

# 自動運転バス「IMTS」の 開発現状について

青木 啓二

トヨタ自動車株式会社 (IT・ITS企画部 主査)



あおき けいじ

## はじめに

1980年代初頭に都市内の新しい公共交通システムとして、モノレールや新交通システムが導入され、都市での重要な中量輸送の役割を担ってきましたが、より経済性とサービス性に優れたシステムを目指して、バスと鉄道の両方の機能を持つ交通システム「IMTS」が開発され、2005年愛知県で開催された国際博覧会「愛・地球博」の会場内基幹交通システムとして実用化されました。更にこのIMTSを発展させ、路面電車とバスの機能を兼ね備えたシステムBMH（バイモーダルハイブリッド）の開発も進められています。

以下に、軌道系交通とバスの両方の機能を持つデュアルモード型交通システムIMTS及びBMH開発の現状について紹介します。

## IMTSのコンセプトと特徴

IMTSでは、専用軌道ではバスが複数台の隊列を組み自動運転され、軌道の終端部では隊列が解除され、それぞれのバスが単独で一般道を手動運転されます。このため、IMTSでは既存のバスにはない新しい技術が導入されています。その第一番目が磁気マーカを利用した磁気誘導案内

システムで、バスは軌道に設置された磁気マーカに沿って自動走行します。第2番目が無線通信を利用した隊列走行システムです。軌道と道路の結節点での乗り換えを不要とし、更に切り換えを自動で短時間で行うために、隊列内の各車両は機械的には連結されておらず、無線通信を利用して隊列が構成されています。軌道上では先頭車以外の隊列内の車両は一定の車間距離を保持するよう車両速度が自動制御されます。なお安全確保の点より、隊列内の車両に異常が発生した場合は隊列内の全ての車両は自動停止されます。以下に磁気誘導案内制御システム及び隊列走行制御システムについて紹介します。

### (1) 磁気誘導案内制御

図1に磁気誘導案内システムを示します。走行路中央に磁気マーカと呼ばれる永久磁石が埋設され、車上に取り付けられた車線案内制御装置により車両中心が常に磁気マーカ上を通過するように舵取り装置が制御されます。図2に車線案内制御装置のシステム構成図を示します。

磁気マーカと車両との横ずれ量を検出する磁気マーカ検出器や車体の回転角速度を検出するヨーレートセンサからの情報を基に、車両制御コンピュータに記憶された走行レーンの曲率や傾斜角等の走行路形状情報を使いながら

