

図2 乗務員の位置検知イメージとPDA画面

行路番号	出発区	到着区	列車番号	乗務員区所	MACアドレス	IPアドレス	端末ID	検知時刻
中1	運	中野電車区	1175 C	中野	---	---	109006	11:53
中2	降車	---	1175 C	中野	---	---	---	12:06
中3	降車	---	1143 B	中野	---	---	---	13:14
中4	降車	---	---	---	---	---	---	13:19
中5	降車	---	---	---	---	---	---	13:26
中6	降車	---	---	---	---	---	---	13:26
中7	降車	---	---	---	---	---	---	14:03
中8	降車	---	---	---	---	---	---	14:06
中9	降車	---	---	---	---	---	---	14:09
中10	降車	---	---	---	---	---	---	14:09
中11	出	待機中	---	---	---	---	---	14:06
中12	出	待機中	---	---	---	---	---	14:06
中13	出	待機中	---	---	---	---	---	14:06
中14	出	待機中	---	---	---	---	---	14:07
中15	出	待機中	---	---	---	---	---	14:09
中16	出	待機中	---	---	---	---	---	14:05
中17	出	待機中	---	---	---	---	---	12:43
中18	出	待機中	---	---	---	---	---	14:06
中19	出	待機中	---	---	---	---	---	14:06
中20	出	待機中	---	---	---	---	---	13:51
中21	出	待機中	---	---	---	---	---	14:06
中22	出	待機中	---	---	---	---	---	14:06
中23	出	待機中	---	---	---	---	---	14:06
中24	出	待機中	---	---	---	---	---	14:06

図3 区所端末での位置検知表示例

2.3.1 駅詰所・運転区所の位置検知

乗務員のPDAは無線LAN通信機能を搭載している。このため、無線LANアクセスポイントを設置した乗務員区所、駅詰所、車両乗務員室に乗務員が接近すると、PDAのMACアドレス（無線LAN通信機器に固有のID番号）をアクセスポイント内のメモリ（Arpテーブル）に登録する。サーバーは、メモリのデータを一定周期で読み取り乗務員の位置把握を行う。各乗務員区所の端末は、サーバー上から乗務員の位置情報を一定周期で取得し、画面上に一覧表示する。具体的には、乗務中の乗務員を上下線別・現在駅順に一覧表示、および詰所、区所毎に在室する乗務員を一覧表示し、乗務員の位置を検索することが可能である。

2.3.2 運転中の位置検知

列車を運転中の乗務員は運転士用ICカードを利用した位置検知を行っている。具体的な手順を以下に示す。

- ・運転士が乗務開始時に車両乗務員室の運転台モニタにICカードを挿す。
- ・乗務中、運転台モニタは運転士の行路番号などID情報と現在位置の情報とを結びつけて一定周期でサーバー

に送信し、位置把握を行う。

2.3.3 便乗乗務員の乗降検知

便乗する乗務員はICカードを運転台モニタに挿入しないため、便乗していることがシステムでは把握できない。そこで、車両乗務員室に無線LANアクセスポイントを設置し、便乗乗務員が携帯するPDAと無線LANアクセスポイントが送受信を行っている間は車両乗務員室内に便乗乗務員が乗車しており、無線LANアクセスポイントからの問いかけにPDAの応答がなくなった時点で便乗の乗務員が降車したと判断する仕組みを開発した（図4）。

なお、運転台にアクセスポイントを設置することで運転中の運転士も検知してしまう。この点は、2.3.2項で述べたICカードによる位置検知で運転中と便乗中の乗務員を区別できるようにしている。

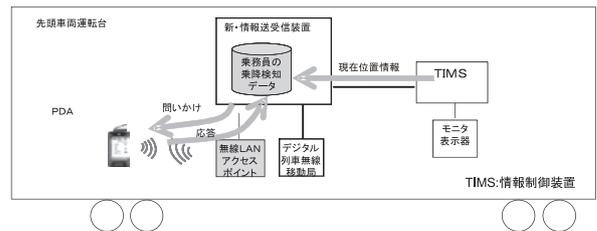


図4 乗務員の乗降検知機能

2.3.4 移動中の位置検知

駅詰所・運転区所と列車乗務員の移動時の位置検知は、PHSを活用した位置把握方式とし、PDAに届く電波が最も強いPHS基地局の所在地から乗務員の位置を判断する方式を使用した。

