# 3704 直流軌道回路特性と列車短絡抵抗の研究

正 [電]		〇門脇 雅明		(JR北海道)		宮越 文彦		(同)	金田	昌典	(同)
		中島	弘勝	(同)	今村	陽一	(同)	楯	直和	(同)	

A Study of Train Detection Characteristics of

# DC Track Circuit and Shunting Resistances of the Train

Masaaki KADOWAKI, Hokkaido Railway Co. Kita11 Nishi15, Chuo-Ward, Sapporo City Fumihiko Miyakoshi, Masanori Kaneta, Hirokatu Nakajima, Youichi Imamura, Naokazu Tate

The train shunting resistance has been measured, but it has been mainly performed on the condition that the truck circuit was closed. This method has a problem that an accurate value cannot be measured at some position of the train. This time, open truck circuit is constructed so that fluctuation is decreased. And we performed long-term measurement that the variation of the leakage current is considered. Additionally, the voltage between normal rails and the train shunt resistance in the case of that short-circuit current is changed. In this paper, we describe the report and the consideration of the train shunt resistance measured under the most suitable environment in the train.

Keywords: Extra Track Circuit, Shunt Resistance, Long Term Measurement, Temperature, Weather

#### 1. はじめに

軌道回路は確実な列車等の検知が行われるように仕様 が定められ、最適に調整が行われている.安定した検知 を行うためには常に「列車短絡抵抗<短絡感度」となる 必要がある. 短絡感度は静的な測定としてレール間に可 変抵抗を接続し、軌道リレーの動きを確認することで求 められる.一方列車短絡抵抗は、列車等が軌道回路を走 行しているときの動的な測定が不可欠である.列車短絡 抵抗は輪軸を通して両レール間を短絡するトータル抵抗 であるが、この抵抗には様々な要素が複雑に絡みあうこ とから、これまで定量的な解明が必ずしも十分ではな かった. その主な要因の一つとして, 列車短絡抵抗が, 実際の軌道回路と同じような長さの区間において、正確 にしかも長期にわたって測定されていなかったことが挙 げられる.今回直流軌道回路の諸特性を測定し、JR北 海道釧網線の藻琴〜北浜間に仮設した特殊な試験用軌道 回路において平成21年1月から列車短絡抵抗を測定した ので、その結果を報告し考察を行った.

## 2. 列車短絡抵抗を決定する要因

列車短絡抵抗を左右する要素としては、以下の要因が 複雑に絡みあっている.

①電気的特性面	:	レール間電圧や短絡電流
②レール環境面	:	レール踏面の錆び, 土や砂, 落ち葉
		積雪,氷などの影響
③車両面	:	短絡軸数, 軸重, 走行速度, 走行条
		件(力行/惰行/制動)などの影響
④総合面	;	車輪とレール面の接触面積や面圧な
		どで直線区間と曲線区間でも異なる

このうち,軌道回路仕様を決定する上で工夫が可能な 点は電気的特性面である.軌道回路の列車検知性能を向 上させるためには,電気的な仕様を決定した上で,様々 な条件下における列車短絡抵抗の測定が必要である.

## 3. 列車短絡抵抗測定の問題点

これまでも列車短絡抵抗は測定されていたが,以下の 問題点があるため,長期でしかも正確な測定は極めて困 <sup>\*</sup>難であった。

#### 3.1 列車位置による変化

列車短絡抵抗は,列車等が軌道回路を走行中に測定す る必要がある.一般的に軌道回路は閉電路構成であり, 列車等が走行中の軌道リレーの残留電圧を測定すること で,計算や抵抗器での短絡試験により求めることができ る.以下に直流軌道回路の構成例を示す(Fig.1).



Fig.1 DC track circuit

なお,レール間には道床を介して連続的に漏れ抵抗が 存在する.

列車等が軌道回路を走行中は、その位置により、短絡 点からみたレール抵抗や漏れ抵抗が異なるために、同じ 列車短絡抵抗でも軌道リレーに加わる残留電圧が異なる。 このため連続的に正確な列車短絡抵抗を測定するために は、送り側から受け側間にわたって数箇所にて可変抵抗 器で短絡して、軌道リレーに加わる電圧を調査しておく 必要がある(Fig.2)が、列車等の走行速度に変化がある場 合は、後で実際の短絡点の位置を割り出すのは困難であ 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〕

このため、列車位置を推定させるために、図中のよう に非接触形の検知装置を付加して測定することもある.



