

## J R斜め切り接着絶縁レールのアーク抑制効果

On the reduction of arc-discharge with the improved rail joint



溶接溶射技術開発室

生産管理推進室

溶接溶射技術開発室長

東日本旅客鉄道(株)  
総合技術開発推進部  
軌道技術グループ課員

東日本旅客鉄道(株)  
総合技術開発推進部  
軌道技術グループ副課長

古田 博明  
Hiroaki Furuta

江川 太郎  
Taro Egawa

宮崎 裕之  
Hiroyuki Miyazaki

奥村 幹夫  
Mikio Okumura

沼倉 明夫  
Akio Numakura

### 要旨

前報では、接着絶縁レールの絶縁継ぎ目近傍で観察されたレール踏面の激しい損傷は、車輪・レール間で発生したアーク放電現象による損傷摩耗であると報告されている。

接合部を斜め形状に改良した開発レール（斜め切り接着絶縁レール）を配した模擬軌道回路を用いて、アーク抑制効果の検証を行った。本試験（低速域）では、開発レールのアーク放電現象の抑制傾向が認められるが、車輪・レール間のアーク放電現象は、車輪とレールの接触面積及び接触時間に左右されると考えられ、高速域でのアーク抑制効果は減少すると推定される。

### Synopsis

It was explained in the previous report paper that the arc-discharge phenomenon gave rise to the damages to the area of the rails around insulated joint. To control the phenomenon of the arc-discharge between wheels and rails the improved joint cut obliquely was manufactured and tested.

On the examination at a low speed, a tendency for controlling the arc-discharge on the developed insulated joint has been recognized. On the other hand, the phenomenon of the arc-discharge has been affected on the contact areas and time of the rails with wheels. Finally the damages caused by the arc-discharge has been presumed to be more reduced on the high speed condition rather than on the low speed conditions.

### 1 緒言

直流電化区間に敷設された接着絶縁レールでは、レール踏面の損傷によるレールの短寿命化が問題となっている。前報では、レール損傷の律速段階となる現象は、車輪・レール間のアーク放電現象による金属の蒸発、飛散、酸化等の摩耗によるものであると報告されている。

このアーク放電現象は、回路が上流側レールから下流側レールに切り替わるときに生じる電位差によるもので、絶縁継ぎ目の影響が大きいと考えられている。そこで、アーク放電現象の抑制を目的とした斜め切り接着絶縁レールが開発され実機テストが行われている。この斜め切り接着絶縁レールは、接合部を斜め形状に改良したもので、車輪が絶縁継ぎ目を通過する際の急激な通電遮断を緩和する効果が

期待できる。そのアーク抑制効果について定量的な検証を試みた。

以下、従来型接着絶縁レールを従来型レール、斜め切り接着絶縁レールを開発レールと称す。

### 2 実施概要

開発レール・従来型レール（Fig.1）を配した模擬軌道回路を用いてアーク放電現象を再現し、アーク放電に伴う電流・電圧変化の測定、レールに生じたアーク痕の観察、及び高速度ビデオカメラによるアーク放電現象の観察により開発レールの抑制効果を確認する。

### 3 検証方法

#### 3.1 模擬軌道回路を用いた開発レールのアーク抑制効果確認試験

アーク抑制効果確認試験は、Fig.2に示す模擬軌道回路図を作成し、レールに勾配を設けて試験速度の調整を行い、Table.1に示す試験条件で行った。Fig.2に示す測定個所に検出器を設け電流・電圧の変化を測定し、高速度カメラにより車輪・レール間でのアーク放電現象の観察を行った。

#### 3.2 試験データの解析

従来型・開発レールに於ける、電流と電圧の変化を測定、高速度ビデオカメラによるアーク放電現象の観察及びレール上に発生したアーク痕の観察により、開発レールのアーク抑制効果の解析を行った。

試験データの解析にあたって、アーク抑制効果確認試験で得られた測定データだけでは、電流・電圧の変化にアーク放電現象が明確に反映されないことに加え、レールが上下左右、4要素を持つこと、車輪のバウンドによりレールとの接触が切れることによるアーク発生の可能性、インピーダンスポンドの影響など、多数の複雑な要素が絡み合い試験データの解析を困難なものとした。そこで、車輪・レール間でのアーク放電現象を明確なものとする為に、片側レールのみの模擬軌道回路 (Fig.3) を製作し、Table.2に示す予備試験を行った。

