

FEM 電磁解析手法を用いた 業務用クリーナモータに対する火花発生の抑制に関する研究

丹羽祐太¹・秋山勇治²

¹ 博士後期課程電気電子工学専攻 (niwa@ele.kanagawa-it.ac.jp)

² 電気電子情報工学科 (akiyama@ele.kanagawa-it.ac.jp)

A study on spark reduceing design of the business-use large cleaner motor
by using with the FEM electromagnetic analysis technique

Yuta NIWA¹⁾, Yuji AKIYAMA²⁾

Abstract

The universal motor is used for cleaners of ultra high-speed large capacity (30,000-40,000rpm, 1-3kW input electric power). The main causes are cost and mechanical strength. However, a brush life and a commutation phenomenon are problems. In this research, a universal motor is further pursued technically continuing now. However brushed universal motor are even used in the present, the greatest problem are the life and commutation problems of brushes. In this research, are with a brush type is further pursued but it becomes technically to a limit. So, in this core the design parameters are the size and sparks and generating torque for the iron core's shape are used it. And also increasig gap length and q axis component of the stator core (Stored magnetic energy in the commutation coil). The result, it can be under standing that q axis makes increasig torque. But commutation phenomena change with a bad direction. Moreover, when an air gap is changed, the commutation becomes good, but an output decrease. As a result, it becomes an antinomy phenomenon, and turned to it being on a balancing issue with the SPEC.

Key Words: Universal Motor, Commutation Spark, EMC, Brush Life

1. はじめに

近年世界的に家電製品の品質が急速に向上しかつ、国際化の波に押され猛烈な競争の時代に突入している。家庭用電気掃除機もその例外ではない。日本の製造業の歴史を見ると、100 V系に関するユニバーサルモータの設計、製造技術は競争力を有しているが、こと 200 V系に関しては正直なところ全く競争力がない。特に整流問題、ブラシ寿命問題を解決する技術が特に不足している。

図 1 に日本国内に於ける電気掃除機モータの仕様推移を示すが、95 年頃を境に仕様の向上は飽和気味のカーブを描いている。このことより、すでにブラシ付モータとしては極限状態に達していると考ええる。今後更に小型、高出力、高速回転化を行うためにはブラシおよび整流子の長寿命化が欠かせない要素である⁽¹⁾。

整流火花を定量的に求めることは非常に困難であり、従来の火花電圧の計算式などでは、ギャップパーミアンスやギャップ磁束分布を一定と仮定した平均値解析であ

り、電機子反作用やスロットや磁極形状が考慮できていない⁽²⁾。本稿では、FEM 電磁界解析ソフトの活用により従来未検討分野であったステータ鉄芯形状が整流火花現象に与える影響を、ギャップパーミアンスやギャップ磁束分布を考慮して解析を行い、整流火花量を定量的に評価することを目的とした。

