

次世代都市型軌道系交通機関の開発動向

交通システム部

大野 寛之 水間 毅

1. はじめに

地球温暖化問題や都市環境問題の解決手法の一つとして、LRT をはじめとする軌道系公共交通機関に注目が集まっている。近年、我国でも LRT への補助制度ができる等、普及に向けた動きが始まっているが、世界では LRT 以外にも路面軌道系交通機関が多数開発されている。

また、こうした路面軌道系システムは軌道(一次元)交通と平面(二次元)交通の両方を走行できるハイブリッド型システムとしての開発が主となっており、我国でも開発が進められている。

これらの新しいシステムは環境負荷を少なくするのみならず、バリアフリー化が図られるとともに、利用者の利便性を高める工夫が随所になされている。そうした次世代の公共交通機関の開発動向について紹介すると共に、我国への適用の可能性について考察を行う。

2. 海外における技術開発

2.1. レールガイド式タイヤ駆動路面電車

路面に敷設されたセンターガイドレールにより案内を行いゴムタイヤにより走行する、トロリーバスと LRT のハイブリッドと言うべきシステムが開発されている。この方式ではレールは案内機能のみを行うので軽量化・縮小化が可能となり、軌道構造を簡便なものにすることが可能となっている。また、機械的に案内されることから走行時の道路専有面積を少なくすることができる。さらに駆動と支持はゴムタイヤで行うことから、静穏性および登坂性能に優れている。

1本のガイドレールの上を1つの鉄車輪がまたいでガイドする方式の Bombardier 社製 TVR と、ガイドレールを2つの車輪が挟み込む形の(図1) Lohr 社が開発した TRANSLOHR の2方式がある。

これらはいずれも、通常はレールによる案内により走行するが、車庫内の移動時等はガイド輪を持ち上げ自らステアリングを行うことも可能な設計となっており、平面的な走行も考慮されている。また、搭載バッテリーにより短距離であれば自立走行も可能となっている。このため、万一走行路上に障害があった場合には、ガイドレールや架線をはずれ、障害部分を迂回することも可能である。

両方式ともフランス国内で試験が続けられているとともに、商業運行も一部実施されている。

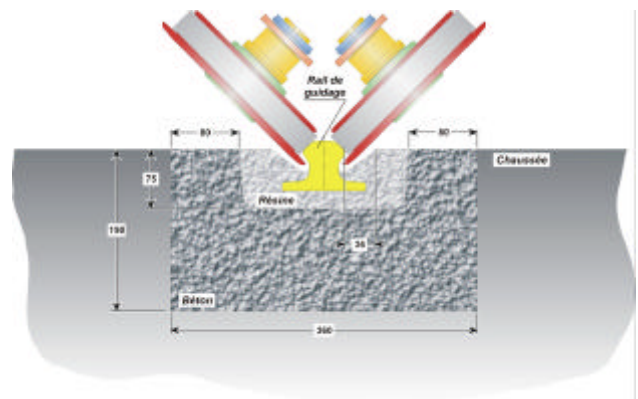


図1. Lohr 社の案内システム

2.2. 光学ガイド式タイヤ駆動路面電車

レールを用いた機械的なガイドによらず、路上に印されたラインを光学センサーで読みとりステアリング操作を行うもので、レールガイド式のものよりも遙かにトロリーバスに近い。トロリーバスと異なる所は、通常時のステアリング操作が光学センサを用いたシステムにより自動的に行われる点である。

この方式はレールガイド式よりも平面自由度が高いため、異常時対応は容易になるメリットがある反面、光を用いた走行路のセンシングシステムの開発には高度な技術が要求される。現在、実用線を建設中である。

2.3. 地中集電式トロリーバス

イタリアのアンサルルド社によるシステムで、空中架線を用いずに、地中に埋め込んだ電車線モジュールから、車体下部の集電シューを用いて電力を得るユニークな構造となっている（図2）。空中に架線が無いことから、都市景観に与える影響は極めて小さい。

電車線モジュールは密閉されており、上に車両が無いときには地表に現れている金属製のセグメントと電車線とは絶縁されている。車両がモジュール上部を通過する際に車両集電器に取り付けられた磁石がモジュール内部にある磁性ベルトを吸引し、その上にある金属片が給電帯とメタルセグメントとの間を短絡することにより、集電器と接触するメタルセグメントを通し車両へと電力が供給される。車両通過後、磁性ベルトは落下し上部金属片も定位置にもどることで車両通過前の状態に戻る。通電されるメタルセグメントは車両の下部にある集電器近くの部分だけであり、車両前後の離れた部分では車両が無い状態と同じく電位の無い状態が保たれる。

