

### マルチコイルモータのコイル構成方法及び 内部磁界解析モデルによる検証

峰岸, 和輝 / MINEGISHI, Kazuki

---

(出版者 / Publisher)

法政大学大学院理工学・工学研究科

(雑誌名 / Journal or Publication Title)

法政大学大学院紀要. 理工学・工学研究科編 / 法政大学大学院紀要. 理工学・工学研究科編

(巻 / Volume)

58

(開始ページ / Start Page)

1

(終了ページ / End Page)

4

(発行年 / Year)

2017-03-31

(URL)

<https://doi.org/10.15002/00014194>

# マルチコイルモータのコイル構成方法及び 内部磁界解析モデルによる検証

METHOD OF COIL CONSTRUCTION OF MULTI-COIL MOTOR  
AND VERIFICATION BY INTERNAL MAGNETIC FIELD ANALYSIS MODEL

峰岸和輝

Kazuki Minegishi

指導教員 安田彰

法政大学大学院理工学研究科電気電子工学専攻修士課程

For motors used in processing machines such as polishers and grinding machines, those that realize high-precision rotation are used. Multi-coil motor system has been proposed as a motor realizing high-precision rotation. In this paper, we modeled the motor structure of three multi-coil motors with different construction methods. And analyzed the internal magnetic field and driving torque based on the driving current of driven motor, and examined the results.

**Key Words** : multi-coil motor, three phase synchronous motor

## 1. はじめに

研磨機や研削盤などの加工機に用いられるモータには、加工のムラを最小限に抑えるため、高精度な回転を実現するものが用いられる。一般的にこのようなモータには、制御やシステム面から高精度化に向けた工夫がなされている。しかし、モータコイルの素子バラつきによるトルクむらなどのハード面における課題が残っている。

高精度な回転を実現するモータとしてマルチコイルモータが提案されている[1]。ステータに複数のコイルを巻いた構造を持つ同期モータで、NSDEM法(Noise Shaping Dynamic Element Matching method)[2]と組み合わせることで素子バラつきを均一化し、高精度な回転を実現するものとして期待されている。本論文では、コイルの構成方法が異なる3つのマルチコイルモータについて、駆動時の電流からモータ内部の磁界を解析するモデルを作成し、導出される駆動トルクについて考察する。

## 2. マルチコイルモータについて

### (1) マルチコイルモータの構造

図1に4極6スロットのマルチコイルモータの構造図を示す。ブラシレスモータと同様の構造を持ち、ステータには各相のコイルを分割したマルチコイルを搭載している。分割された各コイルをそれぞれ独立に動作させることで、出力の大きさに合わせた駆動コイル数の変化や、各コイルの製造バラつきを均一化するNSDEM法に対応することが可能となっている。

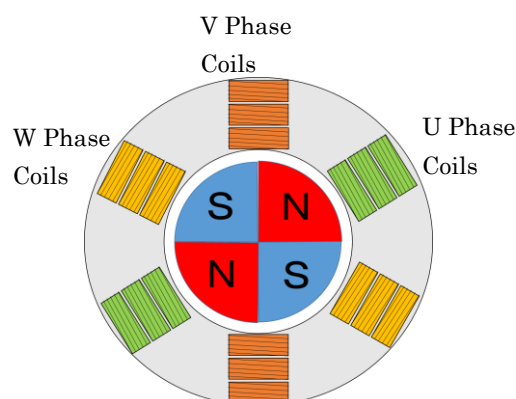


図1 マルチコイルモータの構造

### (2) マルチコイルの構成方法

マルチコイルは一つの鉄心に複数の導線を巻き付ける構造である。しかし、すべての導線を全く同じ位置に巻き付けることは出来ないため、各コイルには必ずバラつきが生じる。故に、高精度な回転を実現するマルチコイルモータには、よりバラつきの少ないマルチコイルの構成方法を考える必要がある。本論文では、3コイルで構成されたマルチコイルについて、以下に示す3つのマルチコイル構成方法を考えるものとする。

#### a) 重ね巻きによるマルチコイルの構成

重ね巻きによるマルチコイルの構成を図2に示す。重ね巻きは、鉄心に1つ目のコイルを巻き終えてから2つ目のコイルを巻き、2つ目のコイルを巻き終えてから3

つ目のコイルを巻いたものである。一つ一つのコイルはきれいに巻くことが出来るが、巻いていくにつれてコイルの径が大きくなる為、各コイルのインダクタンスが大きくばらつく。鉄心に近いコイルのインダクタンスが大きく、外側に巻かれたコイルのインダクタンスは小さくなる。

