直流区間における高圧母線を有する車両走行の 離線シミュレーション

正員 藤井 保和*

Simulation of Contact Loss for Trains with High Voltage Bus Cables under DC Feeding System

Yasukazu Fujii*, Member

This paper proposes a new simulation method for contact loss when high voltage bus cables are used in a DC feeding system. To reduce the arcs caused by contact loss, two pantographs are connected by high voltage bus cables which make a closed circuit with a contact wire and pantographs. However, it has not sufficiently been made clear that the increase of this closed circuit inductance as well as pantograph current lessens arc reducing effects. Although the current collecting performance of overhead contact-line-pantograph systems is evaluated by contact loss when high voltage bus cables are used, the detecting accuracy of contact loss measuring methods has not quantitatively been investigated either. The author has developed a simulation method for contact loss having an exponential distribution, and revealed quantitatively the amount of arc reduction and the detecting accuracy of contact loss measuring methods by applying this simulation method.

キーワード：離線，アーク，高圧母線，アーク消滅時間，離線測定法

Keywords: contact loss, arc, high voltage bus cable, arc extinction time, contact loss measuring method

1. はじめに

高速走行で厳しくなるパンタグラフ空力騒音対策の一つとして、1列車に搭載するパンタグラフ数を2個程度に削減する。このため、パンタグラフ1個当たりの集電電流が増え、離線に伴うアークによりトロリ線・パンタグラフすり板の摩耗、スパーク音、電波雑音などの障害が増大する。そこで、離線に伴うアークを低減するため、パンタグラフ間を高圧母線で接続するが、これは、高圧母線があると、トロリ線・パンタグラフ・高圧母線で構成される閉回路（以下閉回路とも呼ぶ）ができ、1個のパンタグラフが離線しても、他方のパンタグラフが着線し、離線パンタグラフとトロリ線間に生ずる電圧が最小アーク電圧以下であれば、離線により発生したアークは消滅するからである⁽¹⁾⁽²⁾。しかし、パンタグラフ電流が増えたり、パンタグラフ間隔が広く閉回路のインダクタンスが大きい場合には、高圧母線のアーク低減効果が弱まることが予測されるが、その程度についてまだ定量的に明らかにされていない。

一方、集電系の高速化や新しい集電系の採用時に離線に

よる集電性能の確認が必要となる⁽³⁾。代表的な離線測定方法である電流式離線測定法や光学式離線測定法は、その測定方法に起因し離線の一部が検出できない場合もあるが⁽⁴⁾、これについても定量的な検討がなされていない。

以上の問題点を解決するため、離線が確率的現象で離線の発生間隔・継続時間が共に指数分布に従うことに基づき⁽⁵⁾、一様乱数から指数分布を持つ離線状態を作成し、この離線状態により直流区間における高圧母線下の離線がシミュレーションできる手法を新しく開発した。このシミュレーション方法を用い、営業車で測定した閉回路の抵抗・インダクタンスおよび離線の発生間隔・継続時間を基に、高圧母線のアーク低減効果、各離線測定法の離線検出割合を検討する。

本論文では、最初に、高圧母線があるときの閉回路と等価回路、および閉回路における最小アーク電圧による離線アークの消滅について述べる。次に、一様乱数から作成した指数分布と離線パターンを用いた離線シミュレーション手法について述べる。最後に、営業車の諸元に基づくシミュレーションにより検討した高圧母線のアーク低減効果と離線測定法の離線検出割合について述べる。

2. 高圧母線があるときの離線現象

〈2・1〉 離線に伴うアークの消滅 トロリ線・パンタグラフ・高圧母線で構成される閉回路において、パンタグラ

* (財) 鉄道総合技術研究所

〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38

Railway Technical Research Institute

2-8-38, Hikari-cho, Kokubunji-shi, Tokyo 185-8540

図 1 高圧母線があるときの離線に伴うアークの発生状況

Fig. 1. Occurrence of arc caused by contact loss when high voltage bus cables are used.

