

車輪転削時の切削量削減に反映できる転削仕上げ形状に関する研究



藤原 淳*¹



松橋 克幸*²



内田 好徳*³



三須 弥生*⁴



飯田 忠史*⁵



錦織 大幸*⁶



中橋 順一*⁷

Finishing wheel shape to suppress depth of cut based on modified arc wheel profile

Jun FUJIWARA*¹, Katsuyuki MATSUHASHI*², Yoshinori UCHIDA*³, Yayoi MISU*⁴, Tadanobu IIDA*⁵,
Hiroyuki NISHIKORI*⁶, and Junichi NAKAHASHI*⁷

*¹ Researcher, Risk Assessment and Safety Technology Unit of Research and Development Center of JR EAST Group

*^{2,*3} Chief Researcher, Risk Assessment and Safety Technology Unit of Research and Development Center of JR EAST Group

*⁴ Principal Researcher, Risk Assessment and Safety Technology Unit of Research and Development Center of JR EAST Group

*⁵ Senior Researcher, Vehicle Dynamics of Vehicle Technology Division, Railway Technical Research Institute

*⁶ Researcher, Vehicle Dynamics of Vehicle Technology Division, Railway Technical Research Institute

*⁷ Senior Chief Researcher, Vehicle Dynamics of Vehicle Technology Division, Railway Technical Research Institute

Abstract

This study investigates the use of a thinner flange profile (“finishing shape”) to reduce cutting depth while preserving the characteristics of the Modified Arc Wheel Profile. Running tests confirmed safety with the finishing shape. Ride quality was evaluated on a commercial train immediately after wheel turning and after 120,000 km. Periodic observations tracked changes in wheel shape and flange thickness. Finally, the effect on improving maintenance efficiency was estimated.

●**Keywords:** Wheel turning, Finishing profile, Depth of cut, Modified arc wheel profile, Running safety, Ride quality level

*¹JR東日本研究開発センター リスク評価・安全技術ユニット 研究員 (現:大宮総合車両センター品質管理科)
*²JR東日本研究開発センター リスク評価・安全技術ユニット 主幹研究員 (現:鉄道事業本部 モビリティ・サービス部門)
*³JR東日本研究開発センター リスク評価・安全技術ユニット 主幹研究員
*⁴JR東日本研究開発センター リスク評価・安全技術ユニット 上席研究員
*⁵(公財)鉄道総合技術研究所 車両技術研究部 車両運動 主任研究員
*⁶(公財)鉄道総合技術研究所 車両技術研究部 車両運動 研究員
*⁷(公財)鉄道総合技術研究所 車両技術研究部 車両運動 上席研究員

1. 緒言

日本の在来線では修正円弧踏面¹⁾(日本機械学会、1994)が多く使われている。この修正円弧踏面は日本で多く採用されている50kgNレールおよび60kgレールにおいて走行安全性と耐摩耗性能を向上させる目的で導入された。東日本旅客鉄道株式会社では、摩耗した車輪の転削時に、一部車両を除きこの修正円弧踏面に戻すこととしている。特にフランジ直立摩耗が多く発生する場合に、フランジ厚さを元の修正円弧踏面の29mmに戻すために削正量が増加することが分かっている。削正量が増加した場合、車輪径の使用下限寸法に早期に達することになり、車輪交換の回数が増加し、メンテナンスコストの増加につながる。

そこで本研究では、修正円弧踏面の特徴を保持しつつ車輪削正量を抑制できる形状としてフランジ厚さを薄くした踏面形状(以下「仕上げ形状」という)の採用を検討した。具体的には、仕上げ形状に対し、構内試運転を実施し走行安全性を確認するとともに、営業車両の車輪を仕上げ形状に削正し、削正直後と12万キロ超走行した状態で乗り心地レベル²⁾(日本鉄道技術協会、1981、Suzuki et al., 1996)を測定した。同車両の転削後の車輪踏面形状とフランジ厚さを長期にわたり観察し、その変化を調査した。最後に仕上げ形状を採用した場合の車輪径推移の試算を実施した。

2. 車輪転削用の仕上げ形状の検討

図1に修正円弧踏面形状を示す。仕上げ形状は、修正円弧踏面の踏面からフランジ部頭頂部(X部)の形状は変更せず、X部全体をフランジ方向に Δx 移動させることで、フランジ厚さを薄くした形状とした。 Δx はフランジ厚さが管理基準値内に納まる範囲内で任意に変更できるものとする。本形状の選定にあたっては、複数の形状案に対し削正量抑制効果の検討だけでなく、車輪／

