

踏面清掃装置の制御変更による 増粘着研磨子のかじり抑制効果

嗟峨 信一*

Effect of an Improved Control Technique of Wheel Tread Cleaner or Restraining Adhesion Phenomenon in Abrasive Block

Shin-ichi SAGA

On Shinkansen trains, in which a one-step-brake is applied to decelerating from high-speed running to stop without releasing brake, a remarkable adhesion phenomenon often observed on the surface of abrasive block as installed in the wheel tread cleaner as well as tread brake shoe equipped with conventional trains. When such a phenomenon develops, wheels wear in concave, and in addition, wear fragments fall over rails. Eventually, it causes unusual vibrations and extraordinary sounds. Then, we have tried reproduction of wear fragment by a dynamo brake test stand to solve these problems. Consequently, we have found a control technique to restrain wear fragments. Moreover, we have confirmed effectiveness of the control techniques on a running test. This paper introduces the results of the dynamo test and the running test.

キーワード：踏面清掃装置，増粘着研磨子，かじり，1段ブレーキ，凝着摩耗

1. はじめに

従来から冬季になると、在来線車両の踏面制輪子や新幹線電車の増粘着研磨子（以下、「研磨子」と言う）の摩擦面には、“かじり”と呼ばれる鉄片の発生が報告されている。在来線では、過去に再現試験等の研究¹⁾が行われており、かじり鉄片は耐雪ブレーキのような制輪子の低押付条件下で、水分や砂等が介在すると発生し易いことが分かっている。

一方、新幹線では、冬季の発生に加えて新線区間で多くみられるが、最近では1段ブレーキ方式のATCを採用した一部の区間において、成長したかじり鉄片がレール頭頂面に落下し、これを車輪が踏み付けて異音や異常振動及び車輪踏面の凹摩耗等の原因となっていることが報告されている。

1段ブレーキ方式は、従来の多段ブレーキ方式に比べて高速から低速まで連続して研磨子が動作するため、これが研磨子の熱的な負荷を増大させ、かじり鉄片発生の要因の一つとなっているものと考えられる。

そこで、研磨子の動作時間に着目したかじり現象の台上再現試験を実施し、研磨子のかじり現象を抑制する踏面清掃装置の制御手法を見出した。これを実装した編成と現行の制御を行う編成について、新幹線電車の走行試験に伴う研磨子の各種状態変化を追跡調査し、制御手法の有効性を確認した。本論文では、これらの結果について報告する。

2. 研磨子のかじり鉄片

かじり鉄片が発生した現車の研磨子及びその摩擦面から剥がし取ったかじり鉄片を図1に示す。研磨子の摩擦面には、赤点線で囲われた部分に集中的なかじり鉄片の付着がみられ、その範囲は車輪踏面におけるレールとの転動幅に相当する。

また、かじり鉄片の表面には光沢がある楔状の金属切削片が重畳しており、その裏面には研磨子の生地組織と一体になった溶融痕が随所にみられることから、高温状態で凝着摩耗しながら車輪の凹摩耗を伴って成長し、やがて研磨子の生地組織ごと剥離して、かじり鉄片の落下を招いているものと考えられる。

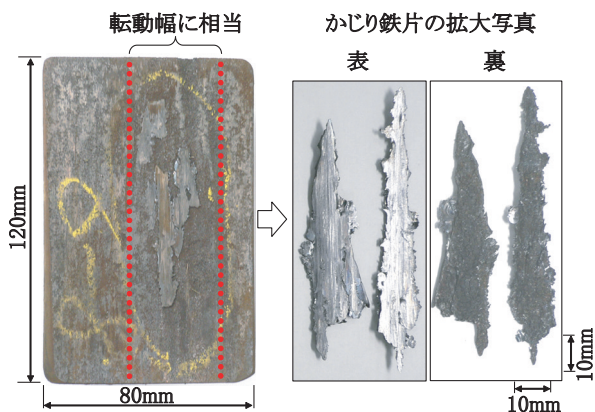


図1 現車の研磨子とかじり鉄片

* 車両制御技術研究部（ブレーキ制御）

特集：車両技術

3. 台上再現試験

3.1 試験装置

かじり現象の要因を特定するために、鉄道総研のディスクブレーキ試験装置（図2）を用いて再現試験を実施した。車輪踏面と研摩子に対して散水及び介在物となる試料を散布するため、各種ノズルを取り付けた。装置諸元及び試験条件を表1に示す。

