）を、IP（Internet Protocol）も含めたあらゆるタイプのパケットをLAN間接続できるように拡張したプロトコルである。これにより、アプリケーション間でのデータ分離が可能であり、今後の拡張性に対応することが可能である。なお、トンネル生成にお

いては、動的にトンネルの生成と破棄を行う構成（ダイナミック方式）と、静的に固定のトンネルを生成する構成（スタティック方式）の二通りが考えられたが、今回は下記の理由から、スタティック方式での構成とし、開発を行った。

- ・移動する列車という環境での使用を考慮し、WiMAX不通区間からの復旧の際のトンネル復旧のタイムラグを抑えられること
- ・閉域網であることから、セキュリティ上の懸念は少ないこと
- ・列車本数にはある程度限りがあり、トンネルの最大数に対する制約は比較的少ないこと

### 3.1.3 地上装置（ダイヤ情報送信端末）

車上から要求されたダイヤをその要求に応じて検索し、該当するダイヤ情報を送信する端末を東京支社ビル（田端）内に仮設した。今回の開発においては、必要となるダイヤデータは仮データをあらかじめ作成の上、端末内に格納しておくこととした。データのフォーマットはこれまでの乗務員運用整理支援システムで開発を行ってきたPDAのフォーマットを流用し、TIMS運行情報表示に必要なすべての情報を網羅できるものとした。

## 4. 時刻表転送試験

### 4.1 事前確認試験

前節の試験装置による現車試験を実施するための事前確認として、東京支社ビルの地上側機器からL2TPv3トンネルによる仮想LAN構成が正しく構成されるか試験を行った。機器構成としては、現車と同様の車上構成機器一式をメーカー工場内に構築し、WiMAXを経由して東京支社ビル内の地上側機器とメーカー工場内設置の車上側機器での通信を行うものとした。

工場内にて通信を行いL2TPv3トンネルによる仮想LAN構築が機能することを確認、また通信中であっても車上構成機器を使用できることを確認し、周辺の現用機器に影響を与えないことが検証できた。

### 4.2 現車試験

事前確認試験の結果を受け、現車での送受信試験を横浜支社鎌倉車両センター構内でE259系Ne004編成を使用して実施した。試験は定置で行い、TIMS運転台モニタ装置から時刻表要求を行い、画面に表示されるまでの時間を計測した。WiMAXによる時刻表転送に必要な通信時間として、WiMAX回線に他の負荷がかかっていない（低負荷）状態の場合と、VISデータ送受信状態と同等のデータ負荷がかかっている（高負荷）状態の場合それぞれを計測し比較を

行った。その結果、WiMAX車上装置を搭載している6号車運転台においては、低負荷時5.5秒～8.5秒（平均6.7秒）、高負荷時5.1秒～8.5秒（平均5.9秒）となり、反対側運転台の1号車運転台においては低負荷時6.1秒～9.1秒（平均6.9秒）、高負荷時6.3秒～9.1秒（平均7.3秒）であった。（表1）。

表1 要求から表示までの時間（単位 s）

送信データ		6号車側 (WiMAX 送受信装置あり)		1号車側 (WiMAX 送受信装置なし)	
列番	区間	低負荷時	高負荷時	低負荷時	高負荷時
2002M	成田空港 - 新宿	5.9	5.5	6.3	9.1
2001M	池袋 - 成田空港	8.5	5.1	9.1	6.3
2029M	池袋 - 成田空港	5.5	5.3	6.5	6.7
2051M	池袋 - 成田空港	6.1	5.7	6.9	6.3
2045M	池袋 - 成田空港	5.9	5.3	6.1	6.7
2030M	成田空港 - 新宿	8.1	8.5	6.7	8.9
平均		6.67	5.90	6.93	7.33

また、参考として、ICカードを使用した現行の方式の場合の時間を測定したところ、画面上で列番選択を行い、ICカードからダイヤ情報を読み込みTIMS画面上に表示するまでの時間は約4.5秒であった。

試験により下記結果が得られた。

- ①時刻表要求から表示までの時間はおよそ5秒～9秒の間であった。
- ②低負荷時、高負荷時による所要時間の差は見られなかった。
- ③1号車と6号車（WiMAX送受信装置の有無）で要求から表示までの時間に約1秒の差が見られた。
- ④送信から表示までの時間にややばらつきが見られ、時間がかかる場合には1号車側、6号車側のいずれにおいても約3秒程度時間が余計にかかった。これは低負荷時、高負荷時ともに同じ傾向であった。