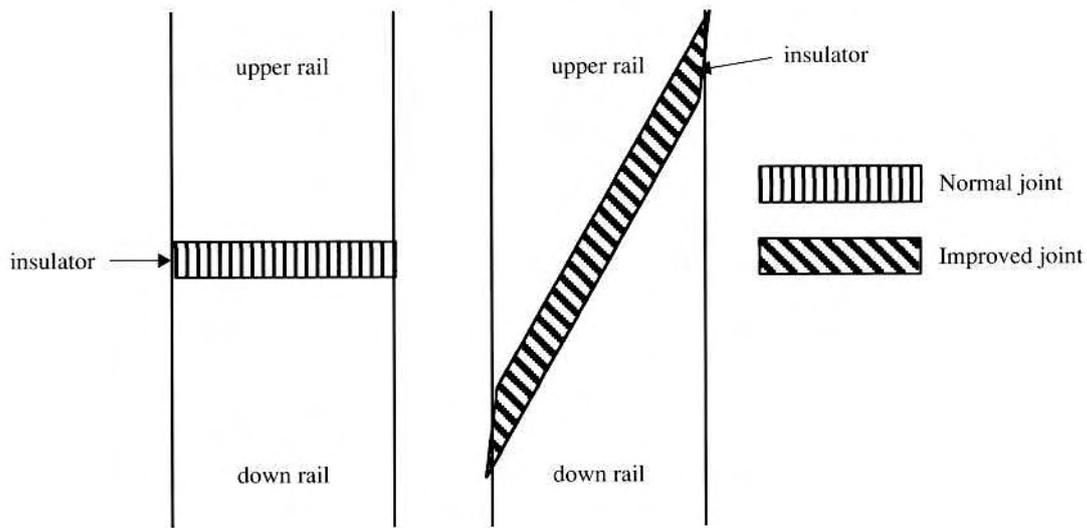


Fig.1 Glued Insulated Rails

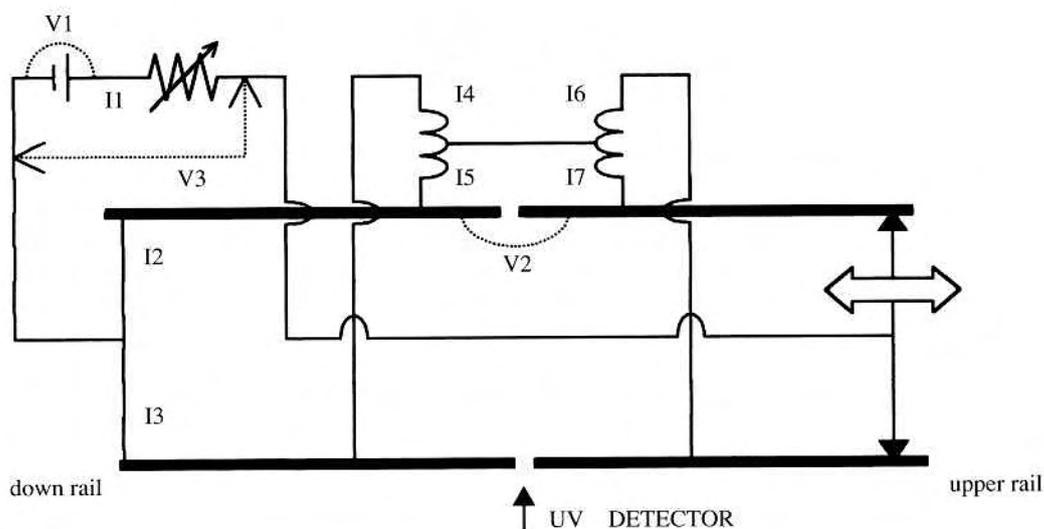


Fig.2 The model of rails circuit

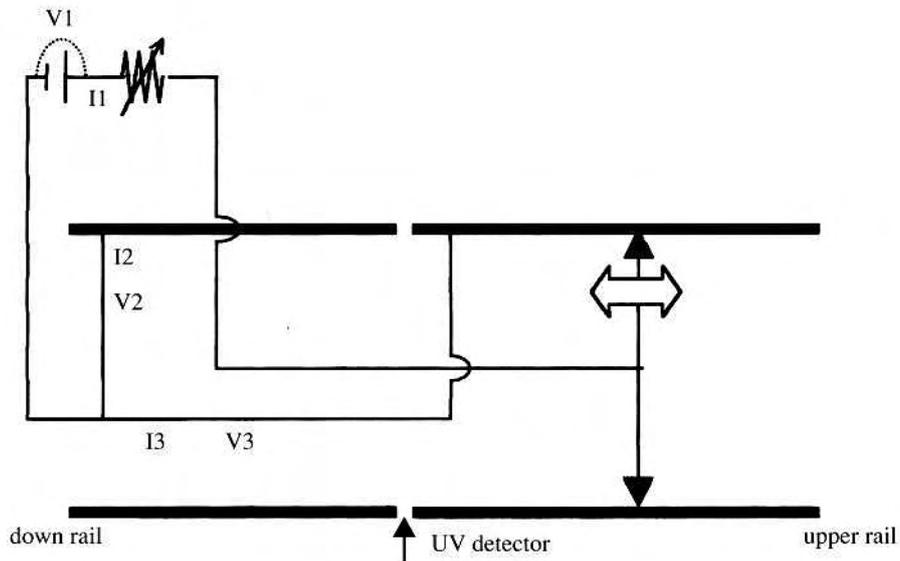


Fig.3 The model of rails circuit

Table 1 Experimental conditions

Type	Electric current (A)	0.5m/s (1.8km/h)	1.0m/s (3.6km/h)	1.5m/s (5.4km/h)
Normal joint	500	50	50	50
	750	50	50	50
	1000	50	50	50
Improved joint	500	50	50	50
	750	50	50	50
	1000	50	50	50

(unit : times)

Table 2 Preliminary test

Title	Content
Test-1	アーク放電現象の観察と解析 (インピーダンスボンド無し)
Test-2	インピーダンスボンドの影響によるアーク放電現象の解析
Test-3	車輪を上流レール及び下流レールに短絡させた状態から車輪を転がした場合のアーク放電現象の解析
Test-4	車輪の速度を小さくし、徐々に増加させたときのアーク放電現象の解析

#### 4 試験結果

##### 4.1 アーク発生頻度

従来型・開発両レールでの各試験条件に於けるアーク発生頻度をFig.4に示す。

アーク放電現象は、片側レールのみ又は両側レールで観察され、電流及び速度の上昇に伴い、両側レールでの発生頻度が上昇した。従来型・開発両レール共に、速度1.0m/s以上、電流750A以上では、ほぼ全ての実験にてアークが発

生し両レールの違いは確認出来なかったが、それ以下の条件では、開発レールでのアーク発生頻度は減少し、アーク抑制効果を確認した。

##### 4.2 アーク発生状況

50回後のアーク痕の観察より、斜め切り接着絶縁レールで発生したアーク痕の方が小さい事が判明した。アーク発生頻度がほぼ同等となった速度1.5m/s、電流1000Aの条件下

