

[論文]

## LabVIEW を用いたユニバーサルモータの 整流子片とブラシの接触割合検討

山口宗仁\*\*・花澤民雄\*・江頭虎夫\*

### Examination of the contact relation of the segment and the brush of the universal motor using the LabVIEW

Norihito YAMAGUCHI・Tamio HANAZAWA・Torao EGASHIRA

**Abstract:** The universal motor (single-phase AC series commutator motor) is widely used for home appliances such as vacuum cleaner, because of its small size, light weight and high-speed rotation. We measure the armature terminal voltage of this motor during rotation and reported that the large and small pulse voltage of a repetition appears. We make it clear that the large and small pulse voltage of this armature terminal and the rate of contact of a segment and the brush under rotation become what relation. And in order to ask for the phenomenon that large and small pulse voltage has occurred, we produce the graphic model of a commutator and perform simulation analysis using LabVIEW(Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench) software.

**Keyword:** LabVIEW, universal motor, armature terminal voltage, segment

#### 1. はじめに

家電品の掃除機に利用されているユニバーサルモータ(単相交流整流子電動機)は、直流機に比べて著しく整流が困難であるから通常火花整流が行われている。モータが高速回転中に整流子片とブラシとの摺動接触により整流が行われる時、整流子片とブラシが離れる瞬間に整流火花が発生する。整流火花発生状態では、電機子端子電圧に重畳した大小のパルス電圧が現れるが、この大きいパルス電圧と発生時期が一致することが過去の研究から判明している<sup>1)</sup>。

電機子端子電圧は二つ設けられたブラシ間に電圧(リアクタンス電圧, すべての接触電圧降下, 速度起電力, その他等)が現れたもので、従って、基本波 60Hz の正弦波にパルス電圧が重畳して現れる。この電機子端子電圧に現れる電圧は、基本波 60Hz は速度起電力, パルス電圧は速度起電力以外の電圧が現れたものであ

る。そして、パルス電圧は時間軸を拡大すると大小のパルスが現れるが、この大小のパルスは整流終了時に現れるリアクタンス電圧が主な原因である。しかしながら、整流時の整流子片とブラシの接触関係を画像面から解析した報告はほとんどない。そこで、我々はユニバーサルモータが回転中に発生する電機子端子電圧の大小パルス電圧と、整流子片とブラシの接触関係を画像面から解析する試みを行っている<sup>2)</sup>。

今回、実験機に用いたモータのグラフィックモデルを作成し、パルス状の電圧で整流火花が頻繁に観測されているポイントで、ブラシと整流子片がどのような接触割合となっているかシミュレーション解析を行ったので報告する。

#### 2. 実験構成

Fig.1 に電機子端子電圧測定実験装置構成図を示しているが、実験に用いたユニバーサルモータは、定格 100[V], 6.7[A], 回転速度 18,300[rpm], 整流子片数 28

