

## 6. バスを基本とする連結・分離可能なバイモーダル交通システムの開発

交通システム研究領域 ※林田 守正 竹内 俊裕 長谷川 智紀 工藤 希 森 裕貴  
 日岐 喜治 佐藤 安弘 大野 寛之  
 理事 水間 毅

### 1. はじめに

省エネルギー、環境負荷低減や公共交通活性化の観点から、輸送需要が少ない路線にも適する、低コストでフレキシブルな中量輸送機関が必要とされる。そこでバスを基本とし、専用路の連結走行と一般路の個別走行が可能な「バイモーダル交通システム」の開発を実施している。本発表ではバリアフリー低床車両、光学的非接触案内、連結・分離運行管理等に関する技術検討および実車実験による機能検証の結果を報告する。また導入地域の実状に沿ったシステム仕様の最適化と、導入効果の評価手法について述べる。

### 2. バイモーダル交通システム の概念

本報告では、バス車両を基本とし、コンクリート軌道等の専用走行路上の連結走行と一般道路上の単独走行の機能を有する中量輸送システムを「バイモーダル交通システム」(以下「BMT:Bi-Modal Transportation System」という。)と定義する。専用走行路においては、非接触式の誘導自動操舵によりレール不要、防護側壁省略による道路交通との共存、車両間の確実な機械連結等が特長である。また電動車両とした場合も架線が不要である。そのような BMT システムの技術要素を図 1 に示す。

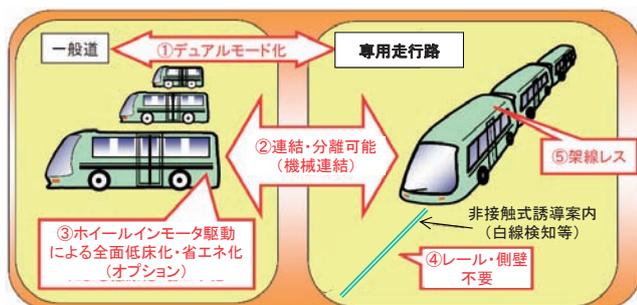


図 1 バイモーダル交通システム の概念

また BMT の地域導入のイメージを図 2 に示す。都市

の中心から郊外に向けて、まとまった輸送需要がある区間を専用走向路上の連結走行、それ以遠を一般道路上のバスとしての単独走行と想定した。

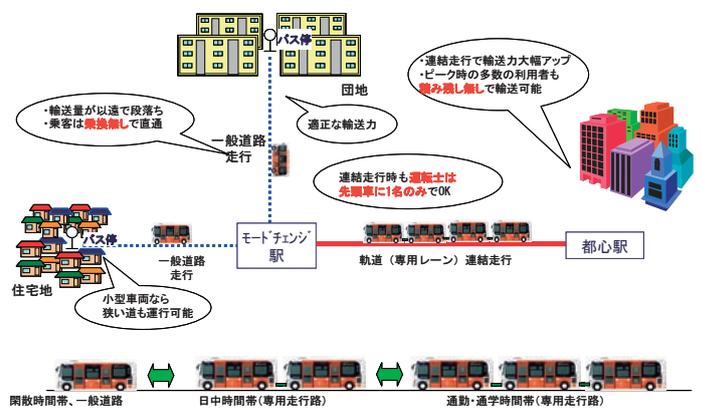


図 2 BMT システムの地域導入のイメージ

### 3. 検討・試作を行った技術項目

平成 16~17 年度に、(独) NEDO 技術開発機構殿の補助事業として、車両メーカー、電機メーカー等と共に、BMT システムの先行的な研究開発を行い、プロトタイプを試作した<sup>(1)</sup>。この先行モデルにおいて、実用化に向けた課題として残った以下の項目を、新たに平成 20 年度から国土交通省総合政策局受託事業として開始した本研究における技術課題として掲げた。

#### 3. 1. バリアフリーの低床車両の試作

車両間連結・誘導操舵技術をバリアフリーの低床車両で検証するため、新たに小型ノンステップバス (現在生産中止) をベースとした実験車両 (先頭車、次位車の 2 両) を試作した。その外観とベース車両からの主な改造点を図 3 に示す。改造項目は、後輪アクスルの交換による 4 輪操舵化、後述する非接触車両誘導による自動操舵機構と車両制御コンピュータの搭載、機械式連結器の取り付け等である。

