

# 超低床LRVの駆動・走行メカニズム

前橋 栄一

鉄道力学研究部(車両力学 主任研究員)



まえばし えいいち

## 部分超低床車と全超低床車

LRT (Light Rail Transit) は道路や歩道面からホーム・車両までの「垂直移動」が少ない程「乗りやすい」と言われ、道路やレール面から300～350mm程度の高さに停留所やホームが設置されています。超低床LRV (Light Rail Vehicle) はステップのない床面を停留所と同様の高さとし低床に重点を置いた低速走行用の車両です。街路での半径数十mの平面急曲線走行を実現させるために台車構造や車体構成の双方に工夫をして超低床車両を構築しようという動きが欧州で活発になり、国内では技術導入や独自の国産技術の派生などで近年、身近に超低床車両が導入されるようになりました。

「超低床車両」には、車内の床面に高床部と低床部が存在する「部分超低床車」とフラットな低床部を実現している「全超低床車」の2種があります。「全超低床車」と言っても、バスと同様に車内に出っ張った「タイヤハウス」構造を椅子台などに活用し、厳密な意味では全低床とは言え

ない部分も存在します。

「部分超低床車」の場合には、図1 (a) に示すような一般のボルスタ付きボギー台車 (車体に対して旋回を許容する台車) が使えますが、台車中央部にボルスタやモータなどがあり台車部は高床構造になります。

図2には代表的LRVの台車・車体構成と低床部 (黄色) の関係を比較して示しますが、急曲線区間においては一般のボギー車では図2 (a) の点線のように車体の大きな張り出し変位を許容するため広い車体幅を確保するのが困難となります。

そこで、ほぼ同じ長さの編成として中央部に台車をもう一組増やし、図2 (b) のように車体を分割して接続構造を採用すると車体幅を若干広く出来ますが、かえって台車が増えた分低床面積が減少してしまいます。そこで、図2 (c) のように車体をさらに分割し、隣接する車体同士を直接上下リンクで結んで関節構造にする「連節車 (以降、分類して表記)」として低床面積をさらに増加させる方法が一般的になりました。

「全超低床車」では、図1 (b) ~ (d) のように台車中央部を構造変更して台車部分も低床通路を構成出来るような凹型断面の特殊台車が採用されています。車輪を小径にするだけでなく図1 (b) (c)、図2 (d) (e) のように車軸を省略した左右独立回転車輪などを採用しているものもあります。ただし、通常ボルスタ付き台車と同様に車体に対して「ボギー角」を大きく許容するよう取り付けしまうと「タイヤハウス」が車内に大