それぞれの結果について、考察を述べる。

①については、WiMAXを用いた時刻表伝送が、ICカードと比較しても十分なポテンシャルを持っていることが結果から得られた。ICカードのデータ容量は、現状256Kbyte程度なので、WiMAXの高速大容量通信網で時刻表データを伝送するという利用方法は十分活用できる余地があるといえる。

②については、今回の試験環境（鎌倉車両センター構内）がWiMAX送受信について比較的良好で、電波強度、他ユーザーの使用状況いずれについても大きな障害にならなかったことも本結果の一因であると考えられる。今後、使用するWiMAX基地局に対して複数のユーザーが大容量のデータを送受信するなど、環境が変化することによる通信への影響の可能性は残っている。

③については、E259系の仕様により、WiMAX送受信装置は片側（6号車側）の運転台にしか搭載されていない。ダイヤ要求および伝送はTIMSを通じて行われるが、TIMS上のデータは車両間伝送により伝達されるため、WiMAX送受信装置を搭載していない側の運転台でダイヤ情報の要求/受信を行う場合、TIMSデータの伝送時間が余計にかかるため、今回の結果となった。

④については、伝送に時間がかかっているケースを調査したところ、伝送の途中でリトライが発生していることがデータのログから確認された。これは、地上側からデータ送信をする前にARPリクエスト（ARP: Address Resolution Protocol）を送信していたが、ARプレスポンスが到着するまでの間、送出していたダイヤ上データの大半が欠落してしまい、車上側で欠落したダイヤデータに対して再送要求（リトライ）を行っていたためである。

ARPのやりとりはIPネットワークでは普遍的に行われているが、今回のように転送時間がばらつくまで顕在化した理由として、WiMAX網の遅延の大きさが原因として考えられる。実運用にて対策が必要な場合は、(1) アプリケーションレベルでタイムアウト時間を調整する、(2) 送受信端末間でARPスタティック登録をする、(3) 送受信端末間のARP Expire時間を長く設定する、(4) ARP未解決にならないよう、アプリケーションレベルで定常通信をバックグラウンドで実施する、などのいくつかの案が考えられる。

## 5. 沿線、駅のWiMAX電波環境の測定

フィールド試験の線区選定は導入効果を重視し、直通・長距離列車があり、ひとつの線区内で発生した輸送障害の影響が他の線区へも波及しやすい、湘南新宿ライン、東北本線、高崎線、東海道本線を選定した。

フィールド試験を行う前段、本開発機能を使用する乗務交代駅列車停車位置、またリトライなどを行う場合は駅間での電波環境を把握する必要があるため、営業列車の運転室に測定機器を持ち込み、次の区間にて往復の電波環境測定を行った。

- ・湘南新宿ライン 高崎～渋谷、池袋～逗子
- ・東北本線 上野～宇都宮
- ・高崎線 上野～高崎
- ・東海道本線 東京～熱海

※区間は実際の測定に合わせて記載

### 5.1 測定内容

#### ①PING

車上側から地上側への応答を要求し、電波不感箇所を把握

- ②RSSI  
車上側の受信信号強度
- ③CINR  
搬送波レベル対干渉・雑音比
- ④スループット  
車上側でのデータ受信速度

## 5.2 測定結果

現在時刻表データなどが収容されているICカードの容量が0.3M程度であることから、ストレスを感じない転送速度を確保する為、スループットは最低0.3Mbps以上、今後の機能検討にて通信データ量が増えることも勘案し2Mbps以上が望ましいと考えた。結果、熱海駅以外の乗務員交代駅はスループット2Mbps以上となり、期待以上であった。尚、熱海駅付近については、WiMAXサービスエリア外のため予想どおりの結果であり、フィールド試験を行う場合は、データ受信方法について検討が必要である。(図5、図6)