\* 電気工学科

\*\* 工学研究科電気工学専攻 2 年

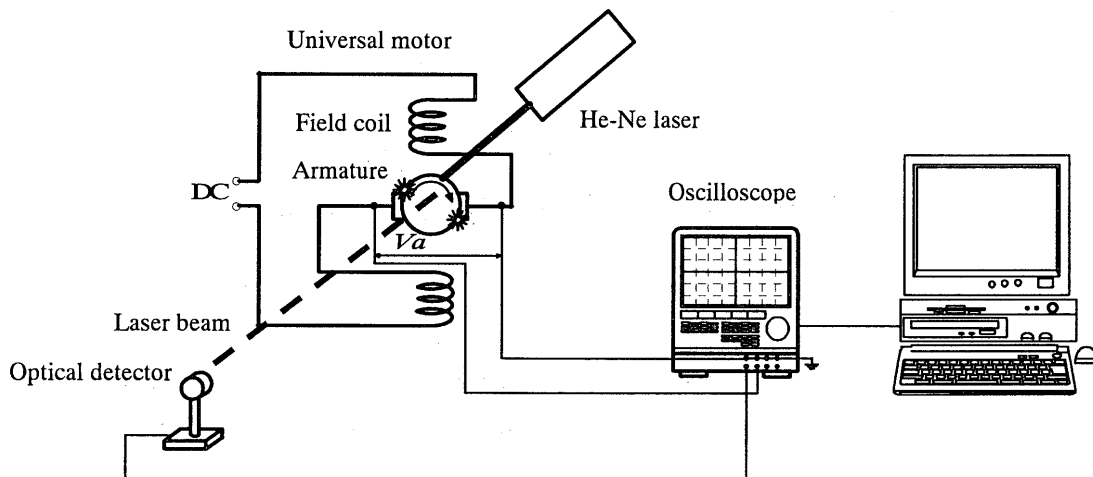


Fig.1 Experiment setup for armature terminal voltage measurement

個，電機子スロット数 14 個，電機子コイル片数  $u=2$  のモータを使用した。

作製したモータのグラフィックモデルと回転中のモータの同期をとるために，He-Ne レーザ光をトリガ信号として利用する外部トリガ法を用いた。また，電気的情報を得るために光検出器の信号と電機子端子電圧を同時にオシロスコープで記録するように設定して実験を行い，オシロスコープで得られたデータを CSV 形式で保存し，LabVIEW で作製したシミュレーションプログラムにより解析を行った<sup>3)</sup>。

Fig.1 に今回の電機子端子電圧測定実験装置構成図を示す。以上の構成によって，LabVIEW によるシミュレーション解析を容易に行うことが出来た。

## 2.1 ブラシ間に発生する電機子端子電圧の測定

ユニバーサルモータの整流火花は回転中に二つのブラシ間で発生を繰り返しているが，直流電圧を印加してブラシ間に発生する電機子端子電圧  $V_a$  を計測し，実効値付近の一部を拡大すると大小の繰り返しパルス電圧  $V_{ap}$  が確認できるが，これは整流回路条件の周期性により現れる。また，電機子端子電圧はブラシ間に発生する速度起電力，リアクタンス電圧，そして，ブラシ・整流子片の間に関係する電圧等がすべて含まれて現れる。

これまで，整流火花解析のために電機子端子電圧を計測したが，上述のようにすべてを含んでいることと，大パルス電圧  $V_{ap}$  発生時に整流火花が発生する可能性

が高いことを報告している<sup>4)</sup>。そこで，大パルス電圧  $V_{ap}$  のピーク値から立下りまでの整流子片・ブラシ接触がどのような関係となっているか求めることにした。

Fig.2 に電機子端子電圧  $V_a$  のパルス電圧  $V_{ap}$  (拡大波形) の求め方を示す。電機子端子電圧  $V_a$  の実効値を求め，この電圧を基準としてパルス電圧  $V_{ap}$  のピーク値，立下りを計測する。

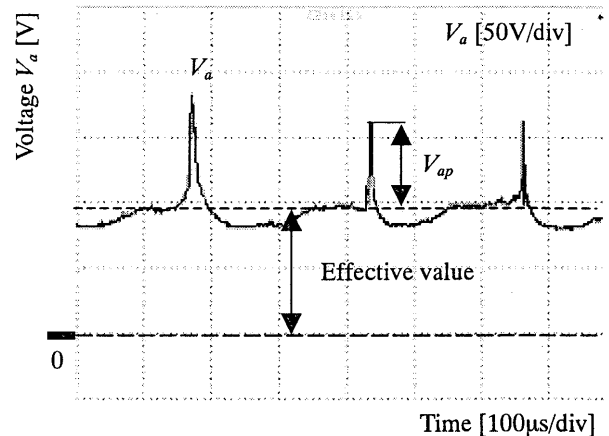


Fig.2 Pulse voltage  $V_{ap}$  of armature terminal voltage  $V_a$

## 2.2 外部トリガ法による同期

Fig.3 に示すようにモータのファンに 1[mm]の穴を設け，ブラシと整流子片を任意の位置に設定することで，その同位置で He-Ne レーザ光が入射してトリガ信号となり，このトリガ信号が光検出器に入り，グラフィック同期信号となる。この外部トリガ法により<sup>4)</sup>，回転中の速度を計算することでシミュレーションプログラムのグラフィックと同期をとることが出来る。

