3802 鉄道台車ピッチングと電動機直列・並列接続に着眼した 電気車の牽引力向上の研究 第2報

学 [機,電] ○高根沢 真(日本工大) 渡邉 剛史(日本工大) 陸 子俊(日本工大) 市橋 重勝 正 [電] 森田 登(日本工大)

Research of hauling force for rolling stock which relation perceived railway traction pitching

and series or parallel connection of electric motor -the second report-

Makoto Tkanezawa . Takeshi Watanabe . Lu Zijun

Shigekatsu Ichihashi . Noboru Morita

Nippon Institute of Technology 345-8501. Miyashiro-Machi, Minamisaitama-Gun, Saitama-Ken, Japan

Research is relation to improve in hauling force for electric rolling stock. Latest inverter rolling stock is apprehensive by hauling force effect which means, constitution shifted into parallel connection from series connection of electric motor. This experiment reproduced for traction pitching of electro-mechanical coupled by test model electric rolling stock. In this paper, relational issue to the problem considered for reproduction experiment of traction pitching and adhesion coefficient.

Keywords :: hauling force, electric motor parallel connection, traction pitching, adhesion coefficient, electro-mechanical coupled

1. はじめに(技術的研究背景)⁽¹⁾⁽²⁾

戦後から今日にかけ,電気車両は蒸気機関車に替わり 目覚ましい発展を遂げて来た.そして,車両性能の向上は 高速度化を実現し,人々の鉄道への関心は一層高まり,社 会的貢献度も高い.特に鉄道はエネルギー効率が高い傾 向にあることから,地球温暖化対策として見直されてき ており,モーダルシフトとしてトラック輸送からの転換 が進められてきている現状にある.このため,鉄道技術と して更なる技術の向上と安全性・安定性の向上が求めら れており,更にはコストダウンと性能アップの両面にお けるコストパフォーマンスが求められている.

この牽引力の向上が永遠の命題である電気車におい て、牽引力を妨げるものにボギー台車のビッチングがあ る.そこで、過去の事例 (Figl. 1) から整理すると、電動機 並列接続において特に、台車ビッチング、軸重移動が顕著 に生じており、一方で電動機直列接続では台車ビッチン グなる現象は生じる傾向がないことを参考文献(1)にお いて報告した.

また、参考文献(2)の第一報においては、1/8.4 スケー ルの試験用モデル車両による、電動機並列接続方式時の 始動時において、並列の2電動機の交互分担変動が生じ、 同時に軸バネのたわみ量から見た動輪荷重についても交 互分担変動(逆位相状態)を確認できたことから、電気一機 械連成の台車ビッチング現象を再現・確認できたことを 報告した.ただし、この第一報においてはレール材にアル ミレールを採用していたため,台車ピッチングの傾向は 再現できたものの,牽引力特性の最適評価をできなかっ た現状にあった.

本報告では、レール材をアルミ材から鉄系材へ変更 し、1/8.4 スケール試験用モデル車両による牽引力特性 の評価に着手できたので報告する.さらに、電動機の並列 接続と直列接続を比較したところ、直列接続の方が牽引 力特性として有効であるといった結果が一部得られたの で、この結果についての考察も含め一例をご紹介する.



Fig1.1 Longitudinal Axis Alternate Slipping of EF80⁽⁴⁾

2. 試験用モデル車両と鉄レール材の導入⁽⁵⁾ 2.1 試験モデル車両の導入

開発した試験用モデル車両の外観を Fig2.1 に示す.車 両構成は.駆動車両と制御車両の 2 両に分け開発した.駆 動車両はバッテリー駆動とし.前台車 2 軸駆動としてい る.また軸重を可変的に調整の出来る構成を採用してい る.

[No.09-65] 日本機械学会第16回鉄道技術連合シンポジウム講演論文集〔2009-12.2~4. 東京〕

台車構造は、枕バネ支持構造とし、枕バネにはシリコン ゴムを採用し、捩り剛性を期待している、軸バネはスプリ ングバネを採用し、軸バネ周波数成分が実車に相当する 値を設計している.

駆動車両,電動機,台車,制御車両の仕様をそれぞれ Table2.1,Table2.2,Table2.3,Table2.4 に示す.