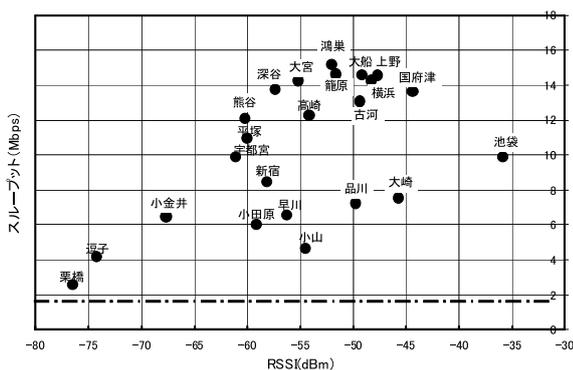


図5 スループットとRSSI

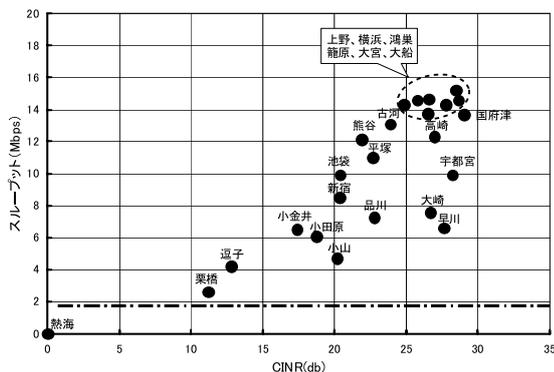


図6 スループットとCINR

## 6. アンテナ性能確認試験

フィールド試験を実施する線区では、WiMAXアンテナを搭載している車両が運用されていないため、試験用車両にアンテナの取付けを行う必要がある。しかし現在WiMAX用のアンテナは屋根上に取付ける形のものしかなく、車両改修

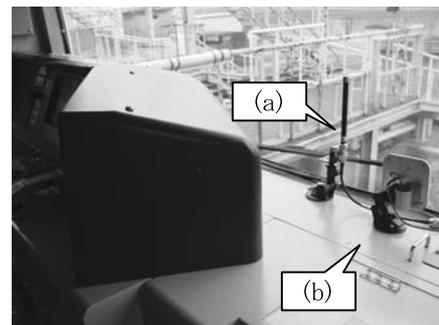
費用がかさむという問題が発生した。

試験費用を抑える必要があるため、運転台に簡易に取付けられるアンテナを選定することとした。

候補としては、すでに列車無線にて使用実績のある無指向性のスリーブアンテナ、新たに指向性のあるパッチアンテナの2種類にて比較検証を行うこととした。

## 6.1 アンテナ種別と測定項目

- (1) 測定車両
  - ・MUE-Train (209系)
- (2) 測定区間
  - ・東北本線 蓮田～黒磯
- (3) アンテナ構成
  - ・スリーブ無指向性アンテナ
  - ・パッチ指向性アンテナ



(a)：スリーブ無指向性アンテナ (b)：パッチ指向性アンテナ  
図7 試験用アンテナの運転台仮設

### (2) 測定データ

- ①PING  
車上側から地上側への応答を要求し、電波不感箇所を把握
- ②RSSI  
車上側の受信信号強度
- ③CINR  
搬送波レベル対干渉・雑音比
- ④BSID  
接続している基地局のID
- ⑤周波数  
接続している基地局の周波数
- ⑥スループット  
車上側でのデータ受信速度  
地上→車上 負荷2M、車上→地上 負荷1M
- ⑦GPS緯度経度  
緯度経度の列車位置の把握

## 6.2 試験結果

スリープ無指向性アンテナとパッチ指向性アンテナのRSSI、CINRと通信接続率、地上から車上への通信平均スループットおよび車上から地上への通信平均スループットの測定結果の比較を図8から図12に示す。

