B 1 1 9 高速度カメラによる小形モータの整流火花の撮影

花澤民雄[○] (九州産業大学), 大坪広明 (九州産業大学), 江頭虎夫 (九州産業大学)

Photographing the Commutation Spark from Small Motors by High-speed Camera

Tamio HANAZAWA, Hiroaki OTSUBO and Torao EGASHIRA

ABSTRACT

We have done some attempts to understand the mechanism of commutation spark generation in universal motor from the image aspect using a high-speed camera. We have also mentioned about the generation of single and plural number of sparks at one commutator segment and the voltage between brush and commutator segment. The commutation sparks of the motor are generated with a sliding contact between brush and commutator segment in the moment that the segment is separated from the brush. And the width of the brush is just 10mm, this time, we were able to clarify position of the brush which sparks are generated and the relation between positive brush and negative brush.

Keywords: High-speed camera, Commutation spark, Universal motor

1. 緒言

家電品の掃除機や電動工具等には単相交流整流子電動機 (以後、ユニバーサルモータと称す) が用いられるが、このモータは高速回転中にブラシと整流子の間で整流作用が行われるため、両者が離れる瞬間に整流火花を発生し、この火花発生がブラシ摩耗や電磁妨害波の原因として問題となっている。整流火花は直流機で数多くの研究がなされ^{1) ~ 6)}、そのほとんどが電氣的解明で、画像面から解明された報告はほとんどない。

そこで、画像面より整流火花の発生メカニズムを解明するため、高速度カメラを用いてユニバーサルモータが高速回転中に発生する整流火花を捉え、画像化をする撮影実験を行った。そして、整流情報が現れるブラシ整流子片間電圧 (ブラシと整流子片の間の電圧) を計測することで、画像・電気の両面から解明の試みを行ってきた。

これまで高速度カメラによる撮影実験を行った結果、整流火花発生時は整流子片の1つ置きに、電機子端子電圧に現れる大小繰り返しパルスの大きいパルスと一致する。また、火花は1整流子片に単数個、複数個発生し、そして、ブラシ整流子片間電圧 (瞬時電圧) 等の関係について報告をした^{7) ~ 8)}。

今回、ユニバーサルモータを交流・直流電源で駆動して整流火花の撮影実験を行い、交流・直流駆動時におけるブラシ位置の火花発生分布について求め比較検討を行った。また、直流電源駆動時には電流の流れる方向、すなわち、

正ブラシ (ブラシから整流子へ電流が流れる方向) と負ブラシ (整流子からブラシへ電流が流れる方向) の電源極性を考慮して、正ブラシと負ブラシでそれぞれ撮影実験を行った。その結果、負ブラシにおいては正ブラシの撮影時に比べ数%しか撮影をすることが出来ない現象が見られた。そこで、正ブラシと負ブラシにおける整流火花の発生現象について検討を行ったので報告する。

2. 高速度カメラによる撮影実験

ユニバーサルモータが高速回転中にブラシと整流子片間で発生する整流火花を撮影するため、撮影速度が毎秒2,000~20,000,000コマの撮影が可能な高速度カメラを用いた⁹⁾。カメラのシャッターリング (トリガ信号) にレーザ光を利用した外部トリガ法を用い、また、電氣的情報を得るために、ブラシ整流子片間電圧とカメラのトリガ信号を同時にオシロスコープで計測できるように設定し、交流・直流電源でモータを回転させて撮影実験を行った。

高速度カメラを用いてユニバーサルモータが高速回転中に発生する整流火花を捉え、ブラシのどの位置より発生しやすいのか検討するために、モータ1回転に要する時間と高速度カメラの撮影速度を知る必要がある。

実験機は整流子片が28個設けられているが、火花は整流子片の1つ置きに発生することから、1回転中の全ての

Fig.1 Experimental setup for photographing

Fig.2 Current direction of positive brush and negative brush

火花を撮影するには整流子片の14箇所が記録できればよいことになる。そこで、モータの回転速度が18,500rpmのとき整流周期 $232\mu\text{s}$ が得られ、撮影速度を4,300コマ/sに決めると1コマのインターフレームは約 $232\mu\text{s}$ になる。また、露出時間については $50\mu\text{s}$ に全て設定したが、これは回転速度に多少のバラツキがあるので、パルス間とインターフレームの関係を補うためである。このような撮影条件で交流・直流電源でそれぞれ50回の撮影を行って、火花が捉えられた発生位置と発生回数の火花発生分布を求めた。