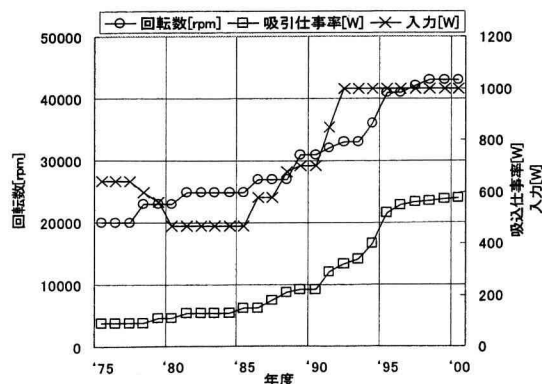


図 1 電気掃除機モータの仕様の変遷

2. 整流現象と古典整流理論

整流についての概念を得るために、図2に対象とした22スロットユニバーサルモータの電機子巻線のモデル図を、図3に最も簡単な整流モデルを示す⁽³⁾。

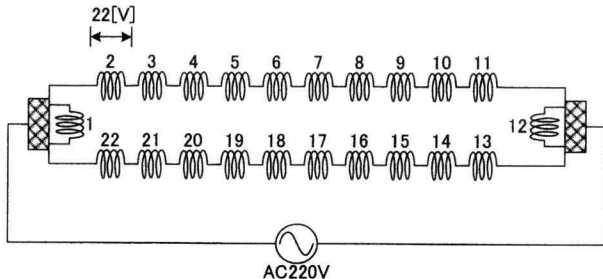


図2 22 Slot 電機子巻線モデル図

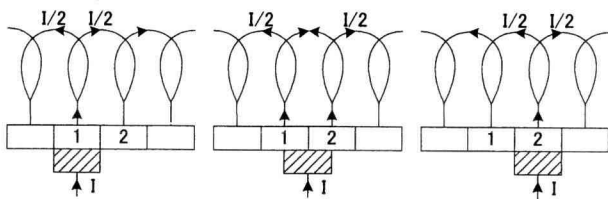


図3 整流現象説明図

本解析では、ブラシ幅を整流子片幅と等しくし、整流子片間絶縁物の厚さを無視している。また、その接触抵抗 R_b は一定とし、導体に対する漏れ磁束によるインダクタンスを L とすれば、整流時の回路の電圧方程式は式(1)のように示すことができる。

$$L \frac{di}{dt} + iR + \left\{ \frac{R_b T}{T-t} \right\} (I+i) - \frac{R_b T}{t} (I-i) + e_c = 0 \quad \cdots (1)$$

ここで、 $R=R_c+R_l$ (R_c はコイル抵抗、 R_l はコイルを整流子片に結ぶ抵抗)、 T は整流周期でブラシ幅を整流子の周速で割った値、 t は時間、 e_c は整流作用による起電力「整流起電力」を示す。電機子巻線を構成する各コイルにつき考えると、運転中ブラシ直下をコイルが通過するときに電流方向が反転する。

なお、整流火花発生の原因であるブラシにより短絡されているコイルの電流変化は複雑であるが、現象を理解しやすくするために古くから図4に示す仮想整流曲線が用いられ説明されている⁽³⁾⁽⁴⁾。

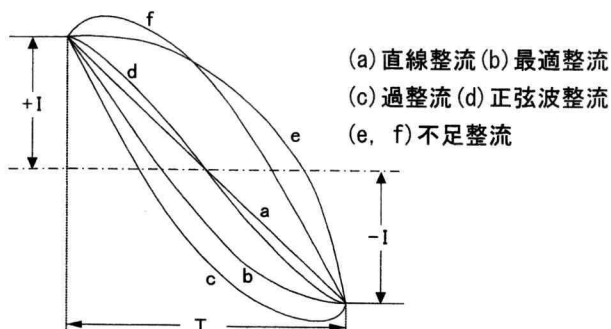


図4 仮想整流曲線

3. 解析方法

まず、本研究で対象としたユニバーサルモータの概要を示す。図5に示す解析モデル電流設定は、定格運転時を想定して印加電流値を設定した。

検討機種概要

ユニバーサルモータ (高出力クリーナーモータ)

入力 220[V] - 1500[W]

定格回転数 33,000[rpm]

界磁巻線仕様 $\phi 1.2$ 106turn

電機子仕様 $\phi 0.4$ 15turn 重ね巻き

寸法: 積厚 21[mm]

ロータ外径 38[mm] / 22Slot

Air Gap 0.5[mm]

Back Yoke 幅 8[mm]

鉄芯材料 珪素鋼板 (50A1300)

メッシュ数 約2万

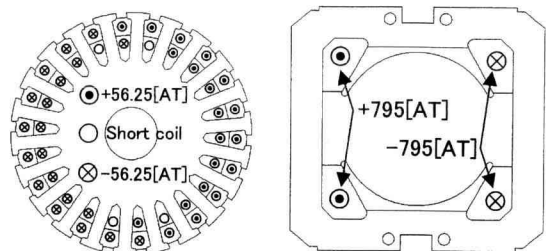


図5 コア形状と印加電流設定

図6に本解析に用いた二種類のユニバーサルモータの鉄心形状と、最大トルク時の等磁束線分布図を示す。このモデルの違いは、ステータ鉄心の極弧間オープニング部 (q 軸) に設けられた突起形状の有無である。

なぜこの二種類の鉄心形状を対象にしたかという点、現在世界で製品化されているフィールドコアには q 軸の突起構造を持たないタイプと有するタイプでほぼ二分されているからである⁽¹⁾。また、解析対象の電機子巻線図を図7に示す。