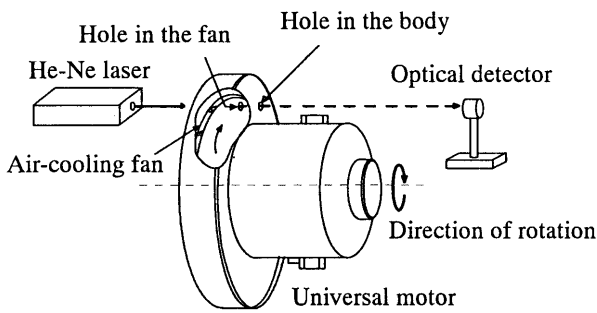
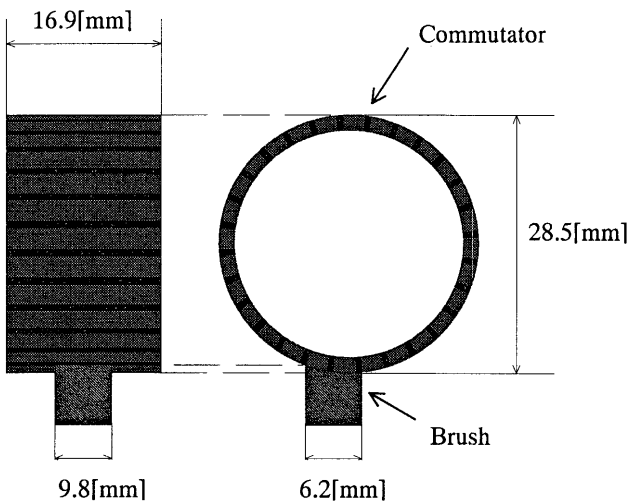


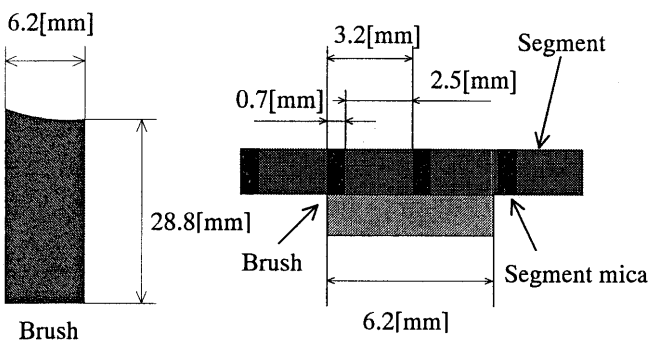
Fig.3 External trigger method

2.3 グラフィックの作製

実験機として用いるユニバーサルモータの整流子片、ブラシ、溝の実測値を求め、その値に忠実なグラフィックを作製した。寸法の実測値を Fig.4 に示す。



(a) Size of commutator and brush



(b) Size of brush (c) The size of segment and segment mica when considering as a plane

Fig.4 Survey size value

また、グラフィックを複数のパターンにし、コマ送りとすることで連続的に変化しているように表現する。このとき、整流子の1整流子片に着目し、整流子片と溝を合わせた寸法 3.2[mm]を 63 分割したグラフィックパターンを用意する。1コマ当たりの移動距離は、溝を基準として式 (1) より 1コマ当たり 50.8[μm]となる。

$$l = 28.5\pi$$

$$K = 63 \times 28 = 1764$$

$$x = \frac{l}{K} = \frac{28.5\pi}{1764} = 5.08 \times 10^{-2} \quad (1)$$

- $l$  :円周 [mm]
- $K$  :整流子 1 周分のコマ数 [コマ]
- $x$  :1 コマ当たりの移動距離[mm]