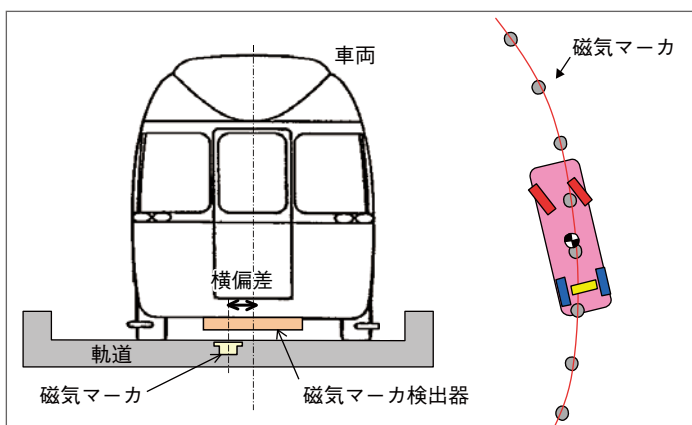


図1 磁気誘導案内システム

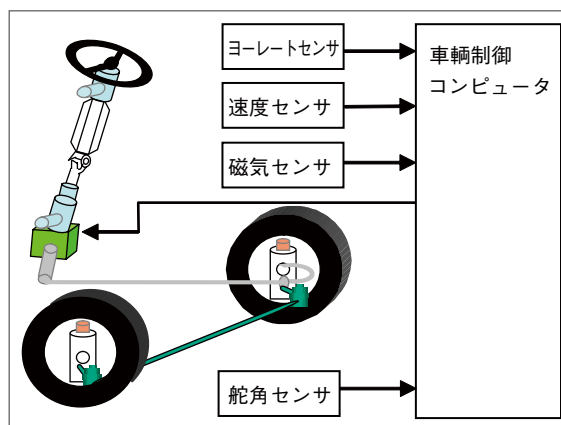


図2 車線案内制御装置

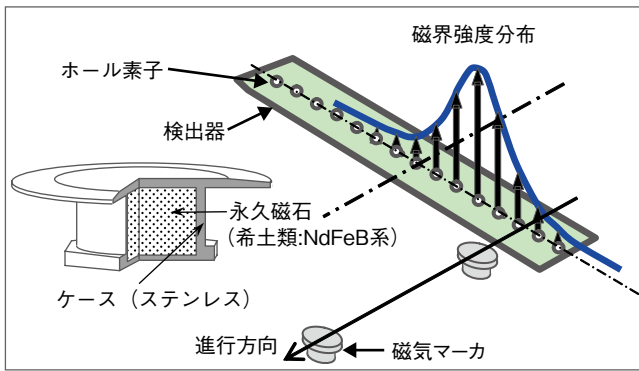


図3 磁気マーカー及び磁気マーカー検出器

じ取り装置の操舵角が自動制御され、車輛は磁気マーカーに沿って走行します。

図3に磁気マーカーと車両との横ずれ量を検出する磁気マーカー検出器の構成を示します。

磁気マーカー検出器のマーカー検出方式には磁界強度を電気信号に変換する磁界検出方式が採用され、検出素子として磁界強度で電流が変化するホール素子が使用されています。磁気マーカー検出器は磁気マーカーと車両中心との横方向のずれ量を検知すると同時に磁気マーカーの通過を検知する機能を併せ持ち、この情報は進行方向の位置を決定し、隊列走行制御に利用されています。

## (2) 隊列走行制御(電子連結)

図4に隊列走行システムの構成図を示します。隊列内の各車両の走行位置、速度、加減速度、隊列ID情報等が車両間相互の通信を行う車車間通信を利用して、先頭車から順次後続車に伝送され、これらの情報を基に、隊列内の各車両の速度、車間距離が車両制御コンピュータで制御されます。

隊列内の各車両の速度は夫々の位置一目標速度パターンに従って制御されていますが、隊列内の各車両間の間隔が設定された間隔からずれた場合、先頭車以外の車両の速度は設定された車両間隔になる様、車間距離情報を用いて制御されます。

なお、車間距離情報は車車間通信で送られてくる前車の走行位置と自車の走行位置より算出されます。隊列内の各車両間隔は走行速度毎に安全性を考慮して設定されており、速度30km/hでは約20m、停止時はプラットフォーム長を考慮し4mに設定されています。

通信の信頼性を確保するため、車車間通信システムは2重系の無線通信及び1重系の光通信の3重系で構成されています。正常なデータが一定時間以上受信できない場合、通信異常と判断され、隊列内の全ての車輛は自動停止されます。

通信時間の遅れや通信距離性能等の限界により、隊列を構成する車輛数には制限があり、現状では最大3～4台程度です。

## 愛知万博IMTS

愛知万博において、IMTSは「IMTS愛・地球博線」として鉄道事業認可を受け、会場内輸送システムとして運行されました。IMTS愛・地球博線の路線図を図5に示します。