Fig.2 Conventional measurement circuit of train shunting resistances

# 3.2 天候による変化

測定を長期間にわたって行う場合,天候によってレー ル間の漏れ抵抗が大きく変動する(砂利・木まくら木区 間では2Ω/km~5Ω/kmとも言われている)ため,軌道リ レーの残留電圧のみを記録しても,後からその時の列車 短絡抵抗を正確に算出するのは極めて困難である.

# 4. 今回の測定方法の特徴

従来の測定方式では、長い区間を、漏れ変動も考慮し た長期間の測定は困難だったが、金沢工大の永瀬氏らの 提案する方法を参考に、列車短絡抵抗が連続的に測定で きる特殊な軌道回路を考案した.以下に、その構成や測 定の特徴を述べる.

#### 4.1 特殊な試験用軌道回路構成

試験用軌道回路は一方のレールの一端を送電端,他方 のレールの他端を受電端として,ケーブルで接続し,両 レール間の漏れ抵抗を介して直列に構成した(Fig.3).



Fig.3 Specific constitution of the track circuit

この方式にて、列車位置に関係なくダイレクトに列車 短絡抵抗の測定が可能となった(レール抵抗分は常に1 本分の全長の抵抗値となって変動しない).

釧網線の試験用軌道回路(500m)にてレール抵抗を何 度か測定したところ、 $30m \Omega \sim 40m \Omega 程度(気候変動)で$  $あった. この値は<math>50PS \nu - \nu$ の導体抵抗( $31.6 \mu \Omega/m$ ) にレールボンドの抵抗分を加えた計算結果から妥当な値 と判断した.また、気候等による変動( $10m \Omega 程度$ )は直列 に挿入されている軌道抵抗子の抵抗値と比較して十分に 小さい値であるため、長期間の測定においてデータの精 度に影響を与えないと判断した.

次に区間内のいくつかの点で、同じ抵抗値でレール間 を短絡した.このとき流れる電流が同一であったことか ら、列車位置による列車短絡抵抗の変化はしないことが 確認された.なお閉電路軌道回路に構成変更しても、同 一の列車短絡抵抗値になることも計算にて確認できたた め、この特殊な軌道回路構成で列車短絡抵抗を測定でき ると判断した.

# 4.2 自動校正回路の付加

もう一点の問題点として,天侯等によるレール間の漏 れ抵抗の変動が,比較的長い軌道回路における無人での 長期間の測定を困難なものとしてきた.このため測定回 路にダミー抵抗器を付加し(Fig.4),列車走行間合いにて, 毎回0.1~0.5Ωの抵抗器を用いてレール間を強制的に短 絡させ,その時の回路に流れる電流を電圧換算して記録 することで,当時の列車短絡抵抗値を推定することとし た.



Fig.4 Automatic calibration circuit

長期にわたって連続的に測定された列車短絡抵抗デー タは、あとで時間帯での違いや、気象庁から発表される データ(気温など)から、天候による影響の分析も可能 となった.さらに今後の目標の1つである短絡性能を向上 させた新しい軌道回路方式の環境変動に対する仕様検討 時の参考となった.

## 5. 測定結果

## 5.1 軌道回路のパラメータ決定のための測定

短絡性能を改善する新たな軌道回路の開発を念頭にお くため、従来の直流軌道回路構成を大きく変更しないこ とを前提に、試験用軌道回路のパラメータを決定するた めの測定を行った.

軌道回路の短絡感度自体は、その軌道回路の性能で一 義的に決定されるが、錆び等により実際の列車検知性能 は大きく影響を受け、レール間電圧や短絡電流によって 影響度合いが変化する.このため、短絡感度値では実際 の列車検知性能を評価できない.図中、太点線枠内にプ ロットした点は、レール間電圧と短絡電流値との要素で 実際に測定された列車短絡抵抗を示している.(Fig.5)

その結果、レール間電圧が30V以下では、短絡電流を 3Aまで上昇させた方が列車短絡抵抗が低い値となるこ とが判明した.このため特殊な試験用軌道回路では、そ のパラメータとしてレール間電圧を約20V,短絡電流は 約3Aとして長期にわたる測定を行うこととした.