2.4 乗務員運用整理機能

列車ダイヤが乱れ列車に遅延が発生すると、支援システムは、駅の番線や折返し時分などを考慮してダイヤの予測を行う。支援システムは、この予測により次乗務列車間に合わない乗務員を検出し、運用整理担当者に警報を出力する（乗務員未充当列車）。また、列車の最終行先地（車両滞泊場所）が計画と異なる場合においても、乗務員の滞泊場所が変更になることを運用整理担当者に警報出力する。

これらの警報を解決するために、支援システムはサーバーから取得した乗務員の位置情報を元に、運用整理担当者に運用整理の提案を自動的に出力する。この際、支援システムは、

- ・折返し駅における乗務員の交代方法

・各乗務員の乗務可能区間

などを考慮して、提案を行っている。運用整理担当者は、複数の提案の中から1つを選び、選択する。すると支援システムは提案した内容をダイヤに反映して次の未充当警報に対する提案処理を行う。そして、最終的に運用整理が収束する(警報がなくなる)まで処理を繰り返す(図5)。

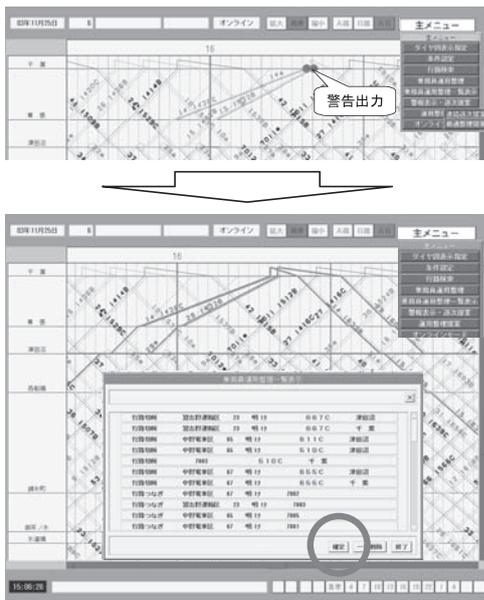


図5 警報出力と整理提案

2.5 運用変更情報の通知

支援システムで提案された乗務員の運用変更案に対し、運用整理担当者が決定操作を行うと、運用変更情報がサーバーへ送信され、その運用変更行路を担当する乗務員のPDAに運用変更内容が送信される。受信したPDAはアラーム音鳴動とともに通知メッセージ、変更後の最新の乗務員運用変更行路を表示する。乗務員が変更内容の確認操作後、最新の乗務員行路データをダウンロードする(図6)。なおサーバーでは、メールの送信状況と乗務員の受領確認状況も管理しており、運用整理担当者は区所用端末で確認が可能である。

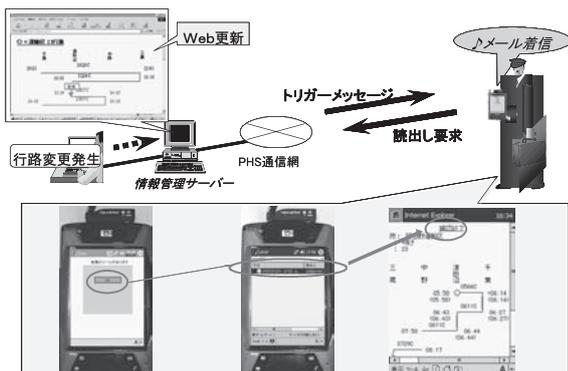


図6 運用変更の通知

3. フィールド試験

3.1 便乗乗務員の乗降検知機能

フィールド試験の結果、乗務員の駅詰所、乗務員区所、運転中の各位置検知機能については概ね良好な結果が得られたが、便乗乗務員の乗降検知についてはPDAと車両乗務員室内の無線LANアクセスポイント間の通信が不安定であることが判明し、調査・対策を実施した。