Fig2.1 1/8.4scale test model of electric rolling stock

車両質量(ウェイト 含み)	86.5 kg (一軸重 270N)	
台車賃量	13.0 kg	
車体支持方式	まくらバネ支持(シリコンゴム)	
レール・連結器高さ距離	80mm	
両端台車中心問距離	630mm	
車体スケール	1310mm-340mm-317mm	

Table2.1 Technical data of driving rolling stock

Table2.2 Technical data of electric motor

駆動装置	つり掛け式支持装置	
歯車比	1:4	
主電動機	DCモータ(分巻)	
定格	100W-24V-5A-2500rpm-3.2m/s	
実車換算速度	100 km/h	

Table2.3 Technical data of driving traction

軸問距離	250 mm
車輪径	102.4 mm
牽引点伝達高さ (レール面間)	65mm / 45mm (可変方式)
軸バネ定数	56.89 N/mm

Table2.4 Technical data of control rolling stock

車両スケール	2000mm-529mm-407mm		
車両賃量	141.4 kg		
制御方式	PLC方式(電圧/速度フィードバック) 一抵抗制御方式切替		

2.2 鉄レール材の導入

製作した鉄レールと台車の外観写真を Fig2.2 に示す. また.Fig2.3 に示すのは 50kg-N 実機レールを 1/8.4 にスケ ールダウンした形状図面になる.特にレール頭頂部の形 状を再現することは.粘着力と幾何学的な接触面積およ び接触応力の議論には欠かせない重要な要素になる.さらにもう一つ重要な要素として,鉄レールの材料諸元表を Table2.5 に示す.試験用の鉄材には SWRH-62A を採用し,実機の 50kg-N の仕様と同等なものを選定している.諸元は以下の通りである.



Fig2.2 Test model of steel rail and driving traction



Fig2.3 Shape drawing of 50kg·N steel rail by 1/8.4 scale

Table2.5 Specification table of steel rail

	試験用鉄レール材 (SWRH-62A)	実機用鉄レール材 (50kg-Nレール)
炭素 C	0.59~0.66%	0.60~0.75%
ケイ素 Si	0.15~0.35%	0.10~0.30%
マンガン Mn	0.30~0.60%	0.71~1.10%
リンP	0.04%以下	0.03%以下
硫黄 S	0.04%以下	0.04%以下

3. 試験方法とその評価法

3.1 試験法概要

Fig3.1に示すような勾配試験装置により.25%の知能条件 を決定し試験を行った.ここで,25%の配に設定したのは 牽引定数を決める際に,一種目安となる勾配条件とした ためである.さらには.台車ビッチングに関する過去の事 例からも 25%の配においての報告が確認出来ており.そ の再現性の実証も兼ねている.

試験は電圧フィードバック制御 5 ノッチ(最大力行)条件にて、勾配 25‰始動時から動輪の動きだし帯域に絞り 測定を行った、測定項目は、動ひずみゲージを用いた変位 測定、並列接続時における電動機分担電流および トータル電流.動輪の回転速度を同時測定する.動ひずみ ゲージの取付け位置は Fig3.2 に示す.1ch-2ch において 台車のピッチング方向の変位を測定している.

さらに,直列接続時においても同様に動ひずみゲージ を用いた変位測定,電動機分担電圧および主電動機電流, 動輪の回転速度を同時測定する.

Fig3.3に試験構成回路を示す.試験条件として雰囲気は 雨天を想定したWet条件とし,軸重は電気機関車を想定 した一軸16.8ton(実車換算相当)に相当する条件および 一般旅客列車に近い条件を想定した一軸12.0ton(実車換 算相当)を構成し試験を行った.各種試験条件をTable3.1 に示す.



Fig3.1 Gradient test system in 25‰



Fig3.2 sensor installation position of driving traction



Fig3.3 Test component circuit / parallel connection

接赖方式	nh 重 (1軸当たり)	牽引重量	制御条件	牽引点伝達高さ (レール面より)	レール面条件
並	28kg (16.8ton相当)	425kg (1000ton相当)	電圧フィードバック (ランプ入力)	65mm	Wet
列	20kg (12.0ton相当)				
边	28kg (16.8ton相当)	425kg	電圧フィードバック (ランプ入力)	65mm	Wet
列	20kg (16.9ton相当)	(1000ton相当)			

Table3.1 Test condition

3.2 粘着係数評価法⁽³⁾⁽⁶⁾

本章において,実験により実測される車両走行速度お よび初期条件で決定される軸重条件,勾配条件,牽引重量 条件から算出できる粘着係数の導出法を示す.

また速度検出は,試験用モデル車両の駆動用後台車に 速度発電機を取り付け,これを測定し,この電圧値を補正 することで電動機回転数を算出する.ここで,計測上の機 器条件から補正係数を設定している.

Fig3.4に粘着係数算出の仮定モデルを示す.このモデル

から導出される粘着係数算出法を式 3.1 に示す.





Fig3.4 Model of adhesion coefficient calculation

4. 試験結果の一例

本章では 25‰勾配試験による結果として、軸重 16.8ton 相当-牽引重量 1.000ton 相当を想定したモデルおよび、 軸重 12.0ton 相当-牽引重量 1.000ton 相当を想定したモ デルで試験を行っている.また.レール面雰囲気条件は雨 天時の過酷牽引状態を想定した Wet 条件で行い、加えて 電動機接続方式を並列接続および直列接続で構成し試験 評価を行っている.

Fig4.1 の電動機並列接続-軸重 16.8ton 条件における速 度の勾配を用いて算出した粘着係数によると、およそ 38%の値が得られる.この時.始動時 2sec 過ぎから急激に 失速していることが確認できる.また.Fig4.2 直列接続-軸 重 16.8ton 条件においては.40%の値が得られ.失速の傾向 は見られない.