外部トリガ法で得られた 1 回転中の時間から総コマ数を除算することで、1コマ当たりの移動時間を求められる。これにより、1コマで表現できる時間が求まる。この関係を用いて、オシロスコープから得られるデータとグラフィックパターンを連動させ、シミュレーション解析を行った。

3. LabVIEW による計測プログラム

シミュレーションプログラム開発に LabVIEW (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench) を用いた。LabVIEW は、データの収録、制御、分析、表示を実現するための G というグラフィカルプログラム言語を利用した開発環境である。プログラムを作成する代わりに、アイコンを利用して VI というグラフィックモジュールを作成し、フロントパネルのユーザインターフェイス作成は手間がかからず、他のアプリケーションとは異なりソフトウェアシステムを対話形式で抑制することが出来る。

LabVIEW が計測プログラム開発システムと言われる理由として GPIB, VXI, RS232C などの多彩なハードウェアと通信を行える機能が標準で組み込まれている点、データの収録、解析、表示、保存のための総合的なライブラリを備えているため、従来のプログラム開発ツールに比べ、ユーザインターフェイスの部分や、解析アルゴリズム部分を作成する時間が大幅に縮小され、素早いプログラムの開発を簡単に行うことができ

る点である。また、コンパイラは 32 ビットというコンパイル済みの C プログラムに匹敵する実行速度で、最適なコードを作成することが出来る。

### 3.1 プログラムのフローチャート

プログラムのフローチャートを Fig.5 に示す。まず、オシロスコープに CSV 形式で保存されたデータをシミュレーションプログラムが稼動する PC に移動させ、プログラムを実行する。オシロスコープから得られたデータをプログラム内に読み込み、データをグラフ化する。

光検出器のデータより、モータ 1 回転の時間を計測するために光検出器より得られたパルス状の信号の立上り位置から、次の立上りまでを設定する。その後、各波形ウィンドウに設置したカーソルと整流子グラフィックとの連動を行い、ブラシと整流子片の接触割合を算出する処理をプログラム終了まで繰り返す。

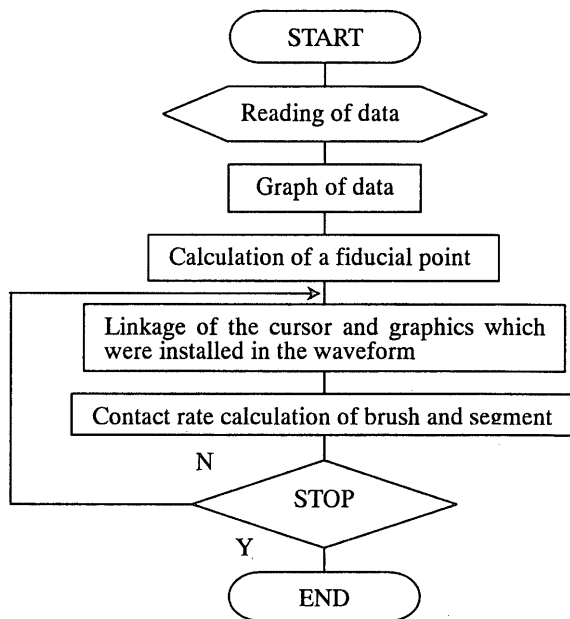


Fig.5 Program flow chart

### 3.2 計測用フロントパネル

シミュレーションプログラムで作製したフロントパネルを Fig.6 に示す。フロントパネルにはグラフウィンドウが 3 つ用意してあり、左上の基本波形のウィンドウは、電機子端子電圧波形を加工せずに表示したものである。また、右上の観測波形 1 は、基本波形ウィンドウに表示された波形を拡大して表示したもので、右下の観測波形 2 は拡張用に用意したウィンドウで、観

