

2702 バスをベースとするバイモーダル交通システムの開発

正 [機] ○林田 守正 (交通安全研) 正 [電] 水間 毅 (交通安全研) 正 [土] 佐藤 安弘 (交通安全研)
正 [機] 大野 寛之 (交通安全研) 正 [機] 足立 雅和 (交通安全研) 正 [電] 工藤 希 (交通安全研)

Development of "Bi-Modal Transportation System" Based on Buses

Morimasa HAYASHIDA, National Transport Safety and Environment Laboratory (NTSEL), 7-42-27, Jindaijihigashimachi, Chofu City
Takeshi MIZUMA, NTSEL Yasuhiro SATO, NTSEL Hiroyuki OHNO, NTSEL
Masakazu ADACHI, NTSEL Nozomi KUDO, NTSEL

In order to activate local public transportation, medium transport systems which have convenience, flexibility and reasonability are required. Therefore, the "Bi-Modal Transport system" (BMT system) based on buses have been under development for years. The BMT system is designed to be operated both on tracks and roads, and transfer-free services are available to passengers. Main technical points are the non-contact guide for low-floor vehicles, the automatic coupling/decoupling of vehicles, the compatibility with ordinary road traffic and the operation system which supports meetings and partings of vehicles.

Keywords: bi-modal, dual-mode, transportation system, bus, local public transportation

1. はじめに

輸送需要が比較的少ない地方都市等へも導入が容易な、便利でコストが低く、需要の変化にも柔軟に対応できる輸送機関が必要である⁽¹⁾。また省エネルギー、低環境負荷の点からもマイカーから公共交通への輸送転換が急務である。そこで鉄道の定時性・輸送力とバスのキメ細かさを併せ持つ輸送機関が実現すれば、マイカーからのモーダルシフトの有力なツールとなる。そこで軌道上の連結走行と、一般的な路線バスとしての機能を有し、それらを旅客が乗換無しで利用できる「バイモーダルシステム」の研究開発を行い、実用化をめざす。

2. バイモーダルシステムのご概念

異種の交通モードを直通するデュアルモードの運行が可能な輸送機関としては、既にDMV、ガイドウェイバス、水陸両用バス等の実例が存在する。本報告では、バス車両技術をベースとし、コンクリート軌道(または専用走行路)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システム」という)と定義する。

両案内は非接触式の誘導自動操舵によるが⁽²⁾、防護側壁の省略による既存道路交通との共存、車両間の機械的な連結、ハイブリッド電源と電気モータによる車両駆動等が異なる点である。そのような BMT システムの概念を図1に示す。

3. 先行的なモデル事業のご概要

平成16~17年度に、(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)殿の補助を受けた先行的なBMTシステムのモデル事業を、車両メーカー、電機メーカー、商社、コンサル企業等と共に実施した。上記の概念に基づくBMTシステムの各構成要素を開発、試作し、最終的にそれらをシステムとしてとりまとめ、図2に示すような専用テストコース上で実車両走行による評価試験を行い、機能を確認した⁽²⁾。

主な開発要素は、図3に示すような車両駆動用ホイールインモータ、中央軌条式の故障時逸脱防止装置をはじめ、小型発電機とリチウムイオン電池等の車上電源、全車輪が同一軌跡を通過する四輪自動操舵機構、通信機能付で自動連結/解放可能な機械式連結器等である⁽²⁾。

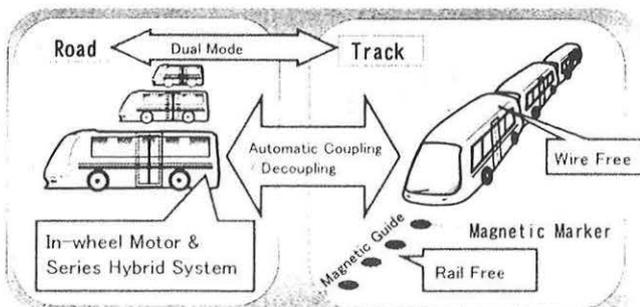


Fig. 1 Concept of "Bi-Modal Transportation System"