Fig4.3 の電動機並列接続-軸重 12.0ton 条件における速 度の勾配を用いて算出した粘着係数によると,およそ 53%の値が得られる.この時,始動直後から速度が不安定 になり加速されてないことが確認できる.また.Fig4.4 直 列接続-軸重 12.0ton 条件においては,55%の値が得られ、 失速の傾向は見られず.良好な加速特性が得られている.

軸重条件 16.8ton において.並列接続および直列接続の 粘着係数による特性差を比較すると.並列接続よりも直 列接続の粘着係数がおよそ 2%程度向上していることが 確認できる。さらに並列接続で失速が見られるも.直列接 続では失速の傾向は見られない.

加えて測定時の状態は、並列接続時の試験では始動直 後に動輪が交互に空転し、勾配を登れなくなっているの に対し、直列接続では動輪が空転しながらも自己再粘着 を繰り返し勾配を登り詰めていることを確認している.



Fig4.1 Velocity of parallel connection test result by axle load 16.8ton





Fig5.2 Phase of series connection axle load 16.8ton

5. 考察の一例およびその整理

ここでは.4 章の結果で得られた.軸重 16.8ton-Wet-25‰ 勾配試験での直列接続は登るが並列接続では登らない点 に着目する.Fig5.1 および Fig5.2 の交互分担電流および交 互分担電圧の結果を見ると,逆位相にアンバランスして いることが確認できる.また,振動変位を確認すると並列 では顕著に逆位相が確認され,直列では始動時にのみ確 認されるものの継続されず,ほぼ同位相で振動している ことが確認できる.

この結果から、並列接続では軸重移動がピッチング方 向で周期的に生じていることで、再粘着が安定せず、牽引 力が低下し悪条件下での勾配走行を困難にしているもの と考えられる.一方、直列接続では滑りはするものの、ピッ チング振動的な軸重移動は継続しない傾向にあり、再粘 着が安定しやすいため牽引力が持続し、悪条件下での勾 配走行を可能にしていると考えられる.

6. 終わりに

本研究では,電動機接続方式が牽引特性に与える影響 を調査するため,1/8.4 スケール試験用モデル車両および 鉄レールを開発し,試験を行った.今回の結果を以下にま とめる.

- (1) 軸重 16.8ton-Wet 条件の過酷な牽引条件試験から. 粘着係数の値が並列接続では 38%.直列接続では 40%となり.直列接続の方が並列接続よりも牽引特 性の高い傾向にあることを確認した.
- (2) 牽引特性として、並列接続では勾配を満足に登れなかったのに対し.直列接続では勾配を登り詰める結果が得られた.
- (3) 加えて、軸重 12.0ton-Wet 条件のさらに過酷な牽引 条件試験においても、並列接続では勾配を満足に 登れなかったのに対し、直列接続では勾配を登り 詰め、粘着係数も2%高い結果が得られた。
- (4) 軸重 16.8ton-Wet 条件試験の前後軸振動変位とその位相状態から、並列では顕著に逆位相が確認される.直列では始動時にのみ確認されるものの継続されず.ほぼ同位相で走行していることが確認できる.これは、台車内の動的な軸重移動が並列接続では生じており、一方.直列接続では生じていないことを意味している.これが本試験における牽引特性差として現れた大きな要因と考えられる.

以上のことから、電動機直列接続は台車内の動的な軸 重移動が生じず、並列接続よりも牽引特性を良好に発揮 するといえる、本報告として、電動機直列接続を推奨する.

なお、鉄鋼圧延用では、オープンデルタ接続による誘導 電動機の直列接続を用いた方式が、頻繁な加減速運転に 適用されて15年以上の実績があることを付記する.

参考文献

- 高根沢真,森田登:車両台車の歴史的変遷を考慮した牽引力に関わる台車ビッチング現象の電気系--機 械系 連成解析における取組の一方法,鉄道技術連合シンポジウム講演論文集,2007.
- 2) 高根沢貞. 渡邉剛史. 上野貴博, 市橋重勝, 森田登: 鉄道台車ビッチングと電動機直列・並列接続に着眼 した電気車の牽引力向上の研究. 鉄道技術・政策連 合シンポジウム講演論文集,2008.
- 山下道寛,南秀樹,渡邉朝紀,秦広,西重樹,西澤寛,中川 哲朗:EF510 電気機関車の軸重移動とその補償,鉄 道技術連合シンポジウム講演論文集,2002.
- 川添雄司:「交流電気車両要論」,電気車研究会,初版 pp.5-12,57,87-90,94,1971.
- 5) 日本機械学会:「鉄道車両のダイナミクス」,第2版 pp.13-14,126:235,1996
- 6) 電気学会:「電気鉄道ハンドブック」,第5版,1968.