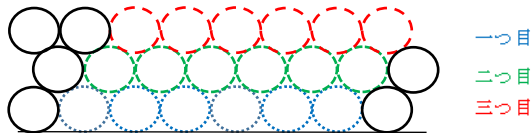


図2 重ね巻き

b) まとめ巻きによるマルチコイルの構成

まとめ巻きによるマルチコイルの構成を図3に示す。まとめ巻きは、3本の導線を同時に鉄心に巻き付けたものである。理論上は各コイルの径が等しくなり、各コイルのインダクタンスのバラつきが抑えられると考えられる。しかし、実際に導線を巻いていくと、2重3重とコイルを重ねていくたびに導線が分散し、1重目と2重目などの切り替え時に折り返しが難しいなど、製造バラツキの要因が多い。

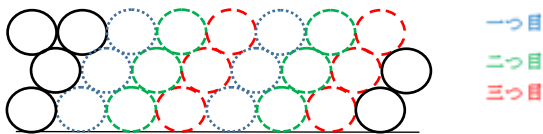


図3 まとめ巻き

c) 三つ編み巻きによるマルチコイルの構成

三つ編み巻きによるマルチコイルの構成を図4に示す。三つ編み巻きは、3本の導線を三つ編みにし、鉄心に巻き付けたものである。3本の導線をより線の要領で三つ編みにすることで、1本の導線と同様に鉄心に巻き付けることができ、外部ノイズの影響を受けにくくなる。

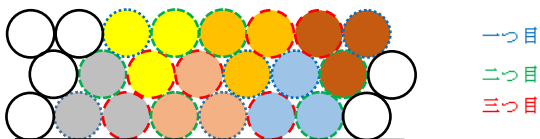


図4 三つ編み巻き

3. 各マルチコイルモータの電流・トルク測定

モータ内部の磁界解析を行うために、モータ駆動時にコイルに流れる電流の実測結果が必要である。また、解析結果から得られるトルクと比較するために、電流値と同時にトルクも測定した。