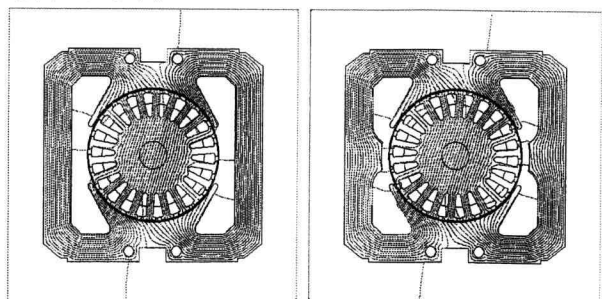


図6 突起形状の有無による等磁束線分布図比較

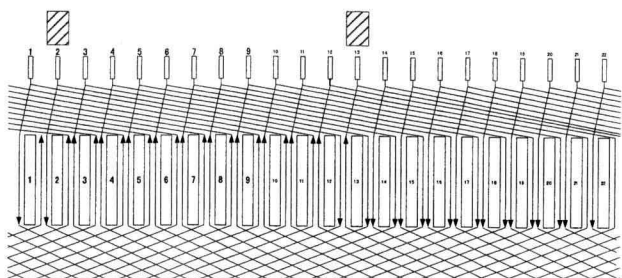


図7 電機子巻線図

3.1 整流コイルの無効電力シミュレーション

電機子スロット内コイルの漏れインダクタンスによる無効電力[Var]、および実効電力[W]をFEMシミュレーションにて求めた。解析にはサーキットを用い、条件として界磁巻線には電流源に定格電流 7.5A, 50Hz を、電機子巻線には 7.5A, 550Hz を与え定格回転数である 33,000rpm を想定した設定としている。(図 8, 9 参照)

図に示したサーキットの各コイルは図 12 に示す電機子スロットに対応し納められている。なお、本アーマチュア巻線機は標準的なダブルフライヤーの偶数スロット方式である。最大トルク発生時の q 軸突起なし形状による電機子巻線無効電力のシミュレーション結果を図 10 に、q 軸突起あり形状の電機子巻線シミュレーションの結果を図 11 に示す。これより判ることは固定子磁極鉄心下に位置するコイルには界磁束による誘起電圧は少なく、実効電力はトルクとして作用する成分である。反面、磁極オープニング部に位置する電機子コイル内では実効電力および無効電力ともに急減しており、無火花帯が存在していることがわかる。また q 軸突起形状による差異であるが、q 軸突起の存在による q 軸磁束成分の増加により無火花帯における無効電力が増加していることが確認された。整流火花の発生要因は q 軸上コイル無効電力量に比例すると考えられるため、この現象は整流現象に大きく影響を与えると考えられる。

