

S1-3-5

連接特急用台車システムの開発

原 稔 (小田急電鉄) 細野 光司 (小田急電鉄)

新村 浩 (日本車輛) 岡田 信之 (日本車輛) 谷川 安彦 (日本車輛)

Development of new bogie system for Odakyu romance car VSE

Minoru HARA, Koji HOSONO (Odakyu Electric Railway)

Hiroshi SHINMURA, Nobuyuki OKADA, Yasuhiko TANIGAWA (Nippon Sharyo, LTD.)

Series 50000EMU (VSE) of ODAKYU Electric Railway features new bogies of advanced articulation system. To realize the bogie system, several trial production of components and many evaluation tests have been conducted on the subjects of (1) Wheelset steering device, (2)Bogie frame steering device, (3)Articulation assembly with high position air springs, (4)Carbody tilting system by air springs, and (5)Pantograph leaning system. This paper describes the system outline for the subjects (1) to (4) including the history of development as well as their performances by comparing the results of computer predictions and actual running tests.

キーワード：小田急 LSE、VSE、輪軸操舵、台車操舵、連接台車、空気ばね傾斜

Keyword: Odakyu LSE・VSE, Wheel steering, Bogie frame steering, Articulated bogie, Airbag tilting.

1. はじめに

小田急 50000 形特急車両 (VSE) には、連接方式の新しい台車システムが採用されている。この台車の実用化に向けて、①輪軸操舵装置、②台車操舵装置、③高位置空気ばね連接装置、④空気ばね式車体傾斜装置、⑤パンタグラフ傾斜装置などの試作・評価試験を 7000 形 (LSE) 改造試作台車にて実施してきた。本稿ではこれらの中で①～④について、開発の経緯・システムの概要・実車走行試験結果・計算結果との整合性、などを順に紹介する。

2. 輪軸操舵装置

2.1 開発の経緯

2 軸ボギー台車用輪軸操舵の過去を辿ると、古くは 1935 年にスイス Lotzberg Simplon 鉄道にてリンク式の操舵を取り入れた例がある。現在国内では、軸箱支持剛性を“柔剛剛柔”に設計し、輪軸の自己操舵性を活用した EC383 系⁽¹⁾ および、Z リンクにより半強制的に舵を切る DC283 系⁽²⁾ などにて、横圧低減の効果が上がっている。

その中で、VSE 用台車に向けた要素開発として、高速走行安定性に優れ、ヨーダンパを不要とすることを目指した新型の軸箱支持装置を開発し、輪軸の持つ自己操舵性を任意に顕在化させることが可能な操舵機能を付加した。

2.2 装置概要

図 1 に VSE に先行して行われた LSE 改造試作台車用の、軸箱支持装置構成図を示す。コイルばねの他、軸箱直上と軸箱横の両方 (段違い平行＝タンデム) に円筒軸ゴムを配置す

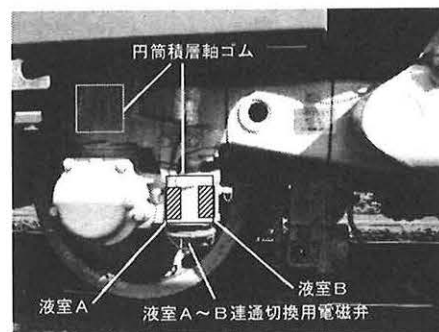


図1 軸箱支持装置構成図

る。軸箱直上側にて主に左右方向を支持し、軸箱横 (レール方向) 側にて主に前後方向を支持している。

この軸箱横の軸ゴムの内部前後に 2 つの液室を作り、その液室間の連通を電磁弁にて開閉することで前後剛性を切換える。試作した液封式軸ゴムのばね前後撓みと液室内圧の関係を図 3 に、また油路連通有無による剛性比較を図 4 に示す。最終的な軸箱全体の前後剛性は、釣合い計算より柔=2600N/mm、剛=4490N/mm の 2 極切換えとなった。

2.3 台上回転試験

試作した前後剛性切換え式軸ゴムを、4 軸箱全てに取付た試作台車を軌条輪に載せ、半車体モデルによる台上回転試験を実施した。線形解析による 1 両モデルの蛇行動臨界速度と、実験結果の比較を表 5 に示す。その結果、軸距 2.2m・ヨーダンパ無し・柔支持の条件にても、270km/h 以上の蛇行動安定性があることが分かった。