平成18年開催の愛知万博で走行したIMTSと同様に、レールや架線の敷設は不要であり、軌道走行における車

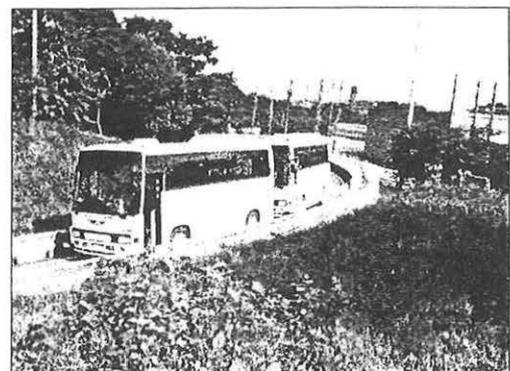


Fig. 2 Pre-Model of BMT Vehicle Running on Track

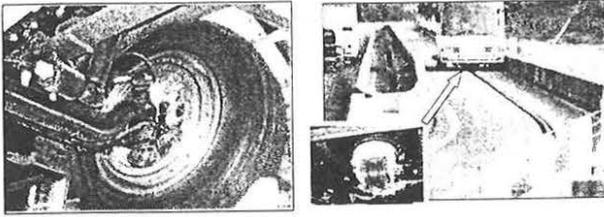


Fig. 3 In-Wheel Motor and Anti-Deviation of Pre-Model

4. 実用化へ向けた新たな技術開発

上記の先行モデル事業終了後、平成 18 年度に当研究所をはじめ同モデル事業参加団体等から成る自主研究会が発足し、実用性向上の検討を継続するとともに、実路線としての導入の可能性を模索した。

それに続き、平成 20 年度の国土交通省総合政策局事業「次世代地域公共交通システムに関する技術開発」の公募において、これまでの BMT システム研究開発の実績に基づいた当研究所からの提案が採択され、以下のような実用化に向けた新たな技術開発を実施している。

4.1 BMT に特有な運行管理システム

BMT システムは、一般道路と軌道との接続点(駅)において、各方面からバスとして走行してきた複数車両を連結し、1本の列車として軌道走行に移るという独自の形態を有する。そのため、図4に示すようなGPS等を活用して1点に向かう複数車両の位置を正確に検知し、集合タイミングを合わせ、道路から軌道への円滑な移行を支援するような、最適な運行管理システムを構築する。位置検知精度に関しては、図5に示すような鉄道路線での実車試験の結果、マップマッチングを併用することにより、誤差を概ね10m以下に留める見通しを得た。