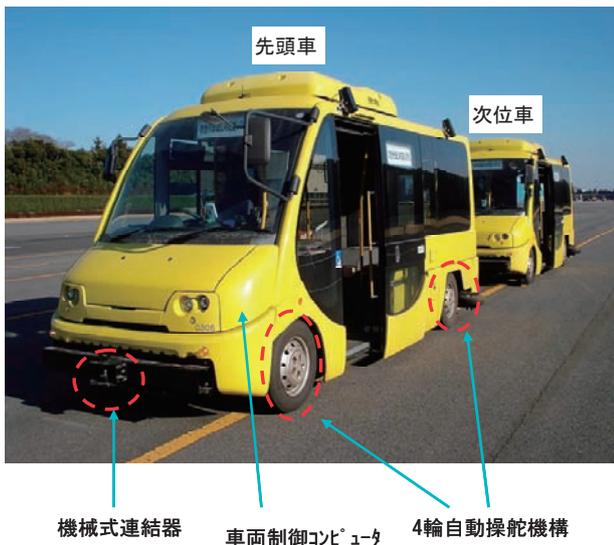


図3 低床試験車両のベース車両からの改造項目

### 3. 2. 光学式非接触車両誘導システム

磁気マーカ方式よりも道路施工の負担が小さく低コストで、かつ信頼性の高い非接触案内方式として、光学的な手法の採用を検討した。路側に引かれた白線を車体左側面上方（2箇所）に設置された小型 CCD カメラで観察し、画像処理を経て車両の走行路に対する幅方向の相対位置を算出し、自動操舵に反映するものである。その概要を図4に示す。このような案内制御機構を試作し、図2の試験車両に搭載した。走行中に、左路側に引かれた白線の画像データに基づいて、白線と車両との相対位置を演算し自動操舵制御コンピュータに連続出力する機能を確認した。画像処理による検出結果は画面右側の3本の線の中の中央の線として示される。

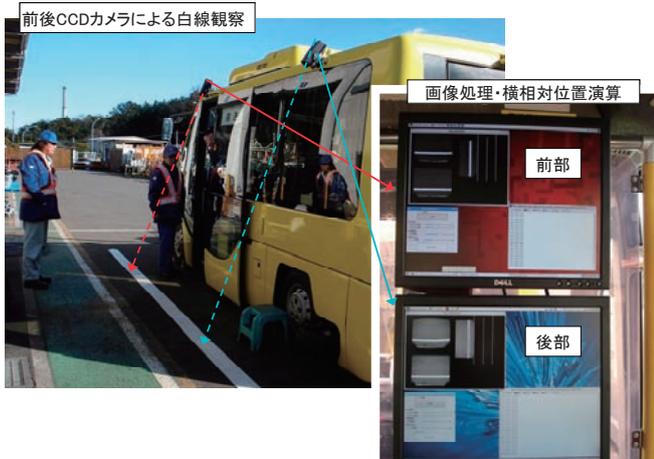


図4 光学式非接触車両誘導システムの機能確認

### 3. 3. 連結車両間同調機構

図2の2両の試験車両の連結状態の走行におけるブレーキ動作を同調させる機構を試作した。同調制御のブロック図を図5に示す。先頭車の運転士がブレーキペダルを踏むことにより発生するブレーキ油圧を電気信号として検出し、自車（先頭車）の車両制御コンピュータに出力する。先頭車の車両制御コンピュータにおいて、入力されたブレーキ油圧信号に相当するブレーキペダルストロークを演算し、ブレーキペダル操作指令信号を生成して、次位車のペダル自動操作電動アクチュエータに出力して、次位車上に先頭車と同等のブレーキ油圧を発生させることとした。上記の制御を可能とするために必要な先頭車/次位車上および車両間引通しの電気配線作業を行った。また車両間の引き通し線は、車両の連結・分離に短時間で簡単に対応できるよう、連結器直上等でコネクタにより分割できる構造とすることとした。次位車のペダルをアクチュエータで自動操作する機構の外観を図6に示す。