レール接触解析³⁾(足立他、2006、2009) や車両運動シミュレーションによる確認を実施し、走行安全性や乗り心地等への影響を考慮して選定を行った。詳細については文献⁴⁾(飯田他、2023)を参照されたい。

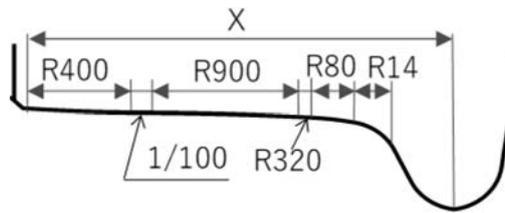


図1 修正円弧踏面

3. 構内試運転による仕上げ形状の走行安全性の検証

仕上げ形状の走行安全性を確認するため、実際の車輪を現行踏面と仕上げ形状(フランジ厚さ26mm)に削正した車両を用いて試験線において走行試験を実施した。

走行試験では曲線通過時の定常横圧とレール継ぎ目の角折れによる著大横圧を比較した。図2に現行踏面と仕上げ形状の比較を示す。横圧は車輪/レールの摩擦係数に影響を受けるため、横軸に摩擦係数に相当する内軌側横圧輪重比 κ を取って比較した。図2より、定常横圧は両形状とも同一直線にプロットされたことから、仕上げ形状車輪の旋回性能は現行踏面と同程度であると考えられる。また、著大横圧については κ が同じ条件では差が5kNほどあるがその差異は小さく、脱線係数の最大値を比較しても差異は小さく、走行安全性に与える影響は小さいと考えられる。なお、同走行試験において、分岐器通過時の横圧と輪重を併せて測定したが、衝撃の増大を示す波形は観測されなかった。

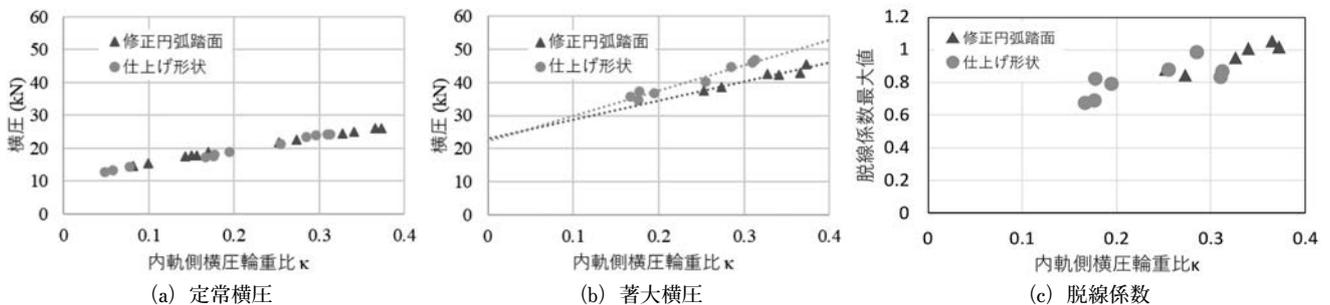


図2 曲線通過時の横圧・脱線係数の比較(速度30km/h)

4. 営業車を用いた乗り心地レベルの調査

フランジ厚さ26mmの仕上げ形状とフランジ厚さ29mmの修正円弧踏面の車輪を装備した営業車両で、転削直後と12万キロ走行後の乗り心地レベル⁵⁾⁶⁾(日本鉄道技術協会、1981、Suzuki et al. 1996)を測定した。測定条件と試験車両に対する踏面形状と測定機器の配置を表1、図3にそれぞれ示す。

表1 測定条件

車両	209系車両 C610編成		
走行区間	総武快速線 津田沼一両国駅間 往復		
	転削後の走行距離	実施日時	天候
1回目	0 km	2023年6月1日 10:44 発 11:48 着	晴れ
2回目	120,000 km 以上	2024年2月5日 10:44 発 11:48 着	曇り