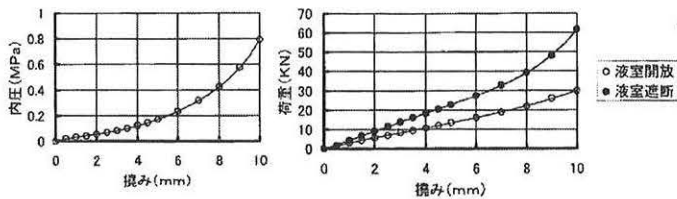


図3 撓み～内圧線図 図4 液室遮断と剛性の関係

表5 台上回転試験結果

No.	路面(勾配)	輪軸操舵	蛇行動臨界速度[km/h]	
			計算	実測
1	1/20円錐	剛	300	>270
2	1/20円錐	柔	240	>270
3	1/3円錐	剛	169	—
4	1/3円錐	柔	124	—

2.4 本線走行試験

台上回転試験にて走行安定性が確認されたので、次にこの台車を小田急LSE車に仮設し、2003年6月に秦野～新松田間にて本線走行試験を行った。輪軸の自己操舵性を活用するには、1/20円錐路面よりも左右車輪径差の確保された円弧路面などが優れているが、今回の試験目的は1/20円錐路面の場合における装置の動作確認、および円錐路面にてどこまで効果を出せるかを確認することとした。

試験の結果、曲線半径R600以上に操舵切換えの効果を確認された(図6)が、R600未満では変化が見られなかった。理想的な車輪とレールによる計算では、新製50Nレール形状であればR400程度まで効果がある予測であったが、運用列車本数の多い試験区間であったこともあり、差にはレール頭頂面の摩耗が影響しているものと考えられる。

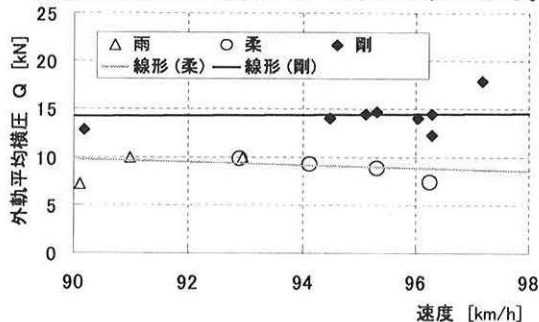


図6 R600 かつ 90 における輪軸操舵比較

急曲線R160が連続する箱根登山線内にて、輪軸の挙動を確認した結果、進行前側の軸箱変位には操舵切換えによる変化が見られず、進行後側の軸箱前後変位、および液室内圧に、当初計画通りの明確な変化が見られた。(図7)

2.5 輪軸操舵装置としての評価

図8に実測の新製or摩耗レール形状における、各路面車輪の左右変位と自由旋回半径の関係を示す。1/20円錐路面ではR600以下の曲線にてフランジ接触となるが、フランジ咽部に左右車輪径差が確保された円弧路面であれば、本軸箱支持装置および輪軸操舵装置によって、輪軸の自己操舵性による横圧低減と、高速走行安定性の両立が期待できる。