Fig.5 Shunting resistance relations of measurements and conventional track circuits

#### 5.2 長期測定

#### 5.2.1 試験区間の概況など

①1日列車本数	:単線区間で上下合計18本が走行
②走行車両	: キハ40またはキハ54
	1両または2両編成
	制輪子は鋳鉄型
③運転状態	:平均速度は65Km/hで, 主に上り列車
	は力行で下り列車は制動走行と推定
④最大列車間隔	:22時頃~7時頃までの約9時間
⑤線路の状況	:約500m直線区間でオホーツク
	の海岸線から50m以内

#### 5.2.2 測定結果

長期測定は平成21年1月より開始し,これまで約2000 本の列車短絡抵抗を測定してきた.以下に各月の列車短 絡抵抗の最大値と当時の気温等を列記する(Table 1).

Table 1 Results of the shunting resistance

1	月 平均 気温	キハ40(1両)					キハ54(1両)				
/		Max			Ave		Max	Ave			
1月		0.259 Ω	1/20 13:36	薄景 -2.4°C	$0.074 \Omega$ (0.007 ~ 0.259 $\Omega$ )	0.320Ω	1/20 11:47 8本目 上り	₩ -1.6°C	0.104Ω (0.014 ~ 0.320Ω		
2月	-4.8°C	0.138 Ω	2/27 15:49 14本目 上り	2.5°C	0.069Ω (0.020 ~ 0.138Ω)	0.230Ω	2/25 14:44 13本目 下り	-1.3℃	0.091 Ω (0.008 ~ 0.230 Ω)		
3月	0.2°C	0.325 Ω	3/23 13:40 9本目 下り	∰ 6.1°C	0.144Ω (0.006 ~ 0.325Ω)	0.639Ω	3/23 06:54 1本目 下り	5.4°C	0.190 Ω (0.002 ~ 0.639 Ω)		
4月	4.8°C	0.312Ω	4/10 10.54 6本目 下り	6情 19.9°C	0.173Ω (0.010 ~ 0.312Ω)	0.576Ω	4/24 06:55 1本目 下り	1.2°C	0.252 Ω (0.000 ~ 0.576 Ω)		
5・6月	11.3°C	0.452 Ω	5/19 13.40 9本目 下り	請 23.0°C	$0.214 \Omega$ (0.003 ~ 0.452 $\Omega$ )	0.840Ω	5/15 06.54 1本目 下り	M 4.5°C	0.283Ω (0.002 ~ 0.840Ω)		
7月	15.2°C	0.460 Ω	7/16 13.07 8本目 上り	16.8°C	0.192Ω (0.067 ~ 0.460Ω)	0.563Ω	7/22 21:09 17本目 上り	日 11.2°C	0.284 Ω (0.082 ~ 0.563 Ω)		
8月	18.5°C	0.433Ω	8/13 13:40 9本目 下り	雨 18.3°C	0.234Ω (0.032 ~ 0.433Ω)	0.685Ω	8/25 06:55 1本目 下り	15.4°C	0.326 Ω (0.099 ~ 0.685 Ω)		

※ 6月は機器異常でデータが5日朝以降取得できなかったため、5月とあわせて築計した。

この表では、2両編成列車(2本/日)を除外し、1両編 成の定期列車を抽出し車種毎に示した。

データの処理については、当該列車が試験用軌道回路 区間に完全に入っている間(進入直後/進出直前3秒は除 外)における測定値を移動平均処理により、各列車毎の最 大値を算出した.それと共にMax(その月に測定された列 車の最大値)とAve(その月の各列車の最大値の平均値)を 示し、かつ最小値~最大値(Maxと同じ)を併記した.なお、 取得データをそのまま使用せずに移動平均値を採用した のは、通常のフィルター付き測定器と同様に、軌道リレー の動きに、ほとんど影響を与えない瞬間的な列車短絡抵 抗値を排除するためである.移動値は軌道リレーの動作 時間(1秒程度)に影響を与えないよう、0.1(s)間隔で0.4(s) ごとの平均としている.以下、ある列車の測定データと 移動平均処理した関係を示す(Fig.6).