でも同様な結果が得られた。アーク痕の様子をFig.5に示す。

高速度カメラによる撮影より、アーク放電現象は、従来型・斜め切り接着絶縁両レール共に車輪と上流側レールの間で確認され、持続時間は4～6msであった。

### 4.3 予備試験結果

#### 4.3.1 Test-1

従来型レールでは、全ての試験条件でアーク発生音を確認した。開発レールでは、500Aでアーク発生頻度が急激

に減少した。

#### 4.3.2 Test-2

Test-1と比較すると、インピーダンスボンドを接続した事によって、アーク放電現象によるレール損傷が大きくなった。

#### 4.3.3 Test-3

上流・下流側レール共に、同じ電流値（電源電流の半分の値）である事を確認し車輪を転がした結果、電流500A

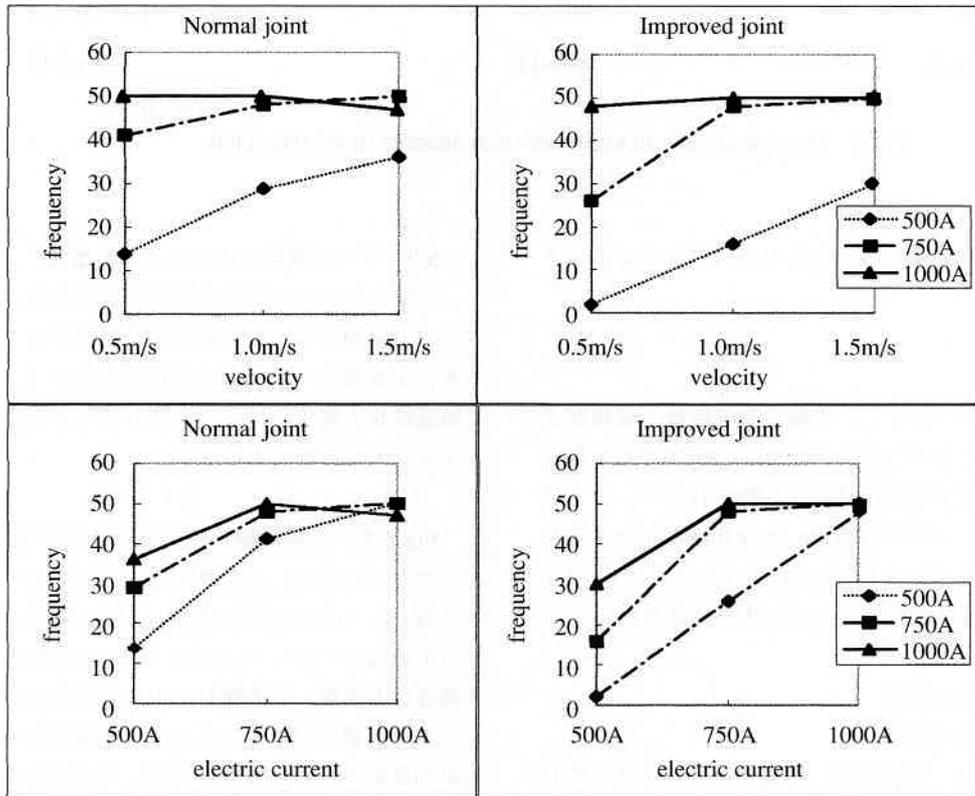


Fig.4 Frequency of Arc-discharge



Fig.5 Arc-mark around the rails joint

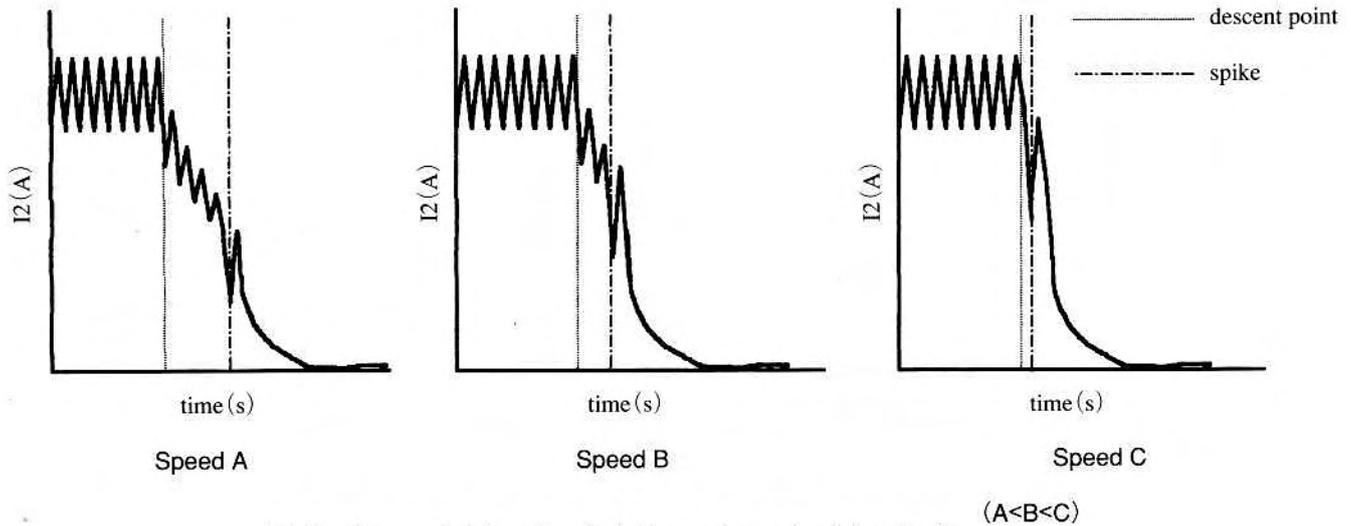


Fig.6 Change to interval scale between descent point and spike

ではアークは確認出来なかったが、1000A以上ではアークが発生した。

#### 4.4.4 Test-4

電流条件を1000A一定とし、車輪の加速距離を絶縁部から30mmおきに変化させた結果、I2では、Fig.6に示す様な傾向が得られた。電流の減少地点から髭の様なピーク（以後スパイクと称す）までの間隔は、加速距離が増加する毎に狭くなりスパイクの電流値は増加している。このスパイクは、アーク放電現象に伴い発生する事を確認した。

### 5 アーク放電現象の解析

#### 5.1.1 試験データの解析

アーク放電現象は、電源電流、車輪の速度に大きく依存し、電源電流、車輪速度の増加に伴いアーク発生頻度、レール踏面の損傷は増大する。また、開発レールの形状効果は低電流、低速域で大きく、電源電流、車輪速度の増加に伴い減少している。

高速度ビデオカメラでの観察より、アーク発生直前の車輪は、既に下流レールと接触し回路を形成している。本試験で確認したアークの持続時間は、従来型レール、開発レール共に4～6msである。