図 2 アーク発生時の図 1 に対応した力行時等価回路

Fig. 2. Powering equivalent circuits corresponding to Fig. 1 when an arc occurs.

フの離線によりアークが発生する状況の概略を図 1 に示す。このアークの発生・消滅を主に支配しているものは最小アーク電流と最小アーク電圧で、これらは材料固有の値であり、銅などの集電系材料ではそれぞれ 0.5~0.7 A、12~13 V とされている⁽⁶⁾。トロリ線・パンタグラフ間の接点の通電電流が最小アーク電流より小さいか、または接点印加電圧が最小アーク電圧より小さい場合のどちらか一方の条件が成立すれば、定常アークは発生しない。高圧母線がある閉回路においては、パンタグラフの集電電流は最小アーク電流より大きい、離線発生箇所にかかる電圧は最小アーク電圧より小さい場合が多い。図 1 において、第 2 パンタグラフが離線しても、もう一方の第 1 パンタグラフが着線していれば、離線しているトロリ線・パンタグラフ間にかかる電圧つまり負荷電流による第 1 パンタグラフ・高圧母線の電圧降下の和が、最小アーク電圧以下のときには離線が継続してもアークは消滅し、最小アーク電圧より大きいときには離線している間アークは継続することになる。

〈2・2〉アーク発生時の等価回路 離線に伴うアーク発生時の図 1 に対応した力行時等価回路を図 2 に示す。ここで、 E ；電源電圧、 E_a ；最小アーク電圧、 R_1, L_1 ；列車主回路、変電所の回路、き電線、およびレール等、閉回路以外の抵抗・インダクタンス、 R_2, R_3 ；閉回路の抵抗、 L_2, L_3 ；閉回路のインダクタンスである。通常の列車では、高圧母線とレール間に複数ユニットの列車主回路が並列接続されるが、高圧母線とレールの抵抗・インダクタンスは列車主回路の値に比べてかなり小さいので、列車主回路を 1 個に置き換えられる。図 2 の等価回路では、この列車主回路と変電所の回路、き電線、およびレール等、閉回路以外

の抵抗・インダクタンスをまとめてそれぞれ R_1, L_1 と表している。

インバータ制御車等の回生時は、主電動機の発電電圧が架線電圧より高くなり、パンタグラフ電流が力行時と逆方向に流れる。このとき、トロリ線とすり板は同じ銅系材料のため、通電方向により最少アーク電圧 E_a の大きさは変化しない。したがって、回生時の等価回路は、発電電圧と電源電圧の差電圧で図 2 の電源電圧 E を置き換えることによって表され、図 2 の等価回路で力行時と回生時の両方に対応できることになる。

図 2(a) は着線時の等価回路、図 2(b) はアーク発生を示す回路である。トロリ線・パンタグラフを用いた実験から、閉回路のアーク消滅時間は、アーク発生箇所にパンタグラフ電流と逆向きに最小アーク電圧 12.5 V 相当の電源を挿入したときにアーク電流がゼロになるまでの時間であることがわかっている⁽²⁾。これを表すのが図 2(c) の等価回路である。この等価回路により、2 個のパンタグラフが高圧母線で接続されているときのアーク発生時の回路電流は、次式 (1)、(2) から求められる。これらの連立常微分方程式を本論文ではルンゲ・クッタ・ギル法で数値計算する。

$$(L_1 + L_2) \frac{di_{11}}{dt} + (R_1 + R_2)i_{11} - L_2 \frac{di_{12}}{dt} - R_2 i_{12} = E \dots \dots \dots (1)$$

$$-L_2 \frac{di_{11}}{dt} - R_2 i_{11} + (L_2 + L_3) \frac{di_{12}}{dt} + (R_2 + R_3)i_{12} = -E_a \dots \dots \dots (2)$$

2 個のパンタグラフが高圧母線で連結されているときの離線に伴うアークの継続・消滅は〈2・1〉で述べた通りであ

るが、アークが消滅し、さらに着線に戻るときも含めた状況を図3に示す。このとき、アークが発生している区間をアーク離線、パンタグラフ電流がゼロの区間を完全離線、これらを合わせた区間を離線と呼ぶ。