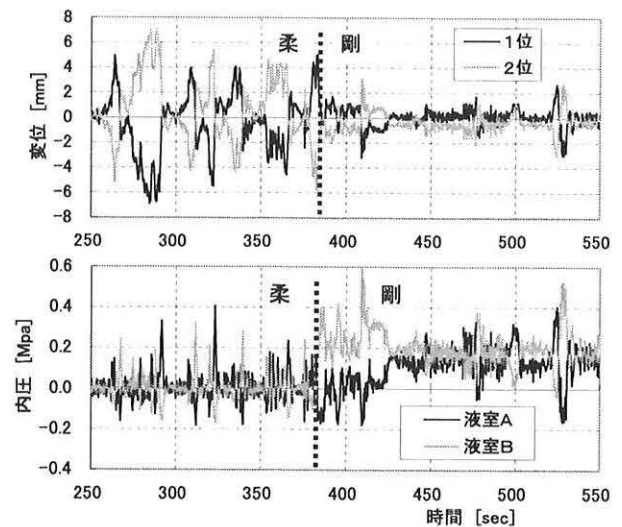


図7 柔剛切換時の軸ばね前後変位と液室内圧

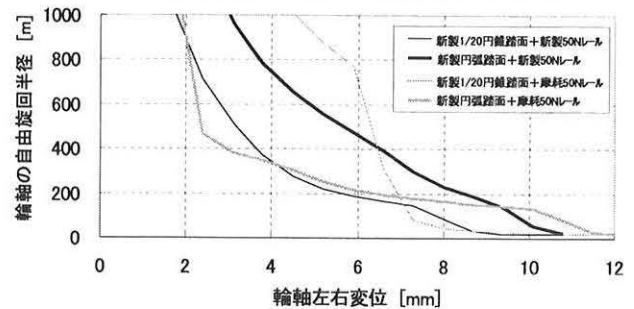


図8 輪軸の自由旋回半径比較

3. 台車操舵装置

3.1 開発の経緯

台車操舵装置に関する研究は古く、昭和34年に小田急線にて、SE車を改造した左右ばね誘導式台車の走行試験が行われ、低速走行時に20%の横圧低減が見られたとの報告例がある⁽³⁾。また、最近ではボルスタレスの台車枠をアクチュエータによって直接転向させる研究も進み、輪重に対し十分に大きな操舵力が与えられる場合には、先頭軸外軌輪の横圧を理論上ゼロにできる実験例が報告されている⁽⁴⁾。

そこで、これらの技術と連接車両の特徴を活かした、安全で確実な台車操舵装置を開発した。

3.2 装置概要

本装置は、進行前位側車体とボルスタに類する連接枠をセンタロック機能付き前後ダンパで接続し、連接枠と進行後位側車体間も上記と点対称に前後ダンパで接続している。

図9にセンタロック機能付き前後ダンパの回路図を示す。1個の電磁弁によりロック状態とダンパ状態を切り替え、列車の進行前側にあるダンパ側を通电にてロック状態に、後位側を非通电にてダンパ状態にする。

図10にロック状態における連接枠の動きと操舵の作用を示す概念図を示す。

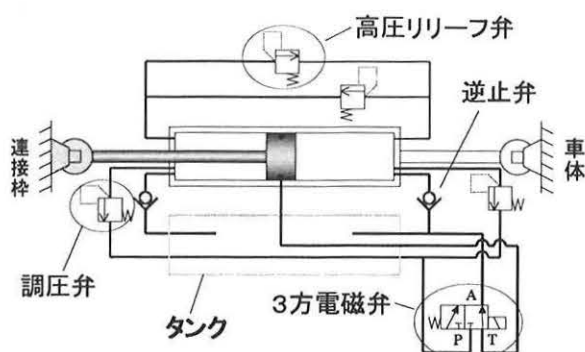


図9 R600m カント 90 における輪軸操舵比較

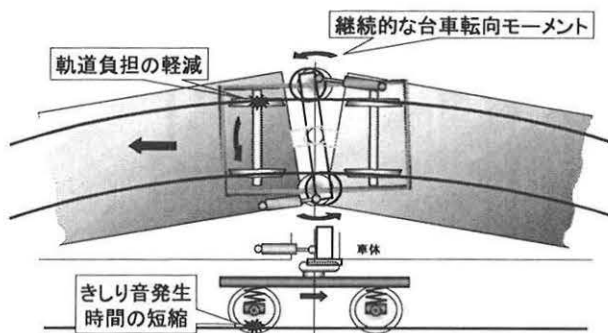


図10 接続棒の動きと操舵の作用

R200 以下の急曲線および分岐器通過時には、高位置空気ばねが車体表面に接近する。そこで、ダンパのロック荷重によるモーメントが空気ばね前後力によるモーメントに負けて、自然に操舵解除する設計になっている。

3.3 走行試験結果

図11にVSE編成によるR300m・カント70・速度70m/h走行時の前位軸外軌輪横圧波形を示す。図中の“正操舵”は図10の状態を、“逆操舵”は図10のダンパ状態にて逆方向に走行する制御フェール状態を意味する。

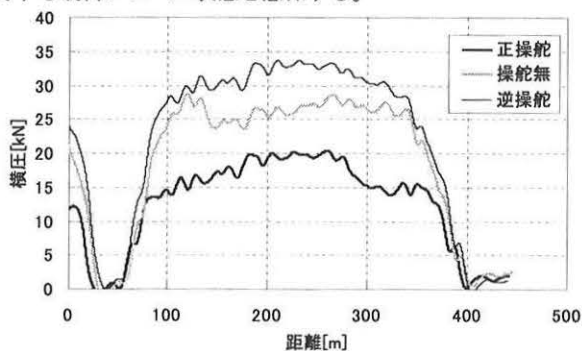


図11 台車操舵比較走行結果例

図12に図11の曲線にて静止輪重と先頭軸外軌輪定常横圧比較した図を示す。中間台車は連接台車であるため、静止輪重は台車操舵装置の無い非連接先頭台車の約1.5倍であるが、定常横圧は正操舵により同比0.6倍と逆転した。