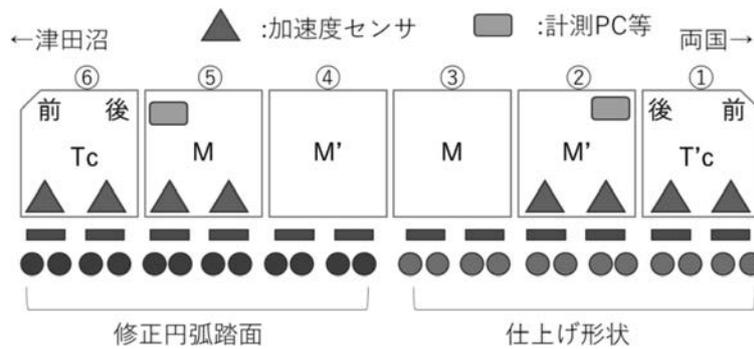


図3 試験車両の踏面形状と測定機器の配置

図4に乗り心地レベルの測定結果を示す。一般的な傾向である直線よりも曲線の方が乗り心地レベルは高い傾向がみられるが、踏面形状の違いによる有意差は見られなかった。

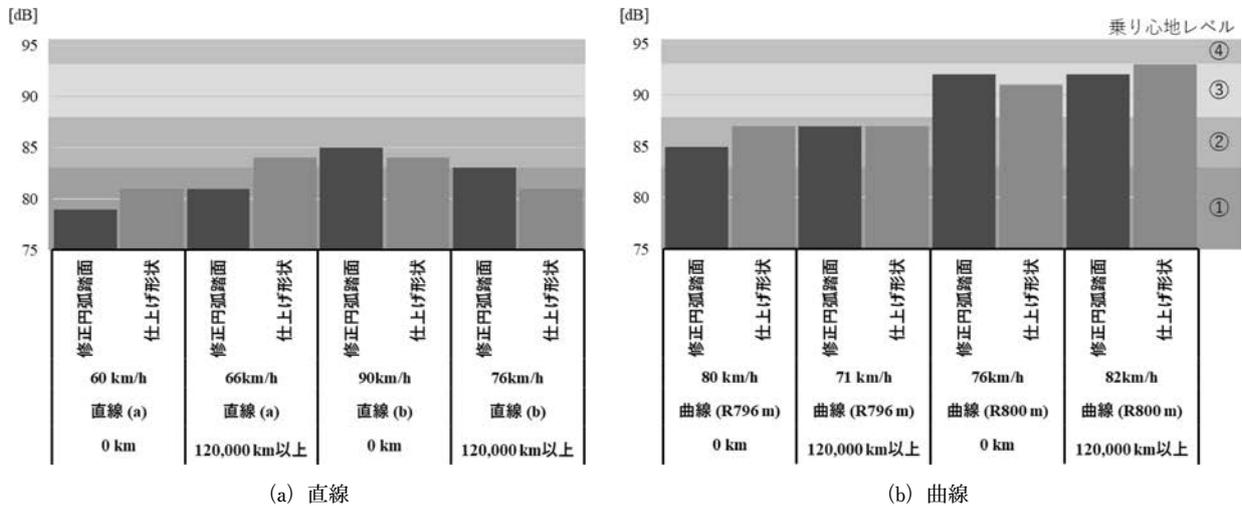


図4 営業車を用いた乗り心地レベルの測定結果

5. 踏面形状とフランジ厚さの変化の確認

前章の走行試験で使用した営業車両は踏面を復位せずに通常の営業走行に供することとし、修正円弧踏面と仕上げ形状それぞれの形状の変化を長期にわたって追跡調査を行った。図5は、0kmから90,000km以上までの踏面形状を約10,000kmごとに測定した結果である。仕上げ形状と修正円弧踏面のどちらの形状も異常な摩耗は認められず、また摩耗量の傾向も同様であった。図6に0kmから約90,000kmまでのフランジ厚さの変化を示す。ももとのフランジ厚さの差は維持され、減少傾向は変わらないことが分かる。