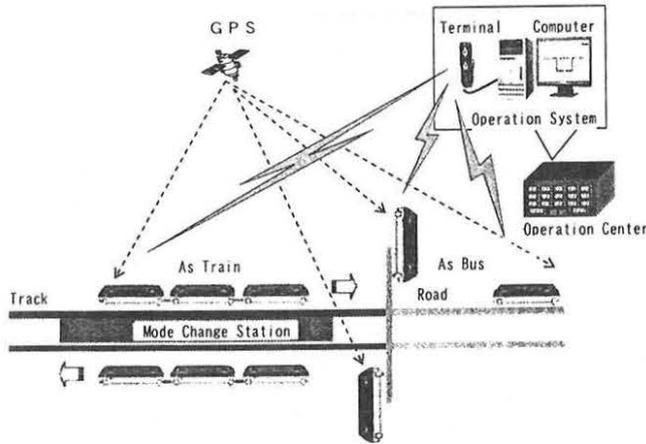


Fig. 4 Outline of Operation System for BMT System

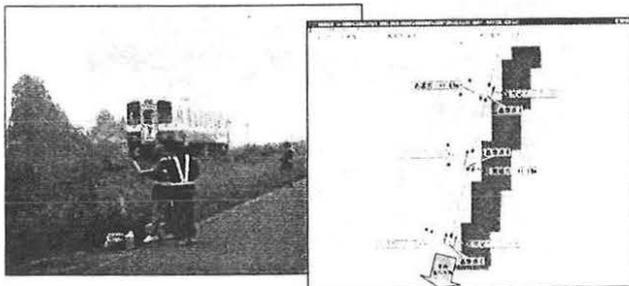


Fig. 5 Test for Location of Running Vehicle with GPS

4.2 車両低床化等に対応する連結・誘導操舵技術

先行試作システムの案内軌条等による逸脱防止機構や、IMTS と同様の磁気マーカによる誘導操舵は機能を検証済みであるが、実用面ではバリアフリー対応に不可欠な車両低床化、コスト、道路管理等の点で不利であることは否めない。そこで防護側壁無・低床車両対応の前提で、図6に示すような簡素、廉価で信頼性が高い連結・誘導操舵技術を検討している。

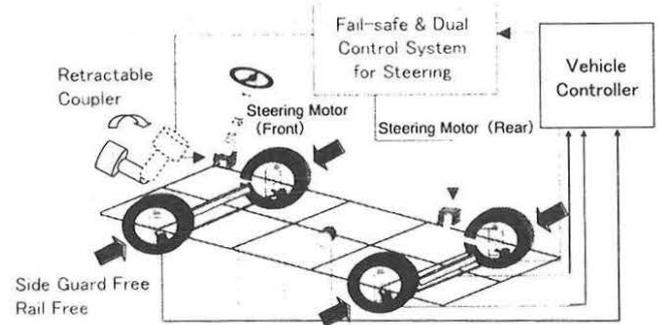


Fig. 6 Simplified Coupling and Steering Technique

4.2.1 4輪操舵制御コンピュータのフェイルセーフ化

逸脱防止対策として、まず操舵モータ制御部分の故障発生確率の最小化および故障時の危険防止のため、制御コンピュータのフェイルセーフ化、制御信号伝送系の多重化に関する基本設計を行った。その一環として自動車用より格段にフェイルセーフ性が高い、図7に示すような鉄道信号制御用コンピュータ CPU の応用を検討した。

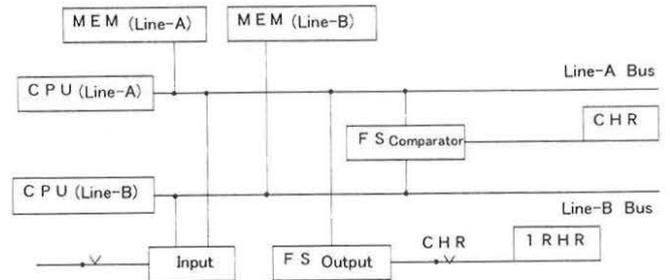


Fig. 7 Fail-Safe CPU for Railway Signaling System

4.2.2 操舵制御故障時の逸脱防止

操舵制御システムの故障確率の最小限化を前提としたうえで、万一の制御故障時に連結車両が左右方向に大幅に横滑りし軌道外へ逸脱する可能性の有無に関し、図8に示すような走行シミュレーションによる評価を行った。

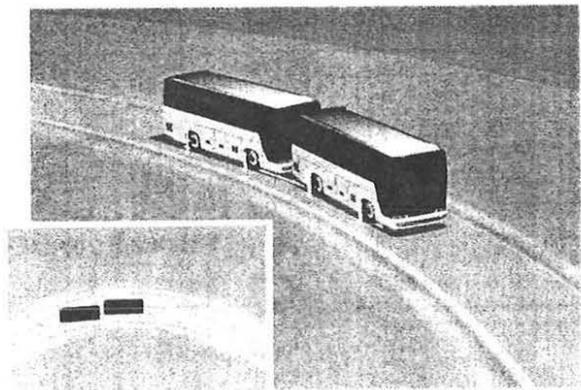


Fig. 8 Simulation of Side Slip in Control Trouble

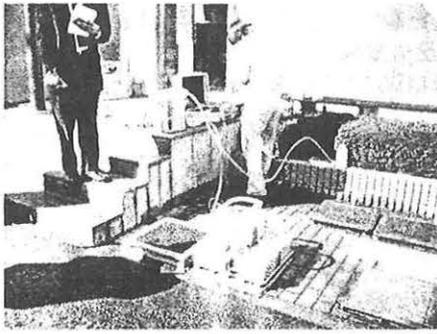


Fig. 9 Friction Test for Various Type of Road Surface

その結果、曲線 (R=50) 走行中の急制動時の横滑り量は通常のアスファルト舗装でも許容量 (70cm) 以下に留まる見通しを得た。一方、路面摩擦係数を増大し横滑りを抑制する舗装仕様を設計し、図9に示すように各種試験片を試作して摩擦係数測定により性能を評価した。