連接台車の逆操舵と先頭台車は空気ばねの前後変位状態が共通であり、横圧の値も近くなっていることが分かる。

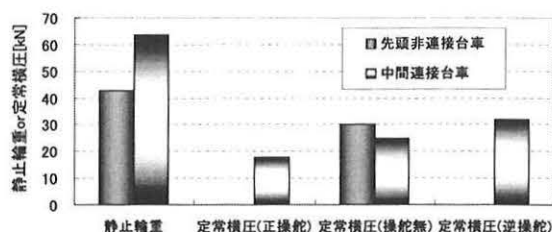


図12 静止輪重と比較した台車操舵装置の効果

3.4 計算との比較

図13に操舵無を正操舵とした場合の低減横圧分を、計算と実測にて曲線半径別にプロットした図を示す。計算は、曲線内に置かれた2車体間ヨー角から発生する空気ばねモーメントが、各輪軸にレール法線方向の左右力として分配されると仮定して算出した。その結果、絶対数値の他に曲率が大きい程操舵効果が高い傾向にも共通性が見られた。

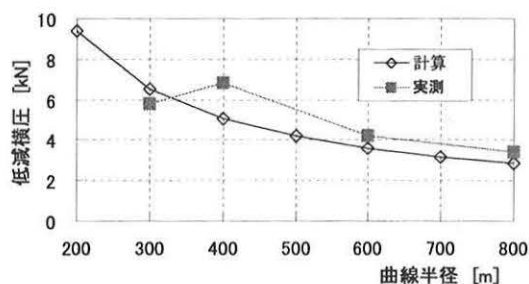


図13 計算と比較した台車操舵装置の効果

3.5 台車操舵装置としての評価

今回の台車操舵原理では、空気ばね前後剛性が大きい程操舵効果が高くなる。但し、試験時設定の270N/mm/個では、左右剛性を低くすることが設計上困難で、乗り心地が低下する問題があった。そのためVSEでは前後剛性を220N/mm/個に低下させている。ボルスタレス用の空気ばねによる台車旋回誘導としては、この辺りが限界と思われる。

より強い操舵性を確保するには、台車～ボルスタ間に前後アンカを追加すれば、理論的に前後ダンパのロック荷重限界まで高めることができる。この場合でも、列車の進行方向にてロックを制御するので、正確な操舵が可能となる。

4. 高位置空気ばね式連接、車体傾斜装置

4.1 開発の経緯

高位置空気ばね連接方式としては、1950年にデビューしたスペインのタルゴやTGVが有名である。国内ではSTAR21新幹線試験車両にて、1992年より高速域での走行試験が行われた。一方、空気ばね式車体傾斜の過去を辿ると、自然式ではタルゴが該当し、強制的に空気ばねを伸縮させて行うものは、1965年のドイツミュンヘン博覧会にて展示されたものがある。国内では、最近この強制傾斜タイプが各社にて実用され始め、発展期に移りつつある技術の一つとなっている⁽⁶⁾。この2種類の技術は今まで融合されることは無

かったが、VSE のコンセプトを実現するためには、最も有利であると判断され、高位置空気ばね連接台車にて、さらに空気ばね車体傾斜を実現することになった。

4.2 LSE 走行試験結果

図 14 に VSE に先行して行われた LSE 改造試験車による非傾斜走行試験結果を、また図 15 に同傾斜走行試験結果を示す。「低空気ばね」は従来 LSE 台車、「高空気ばね」は空気ばね中心高さ 1655mm にて、さらに遅れ時間と不感帯の無いカール製大流量 LV を使用した。R300 が連続する秦野～新松田間の走行試験による車体傾斜係数 $1-C\phi \cdot Wb$ は約 1.0 となり、曲線進入時の車体外軌ロール挙動が解消されている。

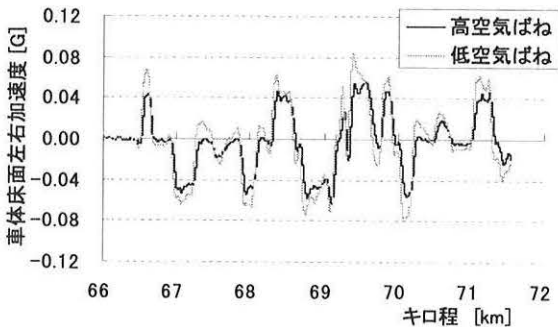


図 14 高位置空気ばねの効果 (LSE)