#### 5.1.2 予備試験データの解析

アーク放電現象によるレール踏面の損傷はインピーダンスボンドの接続により大きくなり、インピーダンスボンドが何らかの抵抗となって影響を及ぼしている。

アーク放電は、電源電流の増加に伴い、車輪速度に関係なく発生する。また、低速域ではI2での電流減少位置からスパイクまでの間隔が広くなり、スパイクの電流値は減少している (Fig.6)。この傾向は、開発レールに大きく、アーク抑制効果を示唆している。

#### 5.2 アーク発生メカニズムの想定

車輪とレールの接触面積をSとすると、Fig.7に示すように、上流側レールでは時間の経過に伴ってSが減少していき、下流側レールではSが増加していく。接触面積Sと接触抵抗Rの関係には下式が成り立つと仮定しアーク発生メカニズムの想定を行った。

$$R \propto 1/S$$

Fig.8は、片側模擬軌道回路でのI2の推移を模式的に示したものである。上流側レール (I2) での電流値の推移と、時間  $t_1 \sim t_4$  での接触面積  $S_1 \sim S_4$  の関係より、接触面積Sの上流側レール、下流側レールでの減少、増加に伴って、電流は上流側、下流側レールに分配される。

アーク発生メカニズムは、上流側レールの接触面積Sが  $t_4$  直前にゼロとなり、上流、下流側レールに分配されていた電流が下流側レールに流れようとする。しかし、下流

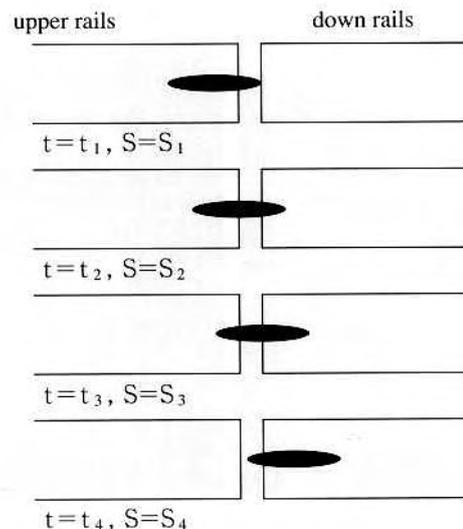


Fig.7 Change over to the contact area

側レールでは接触面積  $S$  が十分に得られていない為抵抗が過大となり、放電現象となって過剰な電流が上流側レールに流れる。

これがアーク放電現象と考えられる。この時波形図では電流の急激な減少 ( $I_3$ では増加) が観察される (スパイク)。このスパイク直前がアーク放電現象と特定できる。

### 5.3 斜め切り接着絶縁レールのアーク抑制効果と接触時間について

接触時間及び最大アーク電流値は、上流レールでの電流値の推移より決定した。Fig.9に示す様に、車輪が上流レールのみで回路を形成しているとき、電流値  $I_2$  は一定のパルスで振動している。  $t_1$ 以降では電流値の減衰が観測されたことから、上下レールと車輪が同時に接触した時点と  $t_1$ とした。  $t_4$ 以降ではパルスが消失しており、上流レールとの回路が切断された時点とした。