ブレーキパターンは、ブレーキ初速度260km/hとした1段ブレーキ（常用6N相当）と従来の多段ブレーキ（常用7N相当）をそれぞれ模擬したものを条件として用いた。それらの速度とブレーキ距離の関係を図3に示す。1段ブレーキでは研摩子の解除速度70km/hまで連続してブレーキが作用するが、多段ブレーキでは減速中の230, 170及び120km/hでそれぞれ5, 15及び20秒間ブレーキが緩解する条件とした。なお、研摩子の動作はブレーキ指令と連動するものとした。

車輪踏面と研摩子に対して介在物となる試料としては、現車の走行環境中に存在する可能性が考えられるものとして、セメント（トンネル内の雰囲気）、レール錆、現車汚泥（MMブロワの塵埃）、アルミナ（増粘着噴射材）、8号珪砂及びシラス（ともに自然風による塵埃）の各粉体を選定した。これらの諸元及び成分分析結果を表2に示す。

環境条件は、乾燥下及び湿潤下（散水量：約130ml/min）に試料散布（約100g/min）の有無を組み合わせるものとし、ブレーキ初速度260km/hから研摩子の制御が終了す

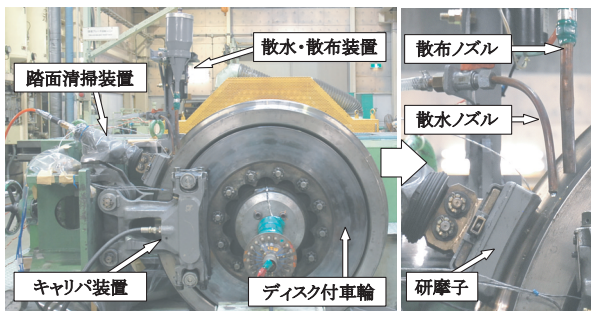


図2 試験装置

表1 装置諸元及び試験条件

車輪	新幹線用φ860mm
踏面清掃装置	片持ち型（TC圧490kPa）
ブレーキ初速度	260km/h
研摩子解除速度	70km/h
ブレーキパターン	1段ブレーキ（6N相当） 多段ブレーキ（7N相当）
ブレーキ距離	約6900m（1段） 約7800m（多段）
環境条件	乾燥，湿潤，試料散布
散水量	約130ml/min
試料散布量	約100g/min

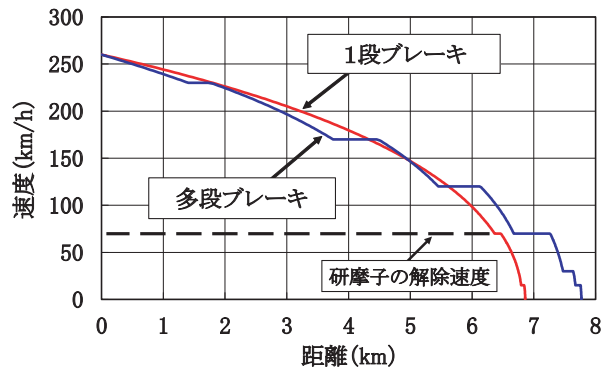


図3 ブレーキパターン

表2 試料の諸元及び成分分析結果

試料	比重	粒径(μm)	含有元素*
セメント	0.86	≤420	O, Ca, Si
現車汚泥	1.14	≤420	O, Fe, Si
レール錆	1.88	≤420	O, Fe, Ca
アルミナ	2.05	≤300	Al, O
8号珪砂	1.31	≤100	O, Si
シラス	0.24	≤100	O, Si, Al