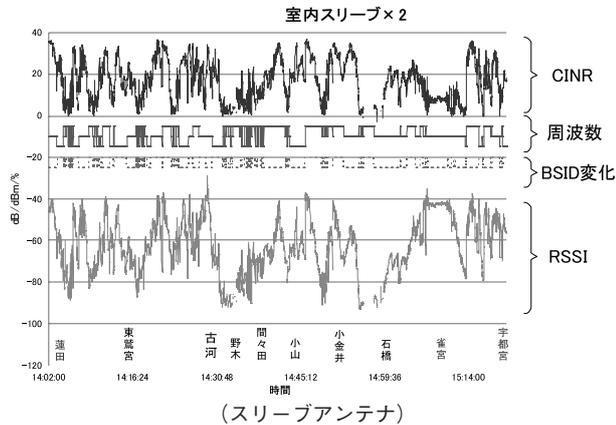


図8 BSID変化とRSSIおよびCINRの測定値

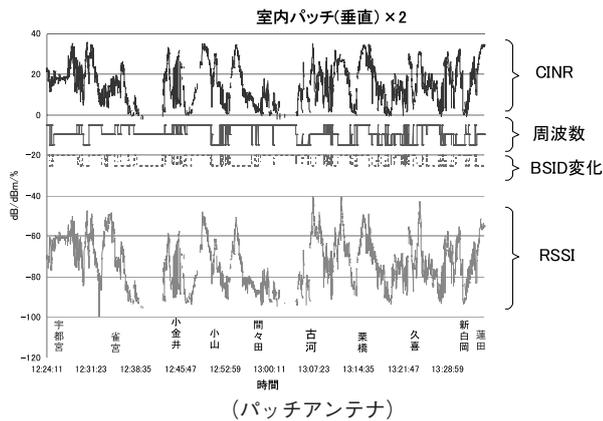


図9 BSID変化とRSSIおよびCINRの測定値

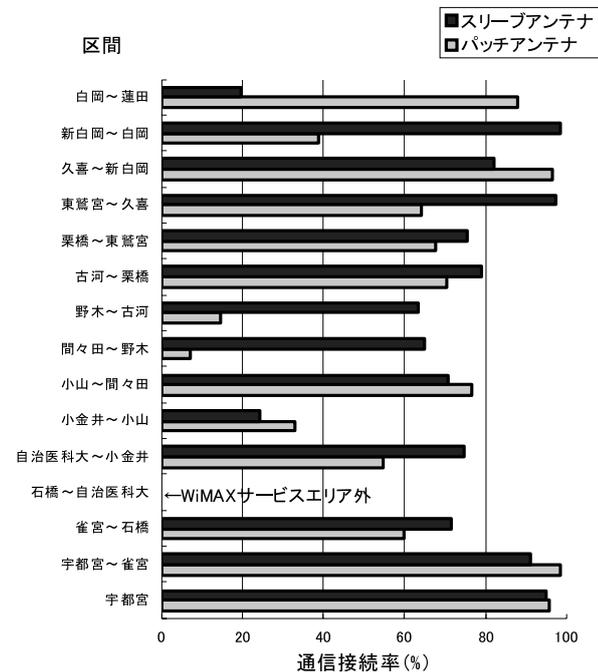


図10 通信接続率の比較

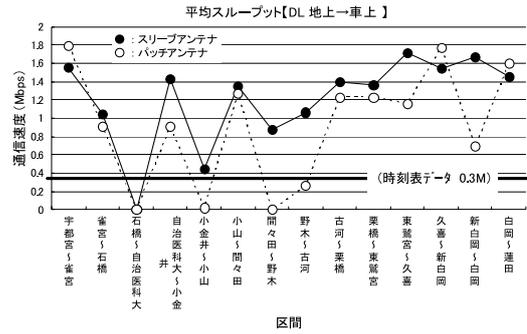


図11 スリープアンテナとパッチアンテナのDL (地上→車上) 平均スループット比較

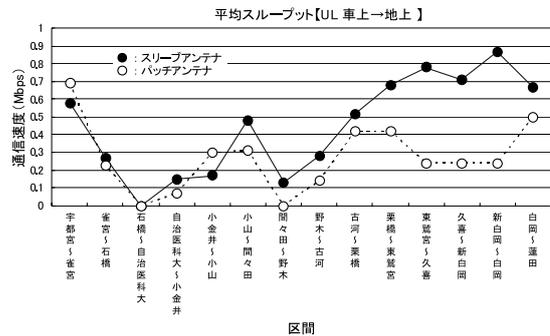


図12 スリープアンテナとパッチアンテナのUL (車上→地上) 平均スループット比較

移動中のBSID移り変わりの際、つまり、接続している基地局との通信レベルが低下する際、両アンテナの特性に差が見られた。通信レベルが低下した際、スリープアンテナは、パッチアンテナに比べ広い角度で電波を受信しているため、比較的容易に、通信レベルの高いほかの基地局へ接続先を変更できる。しかし、パッチアンテナは電波を受ける角度が限られている為、アンテナに対して横方向に通信レベルの高い基地局があっても見つけることができず、接続先の変更が遅くなるということが分かった。

停車時であれば両アンテナの差はさほど見られないが、移動時の通信ではスリープアンテナが有効であるため、今回のフィールド試験ではスリープアンテナを採用することとした。

## 7. おわりに

現時点では、WiMAX送受信装置、TIMSなどの車上装置、時刻表データを送信するための地上側設備の開発により、WiMAXを用いた時刻表転送機能の開発が可能であることを確認、また、複数のアプリケーションデータを一つのWiMAX回線を用いて効率的に同時送受信するための技術を開発できることを確認した。2011年度は引き続き、フィールド試験へ向け電波環境測定などをすすめていく。フィールド試験にあたっては、運転台モニタだけでなくタブレット端末の使用なども検討している。