瞬間最大抵抗値は3.293Ω(2ms間)であるが,移動平均 での最大抵抗値は0.84Ωとなった.また,そのタイミン グは異なっている.このことから軌道リレーの動きに影 響を与える列車短絡抵抗値は,測定データではなく,移 動平均処理を行ったデータの方が妥当といえる.

#### 5.3 特殊条件下の測定

ロングランの測定期間中に積雪がある場合,踏切道を イメージして泥をレールに塗布した場合,あるいは海水 をレール面に散布し踏面に強制的に錆びを発生させた時 の列車短絡抵抗を一時的に測定した(Fig.7).

値は移動平均値を用いた.([ ]は瞬時値を示す)



7月15日の測定結果より,一般区間の列車短絡抵抗の最 大値(Max)は0.29Ω [0.37Ω] で,平均値(Ave)では0.17Ω であった.

また、泥塗布区間における最大値は0.36Ω [0.48Ω], 平均値は0.31Ωであったが、海水散布区間における最大 値で0.59Ω [1.14Ω],平均値は0.42Ωであり、何れも新 しい軌道回路の短絡感度の目安である1Ω未満であるた め、安定した列車検知が実現出来る可能性がある.しか し、現行の直流軌道回路はレール間電圧が約3Vで短絡電 流が1A程度なので、列車短絡抵抗がさらに上昇すること が予想されるため、台風通過時などは、不安定となる可 能性もある.

一方,1月15日の測定結果より,レール面に雪を堆積(約 20mm) した区間と堆積がない区間と大差はなかった.

なお,落ち葉の影響が大きいことは過去の軌道回路不 短絡事象から推定されているが,列車のブレーキ性能に 影響を与える懸念があったため,試験は実施出来なかっ た.

#### 6. 考察

#### 6.1 気温と短絡抵抗の関係

今回取得したキハ40とキハ54の1両編成列車について, 各列車毎の列車短絡抵抗の平均値(移動平均で進入/進出 タイミングを除いた平均値)と気温との関係を示す (Fig.8).



Fig.8 Relations of temperature and the shunting resistances

- ①近似線を引いた結果,0℃以下では急激に列車短絡抵抗 が減少することが判った
- ②分布から言えることは以下である.
- ·0℃以下:0.1Ω以下に集中し、ばらつきが少ない
- ・0℃以上:気温が高い方が,列車短絡抵抗は高くなる傾向にあるが,10℃を越えると必ずしも気温が高い方が列車短絡抵抗が高いとは言えない(ばらつきが大きい)

③車種による違い

・キハ54の方が高い

(自重はキハ40が40t, キハ54が42tである)

気温が上昇すると列車短絡抵抗は増加する傾向にある. なお、車種より列車短絡抵抗の違いがあるが、その原因 は調査中である.

#### 6.2 天候と短絡抵抗の関係

今回Table1に示した短絡抵抗のうち,最も大きな値を 示した5月15日のキハ54のデータについて,前日からの気 候との関係を以下に示す(Fig.9).



Fig.9 Relations of weather and the shunting resistance

#### ①朝1本目の列車であった(6時54分)

②前日は雨で夜間は霧雨程度の雨が5時頃まで降っていた ③列車走行の約1時間前(日の出)から日照があり、レール 踏面に直射日光があたっていたと思われる

前日午後から断続的に、夜から日の出まで僅かながら 霧雨程度の降雨が続いている状況下で、始発列車におい て列車短絡抵抗の最大値を示した.これは、降雨後の日 照によりレール踏面に錆が発生したものと推測される.

# 6.3 編成両数と短絡抵抗の関係

当該線区の列車編成は、キハ40の単行及び2両編成、キ ハ54単行、キハ54とキハ40を1両ずつ使用した2両編成の 列車が設定されている.車種による列車短絡抵抗の違い があるため、同一車種で比較が可能なキハ40の単行と2 両編成について、列車毎の最大列車短絡抵抗値の平均値 と最大値を比較した(Table 2).