4.2.3 光学的な車両誘導技術

軌道上の路面に埋設する磁気マーカの検知に代わり、施工の負担がより少ない光学的な目標検知による車両誘導案内技術の応用を考察する。図10に示すように、路面上に表記された車線 (白線) を小型カメラで検出し画像処理した信号を制御装置に送って自動操舵を行うことにより車両を誘導案内する手法⁽³⁾を検討中である。

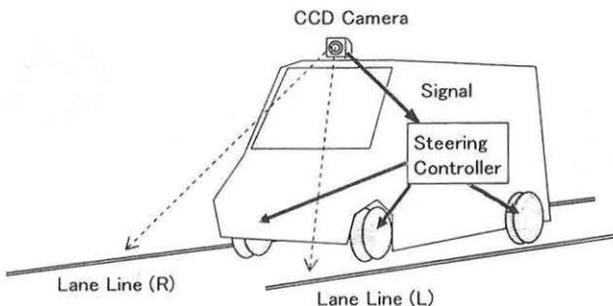


Fig. 10 Optical Vehicle Guidance Method on Track

4.2.4 一般道走行時の連結器収納

軌道上の連結走行時に使用する機械式連結器が、バスとしての一般道走行時に、他車や構造物との障害にならないような収納機構を基本設計した。その一例として、水平方向の伸縮機構を図11に示す。

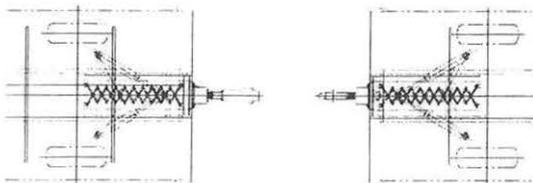


Fig. 11 Design of Retractable Coupler

4.2.5 新たな低床試験車両の試作と実証試験

先行システムの試作車両は高床の観光バス車両をベースとしたが、前述のように低床化が必須条件である。そこで上記の車両間連結・誘導操舵技術を低床車両で検証するため、新たに図12に示すような小型ノンステップバス (現在生産中止) をベースとした試験車両を試作した。



Fig. 12 Base Bus for New BMT Testing Vehicle

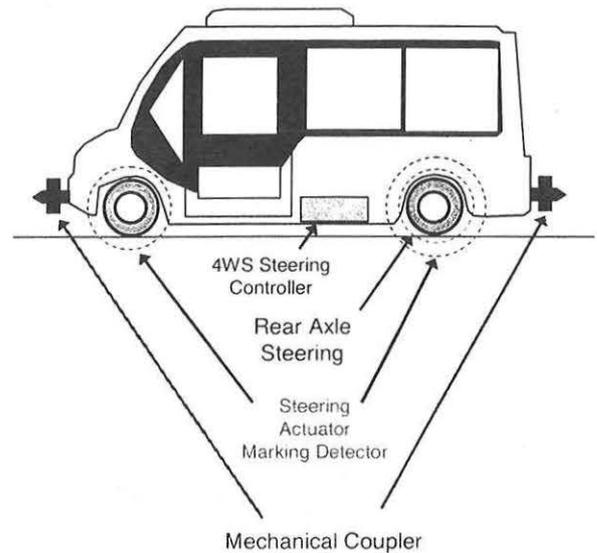


Fig. 13 Conversion Items for BMT Testing Vehicle

その改造内容を図13に示す。この低床試験車両を用いて、上記で検討、設計した車両間連結・誘導機能を検証するため、テストコースを利用して図14に示すような機能試験を実施する。試験においては、連結時の非接触誘導による4輪自動操舵・同軸走行、操舵故障時等の横滑り抑制、また運行管理システムによる車両離合集散の支援等の機能を確認する予定である。