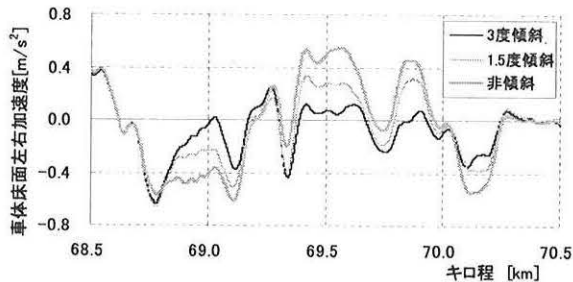


図 15 高位置空気ばね+傾斜の効果 (LSE)

4.3 VSE への適用

図 16 に VSE の連接部鳥瞰図を示す。空気ばね傾斜中心をレール上 1648mm に設計している。この理由には以下の 4 点が挙げられる。①傾斜による車体コンタ縮小量が上下でバランスし、室内幅を広く確保できる。②3 点車体支持方式にてもロール安定性が高い。③傾斜による車体重心移動が小さい。④傾斜にてパンタグラフが架線から外れにくい、などがある。特に③により、a. 傾斜による輪重変動割合が 2% 以下。b. 左右空気ばね差圧が小さく、差圧弁の設計変更が不要。c. 空気消費量の節約、などの効果がみられた。

車体傾斜はレベリングバルブ (LV) のテコ角にオフセットを付与する車高制御装置 (HC) と、傾斜指令演算を行う制御装置 (TC) にて構成されている。図 17 に HC の内部構造概念図を示す。2 個のローカルノイドにより空気ばね高さを 3 段階に変化させ、これを左右ばねにて組み合わせることで、9 つの車体姿勢状態を長時間安定して保持できる様になっている。

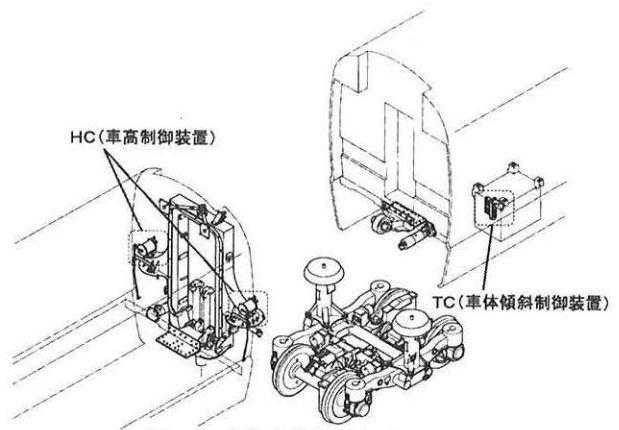


図 16 車体支持装置鳥瞰図

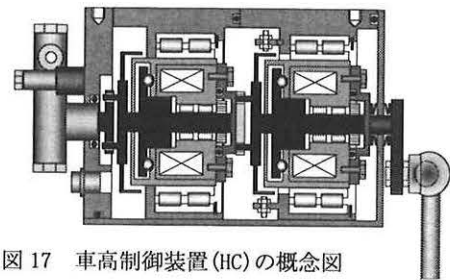


図 17 車高制御装置 (HC) の概念図

4.4 高位置空気ばね式連接、車体傾斜装置の評価

反応の良い LV では空気消費量の問題が残るが、これを低重心・高位置空気ばね連接車に導入した場合、曲線で外軌ロールが全く発生しない走行性能を確認できた。また、LV のテコ角に擬似的なオフセットを与えることで、簡易で確実に安全な空気ばね式車体傾斜を実現した。

5. まとめ

LSE 改造試作車による評価において、①新型軸箱支持装置 (剛性可変部を除く)、②台車操舵装置、③高位置空気ばね連接装置、④空気ばね式車体傾斜装置、については有益性が確認できた。そこで VSE にこれらを採用し、営業前の確認走行にて最終的な装置の機能および安全性を確認した。

(謝辞)

輪軸操舵ゴムおよび台車操舵用ダンパの開発については、各メーカー殿に、また走行試験評価全般において鉄道総研殿にご指導・ご協力頂いた。ここに謝意を表します。

(参考文献)

- 1) 須田義大, 他 : 自己操舵台車における新方式の開発・導入、機論、J-Rail'95、(1995)、p. 153-156
- 2) 佐藤栄作, 他 : 特急気動車用操舵付き振り子台車の開発、機構論、No. 96-51、(1996)、p. 283-286
- 3) 山本利三郎 : 電車の改善について、論文集、p. 88、p. 140、S. 43, 12
- 4) 松本陽, 他 : ホキ角アクティブ操舵台車の研究、機論 No. 03-51、p. 115-118
- 5) 須田義大, 他 : 新方式制御装置を用いた空気ばね系の制御に関する研究、機論 No. 03-51、p. 121-124