また、直流電源によりモータを回転すると二箇所設けられたブラシと整流子の間を流れる電流の方向が違うことから、ブラシから整流子へ流れる場合を正ブラシ、整流子からブラシへ流れる場合を負ブラシと呼ばれている。モー

タの整流火花を撮影する位置は1箇所を設定しているため、直流電源による実験ではGNDを同じ位置に取ること、電源の極性を切り替え正ブラシ、負ブラシについても同様に50回づつの撮影実験を行った。Fig.1にその撮影実験装置構成図を示し、Fig.2に正ブラシと負ブラシの電流方向を示す。

3. 実験結果と考察

3.1 火花発生分布

実験機の整流子片は28個設けられ、使用されているブラシサイズは $10.0 \times 6.2 \times 28.4\text{mm}$ のカーボンブラシであり、整流火花は整流子片の1つ置きに発生するため、モータが1回転する間に整流子片の14箇所が発生する。そこで、モータを回転速度18,500rpm一定に保ち、整流子片の14箇所を撮影枚数15コマに記録するには、1コマづつ1整流子片を撮影するようにした。そして、上述のような撮影撮影速度と撮影条件で交直電源運転時においてそれぞれ50回の撮影を行い、火花が捉えられたブラシ位置における発生回数について画像解析を行って、火花発生分布を求め比較検討を行った。

交・直流運転において50回づつの撮影を行った結果、撮影コマ数は700コマ（15コマ目は1コマ目と重なるので削除した）で、交流時には、火花発生が捉えられていたコマ数は160コマで、直流運転には109コマが撮影された。

Fig.3に交流時の撮影結果の一例を示すが、この撮影結果から火花は2,5,8,9,13コマ目（○印）の5箇所から発生しているのが捉えられている。また、Fig.4に直流運転時の撮影結果の一例を示すが、この撮影結果では、火花は1,6,12コマ目（○印）の3箇所より発生しているのが捉え

Fig.3 Commutation spark (4,300 frame/s)

Fig.4 Commutation spark (4,300 frame/s)

Fig.5 Position and number of spark generation (AC)

Fig.6 Position and number of spark generation (DC)

られている。これらの撮影結果から画像解析を行い、モータのブラシ幅が 10mm であるので、20 等分して 0.5mm ずつの範囲でブラシの火花発生位置と発生回数を求め、その結果を Fig. 5, Fig. 6 に示した。整流火花は交流運転時にはブラシ幅の全体で火花発生が見られるが、直流運転時にはブラシ幅の左側の方に多く発生しているのが顕著に捉えられている。

これは左側の方に電機子コイルが接続されているため、電流は電機子コイルの方に向かって流れるが、直流運転時は交流運転時に比べ、特にその傾向が強く出るのではないと思われる。

3.2 正ブラシ、負ブラシにおける整流火花

直流駆動時においてユニバーサルモータに発生する整流火花が、正ブラシと負ブラシでどのように発生するか撮影実験を行った。撮影条件は同様にモータ 1 回転中に発生する火花を全て記録するために撮影速度 4,300 コマ/s に設定し、整流子片の 14 箇所を記録枚数 15 コマに 1 コマずつ記録して、それぞれ 50 回の撮影を行い、発生した整流火花の画像解析を行った。各 50 回の撮影結果より、撮影コマ数は 700 コマ (15 コマ目は 1 コマ目と重なるので削除した) で、Table 1 に火花が撮影されたコマ数を示すが、正ブラシでは火花発生が捉えられたコマ数は 194 コマ、負ブラシでは 2 コマであった。Fig. 7 に正ブラシにおける撮影結果の一例を示すが、この撮影された写真では、2, 4, 5, 6, 7 コマ目 (○印) の 5 箇所から発生した整流火花が捉えられている。

このようにして求めた 50 回の撮影結果より画像解析を行い、正ブラシ、負ブラシの火花発生位置を求めた。Fig. 8 にブラシ幅に対する火花発生位置を示すが、正ブラシで

Table.1 Commutation spark by positive brush and negative brush

	Positive brush	Negative brush
Number of sparks	194	2

Fig.7 Commutation spark (4,300 frame/s)