※ X線分光分析装置による（強度降順）

る解除速度70km/hまで、これら散水及び試料散布を継続するものとした。

各条件の試験回数は3回を基本としたが、試料の量が少ない場合はこれに限らないものとした。また、かじり鉄片が発生した場合には3回を超えて同条件で試験を繰り返し、その成長の度合いを観察した。

3.2 再現試験結果

再現試験は始めに、現車のブレーキ条件と同様である1段ブレーキ試験を実施し、かじり現象が顕著となる条件を特定した。次に、この特定した条件において多段ブレーキ試験を比較のために実施した。

かじりの発生状況を表3、発生したかじり鉄片を図4に示す。かじり鉄片の大きさ及び肉厚の程度は、全試験を通して便宜的に大、中、小、微小及び厚、薄のように区分した記号（☆，◎，○，◇，△，□）でそれぞれ表した。結果は以下のとおりであった。

- 1段ブレーキ試験の湿潤条件で、かじり鉄片が発生した。特に8号珪砂を散布した場合に、現車と良く似た大きく厚肉なかじり鉄片が形成され、繰り返し試験による成長が比較的顕著であった。
- 1段ブレーキ試験の結果に着目し、湿潤条件及び湿潤下に8号珪砂を散布した条件で、多段ブレーキ試験を実施したところ、かじり鉄片が発生したが、その程度や成長の度合いが1段ブレーキ試験の場合に比べて低かったことから、多段ブレーキのような研摩子の間欠動作に、かじりの抑制効果があるものと考えられる。

表3 かじりの発生状況

介在物	1段ブレーキ		多段ブレーキ	
	乾燥	湿潤	乾燥	湿潤
なし	—	□	—	◇
セメント	—	○↑		
現車汚泥	—	◇↑		
レール錆	—	△↑		
アルミナ	—	△		
8号珪砂	—	☆↑	—	△↑
シラス	—	◎↑		

※表中の記号は発生程度を表す
 ☆：(大, 厚肉) ◎：(大, 薄肉) ○：(中, 厚肉)
 ◇：(中, 薄肉) △：(小) □：(微小)
 —：(無) ↑：(繰り返しによる成長あり)



図4 発生したかじり鉄片
(湿潤下に8号珪砂散布条件)

(3) 研摩子の最高温度は乾燥条件が最も高く、1段ブレーキ試験で約270℃、多段ブレーキ試験で約80℃であり、1段ブレーキは概して熱的に厳しいことが分かった。

3.3 間欠動作時間の選定

再現試験の結果から、かじり現象の抑制には1段ブレーキ時に研摩子だけを間欠的に作用させることが有効と考えられる。さらに、踏面あらしを形成する要因の一つとして、研摩子の摺動距離に着目し、間欠動作時間を選定することとした。

多段ブレーキにおいて、ブレーキ初速度260km/hから研摩子の解除速度70km/hに至るまでの走行距離を100%とすると、研摩子の摺動距離は約71%であった。そこで、1段ブレーキにおいても、これと同程度の比率になるように間欠動作時間を検討したところ、動作20秒、緩解10秒がその一つとして選定された。この間欠動作時間を1段ブレーキ時に適用させた場合には、現行の連続動作による研摩子の摺動距離を100%とすると、約74%に相当する。

3.4 踏面あらしの比較

過去の研究によれば、踏面あらしがある程度粗い方が

粘着係数は高くなると言われている²⁾。そこで、連続動作及び間欠動作における1段ブレーキ試験の際に形成される踏面あらしの違いを評価することにした。

試験条件としては、踏面あらしの初期条件を算術平均あらし(Ra) 1μm及び十点平均あらし(Rz) 4μm以下として、ブレーキ初速度260km/h(研摩子の解除は70km/h)からの1段ブレーキ試験を3回行い、停止毎に表リム面から枕木方向に60~70mm位置で踏面あらしを測定した。これらを再現試験と同様に、乾燥及び湿潤(散水量:約130ml/min)条件でそれぞれ実施した。ただし、車輪踏面と研摩子に対して介在物となる試料を散布する条件やレールと車輪の転動条件については、いずれも模擬しないものとした。