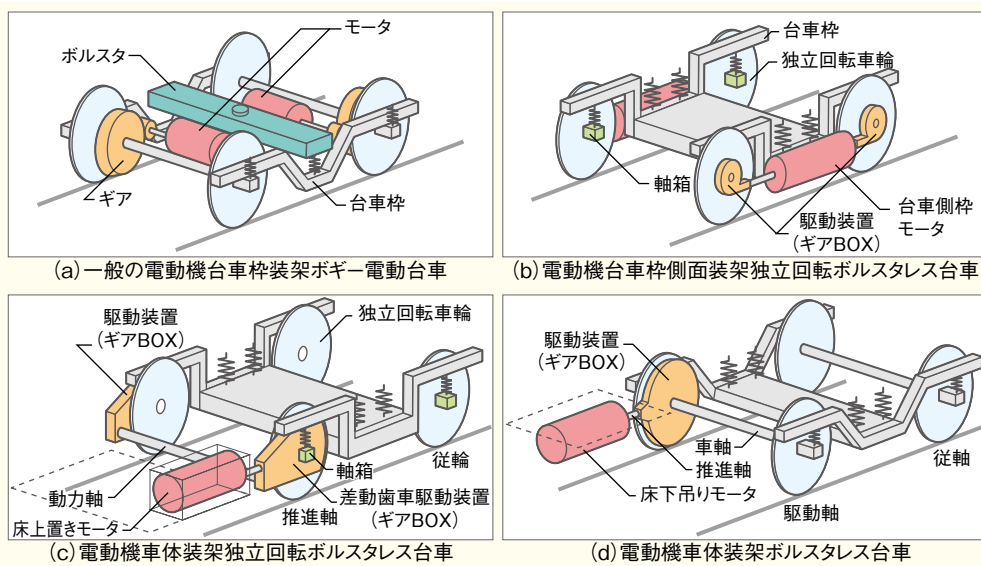


図1 国内LRVの代表的な台車構造例

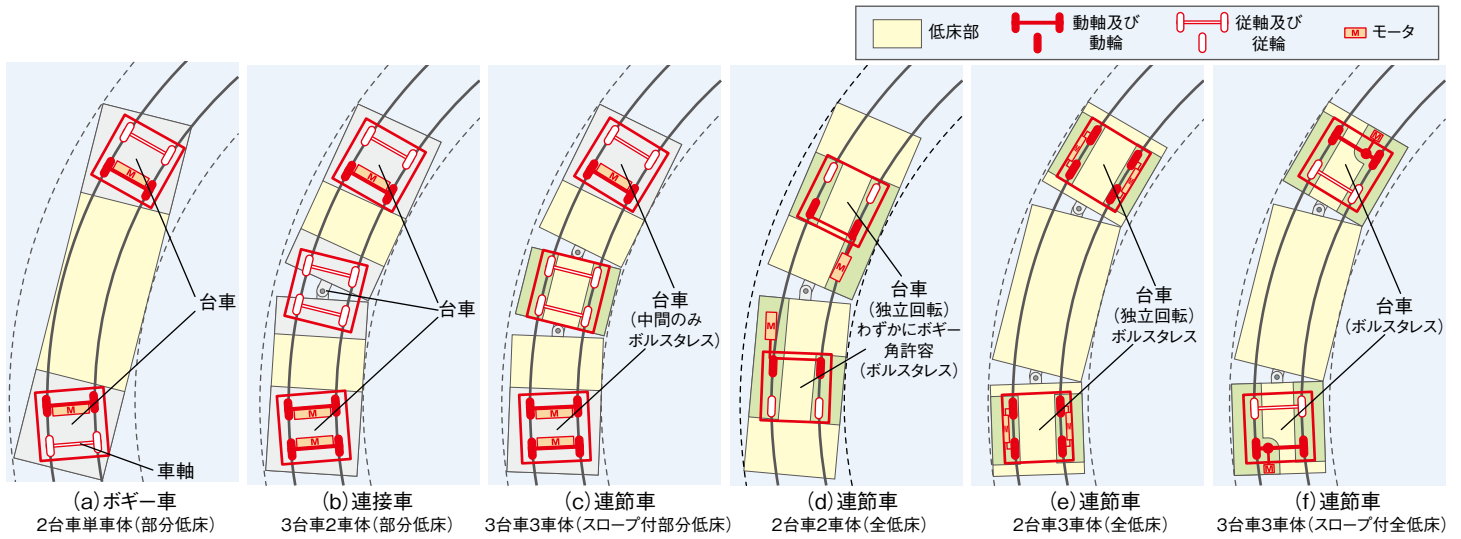


図2 急曲線における台車・車体構造と低床部の関係

大きく出っ張ってしまい、通路有効幅を狭くしてしまいます。このため、車体に対して台車変位に対する余裕を極力持たないような取り付け構造とし、タイヤハウス部分を最小限として低床面積を少しでも大きくする工夫がされています。台車のボギー角を最小限とする方法として、車体ごと曲線方向に曲がる「連節」構造(図2(c)～(f))が有効であり、台車付きの車体と台車無しフローティング車体(図2(e)(f))が組み合わせられるのが一般的です。