3. シミュレーション方法

(3・1) フローチャート シミュレーションの全体的流れを図4のフローチャートに示す。このフローチャートの要点は次の通りである。①シミュレーションする列車編成の諸元（閉回路のインダクタンス・抵抗等）、離線の諸元（離線の発生間隔・継続時間）等を入力する。②(3・3)に示す方法により、一様乱数から離線の諸元を満たす指数分布を有する離線状態を2個のパンタグラフについて作成する。③(3・4)に示す方法により、2個のパンタグラフについて②で作成した離線状態に従う離線パターンとこれに対応した等価回路を決定する。④(2・2)で述べた方法により、等価回路の回路方程式を数値計算し、各パンタグラフの着線・アーク離線・完全離線の時間等を求めストアする。

(3・2) 離線状態と確率分布 離線状態は、離線発生から次の離線発生までの時間である離線発生間隔、および1回の離線が継続する時間である離線継続時間で規定される。離線発生間隔および離線継続時間は確率的で、その分布は指数分布に従うことがわかっている⁽⁵⁾。シミュレーションでは、指定された離線の発生間隔・継続時間を満たす指数分布を次の(3・3)に示す方法により計算機で作成することになる。

(3・3) 一様乱数からの指数分布の作成 指数分布の確率密度関数を $f(t)$ とすると、 $f(t)$ は次式のように表わされる。

$$f(t) = \frac{1}{\lambda} e^{-\frac{t}{\lambda}} \dots \dots \dots (3)$$

ここで、 $f(t)$ ：指数分布の確率密度関数、 λ ：平均発生間隔で指数分布の発生頻度の逆数、 t ：時間

確率密度関数が $f(t)$ の指数分布を一様乱数から作成する。 $[0, 1]$ に分布する一様乱数を ξ とすると、

$$\int_{-\infty}^{\eta} f(t) dt = \xi \dots \dots \dots (4)$$

を満足する η は、確率密度関数 $f(t)$ を有する分布となる⁽⁷⁾。式(3)、(4)から η は次式となる。

図3 離線に伴うパンタグラフ電流の変化

Fig. 3. Change of pantograph current caused by contact loss.

$$\eta = -\lambda \ln(1 - \xi) \dots \dots \dots (5)$$

さらに、 ξ は $[0, 1]$ に分布する一様乱数であるから、 $1 - \xi$ も $[0, 1]$ に分布する一様乱数となり、式(5)の代わりに次式(6)を用いることができる。

$$\eta = -\lambda \ln \xi \dots \dots \dots (6)$$

式(6)において、平均発生間隔 λ を与えれば、これに対応した指数分布を発生させることができる。なお、一様乱数の発生には乗算合同法等を用いることができる⁽⁷⁾。

(3・4) 離線パターンと等価回路の決定 表1に高压母線で連結された2個のパンタグラフが取り得る全離線パターンと集電状態を、図5にこの離線パターンの等価回路を示す。表1において、パンタグラフの集電状態を表す着線・アーク離線・完全離線は、図3に示すパンタグラフ電流の変化に対応している。これらの離線パターンは2個のパンタグラフの離線状態に応じて変化するが、シミュレーションでは、各離線パターンの等価回路毎に式(1)、(2)に準じて作成した微分方程式を数値計算する。

(3・5) 離線のシミュレーション例 実際のシミュレーションでは、列車・離線の諸元に対応した離線状態を一様乱数から確率的に作成するが、本節では、表1の全離線パターンに対応するパンタグラフの集電状態をみるため、各離線パターンが生ずるように離線状態を作成しシミュレーションした。図6にシミュレーション諸元、両パンタグラフの離線パターン、集電状態、および電流のシミュレーション結果を示す。

図4 シミュレーションのフローチャート

Fig. 4. Flow chart of simulation.

表 1 離線パターンとパンタグラフの集電状態
Table 1. Contact loss patterns and pantograph current collecting conditions.