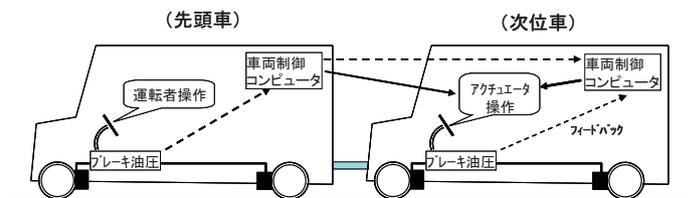


図5 ブレーキ同調制御のブロック図

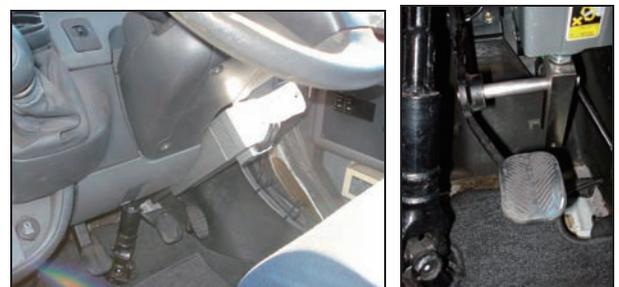


図6 次位車のブレーキペダル自動操作機構

### 3. 4. 連結・分離を支援する運行管理システム

GPS 等を活用して複数車両の位置を正確に検知し、モード転換駅での円滑な連結・分離を支援する運行管理システムを基本設計した。各車両から管理センターへは運行モード、車両位置や到着予想時刻等を送信し、センターから車両へは連結・分離や出発等の指示を送信する。情報伝送には、公衆回線とインターネットを仮想的な LAN として利用することを想定するが、試作したシステムでは特定小電力無線で代用した。各車両の位置表示と運転士への指示を行なう運行管理表示画面を図7に、また車上で運転士が地上からの指示を視

認する表示器を図8に示す。

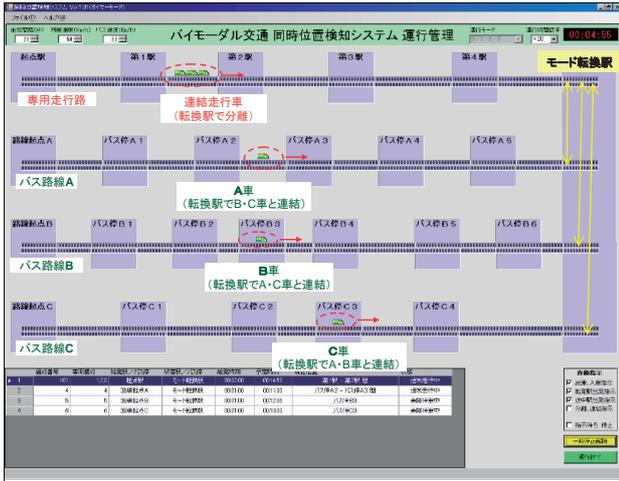


図7 試作した運行管理システム表示画面



図8 試作した運転士指示表示器

### 3. 4. その他の技術要素

前述の光学式車両誘導システムや自動操舵機構の故障による車両の走行路からの逸脱を防止するための、簡素で信頼性が高い方式を考察した。故障発生確率の最小化およびフェイルセーフ担保の方策として、信頼性が極めて高い鉄道信号制御用コンピュータCPUの応用を検討した。また制御故障時の車両の挙動に関して、摩擦係数が高い新たな舗装設計やシミュレーション検討により、急制動時の横滑り量は許容量(70cm)以下に留まる見通しを得た。一方、電気動力方式を採用する場合の駆動モータ形式の選定や車上ハイブリッド電源装置の最適化について検討を行った。

### 4. 実車実験による機能検証

試作した低床試験車両2両を用いて、テストコース上において実車走行を行い、光学式車両誘導システム、連結車両間同調機構、運行管理システム等の機能を検証した。実験項目と機能評価指標は以下の通りであり、その実験状況を図9～図11に示す。

[直線走行 (約500m)]

車両と白線の相対距離の基準値からの横偏差と変動

[曲線走行 (半径約50m、直線からの移行部分付)]

曲線への追従性

[連結走行機能]

連結走行時の次位車と先頭車の挙動、軌跡の同一性

これらの実験結果の一部を図12、図13に示す。直線走行においては、PIDのパラメータ等を最適設定すれば、横偏差は許容値(±20mm)内に収まり、変動も小幅な安定した走行が可能であることを、最高40km/hの単車走行および連結走行で確認した。曲線走行においても同様の機能を確認したが、車速が高くなると追従が困難となったため、速度は15km/hとした。連結走行においては、先頭車が次位車を牽引する形態としたが、ほぼ同一軌跡上を走行し、挙動の差異や不安定さは特に見られなかった。また運行管理システムについても、実車走行において模擬的な連結・分離を再現し、運転士指示等の支援機能を確認した。