測波形 1 と時間軸を共通とすることで比較検討を行うことが出来るようにしている。左下の整流子片とブラシのウィンドウは、観測波形 1 の時間軸を移動するカーソルと連動してグラフィックを変更する。これにより、波形の任意の位置で、整流子片とブラシがどのような接触関係にあるかを視覚的に確認することが可能となるように設定した。

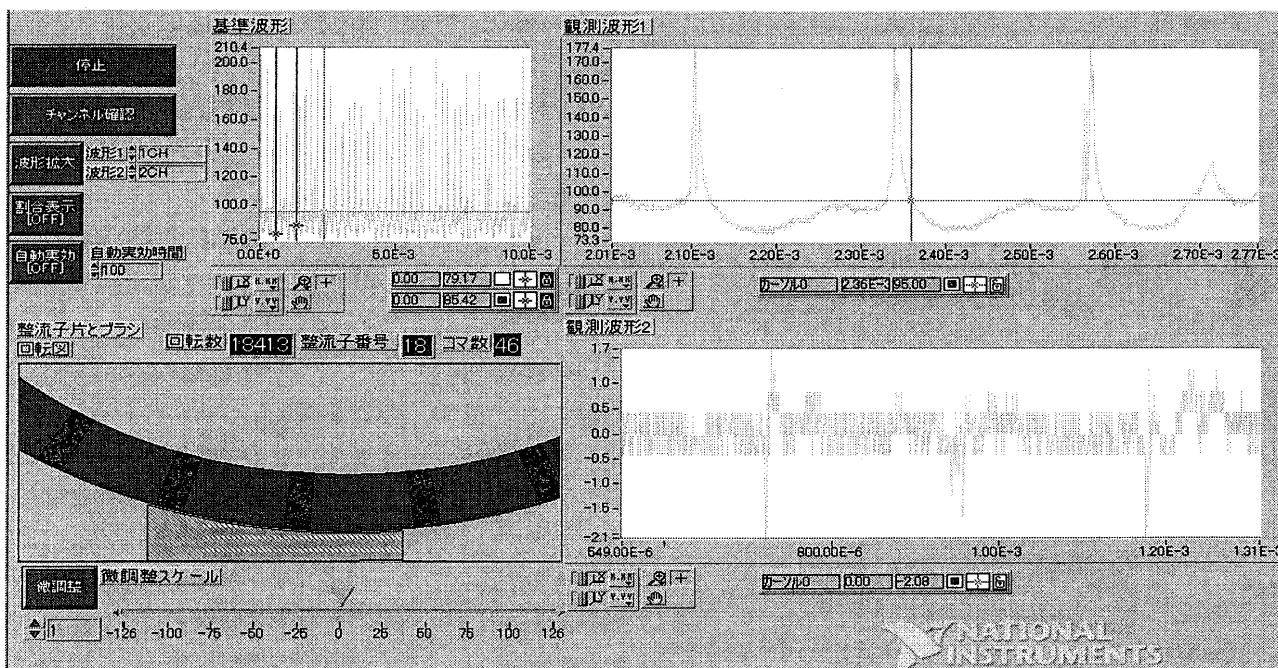


Fig.6 Front panel

#### 4. シミュレーションのための解析条件

電機子端子電圧測定用の実験機について前述したが、実験機は印加電圧が低いと、パルス電圧が微弱にしか現れないため、直流電圧 100[V]を印加した時の電機子端子電圧を測定することにした。また、実験機の回転数が十分に安定するのを待って、電機子端子電圧と光検出器の信号をオシロスコープで保存し、シミュレーションを行った。

実験機は電機子端子電圧に大小のパルスが交互に発生する特性がある。今回は電機子端子電圧に発生する大パルスのピーク値、立下り時における整流子片とブラシの接触関係について行う。また直流電圧 100[V]印加時の実効値は 90.4[V]となり、この電圧を基準としピーク値、立下り位置を決定する。この条件の下、シミュレーションプログラムによる解析を行った。