Contact loss patterns	Current collecting conditions of the first pantograph	Current collecting conditions of the second pantograph
P1	Contact	Contact
P2	Arc contact loss	Contact
P3	Contact	Arc contact loss
P4	Complete contact loss	Contact
P5	Contact	Complete contact loss
P6	Complete contact loss	Arc contact loss
P7	Arc contact loss	Complete contact loss
P8	Arc contact loss	Arc contact loss

図 5 離線パターンの等価回路

Fig. 5. Equivalent circuits of contact loss patterns.

ン結果を示す。

図 6 において、離線パターンの変化に伴い両パンタグラフの集電状態（着線・アーク離線・完全離線）とパンタグラフ電流は時間的に次のように推移している。①離線パター

ン P1：両パンタグラフとも着線し、電流が均等に 50A 流れている。②離線パターン P2：第 1 パンタグラフのみが離線すると、第 1 パンタグラフ電流はアーク電流に移行すると共に次第に減少するが、この減少分が第 2 パンタグラフに流れる。③離線パターン P4：離線時間がアーク消滅時間より長いと、第 1 パンタグラフは電流がゼロの完全離線になり、第 2 パンタグラフが全電流を集電する状態が続くことになる。④離線パターン P6：第 1 パンタグラフが完全離線の状態で第 2 パンタグラフが離線すると、第 2 パンタグラフ電流がアーク電流に移行する。この離線パターンのアークは、離線中アーク電流一定のまま継続する。⑤離線パターン P1：再び両パンタグラフが着線すると、アークは無くなり、両パンタグラフ電流は 50A に向かって変化する。⑥離線パターン P3, P5, P7：⑤の P1 に続く P3, P5, P7 は、②～④の P2, P4, P6 で第 1 パンタグラフと第 2 パンタグラフが入れ替わったパターンである。⑦⑥に続く P1, P2 は、電流値が異なるのみで電流変化の方向は①、②と同様である。⑧離線パターン P8：第 1 パンタグラフがアーク離線中に第 2 パンタグラフも離線すると、両パンタグラフともアーク離線となり、両アーク電流は 50A に向かって変化する。⑨離線パターン P8 で、第 1 パンタグラフのみ着線すると P3, P5 となり、さらに第 2 パンタグラフも着線する P1 に戻る。

4. シミュレーションによる高圧母線効果と離線検出割合の検討

〈4・1〉 シミュレーション条件 表 2 に直流区間における営業車の諸元を示す⁽⁵⁾。これらの諸元は、集電系や列車速度によって当然異なるが、本論文では直流区間の列車の代表値として用いることにする。

閉回路のインダクタンスは、往復導線のインダクタンスでトロリ線・高圧母線の材質や空間的配置で決まる。その値は、パンタグラフ間隔にほぼ比例し、単位長当たりで $2.35 \mu\text{H}/\text{m}$ である。同様に、閉回路の抵抗も、パンタグラフ間隔に比例し、その値は $0.397 \text{ m}\Omega/\text{m}$ である。一方、90 km/h で走行する営業車で測定された離線の発生間隔・継続時間の平均値はそれぞれ 290, 3.20 ms である。

以上の諸元に基づく高圧母線で連結された 2 個パンタグラフの離線のシミュレーション条件を表 3 に示す。パンタグラフ間隔は、直流区間の車両を考慮し 15, 40, 60, 80 m とした。15 m は 2 個のパンタグラフが 1 両に搭載されたパンタグラフ間隔が一番小さい場合、40, 60, 80 m はパンタグラフ間隔がそれぞれ 2, 3, 4 両の場合を想定している。全パンタグラフ電流は直流区間における力行等を考慮し、50, 100, 250, 500, 1,000 A とした。

直流区間の列車の最高速度は、一般区間の最高速度 130 km/h に余裕をもたせ 140 km/h とみなせる。この列車速度における離線は、トロリ線の硬点（曲線引金具等の架線金具取付箇所）やトロリ線の局部的凹凸などによってパンタグラフがトロリ線から離れるのが主体である⁽⁶⁾。した

図 6 離線のシミュレーション例
Fig. 6. A simulation example of contact loss.