3.5 踏面あらしの測定結果

踏面あらしの比較を図5に示す。踏面あらしの初期条件にばらつきがあるものの、連続動作及び間欠動作ともに、各試験後の算術平均あらし(Ra)は乾燥条件が0.5μm、湿潤条件が0.2μmを維持していることから、間欠動作でも連続動作と同等の踏面あらしが形成されるものと推定される。また、現車の踏面あらしも上記と同程度であることから、間欠動作制御を実装した際には現行制御と同等の増粘着効果が確保されるものと考えられる。

これらから、研摩子の間欠動作が、1段ブレーキにおける増粘着効果の確保とかじり現象の抑制を両立する方式の一つになりうると考えられ、間欠動作制御を現車に実装する検討を行った。

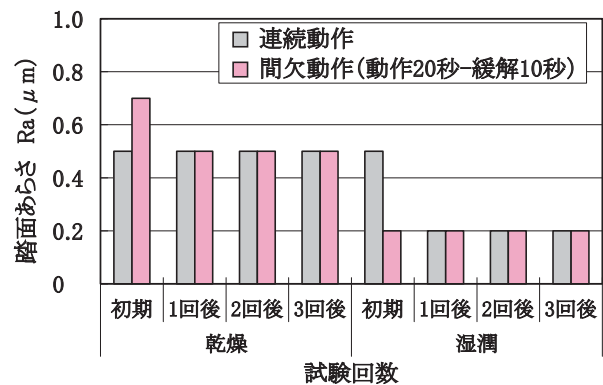


図5 踏面あらしの比較

4. 間欠動作制御の実装

4.1 研摩子の動作特性

3.3項の間欠動作時間は、ディスクブレーキ試験装置を用いることを前提条件として選定されているが、この試験装置と実際の車両を比べると、圧力調整弁の絞り径や踏面清掃装置までの配管長が異なる等の相違から、ブレーキ指令の入力に対する踏面清掃装置の応答性も異なることになる。こうしたことから、現車を用いた定置試験を実施し、研摩子の動作特性を把握した。

特集：車両技術

定置試験はブレーキ制御装置（BPG）からのTC配管が長いNo.1台車の第2軸及びTC配管が短いNo.2台車の第3軸をそれぞれ対象とした。研摩子の摩擦面に小型圧縮型のロードセルを上下2個配置し、研摩子が車輪踏面を押す力、すなわち押付力を測定したところ、ブレーキ指令の「入」から押付力が整定値に達するまでの時間は約2秒、ブレーキ指令の「切」から押付力が零値に達する（車輪踏面から離れる）までの時間は約11秒を要することが分かった。

4.2 間欠動作時間の修正

図6に研摩子を10秒間動作させた場合における押付力の特性を示す。図からブレーキ指令の入・切に対して、研摩子の押付力は過渡的に増加・減少しているのが分かる。過渡的に変化している間も研摩子は車輪踏面上を摺動していることから、押付力と押付時間の積で与えられる面積が研摩子の摩擦による仕事に対応すると考えることができる。これについて、押付力を整定値に固定して換算すると、面積はそれぞれ $S_A = S_B$, $S_C = S_D$ となり、押付時間は動作時及び緩解時でそれぞれ約1.1秒、約3.7秒とみることができる。

また、新幹線開業当初における研摩子の押付力が98Nであったことから、これ以下の押付力下では走行時の振動等によって研摩子の摺動が期待できないと考えられるため、この場合の緩解に要する時間は、ブレーキ指令の「切」から押付力が98Nに至るまでの時間である6.5秒になるものと考えられる。