図9 連結・直線走行実験中の試験車両



図10 連結・曲線走行実験中の試験車両



図 11 光学式車両誘導システムによる自動操舵状況

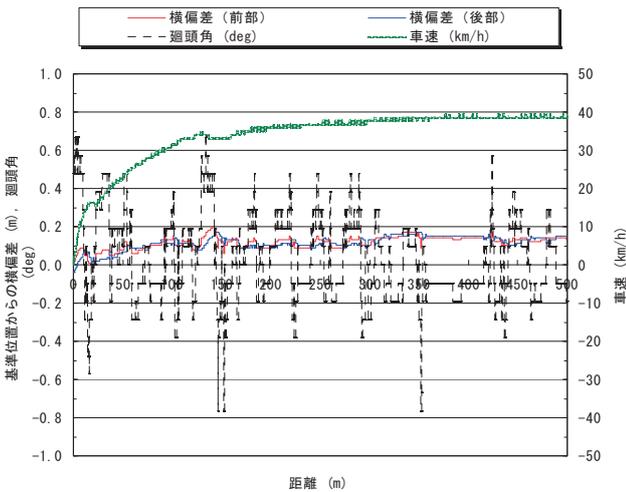


図 12 光学式車両誘導／自動操舵データ例  
(直線走行・次位車)

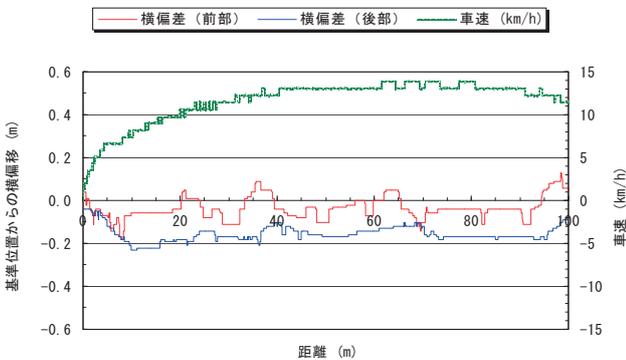


図 13 光学式車両誘導／自動操舵データ例  
(曲線走行・次位車)

### 5. システム仕様最適化と導入効果の評価

BMT システムは、空間的、時間的な輸送量の変動が大きい中規模の都市域に適合するものと考えられる。しかしそれらの形態には幅があり、都心集中型から広域拡散型までが含まれ、また各方面の実情も多用である。従って、BMT システムとしての必要条件と十分条件を整理して、地域に合った最適化が必要と考える。必要条件は、図 1 の③以外の項目であり、十分条件として

は、運行管理システム、電気モータ駆動、自動連結／分離、3 両以上連結、4 輪自動操舵等が挙げられる。それを前提として、実在する集中型の中規模都市に、図 14 に示すような BMT システムのモデル路線を想定し、導入効果について定量的な評価を行っていく予定である。最終的な評価指標は、自家用車からの輸送転換率やエネルギー消費削減量等であるが、そのためには、BMT システム導入後の所要時間短縮や一般車両への影響等を予測する必要がある。そこで先ず、現在バスが運行されているモデル路線上の 8 箇所の主要交差点で交通量調査を行い、その結果を反映した交通流シミュレーションにより BMT を含む各車両の挙動を計算し、走行速度や渋滞状況を把握することとしている。

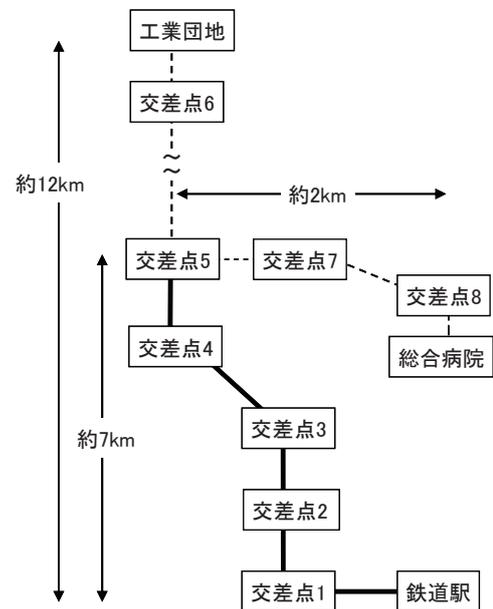


図 14 導入効果評価のために想定した BMT モデル路線  
(実線・専用走行路区間 点線：一般道路区間)

### 6. まとめ

- (1) BMT システムのバリアフリー化、光学式非接触車両誘導、連結車両間同調、運行支援管理等に関する検討、試作を行い、実車実験により機能を検証した。それにより、実用化に向けての技術的な見通しを得た。
- (2) 中規模都市にモデル路線を想定し、実際の交通量等を反映した導入効果の定量的な評価を進めている。

なお、今後の展開として、本システムの適用範囲の拡大を検討していく予定である。

#### 参考文献

- 1) 佐藤安弘ほか「連結・分離可能なバイモーダル・ハイブリッド交通システム開発プロジェクト」、平成 18 年度交通安全環境研究所発表会、pp. 105-108 (2006)