表 2 直流区間における営業車の諸元
Table 2. Constants of commercial trains under DC feeding system.

(a) Measured commercial train

Measured train	183 series
Overhead contact line	Simple catenary Cu110mm ² contact wire
Pantograph	PS16 BC contact strips
Train speed at measuring contact loss	90 km/h

(b) Resistance and inductance of closed circuit

Pantograph interval L_p (m)	Resistance		Inductance	
	Measured value (mΩ)	Unit length value (mΩ/m)	Measured value (μH)	Unit length value (μH/m)
137.1	55.8	0.407	305	2.22
55.2	23.7	0.428	142	2.57
14.2	5.06	0.356	32	2.25
Mean value	—	0.397	—	2.35

(c) Interval and duration time of contact loss

Mean value of contact loss occurring interval (ms)	290
Mean value of contact loss duration time (ms)	3.20

がって、列車速度が離線に及ぼす影響は主に離線継続時間に現れ、離線継続時間は列車速度にほぼ比例するものとみなすことができる。そこで、離線継続時間を、測定結果である 90 km/h の 3.2 ms と、これを基に離線継続時間が速度に比例するとして 60 km/h (離線し始めると考えられる

表 3 シミュレーション条件

Table 3. Conditions for simulation.

Pantograph interval L_p (m)	15, 40, 60, 80
Total pantograph current $i_1 (=i_2 + i_3)$ (A)	50, 100, 250, 500, 1000
Resistance of closed circuit $(=R_2 + R_3)$ (mΩ/m)	0.397
Inductance of closed circuit $(=L_2 + L_3)$ (μH/m)	2.35
Contact loss occurring interval of the first and second pantographs (ms)	290
Contact loss duration time of the first and second pantographs (ms)	2.0, 3.2, 5.0
Calculating steps (ms)	0.02, 0.032, 0.05
Calculating time (s)	10

速度) と 140 km/h の速度から求めた 2.0, 5.0 ms とした。

計算ステップは指数分布の打ち切り誤差が 1% 以下になるように離線継続時間の 1/100 である 0.02, 0.032, 0.05 ms, 計算時間は列車の力行時間等を考慮し 10 秒とした。

〈4・2〉 アーク低減に及ぼす高圧母線の効果 アーク低減効果は、アーク量比 (高圧母線が有るときと無いときのアーク量の比) で評価したが、アーク量はアーク放電の電荷量を表すものとしてアーク離線時間とアーク電流の積から算出した。表 3 の条件でシミュレーションした高圧母線が離線アーク量に及ぼす影響を図 7 に示す。図 7(a) は離線継続時間が 3.2 ms (列車速度 90 km/h における測定値) のときにパンタグラフ間隔 L_p と全パンタグラフ電流がアーク量比に及ぼす影響を、図 7(b) は全パンタグラフ電流が 500 A のときにパンタグラフ間隔 L_p と離線継続時間がアーク量比に及ぼす影響を示す。

図 7(a) に、営業車の走行試験 (全パンタグラフ電流 1,000 A, パンタグラフ間隔 50 m, その他は表 2 の条件) に

(1,000 A-f: A field result related to Table 2)

(a) Effect of pantograph current

(b) Effect of contact loss duration time

図7 高圧母線が離線アーク量に及ぼす影響

Fig. 7. Effect of high voltage bus cables on the amount of contact loss arcs.