3.1.1 無線LANアクセスポイントの電波レベル調整

本線走行試験の結果、車両乗務員室内の無線LANアクセスポイントの電波レベルが低いことに起因したシステムの機能障害があることが分かった。これは、試作品において、隣接編成への電波影響が懸念されるために定置試験において、電波レベルを弱める改修を行ったためである(図7、図8)。このため、本線上の各駅での隣接停車状態においても隣接編成に電波影響を与えず、かつ、便乗の乗務員のPDAと車両乗務員室内の無線LANアクセスポイント間の通信が安定する適切な電波レベル値を得るための調査・調整を行った(図8)。

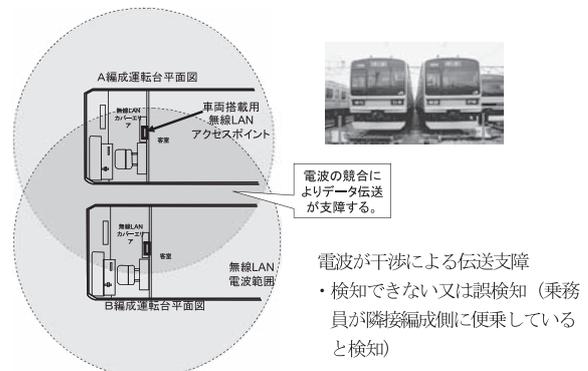


図7 当初の試作品における電波干渉発生イメージ

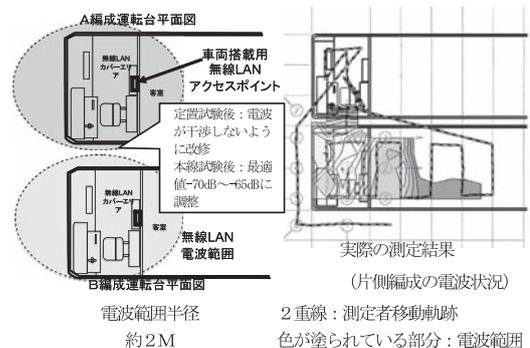


図8 定置試験後(本線試験後)のイメージとその測定結果

走行試験では、1号車側の無線LANアクセスポイントの電波レベルを-75dB~-80dB、10号車側を-69dB~-75dB

とし、5dB程度の差に設定し、それぞれの無線パケット消失の発生を測定した（図9、図10）。結果として、電波レベルの低い1号車側に無線パケットの消失が多発した。

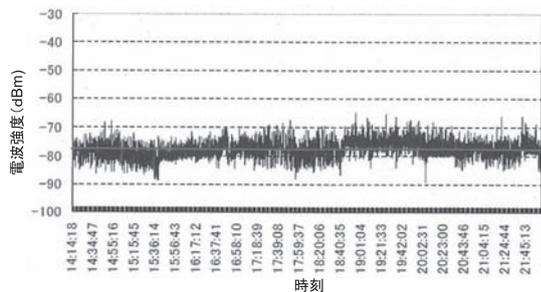


図9 1号車電波レベル (-75dB~-80dB)

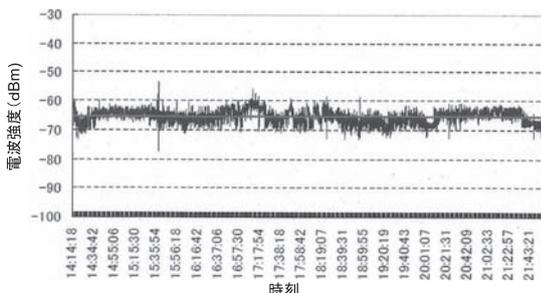


図10 10号車の電波レベル (-69dB~-75dB)

調査の結果、-75dB~-70dBであった無線LANアクセスポイントの電波レベルを段階的に強めることで、最適なレベルは-70dB~-65dBであることが確認できた。

3.1.2 通信速度の変更

本線走行試験において、PDAと車両乗務員室内の無線LANアクセスポイント間の通信が不安定になる要因として、外来電波の干渉による影響も確認された。列車が走行する沿線における外来電波ノイズによるパケットの消失が発生した（図11）。