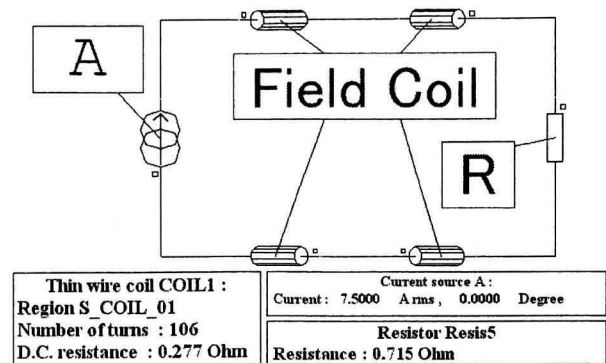


図 8 界磁巻線サーキット図

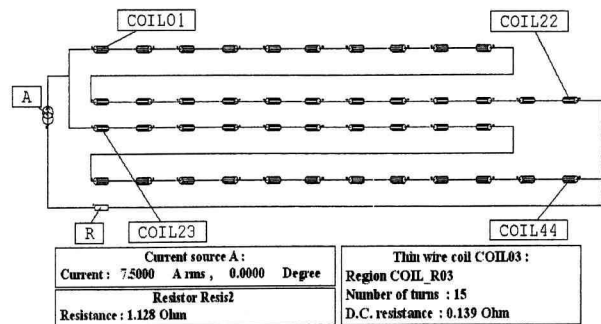


図 9 電機子巻線サーキット図

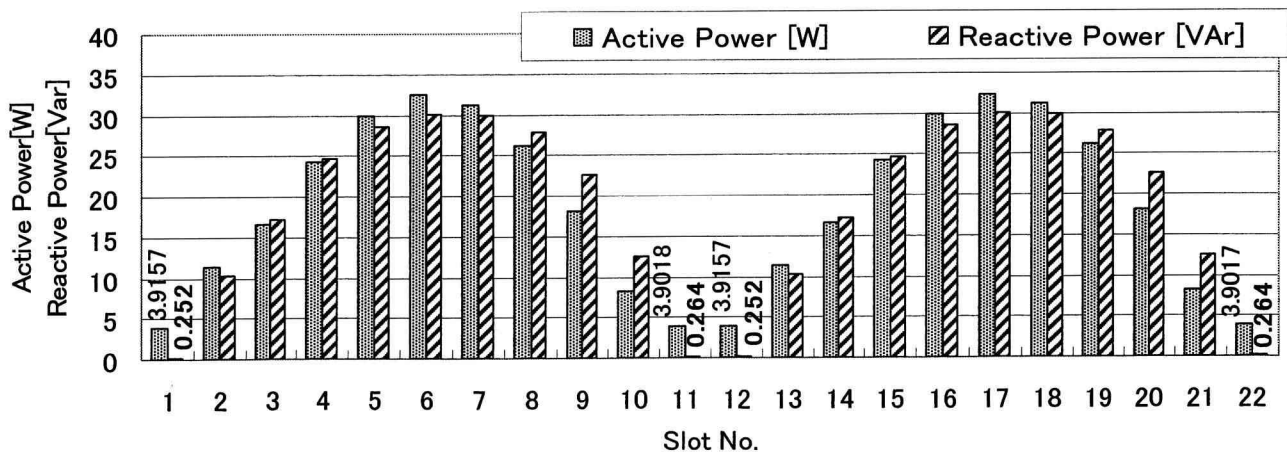


図 10 q 軸突起なしモデルの電機子巻線有効電力・無効電力

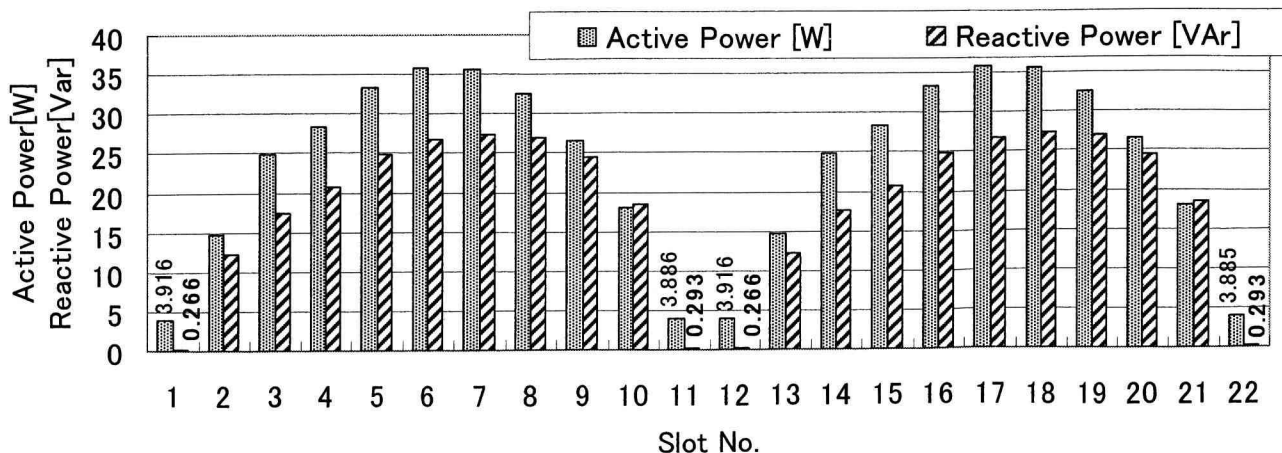


図 11 q 軸突起ありモデルの電機子巻線有効電力・無効電力

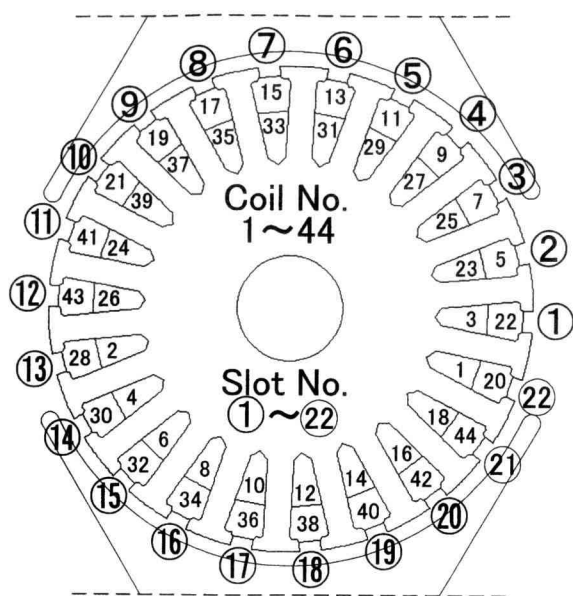


図 12 電機子スロット番号とコイル番号

3.2 ブラシを考慮した運転解析

回転に伴い変化するブラシ接触抵抗の変化を考慮した FEM 電磁界解析を図 13 に示すサーキットにて設定することで、運転中の電機子コイル中の電流をシミュレーションすることが可能である。