したがって、動作20秒、緩解10秒の間欠動作時間を現車の制御に実装する際には、上記のような動作時及び緩解時の遅れ等を考慮すると、動作17.2秒、緩解16.5秒に修正されるが、制御装置の時間設定が1秒単位であるために、動作17秒、緩解17秒とした。なお、この間欠動作時間をブレーキ初速度260km/hから解除速度70km/hまで適用させた場合における研摩子の摺動距離は、現行の連続動作を100%とすると、約67%に相当する。

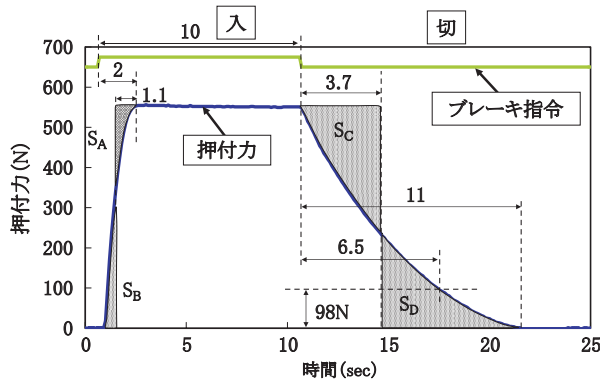


図6 研摩子の動作特性

4.3 制御仕様の変更

現行制御では、走行速度（25SR）とブレーキ指令の条件で研摩子が動作する仕組みとなっているため、時間軸制御を行う仕様ではない。

そこで、図7に示すような制御仕様の変更を行った。変更した制御では、現行制御のロジックに加え、間欠動作制御の回路機能をブレーキ制御装置に持たせることで、時間軸制御を可能とし、踏面清掃装置電磁弁（TyclV）を任意に設定された動作時間 T_1 及び緩解時間 T_2 （ただし、設定範囲0～60秒、調整単位1秒）で間欠的に励磁及び消磁を繰り返すことにより、研摩子が間欠動作を行うものである。

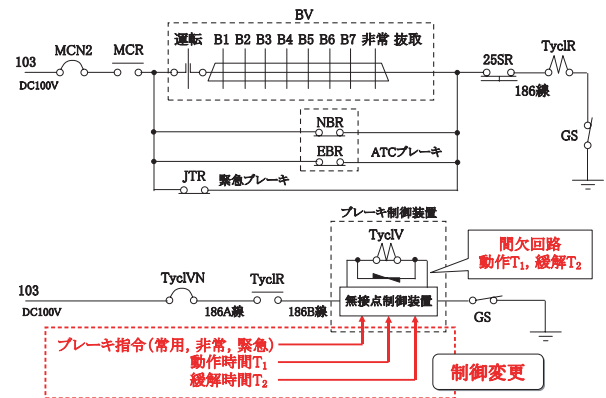


図7 制御変更内容

5. 走行試験

5.1 試験概要

走行試験の対象編成は、季節的な変動を考慮し、交番検査周期日が互いに近く、かつ車輪の定期転削期までの残余日が長いことに着目して、現行制御編成と変更制御編成の各1編成を選定した。また、かじり鉄片の発生状況は、先頭車に顕著な傾向がみられるため、変更制御編成の1号車ブレーキ制御装置に変更制御を実装した。

調査項目は、かじり鉄片の発生状況、踏面あらかさ、ATCチャート「クウテン及びカッソウ」印字の有無、研摩子の摩耗量及び踏面形状とした。調査部位は1号車を基本とした。