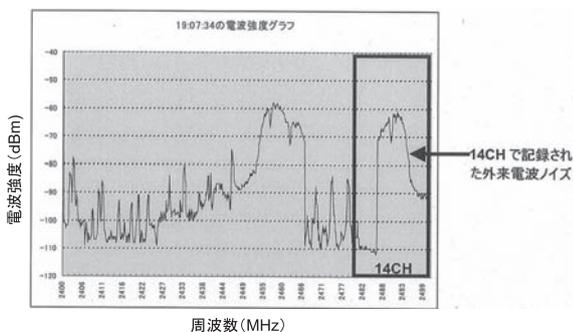


図11 パケット消失時におけるノイズ

車両乗務員室内の無線LANアクセスポイントでは、「11Mbps」、「5.5Mbps」の高速モードと「2Mbps」、「1Mbps」の低速モードを設定可能である。高速モードでは伝送速

度は速いがノイズに弱く、低速モードでは伝送速度は遅いがノイズに強い特徴がある。当初、高速モードを使用していたが、無線通信に失敗する結果が得られた。そこで、伝送データ量も少ないことから、ノイズに強い低速モードに切り替え測定を行った。その結果、無線パケットの再送回数が少なく、通信が安定した結果が得られ、低速モードでのノイズ対策の有効性を確認した（図12、図13）。

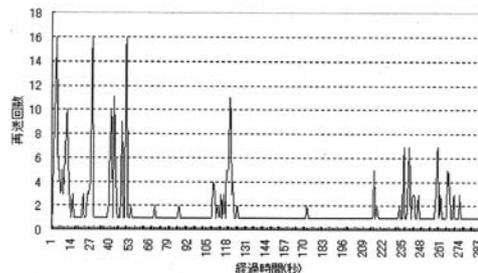


図12 高速モードでの無線パケット再送回数

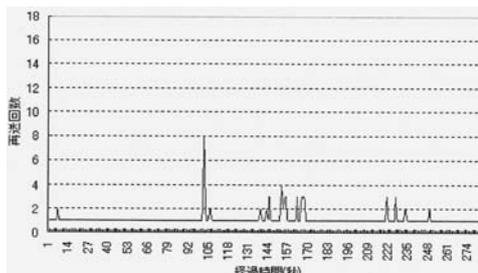


図13 低速モードでの無線パケット再送回数

その後、無線LANアクセスポイントの電波レベル調整と通信速度を低速モードへ変更を行い、走行試験を実施したところ、便乗検知が機能していることを確認できた（図14、図15）。

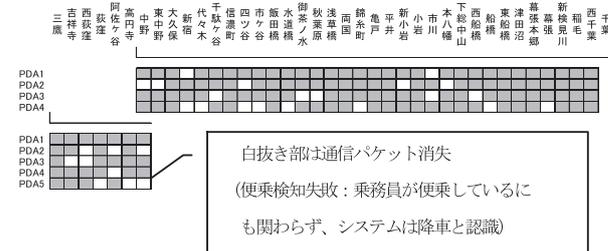


図14 対策前の便乗検知結果（通信パケットの消失）

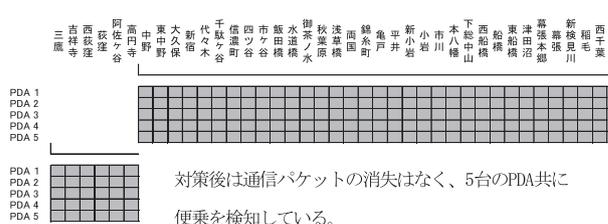


図15 対策後の便乗検知結果

3.2 乗務員運用整理機能試験

3.2.1 乗務員運用整理機能の試験実施内容

乗務員運用整理機能の試験として、過去の列車ダイヤが乱れた場合のデータを支援システム上に展開し、列車ダイヤが乱れた事例に対してダイヤ乱れ発生から乱れが収束するまで、乗務員区所用端末装置（図16）を操作し乗務員運用整理を行った（図17）。