#### 5. 接触割合の解析結果

直流電圧 100[V]印加した時の実験機の電機子端子電圧と光検出器の波形をオシロスコープに保存したデー

タを 20 個用意し、そのデータにシミュレーション解析を行った結果、大パルス電圧がピーク値となった時のコマ数とその観測回数を Fig.7 に、大パルス電圧がピーク値から実効値 90.4[V] を下回る電圧となる、大パルス電圧立下り時のコマ数と観測回数を Fig.8 に示す。大パルス電圧ピーク値のグラフィックのコマ数は 34 コマ目から 44 コマ目までに集中して現れ、37 コマ目で最も多く観測された。37 コマ目での整流子片とブラシの接触関係は Fig.9 のような関係となっている。この時、ブラシが整流子片 3 つに接触していて、かつブラシ左端が接触している整流子片接触面積が、右端が接触している整流子片の半分以下の面積と接触している時に、大パルス電圧がピーク値となっている。

次に、大パルス電圧立下り時のグラフィックのコマ数は、50 コマ目から 58 コマ目までに集中して現れ、最も多く観測されたのは 55 コマ目である。その時の整流子片とブラシの接触関係を Fig.10 に示す。大パルス電圧の立下りは、ブラシ左端が接触していた整流子片より離れる時に観測された。

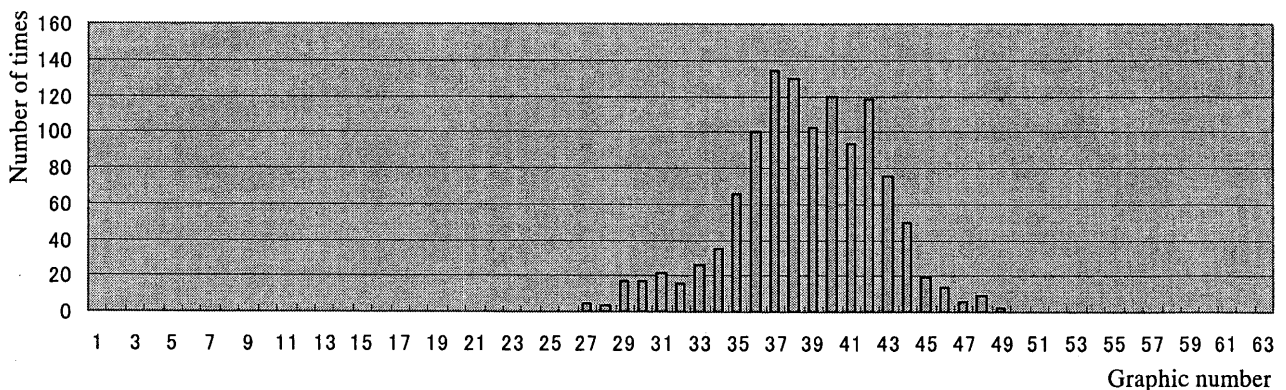


Fig.7 The graphic number and the number of times of a peak of large pulse voltage