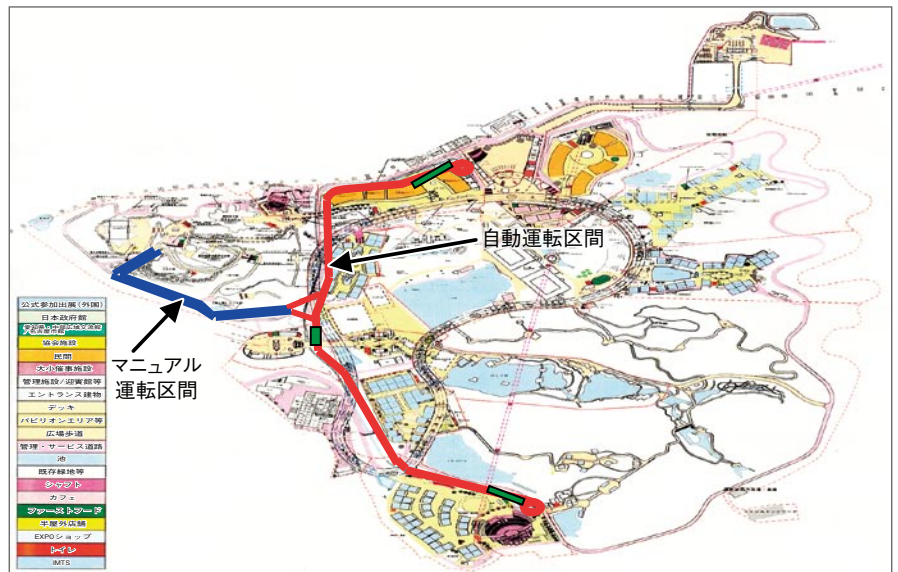


図5 IMTS愛・地球博線の路線図

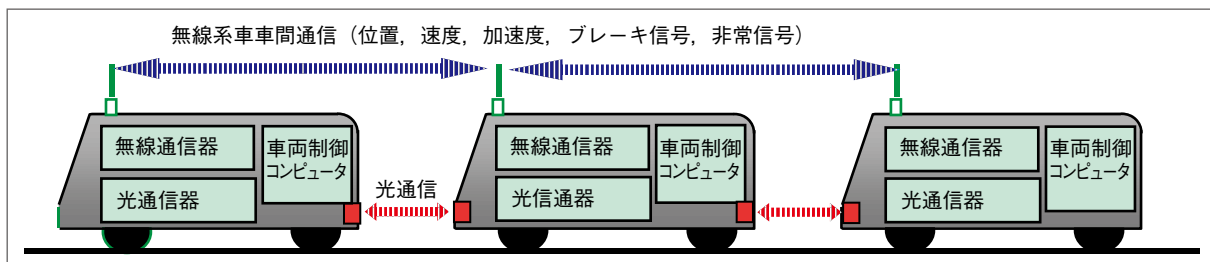


図4 隊列走行のシステム構成

路線は約1.6kmの単線専用軌道と構内道路からなり、車両は専用軌道では隊列自動運転され、構内一般道ではバスとして手動運転されます。なお、隊列の先頭車両には乗降時等の安全確保のため、添乗員が一名乗車して運行されました。表1に運行概要を示します。

使用された車両は全長約11mのノンステップ型車両で定員は50人です。エンジンとして、環境にやさしい圧縮天然ガスを燃料としたCNGエンジンが搭載され、シャー

表1 愛地球博線運行概要

運行時間	9:00~22:00 (開場時間に合せて運行)	
走行 区間	自動運転 (IMTS専用道)	北ゲート駅~西ゲート駅~EXPOドーム駅 片道約1.6km
	マニュアル運転 (会場内管理用道路)	西ゲート駅~メッセ前バス停 片道約0.8km
導入台数	13台	
隊列台数	2台/3台	
運行速度	最高速度 約30km/h 平均速度 約20km/h	
所要時間	約10分(自動運転区間の片道)	
運転間隔	自動運転区間	10分間隔(6本運行/時間)
	マニュアル運転区間	40分間隔(1~2本運行/時間)



図6 IMTS車両構造



図7 駅に停車中の隊列

シには市販されている日野大型ノンステップバスシャーシが利用されています。軽量化及び万博に相応しい未来的なデザインを実現するため、カーボンFRP製の車体が新たに開発されました。図6に車両構造の概観を示します。

### (1) 自動運転

1.6kmの単線すれ違い軌道では、最大3台の車両で隊列が組成され、隊列内の車両は最大速度30km/hで自動運転されます。図7に運行中の隊列走行を示します。各隊列には列車番号が附与され、各隊列は運転指令所に設置された中央処理装置の運転ダイヤに基づいて自動運転されます。安全確保のため、各駅にはプラットホームドアが設置され、車両扉と連動して開閉制御されました。

非常状態が発生した場合において、非常ブレーキ等の操作を行うため、隊列の先頭車両には係員が車両の運転室左方に設置された監視員席に乗務しました。

愛知万博IMTSでは各隊列の衝突防止のため、誘導磁界無線を用いた車上速度パターン制御型のATCが使用されています。隊列内の先頭車が地上装置からの停止信号を受信した場合、隊列内の各車両は位置一停止速度パターンを自動生成し、このパターンに従って自動停止します。なお、専用軌道は単線すれ違い構造であるため、電子連動システムが併せて採用されています。

### (2) デュアルモード走行及び自動分岐・合流

専用道を自動運転で走行する隊列の最後尾車両は専用軌道から出て、一般車両が走行する会場内道路をバスとしてマニュアル運転されます。運転手は、会場内道路へ出る直前の駅で乗り込みます。

専用軌道には会場内道路に出るための分岐部と、会場内道路から戻って専用道へ流入するための合流部が設けられており、会場内道路への分岐、専用道への合流は自動で行われます。分岐・合流部にはインターチェンジが設置され、自動運転とマニュアル運転の切換はインターチェンジで行われます。

分岐部手前に設けられた駅に到着した隊列はここで、2台隊列と単車に分割され、2台隊列はそのまま本線を走行し、単独車両は分岐部まで自動走行し、インターチェンジより手動運転されます。又構内道路を走行してきた車両はインターチェンジで自動運転に変更され、本線を走行してきた2台隊列の最後尾車として2台隊列に合流します。