交番検査（以下、「交」と言うことがある）毎の調査項目を除いたその他の項目について、調査周期を表4のように定めた。概ねこれによって調査した日程は以下の通りである。

(1) 試験開始前（交番検査）

【現行制御編成】

2009年1月9日一踏面形状、踏面あらかさ

【変更制御編成】

2009年1月10日一踏面形状、踏面あらかさ

(2) 試験開始後

【現行制御編成】

2009年2月12日（2交後）一研摩子摩耗量

2009年2月28日（3交後）一踏面形状、踏面あらかさ

2009年3月16日（4交後）→研摩子摩耗量
【変更制御編成】

2009年1月31日（1交後）→変更制御の実装
2009年2月11日→実装1万km後の踏面あらし
2009年2月18日（2交後）→研摩子摩耗量
2009年3月6日（3交後）→踏面形状，踏面あらし
2009年3月21日（4交後）→研摩子摩耗量

表4 調査項目と周期

調査項目	周期
かじり鉄片の発生状況	仕業検査毎，検査入場まで
研摩子摩耗量	2交番検査毎，検査入場まで
踏面形状	試験開始前，3交番検査毎 定期転削まで
踏面あらし	試験開始前，2交番検査毎 定期転削まで 変更制御は実装後1万km追加
「クウテン及びカッソウ」印字の有無	交番検査毎，検査入場まで

5.2 走行試験結果

5.2.1 かじり鉄片の発生状況

現行制御編成及び変更制御編成の1号車から取り外された研摩子の摩擦面写真を図8及び図9にそれぞれ示す。現行制御編成の2月12日と変更制御編成の2月18日を見比べると、いずれもかじり鉄片の付着はないが、現行制御編成の3月16日と変更制御編成の3月21日を見比べると、現行制御編成の研摩子には厚肉で大きなかじり鉄片が重畳して付着しているのがみられ、摩擦面にはかじり鉄片の剥離・落脱による荒損した痕跡が存在している。これに対し、変更制御編成の研摩子には現行制御編成よりも薄肉で小さな楔状のかじり鉄片が付着しており、現行制御編成の場合に比べて軽度であるといった抑制された傾向がみられた。

台上再現試験から得られた知見によると、このような薄肉で小さな楔状のかじり鉄片は、成長が比較的抑制された場合にみられることが分かっていることから、抑制効果があるものと考えられる。

5.2.2 研摩子摩耗量

研摩子の摩耗量の測定結果を図10及び図11に示す。2交番検査毎の号車平均摩耗量は現行制御編成が4.9mm/万km、3.1mm/万kmであったのに対し、変更制御編成では3.6mm/万km、1.8mm/万kmであった。2交番検査後と4交番検査後をそれぞれ比較すると、変更制御編成は現行制御編成に比べて約2/3、約1/2の摩耗量であったが、変更制御の実装日が1月31日であることを考慮すると、変更制御による研摩子の摩耗量は約1/2になるものと推測される。