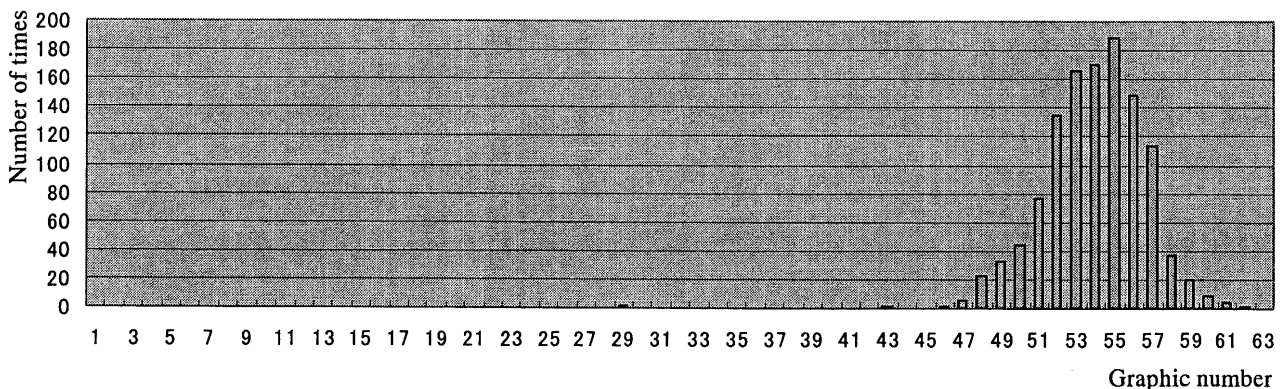


Fig.8 The graphic number and the number of times of a fall of large pulse voltage

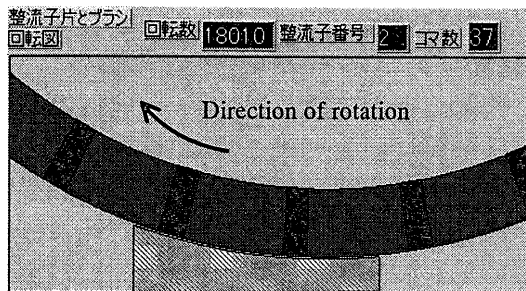


Fig.9 The contact relation of the segment and the brush of graphic number 37

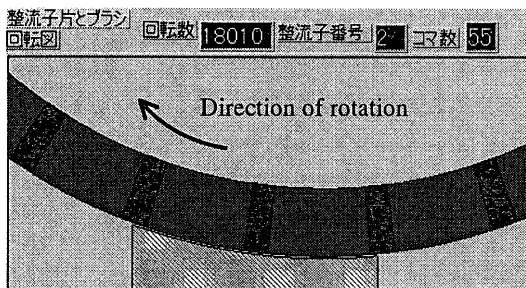


Fig.10 The contact relation of the segment and the brush of graphic number 55

## 6. まとめ

ユニバーサルモータの電機子端子電圧に発生する大パルス電圧における、整流子片とブラシの接触関係を解析するために LabVIEW によるシミュレーションソフトを作製して解析を行った。解析結果より大パルス電圧のピーク値、立下り時の接触関係を割り出すことが可能となった。このシミュレーション結果により、電機子端子電圧波形における大パルスは一つおきの整流子片で接触割合が一定の割合となったときに発生することがわかった。即ち、整流子片がブラシに接触する割合が大パルスの発生要因の一つだと考えられる。

また、解析結果に一定の範囲が存在していることから毎回必ず同じ接触位置でのピーク値、立下りが行われていないことが読取れる。これは、整流子片とブラシが、完全な面接触ではなく、一つ一つの整流子片、もしくはブラシの表面が摩擦などで削れ、接触面積に微小な変化が発生していると考えられる。

## 参考文献

- 1) 花澤民雄, 黒岩慎吾, 江頭虎夫: 高速度カメラを用いたユニバーサルモータの整流火花の研究, 電気学会回転機研究会資料, RM-01-1, pp.1-6 (2001-3)
- 2) 花澤民雄, 江頭虎夫: 「ユニバーサルモータの 1 整

流子片における整流火花」, 電学論 D, 121, 9, pp.998-999 (2001-9)

- 3) 井上泰雄: “計測制御のためのグラフィック・プログラミング実践 LabVIEW33 入門ソニー・テクトニクス(株)” (1994).
- 4) 花澤民雄, 内村真一, 緒方幸治, 江頭虎夫: ユニバーサルモータに発生するブラシ火花電圧, 電気学会回転機研究会資料, RM-02-22, pp.1-6 (2002-3)