愛知万博では約180万人の方がIMTSに乗車され、システムの故障等により多少運行停止が発生したものの、会場内輸送として、一定の役割を果たしました。

## バイモーダル・ハイブリッドシステム (BMH) の開発現状

BMHはIMTSの発展系として開発されたシステムで、併用軌道での連結自動運転走行と一般道でのバス単独手動運転走行を可能とするシステムで、新エネルギー・産業技術総合開発機構「NEDO」の補助金をうけ、おもに民間3社と独立行政法人「交通安全環境研究所」の共同で開発されたものです。

IMTSでは、一般道とは物理的に分離された専用軌道でしか隊列運転されないのに対し、BMHでは路面電車と同様に併用軌道において連結運転されます。

車線案内はIMTSと同様、磁気マーカ及び磁気センサを用いて行われますが、車輛側の車線案内システムが故障した場合の安全確保のため、軌道中央に1本の車線逸脱防止レールが埋設されると共に、車輛側には車線逸脱防輪が前及び後輪車軸に装着されます。システムが正常動作している場合は車輪は低荷重でレールと接触していますが、故障時には空気バネを介し、車線逸脱防止に必要な荷重でレールと接触します。

図8に車両アクスル部に装着された逸脱防止輪を示します。

IMTSでは隊列は車車間通信を用いて維持されるのに対し、BMHでは自動連結器を用いて連結運転が行われます。

連結時の自動化のため、各車輛間の通信には光通信器が使用されています。

既存のバスを機械的に連結した場合、内輪差のため、前輪走行軌跡と後輪走行軌跡の間に違いが発生するため、曲率の小さな曲線区間を走行することが困難です。このため、BMHの車輛では車輛の後輪も前輪と同様に操舵する4輪操舵システムが使用されています。なお、上記4輪操舵システム及びより省エネ化を図るため、BMH車輛の駆動システムとして、タイヤの中に駆動モータを内蔵したインホイールモータとエンジン発電機から構成されたハイブリッド駆動システムが新たに開発されました。図9に開発されたインホイールモータを示します。

現在、BMHの実験車輛が2台製作され、実験線にて走行実験が行われています。図10に走行実験風景を示します。

### おわりに

今日、地球温暖化防止対策として、運輸部門でのいっそうの省エネ化が叫ばれています。この中で自動車自身の省エネ化に加えて、マイカーから公共交通へのモーダルシフ

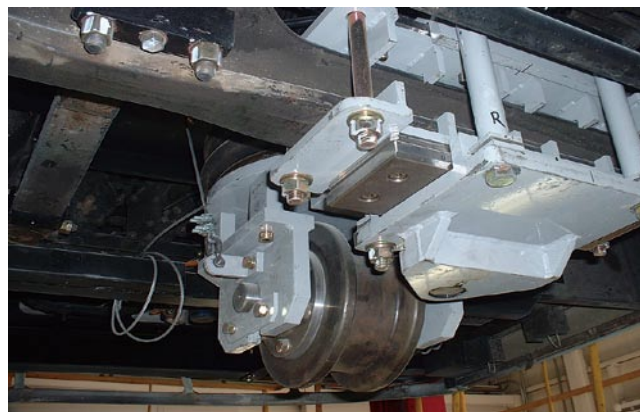


図8 車両アクスル部に装着された逸脱防止輪

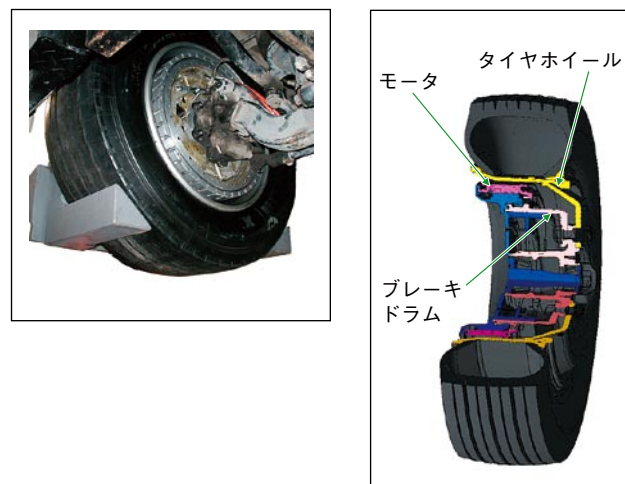


図9 インホイールモータ構造



図10 BMH車輛の走行実験風景

トによる省エネ化が期待されています。これを実現するには交通政策面での支援に加えて、経済性や利便性に優れた魅力ある公共交通システムの開発が必要であると考えられます。IMTSやBMHの実用化にはまだ解決すべき課題が残されており、今後実用化にはこれまで以上に官学民による開発が必要になると考えられます。[RRR]