本解析では図 14 に示す定格電流 7.5A, 50Hz を電流源に与え、定格回転数 33,000rpm の時を想定している。また、ブラシ幅を整流子片幅と等しくし、整流子片間絶縁物の厚さを無視している。ブラシ接触抵抗 R_b は 0.02Ω とした。

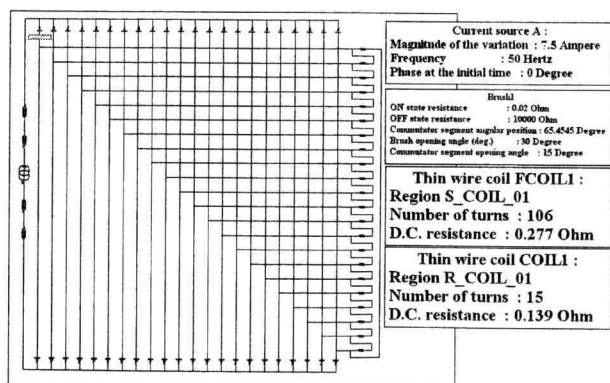


図 13 ブラシを考慮したサーキット図

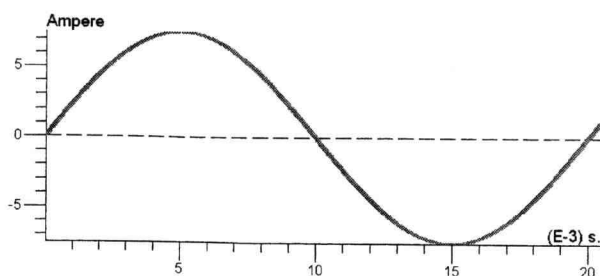


図 14 電流源印加電流波形

この解析により、図 15 に示す電機子コイル電流波形が得られた。定常状態では、3.75A, 50Hz の電流が観測され、回転数 33,000rpm なので、1.8msec ごとにブラシにて短絡、転流する。この転流するタイミングで発生する火花電圧により、このシミュレーションでは最大 20A 程の短絡電流が発生するという解析結果が得られた。当然このエネルギーは火花として消費されることになる。以上、電磁解析ソフトは(仏) FLUX-2D/Ver7.6 を使用した。

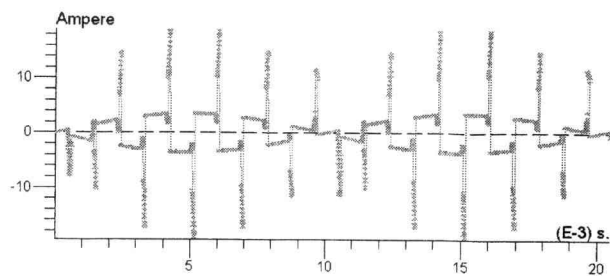


図 15 電機子コイル電流波形

4. おわりに

本論文では、多くの新しい知見が得られたが、それらをまとめると下記①～④のようである。

- ① 電機子巻線の各コイルに分布する無効電力量がコア形状により変化する。
- ② 無火花帯 (q 軸上) にあるコイルの無効電力量に整流火花は比例すると考えられるため、コア形状が整流火花に大きな影響を与えることになる。(従来の論文では定性的検討のみであった)
- ③ 今回初めて整流火花量が定量的に解析できた。
- ④ 運転とともに変化するブラシ接触抵抗および電機子反作用やギャップ磁束分布を考慮した各電機子コイル当りの有効電力、無効電力を定量的にシミュレーション解析することに成功した。

以上の知見から、超高速運転ユニバーサルモータ(業務用クリーナモータ)の整流火花の改善対策設計が定量解析できるようになった。この結果、ブラシ付きモータでも、さらなる超高速運転の見通しが立った。

参考文献

- (1) Yuta Niwa, Mitsuhiro Kawamura, Yuji Akiyama: "Request of technological points for vacuum cleaner motor in 200V system", IEEJ Technical paper, RM-04-168, pp.45-50 (2004)
- (2) 秋山勇治: "DC モータと BLDC モータのインバータ駆動時動作特性の比較", 電気学会研究, RM-01-162, pp.19-23 (2001)
- (3) 秋山勇治: "はじめてのモータ技術", 工業調査会(1999)
- (4) 一木利信: "電機用ブラシの理論と実際", コロナ社(1978)