Table 2	Relations of the shunting	resistance
a	and train formation car num	bers

	月平均		キハ	40(1	両)	キハ40(2両)				
	気温		Max		Ave	Max			Ave	
1月	-3.1°C	0.259 Ω	1/20 13:36 11本目 下り	薄量 -2.4°C	0.074Ω (0.007 ~ 0.259Ω)	0.125 Ω	1/24 07:52 3本目上り	-3.8°C	0.054Ω (0.012 ~ 0.125Ω	
2月	-4.8°C	0,138 Ω	2/27 15:49 14本目 上り	2.5°C	$0.069 \Omega$ (0.020 ~ 0.138 $\Omega$ )	0.050 Ω	2/27 07:57 3本目 上り	-5.2°C	0.033Ω (0.022 ~ 0.050Ω	
3月	0.2°C	0.325 Ω	3/23 13:40 9本目 下り	6.1°C	$0.144 \Omega$ (0.005 ~ 0.325 $\Omega$ )	0.217Ω	3/19 07:57 3本目 上り	6.7°C	$0.108 \Omega$ (0.015 ~ 0.217 $\Omega$	
4月	4.8°C	0.312 Ω	4/10 10.54 6本目 下り	晴 19.9°C	$0.173\Omega$ (0.010 ~ 0.312 $\Omega$ )	0.297 Q	4/26 07:56 3本目 上り	38°C	0.170Ω (0.028 ~ 0.297Ω	
5・6月	11.3°C	0.452 Ω	5/19 13:40 9本目 下り	晴 23.0°C	$0.214 \Omega$ (0.003 ~ 0.452 $\Omega$ )	0.510 Ω	5/18 07:56 3本目 上り	F∰ 19.1°C	0.213Ω (0.012 ~ 0.510Ω	
7月	15.2°C	0.460 Ω	7/16 13.07 8本目 上り	16.8°C	$0.192 \Omega$ (0.067 ~ 0.460 $\Omega$ )	0.262 Ω	7/20 07:57 3本目 上り	10.9°C	0.159Ω (0.021 ~ 0.262Ω)	
8月	18.5°C	0.433 Ω	8/13 13:40 9本目 下り	南 18.3°C	$0.234 \Omega$ (0.032 ~ 0.433 $\Omega$ )	0.489 Ω	8/21 07:57 3本目 上り	23.1°C	0.251 Ω (0.124 ~ 0.489 Q	

※ 6月は機器異常でデータが6日朝以降取得できなかったため、5月とあわせて集計した。)

①平均値(Ave)は、わずかながら2両編成の方がよい.
②最大値(Max)は5.6月と8月に発生し、平均値(Ave)が高いのは8月で2両編成の方が高かった.今回の比較から、単行と2両編成では大きな違いが認められなかった.

# 6.4 今後の課題

今後の課題としては以下の3点挙げられる.

- ①最低1年間のデータを収集し、天候、気候などの環境 条件の変動により軌道回路特性(主として漏れ変動) と列車短絡抵抗がどのように変化するかを分析する。
   ②分析結果を基に新しい軌道回路(レール間電圧を約
- 20V短絡電流を約3A)の設計,検証を行う. ③従来は瞬時値で軌道回路の列車検知の評価を行うこ
- とが多かったが、今回移動平均手法による値で評価 した、今後、軌道リレーの動きに対して最適な手法 を検討する必要がある.

## 7.終わりに

今回は長期的に列車短絡抵抗を測定するための軌道回 路構成を考案して測定を継続していることを紹介した. また日々の漏れ抵抗の影響も考慮した自動校正を行うこ とで,正確な値を取得できるようになった.通年を通し てのデータ収集にはあと数ヶ月継続することになるが, 実際のレール上の長い距離において初めて実際の列車短 絡抵抗を継続的に収集していることの意義は大きく,将 来のメカニズム解明に寄与するものと考える.

これまでご指導を頂いた金沢工業大学の永瀬客員教授 や測定結果に対する評価について助言を頂いた鉄道総研 信号研究室福田主任研究員に謝意を表します.

#### 参考文献

- 福田光芳,前橋栄一,伴巧:軌道短絡,JREA, VOL.50,NO.8 pp32708-32710,2007. (社)日本 鉄道技術協会
- 若林雄介,田中伸治,中川大輔,平間淳司,永瀬和 彦:レールと車輪の接触状態が軌道回路の短絡に 及ぼす影響(第2報),日本機械学会論文集(C編), 68巻672号, pp.2402-2409, 2002.