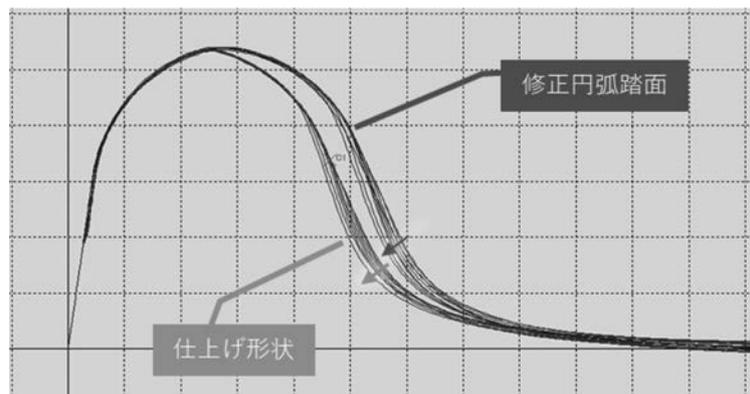


図5 踏面形状の比較

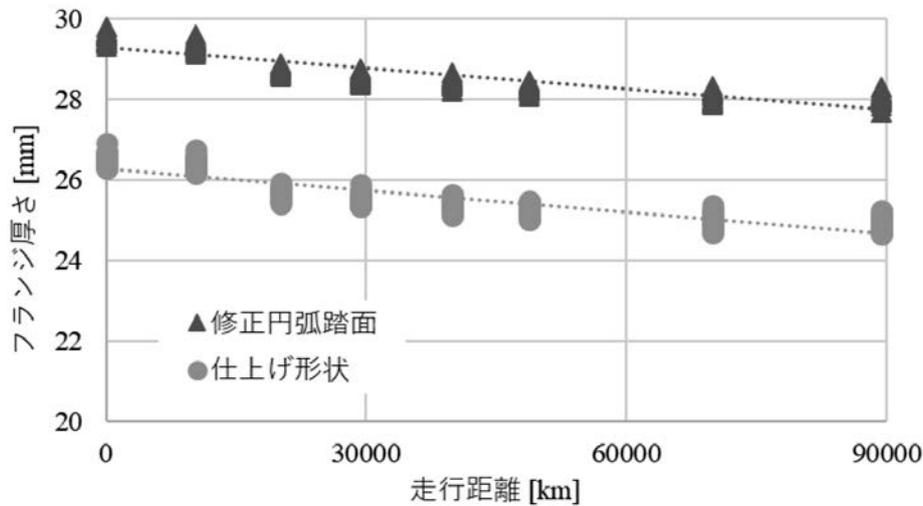


図6 フランジ厚さの変化

6. 形状変更による削正量削減効果の試算

車輪転削時に仕上げ形状を使用すると車輪削正量を少なくできるが、その後、仕上げ形状から修正円弧踏面へ戻してしまうとフランジ厚さを回復するために車輪削正量が大きくなり、仕上げ形状を適用して得られた車輪削正量の抑制効果は得られないことが分かっている。言い換えれば、仕上げ形状の使用を開始したら、車輪径が規定の下限に達するまで、その形状を使用し続けることが効果的である。ここでは新品車輪に対する削正量抑制効果を過去のメンテナンス時に測定したデータ(表2)を用いて試算した。対象車両は特定線区を走行するE231系とした。この車両はフランジ摩耗傾向があり、仕上げ形状の効果が得られやすいと考えられる。加えて、車輪以外の搭載機器についてはメンテナンス周期が走行距離160万キロまで延伸可能とされているものの、現在の「修正円弧踏面に戻す」方法で転削を行った場合、130万キロ程度で車輪径の基準である780mmを下回ってしまい、早めに工場入場しメンテナンスが実施されている車両である。

車輪径推移の推定結果を図7に示す。仕上げ形状を使用する場合の削正では、フランジ厚さを0.5mmずつ段階的に減少させた形状を適用している。

表2 試算に用いた測定データ

削正までの平均走行距離	200,000 km
規定で定められたメンテナンス周期の最大値	1,600,000 km
車輪使用限度	780 mm
削正周期中の走行による車輪径の平均摩耗量	2 mm
削正周期中の走行によるフランジの平均摩耗量	2 mm
修正円弧踏面に削正した場合のフランジ厚さ	29 mm
修正円弧踏面に削正した場合の推定車輪削正量	12 mm
仕上げ形状に削正した場合のフランジ厚さ	28.5mm から 0.5mm ずつ段階的に減少 させる
仕上げ形状に削正した場合の推定車輪削正量	9 mm