(1) 測定方法

図5に、マルチコイルモータの測定環境を示す。同相のマルチコイルを直列に繋ぎ、最大負荷時のトルクと各相に流れる電流を測定した。モータにはファンクション

ジェネレータで生成した10Hzの3相交流電圧を入力し、その振幅は9Vp-pとした。

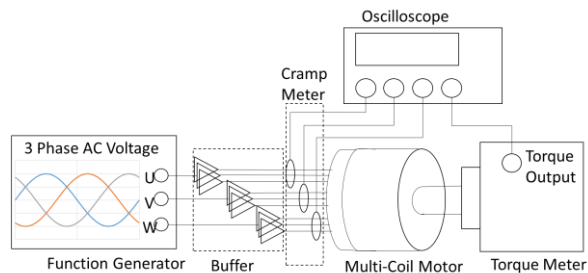


図5 測定環境

(2) 測定結果

各マルチコイルモータ駆動時の電流波形を図6～8に示す。また、その時の各マルチコイルモータのトルクを表1に示す。

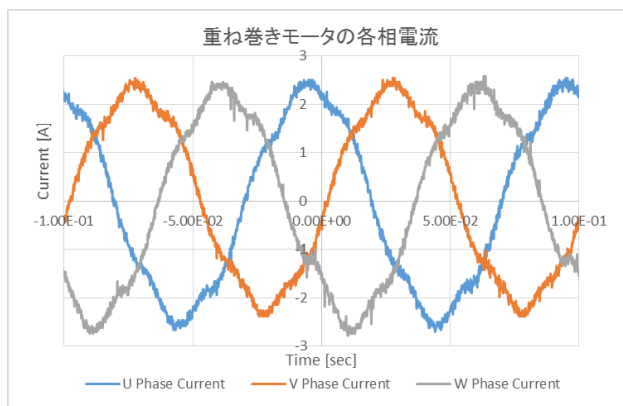


図6 重ね巻きモータの各相電流

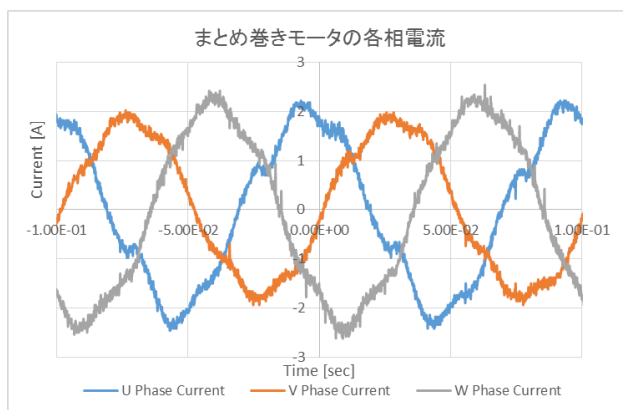


図7 まとめ巻きモータの各相電流

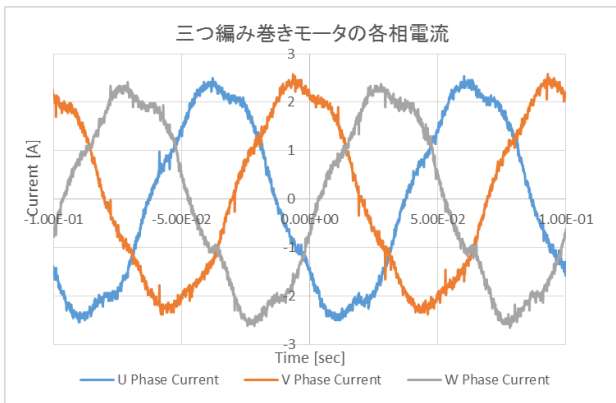


図 8 三つ編み巻きモータの各相電流

表 1 各マルチコイルモータの最大負荷トルク

	重ね巻き	まとめ巻き	三つ編み巻き
Torque[mN・m]	122.0	111.6	118.6

#### 4. マルチコイルモータの解析モデル

##### (1) マルチコイルモータのメッシュ構造の作成

図 9 にマルチコイルモータ解析モデルの構造, 図 10 にモデルのメッシュ構造を示す. 今回解析するモータは 4 極 6 スロットで中心に対して点対称な図形であるため, 片側 180 度分のメッシュを作成し, 解析時には対称性を考慮して補完するものとする.

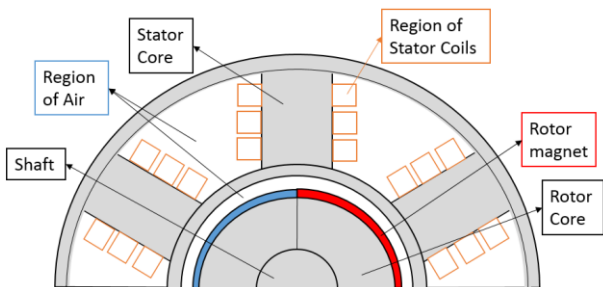


図 9 解析モデルの構造

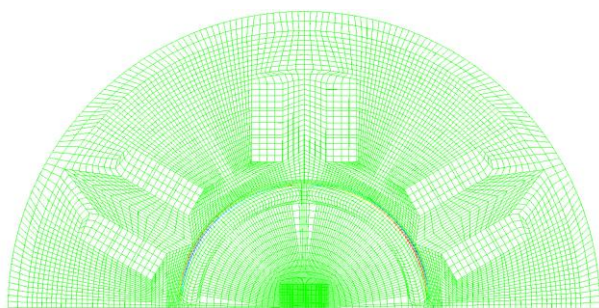


図 10 解析モデルのメッシュ構造

##### (2) 内部磁界解析

図 10 に示したメッシュ構造を磁界解析ソフトに読み込ませ, スターコイルの領域に図 6 ~ 8 に示した電流波形を入力し, モータ内部の磁界解析を行った. 解析した磁界は, 図 11 のように可視化が可能である.

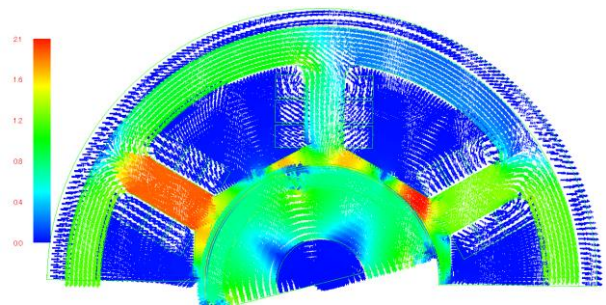


図 11 可視化した磁界 (ロータ回転角 15 度)

##### (3) 駆動トルクの解析結果と実測の比較

解析した内部磁界からトルクを計算した結果と実測したトルク波形を図 12 ~ 14 に示す.