において測定されたアーク量比⁽⁵⁾も示す。同図で走行試験のアーク量比がシミュレーション結果とほぼ一致しているので、本シミュレーションは高圧母線があるときの離線に伴うアーク量を精度良く算出できると言える。

図7(a)より、パンタグラフ間隔および全パンタグラフ電流が小さい程、アーク量比が1より小さく高圧母線のアーク低減効果が現れていることがわかる。全パンタグラフ電流が50Aでは、パンタグラフ間隔が80mでもアーク量比が約0.08以下である。一方、全パンタグラフ電流が1,000A、パンタグラフ間隔が80mでは、アーク量比が約0.8と大きくなるが、この場合でもアーク量は高圧母線があった方が無いときより約20%少ないことになる。しかし、さらに全パンタグラフ電流とパンタグラフ間隔が大きくなると、アーク量比は1に近づき高圧母線の効果がほとんどなくなる可能性がある。

したがって、高圧母線によりアーク量を低減させるには、全パンタグラフ電流とパンタグラフ間隔を小さくする必要があるが、全パンタグラフ電流は列車負荷に依存し列車編成により決まるため自由に選択できない。一方、パンタグラフ間隔は、列車編成長以下の範囲で変更できるので、なるべく小さい方がアーク量の点からは有利であるが、パンタグラフ間隔の最小値はトロリ線支持点押上量により制限される。これは、パンタグラフ間隔が狭いとパンタグラフによるトロリ線押上量が大きくなるためであり、直流区間の高速列車ではパンタグラフ間隔40m以上が推奨されている⁽⁴⁾。パンタグラフ間隔をこの制限値40mにすると、全

(a) Complete contact loss

(b) Arc contact loss

図8 高圧母線があるときの完全離線とアーク離線 (離線継続時間 = 3.2ms)

Fig. 8. Complete and arc contact loss when high voltage bus cables are used (contact loss duration time = 3.2 ms).

パンタグラフ電流が1,000Aでは、パンタグラフ間隔80mのときのアーク量比約0.8が約0.6と少なくなる。

図7(b)より、離線継続時間が大きくなるとアーク量比が小さくなることからわかるが、これは離線継続時間が大きいと離線中のアーク消滅の機会が増すためである(図3)。<4.1>で述べたように、直流区間の列車速度では、列車速度が高くなると離線継続時間が長くなるので、高速ほど高圧母線のアーク低減効果が大きいと言える。

<4.3> 離線検出に及ぼす高圧母線の影響 図8に離線継続時間を3.2msとし、パンタグラフ間隔 L_p と全パンタグラフ電流を変えた場合の、図9に全パンタグラフ電流を500Aとし、パンタグラフ間隔 L_p と離線継続時間を変えた場合の高圧母線があるときの完全離線とアーク離線を示す。図8、9で、完全離線とアーク離線の発生程度をそれぞれの時間と離線時間との比で示すが、離線時間、完全離線時間、およびアーク離線時間は、図3に示す離線、完全離線、アーク離線の状態が生じた時間である。

電流式離線測定法では、完全離線を検出し離線と判定するので、完全離線時間と離線時間の比が1に近い程、離線を良く検出できることになる。図8(a)から、電流式離線測定法の離線検出割合は、全パンタグラフ電流が50Aでは約83%以上であるが、全パンタグラフ電流が増えるに伴い低下し、500Aではパンタグラフ間隔が80m、1,000Aではパンタグラフ間隔が40m以上ではほとんど離線を検出で

(a) Complete contact loss

(b) Arc contact loss

図9 高圧母線があるときの完全離線とアーク離線 (全パンタグラフ電流 = 500 A)

Fig. 9. Complete and arc contact loss when high voltage bus cables are used (total pantograph current = 500 A).

きないことがわかる。

図9(a)に示すように、離線継続時間が長くなると電流式離線測定法の離線検出割合も大きくなる。これはパンタグラフの間隔・電流が同じ場合、離線継続時間が長いと離線時間に対する完全離線時間の割合が増すためである (図3)。

一方、光学式離線測定法では、離線に伴うアーク光を検出し離線と判定する。したがって、高圧母線があるときには、離線は完全離線かアーク離線のどちらか一方となるので、光学式離線測定法の離線検出割合の大小は電流式離線測定法と逆になる。図8(b)から、光学式離線測定法では、パンタグラフの全電流・間隔が共に小さいほど離線検出がしにくく、パンタグラフの全電流・間隔がそれぞれ50 A、80 mのとき約17%の検出割合であるが、500 Aではパンタグラフ間隔が80 mで、1,000 Aではパンタグラフ間隔が40 m以上で離線をほぼ100%検出していることがわかる。