$t_1 \sim t_4$ 間では上下レールと車輪が同時に回路を形成しており、この間を接触時間  $\delta t$ とした。回路が切断された時点

$t_4$ での電流値  $i_4$ をアーク電流の最大値と推定し (スパイクの直前)、最大アーク電流値  $I_{max}$ とした。

上流レールと下流レールに車輪が同時に接触している時間  $\delta t$ と電流、速度の関係はFig.10、Fig.11の様になる。Fig.10に示すように斜め切り接着絶縁レールに  $\delta t$ の増加傾向が認められる。Fig.11では、最大アーク電流  $I_{max}$ は接触時間  $\delta t$ の逆数に比例する。斜め切り接着絶縁レールではアーク発生時の  $I_{max}$ の減少傾向が認められる。

アークのエネルギー  $E$ は次式と考えられる。

$$E = I \cdot V \cdot t \quad (I \text{ は電流, } V \text{ は電圧, } t \text{ はアーク持続時間})$$

このとき、実機では、車両の位置により電圧変動の影響が考えられるが、特定の位置で従来型、開発レールを比較する場合には  $V$ は一定と考えられる。また、従来型、開発レール共にアーク持続時間は  $4 \sim 6 \text{ ms}$ であることから、 $t$ を一定とすれば  $E = K \cdot I_{max}$ となり、 $I_{max}$ の比較によりアークによるレール損傷が推察できる。