Fig.8 Position and number of spark generation

は火花がブラシ幅0～3.5mmの左側の方に集中して現れている。また、負ブラシにおいて捉えられた2マの火花は右側で発生していた。ここで、火花が負ブラシにおいて何故正ブラシと比較して数%しか撮影出来なかった理由について検討した。

正ブラシ、負ブラシにおいて高速度カメラにより撮影を行うと上述の結果が得られた。そして、目視による観察では両者ともに整流火花の発生が見られる。そこで、ビデオカメラにより撮影を行うと、明らかに違いが現れ、正ブラシでは火花がブラシの縁で放電しているのが捉えられる。負ブラシではブラシと整流子面の中で放電するために捉えにくいことが明らかになった。

この原因について、ブラシは炭素 (C)、整流子は銅 (Cu) の材質により形成され、正ブラシでは整流子が陰極、負ブラシではブラシが陰極になり、両者の融点や沸点が大きく違うため両者のアーク継続時間は正ブラシの方が長くなる¹⁰⁾。したがって、陰極が銅 (Cu) である正ブラシは炭素 (C) より金属蒸気を発生し易く、アークを維持し易いため火花がブラシの縁まで引っ張られて放電するものと推察される。また、負ブラシではアークを維持する時間が短いため、ブラシの縁まで維持して放電することが出来ず、ブラシと整流子の中で放電現象を起こすものと考えられる。

4. 結言

交流・直流電源駆動によるユニバーサルモータの整流火花を捉えるため、高速度カメラを用いてモータ1回転中に発生する全ての火花撮影を行い、火花がブラシ幅のどの位置で発生するか火花発生分布を求めた。また、直流運転時の正ブラシ、負ブラシにおける撮影では負ブラシにおいて整流火花が撮影できない現象が見られたので、その原因について比較検討を行い、以下のような結果が得られた。

(1) 整流火花はブラシ位置の左側で集中して発生し易い。

(2) 整流火花の発生は直流電源駆動時の方がブラシ左側で発生し易いことが顕著である。

(3) 整流火花はアーク継続時間の違いにより、正ブラシではブラシの縁で、負ブラシではブラシの中で発生する。

今後は、整流火花の単数個、複数個発生が起こる原因等について検討したい。

参考文献

- 1) 林邦雄, 内藤正木:「直流機整流曲線の解析」, 電学雑, Vol.79, No.852(1959) pp.1137-1145
- 2) 松田敏彦, 鈴木好夫:「直流機の無火花帯とブラシ接触電圧特性との関係」, 電学論 B, Vol.101, No.10 (1981) pp.603-610
- 3) 仲村節男, 森田登, 都甲哲:「ピーク負荷繰返し時における直流機の整流について」, 電学論 D, Vol.108, No.11 (1988) pp.1025-1032
- 4) 小原木春雄, 田原和雄, 石井吉太郎, 鈴木俊:「小形交流整流子電動機における異数巻電機子巻線方式の適用と整流性能評価」, 電学論 D, Vol.115, No.4 (1995) pp.488-494
- 5) 中田高義, 高橋則雄, 齋田直行, 児玉保久, 藤原俊明:「整流特性が考慮可能な有限要素法による単相直巻整流子電動機の解析」, 電学論 B, Vol.104, No.12 (1981) pp.809-816
- 6) T.Fujii, T.Hanazawa: "Commutation of Universal Motors", Conference, Record, IEEE, ISA, Annual Meeting, pp.265-271 (1989)
- 7) 花澤民雄, 江頭虎夫:「高束回転中のユニバーサルモータに発生する整流火花の撮影」, 可視化情報, Vol.21, No.8 (2001) pp.115-121
- 8) 花澤民雄, 古賀大輔, 恵良薫, アルマズルイ・アリ, 江頭虎夫:「高速度カメラによる整流火花発生位置の検討」, 可視化情報学会全国講演会講演論文集, Vol.23, No.2 (宇都宮 2003) pp.75-78
- 9) 安藤幸司:「新世代イメージコンバータカメラの開発」, 高速度撮影とフォトリソに関する総合シンポジウム 1993, 講演論文集, (1993) pp.93-96
- 10) 小泉俊彰, 高橋久美雄, 江原康生, 曾根秀昭, 根元義章: C-Cu 電極間の開離時アークと電磁ノイズに関する実験的検討, 信学技報, EMD96-87, pp.73-77 (1996-12)