図9(b)からわかるように、離線継続時間が長くなると、電流式離線測定法とは逆に光学式離線測定法の離線検出割合は小さくなる。これはパンタグラフの間隔・電流が同じ場合、離線継続時間が大きいと離線時間に対するアーク離線時間の割合が減るためである (図3)。

5. まとめ

本論文では、直流区間において2個のパンタグラフが高圧母線で連結されているときの離線のシミュレーション手法を提案した。このシミュレーション手法を用い、アーク

低減に及ぼす高圧母線の効果および離線測定法の離線検出割合を営業車の諸元により検討したが、その結論は次の通りである。

(1) アーク量比 (高圧母線があるときと無いときのアーク量の比) で高圧母線のアーク低減効果を評価すると、全パンタグラフ電流およびパンタグラフ間隔が小さい程アーク量比が1より小さく高圧母線の効果が大きい。パンタグラフの全電流・間隔が50 A・80 mおよび1,000 A・80 mのときのアーク量比はそれぞれ約0.08, 0.8である。直流区間の列車速度では、列車速度が高くなると離線継続時間が長くなるので、高速ほど高圧母線のアーク低減効果が大きい。

(2) 営業車の走行試験 (全パンタグラフ電流1,000 A, パンタグラフ間隔50 m) で測定されたアーク量比はシミュレーション結果とほぼ一致している。

(3) 電流式離線測定法では、全パンタグラフ電流が50 Aでは約83%以上離線を検出できるが、500 Aではパンタグラフ間隔が80 m, 1,000 Aではパンタグラフ間隔40 m以上で離線検出が困難になる。離線継続時間が長くなると電流式離線測定法の離線検出割合も大きくなる。

(4) 光学式離線測定法では、電流式離線測定法とは逆に、パンタグラフの全電流・間隔がそれぞれ50 A, 80 mのとき離線検出割合が約17%と低いが、500 Aではパンタグラフ間隔が80 mで、1,000 Aではパンタグラフ間隔が40 m以上で離線をほぼ100%検出する。離線継続時間が長くなると光学式離線測定法の離線検出割合は小さくなる。

(平成14年5月23日受付, 平成14年10月21日再受付)

文 献

- (1) IEE Japan: Latest Technologies of Electric Railway, p.9, 138-139, CORONA CO., LTD. Tokyo (2000) (in Japanese)
電気学会編: 最新 電気鉄道工学, コロナ社, p.9, 138-139 (2000)
- (2) Y. Fujii: "Arc Extinction Time Caused by Contact Loss under High Voltage Bus Cables", *J-Rail'01*, S8-1-2, (2001-12) (in Japanese)
藤井保和: 「高圧母線があるときの離線に伴うアークの消滅時間」, 平13 鉄道技術連合シンポジウム, S8-1-2 (2001-12)
- (3) 鉄道総合技術研究所編: 在来線運転速度向上試験マニュアル・解説, 研友社, pp.5-8 (1993)
- (4) 鉄道総合技術研究所編: 電車線とパンタグラフの解説, 研友社, pp.222-226 (1993)
- (5) (社) 鉄道電化協会編: 「集電しゅう動に関する研究報告書」, N83-8, pp.103-122 (1984)
- (6) 電気学会編: 放電ハンドブック, オーム社, pp.163-165 (1980)
- (7) 津田孝夫: モンテカルロとシミュレーション, 倍風館, pp.24-26 (1975)
- (8) 飯田 真: 電気鉄道, 電気書院, pp.208-209 (1983)

藤井保和 (正員) 1948年10月26日生まれ。1973年3月名古屋工業大学電気工学科卒業。同年4月日本国有鉄道入社。主として架線・パンタグラフ系の高速化等の研究に従事。現在、(財) 鉄道総合技術研究所電力技術研究部, 集電管理研究室長。