本システムは現在、イタリアのトリエステ市で実走行中である。

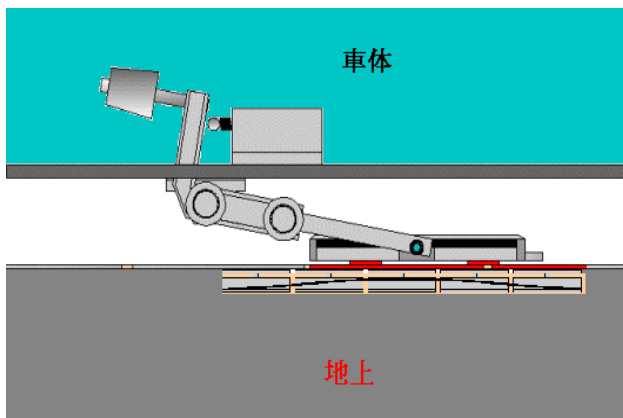


図2. 地中集電システム

2.4. デュアルモード・トロリーバス

架線のあるところではトロリーバスとして、架線のないところではディーゼルエンジンを用いて走行するデュアルモードバスはドイツを中心にヨーロッパ数カ国で実用化されている。

運行する地域の特性に応じて、2つのモードを使い分けることで、利便性と低公害性の両立を可能にしている。二次元的な運行をする通常の路線バスから乗り換えることなくトロリーバスモードでの運行が可能であることから、シームレスな交通機関として乗客の評価は高い。

3. 日本における技術開発

3.1. 磁気案内式

トヨタ自動車（株）により開発された IMTS⁽¹⁾ (Intelligent Multi-mode Transit Systems) は、一般道では通常のバスと同じようにドライバによって走行するが、専用道では複数のバスが列車のように隊列を組んで自動走行を行う。専用道を自動走行する場合、各バスは専用道に埋め込んである永久磁石の磁界を磁気センサで検知しながら走行レーンを保持する。さらに、車載ミリ波レーダ等によって先行車両との距離や前方の障害物を検知したり、車々間通信を行ないながら車間距離を制御して走行する。

これにより、デュアルモード・トロリーバス同様の利便性を得ることができるとともに、旅客数の多い幹線では隊列走行による自動運転を行うことで、鉄道同様の輸送力を確保できる。さらには専用道を走行することから、輸送の定時制を確保することも可能となる（図3）。

本システムは平成13年より、淡路島にあるテーマパークにおいて公園内の輸送機関として、専用コースにて運行されている。2005年に予定されている万国博覧会における利用も想定されており、研究が進められている。

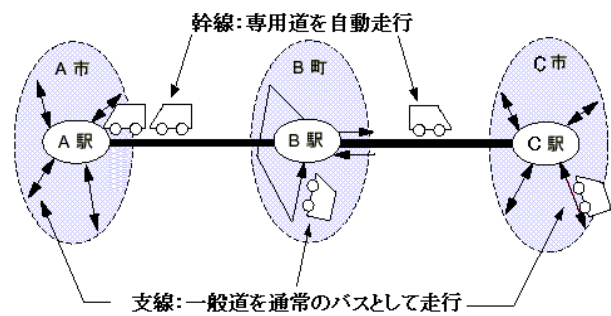


図3. IMTS運用の概念図

3.2. 空気浮上リニアモータ式

日本オーチス・エレベータ社の開発による空気浮上・リニア推進新交通システム (ALM)⁽²⁾ は、車両に取付けられたブロウ装置からエアパッドに空気を送ることで、車両と軌道面との間にできる空気の間によって車両を支持し、浮上した車両をリニアモータにより推進するシステムである。

車両の案内は、新交通システムと同様、車両両側面に取付けられている案内輪と軌道両側面に設置されている案内レールとによって行われる。集電も新交通と同様に、軌道側面に設置されているパワーレールから車