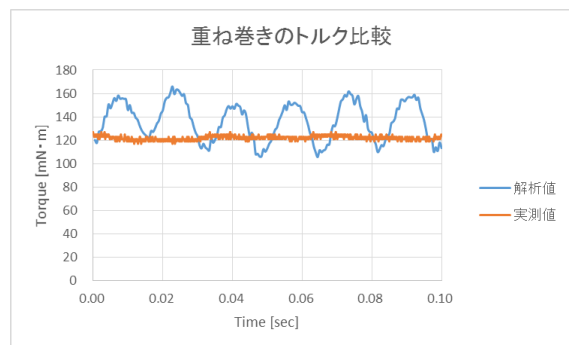


図 12 重ね巻きのトルク比較

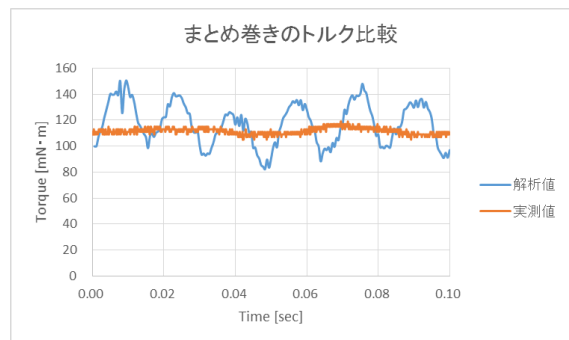


図 13 まとめ巻きのトルク比較

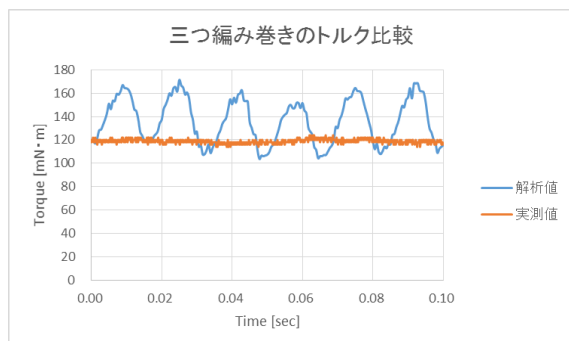


図 14 三つ編み巻きのトルク比較

##### (4) 考察

図 12 ~ 14 より, 実測結果のトルクに比べて, 解析結果のトルクは変動が大きいことが分かる. これは, 実

測では慣性モーメントの影響でトルクの変動が抑えられているからだと考えられる。各マルチコイルモータの解析値のトルクを表2に示す。表2より、マルチコイルを直列に繋いで駆動した場合、トルクの最大値と最小値の差が最も小さいのは重ね巻きとなった。対してまとめ巻きが最もトルクのバラつきが大きい。これは、図7より電流波形の歪みが大きいことが要因であると考えられる。三つ編み巻きは、表1よりトルクは重ね巻きより小さくなるはずであるが、表2の最大値を見ると重ね巻きより大きくなっている。これは電流の歪みの影響で瞬間的にトルクが大きくなってしまったものと考えられる。

表2 各マルチコイルモータのトルク

	重ね巻き	まとめ巻き	三つ編み巻き
最大値[mN・m]	166.0	150.5	171.4
最小値[mN・m]	105.7	82.4	103.7
差[mN・m]	60.3	68.1	67.7

## 5. むすび

本論文では、構成方法の異なる3つのマルチコイルモータについて、モータ構造をモデル化し、実際に駆動させたモータの駆動電流をもとに、その内部磁界と駆動トルクを解析し、結果について考察した。

マルチコイルの構成方法として、重ね巻き、まとめ巻き、三つ編み巻きがある。それぞれの構成方法で作られ

たマルチコイルモータの駆動電流を測定したところ、モータの逆起電力等の影響で電流は歪んでいた。駆動電流の違いによる内部磁界と駆動トルクの違いを比較した。内部磁界についてはロータの角度を変化させていった時の磁界を可視化することが出来た。駆動トルクについては時間ごとにプロットし、各モータについて比較をした。マルチコイルを直列に繋いで駆動したとき、駆動トルクの最大値と最小値の差が最も小さいのは重ね巻きであった。

謝辞:本研究を行うにあたり、ご指導頂いた安田彰教授、また磁界解析について御助力頂いた岡本吉史先生に心より御礼申し上げます。また、お世話になりました両研究室の皆様へ感謝致します。

## 参考文献

- [1]塩澤純, 秋山和博, 倉持大悟, 原島 昇, 吉野理貴, 安田彰 “マルチビットデジタル直接駆動技術を用いた三相モータシステム”, IEICE General Conference, 2013
- [2] A.Yasuda,H.Tanimoto,T.Iida : "A Third-order Modulator using second-order nose-shaping dynamic element matching", IEEE J.Solid-State Circuits,vol.33,pp.1879-