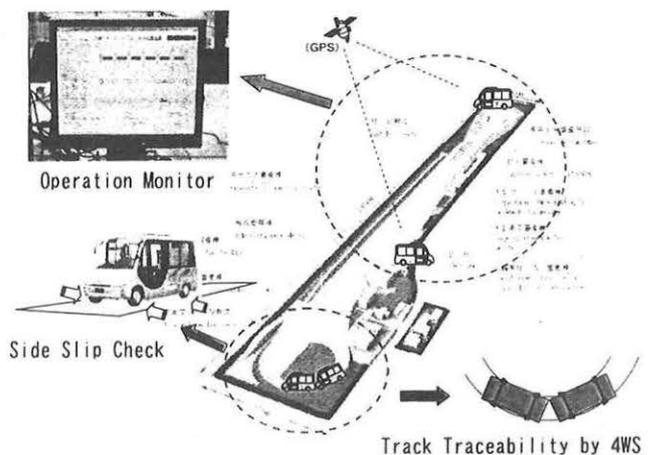


Fig. 14 Outline of Filed Test for New BMT System

4.3 電気動力システムの改良

先行試作車両で採用された電気動力システムの構成要素には信頼性の点で課題が残っていたため、その対策として、同期モータ角度検出の変更、車上電源の最適化、モータの減速機併用等に関する検討を行っている。

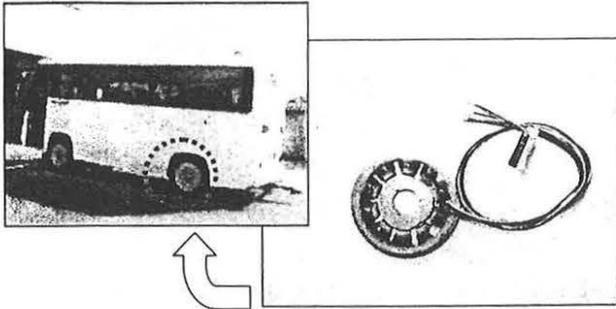


Fig. 15 Resolver Detecting Motor Angular Position

先行モデル試作車両のアウトロータ同期モータでは円周部分の磁気ホールセンサにより回転角度を検出していたが、振動で固定子-回転子間ギャップ変動が生じ動作が不安定となる場合があった。そのため図 15 に示すようなレゾルバ方式の検出器を試作し、回転中心で角度を検出する方式に改めることとした。また、モータに給電する車上電源は主電源（車載発電機）と補助電源（二次電池等）から構成されるが、後者において直流 600V を確保するためには数百セルの直列接続が必要であり、信頼性の面で弱点となっていた。そこで図 16 に示すように補助電源と主電源の間に高効率の直流電圧変換装置を介させ、電池のセル数を最適化する構成を検討した。

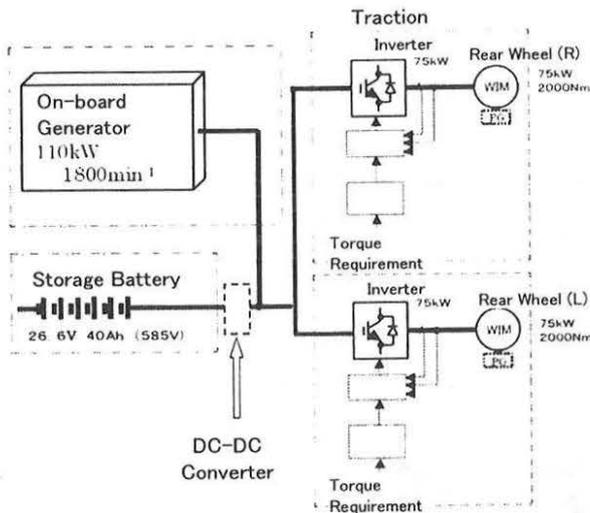


Fig. 16 Electric Source using DC-DC Converter

一方、減速機無しのアウトロータ式モータは構造が簡素であるが、高トルクを発生させるための大電流通電により過度の温度上昇を招く傾向が見られた。そこで別案として、図 17 に示すような扁平型で高回転・低トルクのインナーロータ式モータと減速機の併用による所要トルクの確保を考察し、動力ユニットの基本設計を行う。