載の集電装置を通して行う側方集電方式を採用している。

本システムは、空気により車両を支持することにより、タイヤ方式の新交通システムなどに比べ、メンテナンスが容易で騒音・振動が少なくなっている。浮上を停止することで非常ブレーキがかかるため安全性も高い。また、案内方式を非接触とすることにより横移動も可能なため、駅舎や車両基地等のスペースを少なくすることが可能となる。現在福岡市でこの方式の導入の検討が行われている。

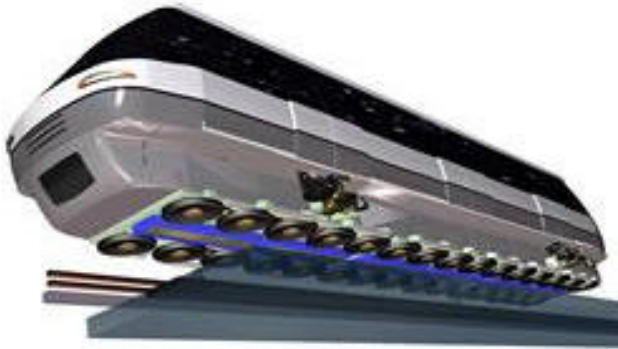


図 4. ALM システム

3.3. 要素技術の開発

都市交通システムについては大気汚染防止の観点から、動力源として電気モータを用いるものが主流となってきた。内燃機関を搭載するものでもハイブリッド化により電気モータを用いる傾向にある。この傾向は都市内公共交通のみならず、自家用車においても顕著であり、内外の自動車メーカーはハイブリッド車や燃料電池車の開発にしのぎを削っている。

また電力供給源としての空中架線は、都市景観の観点から嫌われる傾向にある。そのため、鉄道分野においても独立した電源である燃料電池等についての研究が進められている³⁾。

ここでは我国で開発されている、都市内交通に応用される要素技術のいくつかを紹介する。

3.3.1. ホイールインモータ 路面交通の低床化を図るため、左右輪を結ぶ車軸を排し、そこに生まれたスペースを利用する方式がある。そのための手段として有効な要素としてホイールインモータ(ハブモータ)が挙げられる。現在我国では早稲田大学理工学総合研究センターを中心に開発が進められており、水冷式モータ、低床アクスルおよび冷却回路を含めたシステムの試験が続けられている。

この基本システムは電力源を選ばない物であるこ

とから、トロリーバス、ハイブリッドバス、燃料電池バスのいずれのシステムでも適用可能である。また、これまでの低床バスのように車体後半部の床が高くならずに済むため、100%の低床化が可能となる。

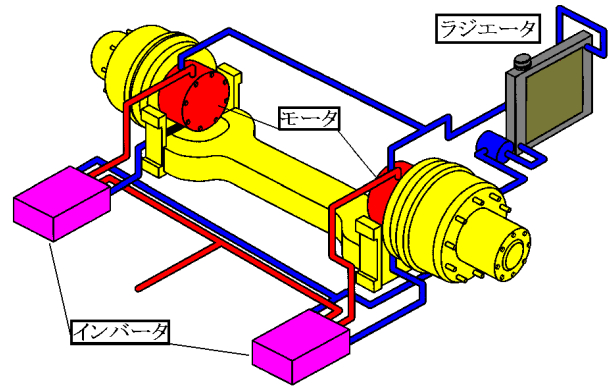


図 5. ホイールインモータ式低床アクスル

3.3.2. リニアモータ 回転モータと異なり扁平な形状を持つリニアモータは、車両の低床化や小型化に貢献することができる。既にリニアモータ地下鉄は実用化されており、トンネル断面縮小により工事費の節減に一役買っている。また、3.2節で述べた ALM はこれを利用して低床化を図っている。

地下鉄や ALM では車上にリニアモータ一次側を配置しているが、これを地上に配置する地上一次式のシステムについて、交通安全環境研究所では研究を行っている。地上一次式を採用すれば、車両側の構造が簡単になり、車両コストの低減が可能である。また、LRT 等の車両を、郊外部では架線からの電力で運用し、都市内のトランジットモールでは架線を排し地上一次式リニアモータで駆動するシステムも考えられる。部分的なリニアモータ駆動は、広島市にあるスカイレールにおいて既に実用化されている。

3.3.3. 二次電源 モータ駆動用の電力源としては、架線(空中・地中)、内燃機関によるハイブリッド、燃料電池等が考えられる。また、充電電力のみによる走行も可能である。しかし、架線等を持たず独立した運用をする車両においては、制動時の運動エネルギーを回収し、力行時のエネルギーの補助を行うことが効率的な運行には不可欠である。