一方、高低2段の床面高さが存在してしまう「部分超低床車両」では、急曲線に対応させるために車体に対して台車が回転するヨー角(又はボギー角)を大きめに許容することが可能で単車体にも適した構造です。高床部を乗車スペースとして活用しないのであれば、床面高さを無理に低くする必要もないため、高価な凹断面形状の特殊台車を用いなくて通常の高速走行を想定した大きな車輪径のボギー台車を装着することも可能になります。また、車内に階段やスロープを付ければ、高床部を活用して既存の高いホーム区間等に乗降するためのドアを設置することも可能になります。

### 超低床LRVの駆動装置

全超低床車を実現する場合、ネックとなるのが図1(a)に示すような車輪や台車の中央部に居座るモータ等駆動装置の存在であり、図1(b)～(e)に示す凹型断面台車では、低床化に邪魔にならないようにこれらをどこかに追いやる工夫が必要になります。図1(a)のように台車中央部に装架していたモータやギア装置を図1(c)(d)、図2(d)(f)のように車体側に装架して推進軸により台車に駆動力伝達を行ったり、図1(b)、図2(e)のように台車の外側側面に小型両軸モータを配置してギアを介して前後の車輪を駆

動するような特殊な駆動方式が採用される事例もあります。一般的な電車や機関車のような台車に動力装置(モータ)や駆動装置を搭載した図1(a)、(b)図2(a)～(c)、(e)を「台車装架式」といい、これに対して、ディーゼルカーのように動力源(エンジン)を車体側に搭載している図2(d)、(f)のようなものを「車体装架式」といいます。

### 日本国内のLRV

国内で最初に導入されたものは、ドイツ、アドトランツ方式の駆動装置車体装架による熊本市電の2台車2車体連節車(図2(d))です。それぞれの車体に対してほとんどボギー(ヨー変位)しない構造の偏荷重独立回転車輪台車と車体装架モータにより構成されており、自動車のような差動歯車装置を用いて左右の独立回転車輪を駆動します。また、モータは連節面側の椅子下に装架されており、粘着力を最大限に活用するために車体荷重を従輪と駆動輪に不均等に分散させています。

続いて導入された広島電鉄のグリーンムーバはドイツ、シーメンスのコンビーノ3台車3車体方式であり、その後投入された国産のグリーンムーバmax(図3(b))と共に台車側面装架モータにより独立回転車輪を左右個別・前後一括駆動しております。これらは図2(e)に示す(便宜上、2台車3車体に短縮)ように台車と短車体はボギー角を殆ど持たない構造で結合され、その間に2つの長いフローティング車体がリンク金具によって「連節」しています。実際には中間の短車体の台車は駆動装置を装備しない独立回転車輪を装着している3台車5車体構成車です。

一方、純国産技術(部品調達面を含む)により全超低床車を実現した鹿児島市電ユートラムは、既存の原動機台車装架方式ながら車体に対してボギー変位の無い短車体の中



(a) 万葉線アイトラム  
車軸無し 2台車2車体



(b) 広島電鉄グリーンムーバmax  
車軸無し 3台車5車体



(c) 長崎電軌3000形  
車軸付き 2台車3車体

図3 日本国内の超低床LRV

間にフローティング車体を連節させた2台車3車体構成になっており、部分超低床車両に近い構成となっています。昨今登場した3台車5車体構成車では、小型化した台車付き車体に加えて中間車体の台車を極力小径軸輪として床面をゆるいスロープにし、全超低床車に極めて近い構造としてあります。図2(f)、図3(c)の長崎電軌3000形においては、車軸付きのまま凹断面台車としてモータを車体装架とした2台車3車体スロープ付き全超低床車としています。

また、部分超低床車としては函館市電及び伊予鉄道の単車形態のものなどがあり、これらの車両においては前出のボギー台車（モータ台車装架方式）を用いています。車輪の内面間隔（バックゲージ）が狭く低床通路幅確保が困難な狭軌車の事例においては、台車部の低床化がさらに困難となるものの、中間短車体に小径車軸付きボルスタレス台車とスロープ床を採用した土佐電鉄の3台車3車体部分低床化の事例（図2(c)）などが存在しています。