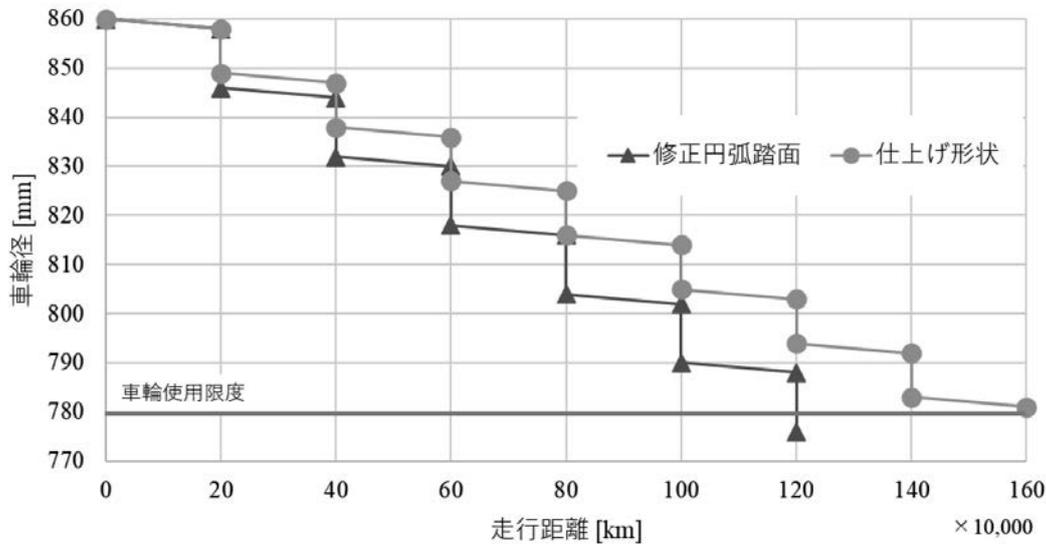


図7 車輪径推移の推定結果

前述の通り、修正円弧踏面を使用し続けた場合は、130万キロよりも前で車輪径の基準である780mmを下回る。一方、仕上げ形状を採用した場合には、理論上は規定で定められたメンテナンス周期の最大値である160万キロまで車輪を使い続けることができ、このことは車輪交換や工場入場回数を削減できる可能性を示唆している。本計算はあくまでも平均摩耗量からの推定である。各箇所の摩耗量にはばらつきがあり、それらの推移を注視する必要がある。

7. 結言

本研究では、メンテナンスコストの削減を目的に、修正円弧踏面の特徴を保持しつつ車輪削正量を抑制できる形状としてフランジ厚さを薄くした仕上げ形状の採用を検討した。具体的には、仕上げ形状に対し、構内試運転を実施し走行安全性を確認するとともに、営業車両の車輪を仕上げ形状に削正し、削正直後と12万キロ超走行した状態で乗り心地を測定した。同車両の転削後の車輪踏面形状とフランジ厚さを長期にわたり観察し、その変化を調査した。最後に仕上げ形状を採用した場合の車輪径推移の試算を実施した。その結果、仕上げ形状の走行安全性、乗り心地共に修正円弧踏面の場合と差異が無いこと、長期に使用した場合でも異常摩耗は見られず、その摩耗傾向は修正円弧踏面の場合と同様であることを確認した。さらに、車輪の転削量の抑制効果を試算した結果、仕上げ形状を採用することで、車輪交換や工場入場回数削減の可能性が確認できた。

参考文献

- 1) 日本機械学会, 鉄道車両のダイナミクス, 電気車研究会, pp.241-242 (1994).
- 2) 足立雅和, 下村隆行, 佐藤栄作, 車輪とレールの摩耗を考慮した接触状態解析手法の開発, 鉄道総研報告, Vol. 20, No.6(2006), pp.17-22.
- 3) 足立雅和, 下村隆行, 佐藤栄作, 車輪とレールの摩耗を考慮した接触特性評価システムの開発 (機械力学, 計測, 自動制御), 日本機械学会論文集 C 編, 75.750 (2009), pp.429-437.
- 4) 飯田忠史, 錦織大幸, 中橋順一, 藤原淳, 松橋克幸, 内田好徳, 三須弥生, 車輪転削仕上げ形状見直しに関する研究 ~仕上げ形状の決定~, 第30回鉄道技術・政策連合シンポジウム(J-Rail2023)論文集, (2023).
- 5) 日本鉄道技術協会, 乗り心地管理基準に関する研究報告書, (1981).
- 6) Suzuki, H., Review: Recent Research and Developments in the Field of Riding Comfort Evaluation., Quarterly Report of RTRI, 37 1 (1996), pp4-8.