従来は運動エネルギーの吸収方式としてフライホイール等の機械的なものや、バッテリーと言った単純な電気的なものが利用されてきたが、機械的損失の大きさや激しい負荷変動に追従しきれない等の問題により実用化されなかった。

しかし近年ではそうした要求に応えるデバイスとしてウルトラキャパシタに注目が集まっている。キャパシタはバッテリーと異なり化学変化を用いずに電気的な吸脱着を行うため、急速充放電が可能であり電極の劣化もほとんどないことが特徴である。現段階では二次電源としての役割の主要な部分(制動時に電気モータが発生する回生電力を吸収し力行時に力行電力として放出する)は、既存技術によるバッテリーを用い、バッテリーが負担しきれない大電流の処理や負荷変動にはキャパシタを用いる方式も考えられている。

電気自動車の開発に伴い、車載バッテリーについても各種の研究開発が行われている。今後は車両の特性や運行形態に合わせて、バッテリーとキャパシタとの組み合わせの最適化が図られるものと考えられる。

4. 導入への課題

4.1. 技術的課題

上記のような新しい都市交通システムを公共輸送として導入するにあたっては、新規技術に関する安全性評価を欠かすことはできない。たとえ海外で実用となっていたとしても、我国の道路事情や気象条件等に鑑み、従来の鉄道、バスシステムで使用されたことのない新技術に関する安全上の評価を行うことは必修である。機械システム、電力システム、運行システム、構造物のそれぞれについて安全性を確認し、従来のシステムと同等あるいはそれ以上の安全性を確立することが求められる。

また、公共輸送システムとして確立するための特性、能力についても評価を行う必要がある。現在使われているバスや鉄道あるいは新交通システム等と比較して、公共輸送システムとしての特性、能力に係る項目を検討する必要がある。

4.2. 制度的課題

ここに紹介した各種システムの中には、現在の日本の法令等には適合していないものもある。このことは新規技術に問題があることを意味するものではなく、法令等がこれらの新規技術を想定しておらず、結果として適合できずにいるのが現状である。

安全性が確保されており、利便性が向上することが考えられるシステムであるならば、既存の制度を持ってして新しいシステムを排除することは得策ではない。制度上の課題については、様々な手法により改善することが可能である。

一つには既存の法令を組み合わせることにより、新しいシステムを運用する方法がある。二次元交通と軌道交通を組み合わせた実用例として、名古屋市に導入されたガイドウェイバスはこれを採用している。ガイドウェイバスは、バスとして運行する部分は、路線バスに適用される各種法令に従うとともに、専用軌道となるガイドウェイ上は軌道法の適用を受けることで運用されている。

第二には、新規技術に合わせた規則等を新たに設ける方法が考えられる。例えば、現時点では商用運行はされていない浮上式鉄道についても、技術開発に合わせて構造規則等が既に制定されている。

一方で、既存の法令で対応可能なシステムではあっても、道路上に敷設するインフラがこれまでの方式のものとは異なる場合もある。そのため、実用化にあたっては道路管理者その他関係機関との十分な調整が必要となるものと考えられる。

5. 終わりに

ここに紹介したシステムは各所で行われている技術開発の一部に過ぎず、これら以外にも様々なシステムが研究されている。

軌道系の公共交通は自家用車と比べ環境負荷が遙かに小さいことから、エネルギーおよび環境問題が深刻化する中で発展が期待されている。一方で、定められた軌道のみでの運行では、利便性の面でドアツードアの自家用車には劣る部分もある。そのため、長所を最大限に生かしつつ利便性を向上させるために二次元運行を可能とする技術開発が進められている。

これら新技術により、環境負荷の小さく誰でも利用が容易な利便性の高い交通機関が実現することを期待する。

参考文献

- (1)青木啓二 他, 自動運転バスによる次世代輸送システム, 鉄道技術連合シンポジウム講演論文集 (PP437-440), 2000
- (2)永井実 他, OTIS ALM の駆動制御方式, 平成 11 年電気学会産業応用部門大会講演論文集[1] (PP 391-394), 1999
- (3)宮本岳史 他, 鉄道における燃料電池車両の可能性, 鉄道技術連合シンポジウム講演論文集 (PP221-224), 2000