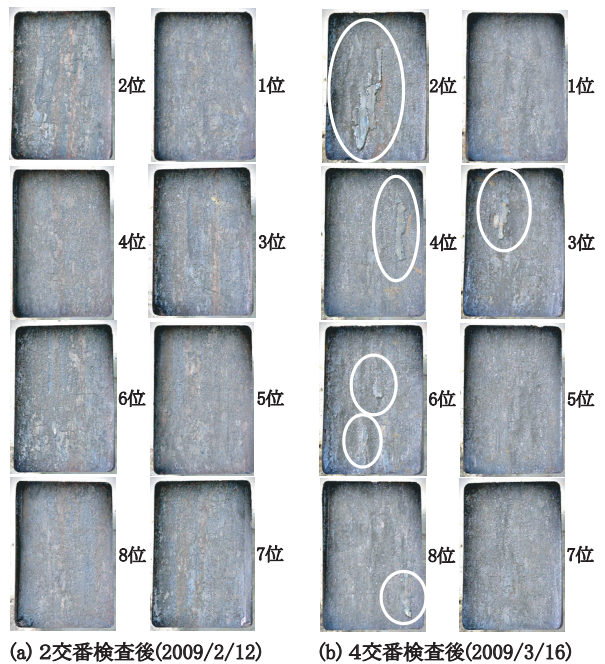


図8 かじり鉄片の発生状況（現行制御編成）

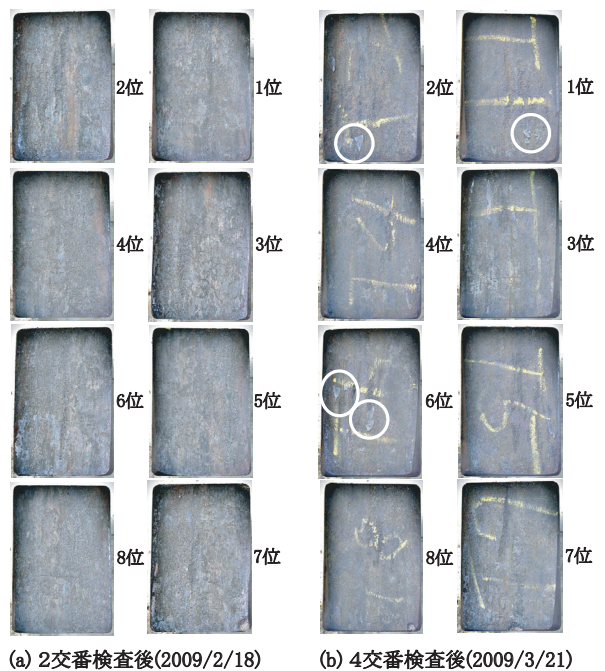


図9 かじり鉄片の発生状況（変更制御編成）

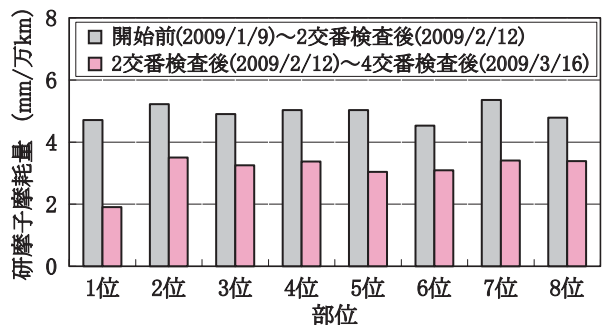


図10 研摩子摩耗量（現行制御編成）

特集：車両技術

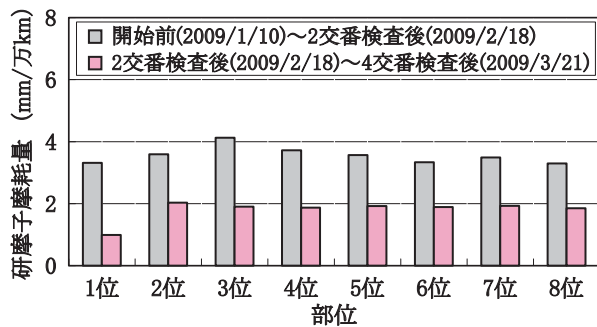


図 11 研摩子摩耗量 (変更制御編成)

5.2.3 空転と滑走

仕業検査及び交番検査において回収された1号車及び6号車のATCチャート紙について、試験開始前の2008年12月から試験開始後の2009年3月までを確認したところ、現行制御編成及び変更制御編成ともに「クウテン・カッソウ」の印字が無かったことから、今回の調査期間においては、通常の走行時における粘着性能は同等であると考えられる。

5.2.4 踏面あらし

踏面あらしの測定位置を図12に示す。1車輪あたりの測定位置はA～Dの4箇所、それぞれ評価長さは枕木方向に4mm及びカットオフ値(λc) 0.8mmとして、算術平均あらし(Ra)を測定した。ただし、測定値が1μm以上である場合には、車輪踏面のバリや錆によるスパイク状の波形がみられたため、これらの影響を除去する目的で、1μm未満となる測定値から平均値を求めた。