狭軌ながら台車に工夫を加えたものとして、元名古屋鉄道（現福井鉄道・豊橋鉄道）の異径ボギー台車によるスロープ低床車などがありますが、基本的な台車構造は従来のボギー台車構造のものであり、古くから「マキシマムトラクション」と称されて採用されているものです。

### 路面電車特有の溝付きレールと護輪軌条

路面電車や超低床LRV車が路面の急曲線をスムーズに曲がれるための設備として、図4に示すような車輪フラン



図4 路面系鉄道の内軌背面案内

ジ（つば状のもの）の背面をガイドするための「溝付きレール」と呼ばれる特殊なレールと、それと同様な役割をする「護輪軌条」があります。護輪軌条は「脱線防止レール＝脱防レール」に似たものですが、基本レールと

の位置関係や役割が全く異なります。両者ともに曲線内側の車輪の背面をガイドするレールでありながらも、外側の車輪に乗り上がりを開始してからガイドする「脱防レール」に対し、護輪軌条は常に内側車輪の内面をガイドするように基本レールにガイドレールを近接させて外軌側車輪とレールの接触力を緩和するような効果を持たせたもの（図5）です。車輪の背面、護輪軌条や溝付きレールが摩耗してしまった場合には、急曲線で外側の車輪が乗り上がりしてしまう危険を生じるため、寸法管理等保守に気を遣う必要があります。路面電車などでは、分岐装置においても車輪背面のみでガイドするのが通常です。

一般鉄道などの半径の大きな曲線では車輪踏面勾配による左右車輪の輪径差を活用した転向力を利用して外軌車輪とレールの接触力を緩和していますが、路面電車やLRVの急曲線においては曲線半径が小さいために輪径差による効果がほとんど得られません。そこで、ここに述べたような溝付きレールや護輪軌条が用いられているわけです。

### 一般鉄道線区の高速度走行を想定したLRVの留意事項

全低床車も部分低床車も大抵の場合、屋根上に機器の大半が設置されています。床下に機器を吊ることができる一般車両の場合は、車両重心を低く出来るというメリットが得られますが、重い機器を屋根上の高い位置に搭載しなければならない超低車両においては重心位置が高くなり転覆に対して不利になります。また、重い機器を支えるために車体が堅牢構造になる点も重心を高くなってしまいますので、このような車両については、高速走行におけるローリングや曲線通過における遠心力やカントの影響を充分考慮しておく必要があります。台車にローリングを抑制するダンパ装置などを加えただけでは運動性能の改善にも限度があるため、カント設定量の大きな一般鉄道区間に乗り入れを行なうような場合には、車両の低重心化またはカント設定量の変更などが必要となります。また、急曲線の低速乗り上がり脱線で問題となったように、軌道に構造的な平面性変位がある曲線前後の「カント低減区間」の存在も無視でき

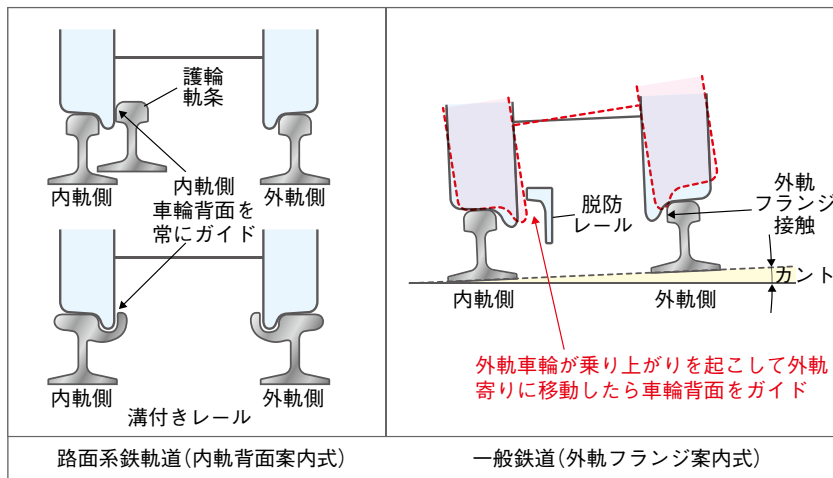


図5 曲線転向方式の比較

ません。複数の車体がリンクで結合されている「連節車」では、例えばリンク結合の連節車体構造や台車のばね装置等を工夫して、軌道面の振れを許容可能な構造に構築しなければなりません。