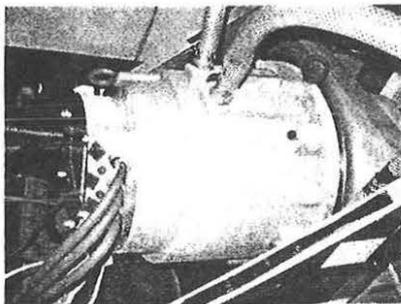


Fig. 17 Flat Shaped Inner-Rotor Traction Motor

5. 今後の計画

5.1 技術開発の推進

技術的な項目については、車両走行や運行形態に関する機能要件を確定しながら、上記に述べた運行管理システム、連結・誘導操舵システム、電気動力システムの各要素の開発を引き続き推進し、実証試験等を通して全体システムとしてのとりまとめを行っていく。また鉄軌道と自動車の両方の性格を合わせ持つため、それら双方の関係法令との関連性を考察する。

5.2 地域導入に向けて

BMT システムの地域導入を想定した運行形態の例を図 18 に示す。中規模都市の中心部から、纏まった輸送量がある外縁部までは軌道上の連結走行、それ以遠は単独走行で各方面への運行を考える。また軌道上でも時間帯別に連結の有無による調整が可能である。BMT システムを実現させるためには、導入地域モデルを設定し、既存自動車交通への影響、交通機関選択率の変化、省エネルギー・環境負荷低減効果等を定量的に評価したうえで、適合性が高いと考えられる具体的な導入地域候補の選定、関係各方面との調整・連携を重ねる必要があると考える。それに続いて、本開発でまとめた BMT システムの実用性、受容性、採算性等を更に高めたプロトタイプを試作し、社会実験等の試験的運行に繋げたいと考えている。

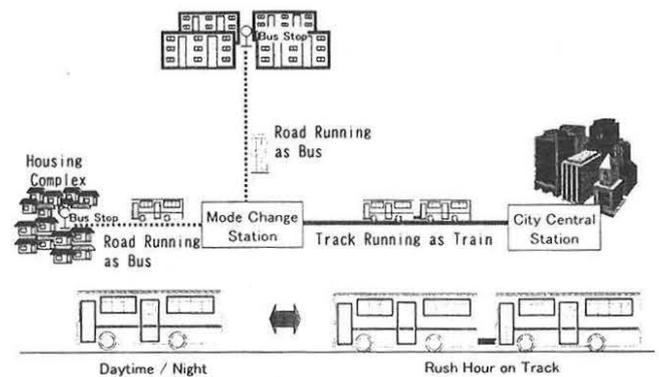


Fig. 18 Introduction of BMT System to Middle City

6. まとめ

- (1) パイモダル交通システム（BMT システム）の概念と研究開発の経緯を示した。
- (2) 先行的なモデル事業で試作した BMT システムの概要と、残された課題を紹介した。
- (3) BMT システムの実用性向上のために必要な下記の技術開発項目に関する実施状況と成果を示した。
 - ・ 高度運行管理技術
 - ・ 車両連結・誘導自動操舵技術の低床車両対応と簡素化
 - ・ 電気動力技術（駆動モータ、車上電源）の信頼性向上
- (4) 今後の実証試験や開発推進の計画、および BMT システムの具体的な地域導入実現への方向性を示した。

参考文献

- 1) 地域公共交通の活性化及び再生に関する法律、国土交通省ホームページ, 2009
- 2) 佐藤安弘, 水間 毅, 中村雅憲, 新村 通, 青木啓二, 高田知幸, 田淵正朗: 平成 18 年度交通安全環境研究所発表会, pp. 105-108, 2006
- 3) 中山啓満, 窪田 進, 谷口恭弘, 小野口 則: 逆投影画像上での候補追跡処理による白線検出, 電子情報通信学会パターン認識・メディア理解研究会 (PRMU)2001 年 9 月研究会前刷集, 2001