現行制御編成及び変更制御編成の号車平均した踏面あらしを図13及び図14にそれぞれ示す。1号車を比較すると、変更制御編成の踏面あらしは増加しており、現行制御編成と比べて同等以上の踏面あらしを有していることが分かる。

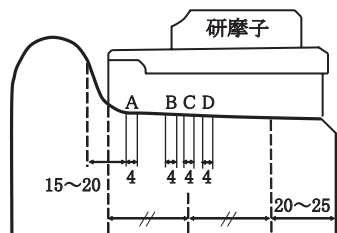


図 12 踏面あらしの測定位置 (単位 mm)

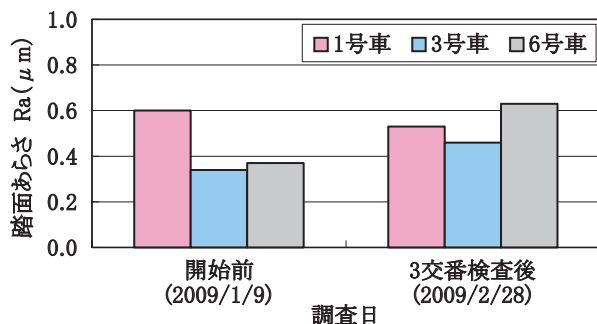


図 13 踏面あらし (現行制御編成)

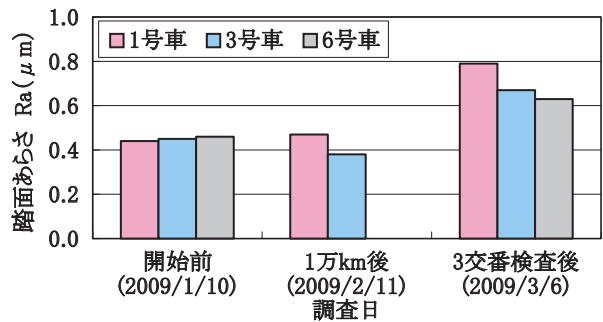


図 14 踏面あらし (変更制御編成)

5.2.5 踏面形状

踏面形状の摩耗量は、車輪背面から枕木方向に50～100mmで最大となるため、この範囲における走行万kmあたりの号車平均摩耗量は、現行制御編成が 5.1×10^{-2} mm/万km、変更制御編成が 3.9×10^{-2} mm/万kmとなり、変更制御編成は現行制御編成に比べて約3/4の摩耗量であった。また、両編成ともに踏面形状の異常はみられなかった。

6. 結論

本論文における結論は以下のとおりである。

- (1) 台上再現試験から見出した間欠動作を実装した変更制御編成のかじり鉄片の発生状況は、現行制御編成に比べて抑制された傾向であったことから、間欠動作による抑制効果が確認された。
- (2) 変更制御編成の踏面あらしは、現行制御編成と同等以上であった。また、ATCチャートには空転及び滑走の記録が無かったことから、走行時における粘着性能は同等であるものと考えられる。
- (3) 変更制御編成の研摩子の摩耗量及び踏面形状の摩耗量は現行制御編成と比較して、それぞれ約1/2、約3/4であり、間欠動作による各種摩耗量の低減効果が確認された。

今後は、雨季や冬季の粘着特性及びかじり現象の抑制効果を見極めた上で、その他の車両への展開を検討していく予定である。

謝 辞

本研究を進めるにあたり、多大なる御協力を頂いた三菱電機(株)、三菱重工業(株)、上田ブレーキ(株)の関係者各位に感謝の意を表す。

文 献

- 1) 長澤新, 飯島宏康, 半田和行: 車輪異常摩耗に対する制輪子-車輪間の介在物の影響, 鉄道総研報告, Vol.18, No.5, pp.47-52, 2004
- 2) 大山忠夫: 高速鉄道車両の車輪とレール間の粘着力におよぼす接触条件の影響と粘着力向上に関する研究, 鉄道総研報告, Vol.1, No.2, pp.1-77, 1987