しかしながら、実際の車両のスピードは本実験の10倍以上

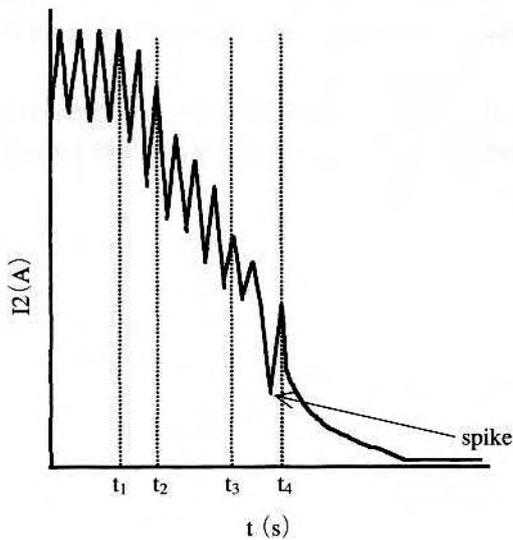


Fig.8 Change to electric current through the upper rails

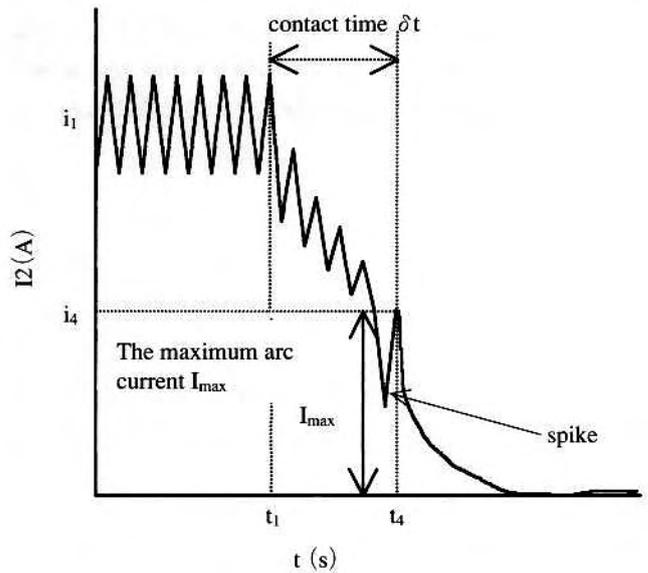


Fig.9 Change to electric current through the upper rails

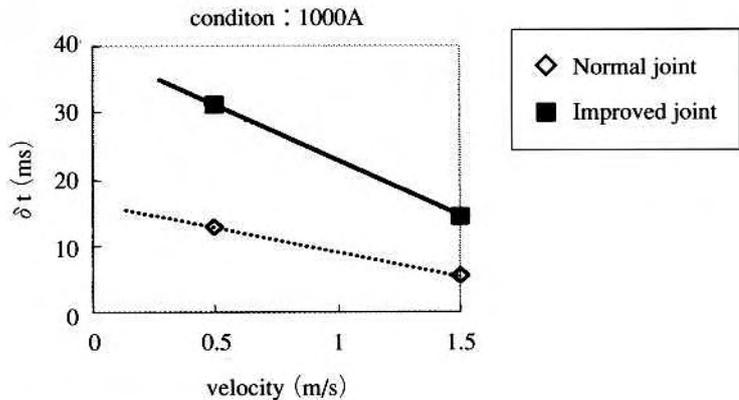
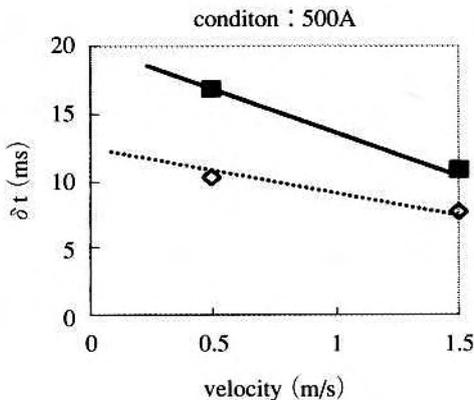


Fig.10 Relation velocity to  $\delta t$

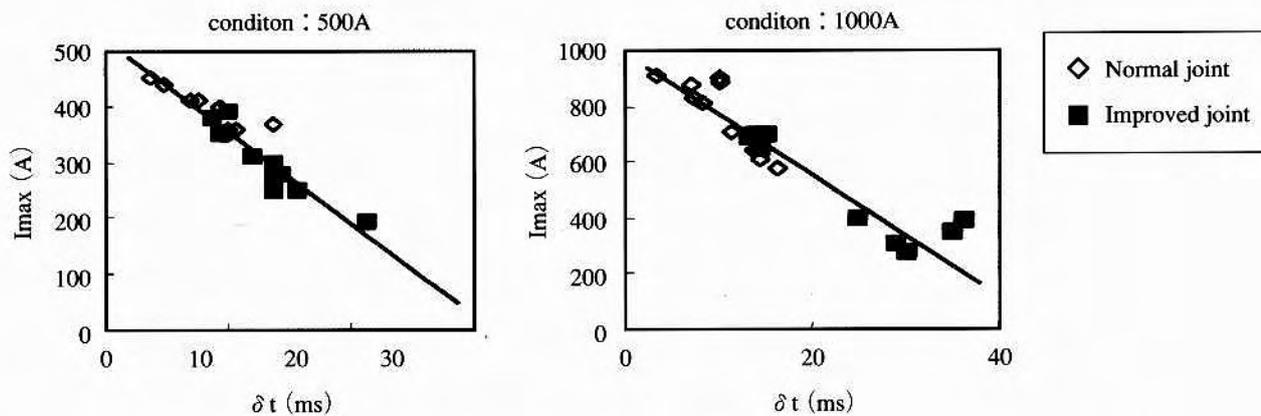


Fig.11 Relation  $\delta t$  to  $I_{max}$

上あると考えられ、Fig.10において速度軸が右に大きく移動した場合、 $\delta t$ は減少していく。また、Fig.11の  $I_{max}$ は電源電流  $I_1$ に近づくこととなる。実際の車両では、レールに掛かる圧力（接触面積、車両重量）が大きく異なるため、本実験でFig.10、Fig.11 ( $I_{max}$ ,  $\delta t$ )の関係をそのまま適用することは危険ではあるが、少なくとも、車両重量や車輪のバウンド等の他条件を無視すれば、斜め切り接着絶縁レールのアーク抑制効果は、本実験より小さくなるものと考えられる。

## 6 結論

- ① 電源電流が大きいほどアークは大きく発生する。
- ② 車輪の速度が大きいほどアークは大きく発生する。
- ③ インピーダンスボンドの接続によりアークは大きく発生する。
- ④ 本試験では、斜め切り接着絶縁レールと従来型接着絶縁レールを比較すれば、斜め切り接着絶縁レールはアーク抑制効果がある。
- ⑤ 実際の車両では接触時間が短くなるため斜め切り接着絶縁レールのアーク抑制効果は本実験より小さくなることが考えられる。