また、急曲線通過に有利な小軸間距離台車においては、高速走行時の蛇行動抑制対策と急曲線通過を両立させる工夫などが必要となりますし、高速でも蛇行動が発生しにくい独立回転車輪装着台車においては、軌道中心への復心機構や、護輪軌条の無い曲線の外輪横圧や摩耗の軽減対策のほか、左右車輪が別体となっているため信号や踏切軌道回路の短絡性能の確保策が課題となります。

### 車輪及び軌道寸法規格の相異

実は、路面系鉄道と一般鉄道においては、例えば軌間1067mmと呼称され、軌間が一致していればどこでも乗り入れが可能という訳ではないのです。一般鉄道では、国鉄の貨車などを直通運転する必要性から、車輪バックゲージ寸法などを共通規格として軌道施設側が統一されています。ところが、これらの貨車の直通運転を考慮していない路面系鉄道においては、同じ軌間であっても国内の事業者によって様々なバックゲージ規格が存在しています。同一の事業者でも路面系鉄道区間と一般鉄道区間で規格が相異しているため、直通運転を行わない事例もあります。

また、一般鉄道における車輪幅は125mmが標準ですが、路面系鉄道車両の多くは105mmという薄い車輪を使用しています。さらにバックゲージの規格が多種存在しているために図6のような寸法差事例が生じてしまうことになります。路面系鉄道の軌道構造は前出のように護輪軌条や溝付きレールの設置を前提としたものであり、車輪バックゲージ寸法の異なる車両が相互に乗り入れると軌道破壊や脱線を生じる危険性が高くなります。また、一般鉄道においては、曲線部や分岐部のスラック（軌間拡大）設定区間



図6 一般鉄道と路面系鉄道の寸法相異比較事例(狭軌)

などもあり、20mmも車輪が薄い路面系車両が乗り入れると軌間内に脱線したり、番数の大きな分岐装置のクロッシングのスキマに車輪がはまり込んでしまうような危険性もあります。このため一般鉄道と路面系鉄道との直通を考慮した115mm幅の車輪などを採用している事業者も複数存在します。かつて、路面系鉄道に国鉄貨車を直通させる必要が生じ（東武日光軌道線）、それ以来踏襲されている規格であると言われていますが、今日において一般鉄道と路面系鉄道間の直通運転による利便性向上策を想定する場合には参考とすべき事例であると思われます。

また、路面系線区では、車輪中立点からのフランジ高さが在来鉄道より4mm程度低い23mmという寸法の車輪を使用している例もあります。路面系車両は車輪径が小さいことによって分岐クロッシング部等のレール欠損部の落ち込み量が大きくなり、クロッシング部においてはフランジの先端で車重を支えて車輪踏面をレールから浮かせて衝撃を緩和するというような「フランジ走行」を前提とした箇所も多く設定されているためです。フランジ高さの異なる車両が乗り入れる場合には、この点についても注意が必要となります。

このように軌間が同一であると言っても、バックゲージ寸法や車輪厚さ、フランジ高さが路面系鉄道と一般鉄道では異なっています。直通運転を実現するための万能車両を想定し、乗り入れの可否を検討する場合には、まず基本としてこのような寸法規格の確認が最優先課題であり、引き続きカント変更やスラック廃止などの地上設備を最適化してゆく必要があります。

### おわりに

超低床車両について、走り装置を中心とした構造と事例を紹介し、路面系鉄道の特徴を記しました。現在、鉄道総研では、本稿に述べた様々な留意事項を勘案しつつ、路面系鉄道と一般鉄道の直通運転が可能な部分超低床車の開発を進めています。RRR