図16 乗務員区所用端末装置

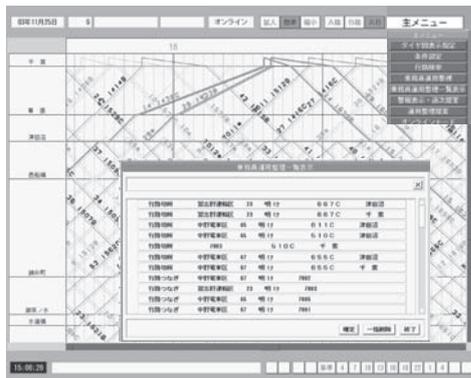


図17 システムの運転整理

3.2.2 乗務員運用整理機能試験の評価

支援システムによる乗務員運用整理は、支援システムで乗務員未充当警報表示が出力されてスタートする。最初に表示された複数の乗務員未充当警報表示に対し、運用整理担当者が支援システムの提案した候補乗務員から充当乗務員の決定作業を行い、最初の乗務員運用整理が完了するまで約10分程度であった。その後運用整理担当者は、指令の運転整理が進むに従って出力される警報に順次対応していく状況になった。このため、運用整理担当者は電話応対などの他の作業も行うことが可能になった。しかし、従来の紙と鉛筆で行っていた運用整理では、指令の運転整理がスタートすると、運用整理担当者は運用整理に専念し、その他の作業をする余裕は全くなくなる。つまり、支援システムによる乗務員運用整理では、運用整理担当者が最初に表示された複数の警報への対応をすると、その後は乗務員運用整理以外の作業も可能となり、乗務員運用整理案を検討する時間も増加する。こ

のことで運用整理担当者は余裕を持って乗務員運用整理を行うことが出来ると考える。

しかし、支援システムの評価では、未充当列車への乗務員候補者数が少ない事、および未充当列車への乗務員割付を決定入力してからその結果が画面反映するまで時間を要し、支援システムの操作にストレスを感じるなどの課題が挙げられた。

ここで、今回の試験は試験対象を運用整理担当者に絞った評価試験であり、実際に係わる乗務員や運用指令員との連絡業務は試験対象としていない。しかし、最終的に現在開発している乗務員運用整理支援システム全ての機能が実現すると、位置検知機能による乗務員の位置把握と、直接、メールで対象乗務員へ乗務員運用変更（次はどの列車を担当するか）を送信することが可能となり、運用整理担当者の乗務員運用整理作業から、乗務員の位置把握や乗務員運用変更など連絡指示時間がさらに短縮されると考える。

3.2.3 各機能の結合試験

中央総武緩行線ATOS（東京圏輸送管理システム）から列車の運行実績を支援システムに取り込み、先に試験を行った「乗務員運用整理機能」と「乗務員位置検知機能」、「運用変更情報通知機能」を結合した試験を実施した。試験結果として3.2.2での試験と同様に、未充当列車への乗務員候補者数が少ない事、および未充当列車への乗務員を決定入力してからその結果が画面反映するまで時間を要するなどの課題が明らかになった。乗務員候補者数の不足とは、実際に運用整理担当者が考えた乗務員が、支援システムの提案した候補者の中に存在しなかったということである。これはアルゴリズムの乗務に関する制約条件（特に勤務開始前、勤務終了後の候補乗務員選定条件）が厳し過ぎたため、表示される候補者が少なかったためであり、表示される候補者が増えるように制約条件の緩和が必要である。また、画面反映するまでの処理時間については、1件の乗務員運用整理時間（ひとつの未充当列車への乗務員決定入力から、その結果が画面反映されるまで）に約1分30秒の時間を要している。これでは、支援システムを扱う運用整理担当者が操作にストレスを感じてしまう。そこで今後、処理を軽減するなど、スピードアップのためのプログラム改修を検討する。

また、結合試験では時刻表のアップロード試験につい

でも実施した。時刻表のアップロードとは、乗務変更になった列車の時刻表を運転台のモニタに表示する機能である。乗務員が携帯するPDAには各列車の時刻表が格納されており、その中から、必要な時刻表を無線LANで車両乗務員室の無線LANアクセスポイントに伝送し、新情報送受信装置、TIMS（情報制御装置）を介して運転台モニタ画面に表示する（図18）。

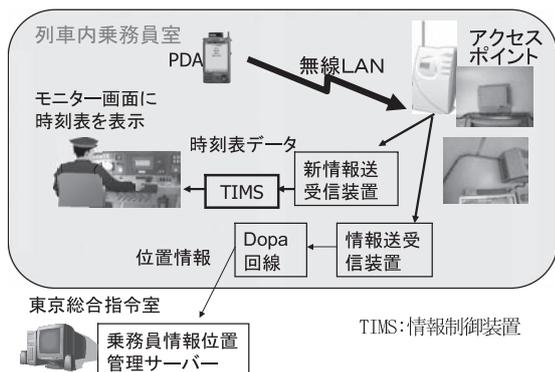


図18 時刻表アップロードのシステム構成

時刻表のアップロード時間は12秒～3分20秒のバラツキが測定され、平均で50秒程度であった。時間がかかる事象は、駅詰所と車両の停止位置が近い特定の場所において発生しており、PDAの無線LANの接続先の切替（駅詰所から車両乗務員室へ）がスムーズに実行できないことが原因であった。対策として、駅詰所側の無線LANの電波レベルを駅詰所検知の精度に支障しない程度まで下げる必要がある。事象の発生場所が特定されていることから、今後、実用化の際に電波レベルの調整を検討する。

4. 今後の取り組み

4.1 乗務員位置検知機能

これまでに、乗務員の勤務時における行動範囲（駅詰所・乗務員区所での待機、運転中、便乗）を網羅した位置把握機能の有効性が確認でき、無線LAN方式を使用した位置検知機能の開発は終了した。しかし、無線LAN方式は、線区ごとに車両乗務員室に搭載する無線LANアクセスポイントの電波レベルの測定と調整、無線LANアクセスポイントを各駅詰所、乗務員区所および車両乗務員室へ設置・搭載するための工事費、および、他会社の乗り入れ車両への無線LANアクセスポイント搭載に関わる会社間の整理などが必要であり、実使用の準備作業の手間と投資効果において若干の課題が残る。今後はGPS機能など新

しい方式を利用した簡易な位置検知の開発やWiMAX方式の検討など、さらに実用時のコストパフォーマンス向上をめざした開発を継続する。

4.2 乗務員運用整理機能

今回のフィールド試験結果として、運用整理担当者の作業負担が軽減される効果は期待できる。しかし、支援システムの提案する未充当列車への乗務員の候補者数が少ないなど、いくつかの課題が明らかになった。また、実際の列車ダイヤ乱れ時に支援システムを使用した回数が少なく、運用整理機能のアルゴリズムの妥当性を評価できるレベルまでには至っていない。今後、さらに、十分な機能確認試験を実施し、実用化に向けた課題の洗い出しと改修を行う。

4.3 運用変更情報の通知機能

変更情報の配信については、PDAのバッテリー消費対策としてPHSのメール方式を使用したことが判明した。このため通常の電話回線を使用した一般的なメール送信方式に変更する。なお、バッテリーの消費対策については、充電が可能な場所の見直しなどPDA本体の運用面に対処することを検討している。

5. おわりに

これまでのフィールド試験結果から、実用に供するシステムとして不足している改修項目がいくつか明らかになった。今後は早期実用化をめざし、乗務員運用整理支援機能は、システムの改修を行った後、列車ダイヤ乱れ時における実使用環境の元で十分な機能確認試験を実施し、システム有効性、機能の妥当性を評価する。乗務員位置検知機能、運用変更情報の通知機能は、方式を変更した機能を開発し、試験を実施していく。

参考文献

- 1) 原、小島、辺田、渡邊；運用トータル管理システムの開発、JR EAST Technical Review, NO.5, pp.43-54, 2003
- 2) 小島、浅見、相馬、辺田；乗務員運用整理支援システムの実運用検証試験、JR EAST Technical Review, NO.20, pp.54-58, 2007