

平成 21 年 6 月 17 日現在

研究種目：基盤研究（C）  
 研究期間：2005～2008  
 課題番号：17560266  
 研究課題名（和文） 単相励磁入力・三相回転磁界を有するパラメトリックモータの出力向上に関する研究  
 研究課題名（英文） Study on the improvement of output power in the three phase parametric motor fed from single-phase power supply  
 研究代表者  
 坂本 禎智（SAKAMOTO YOSHINORI）  
 八戸工業大学・感性デザイン学部・教授  
 研究者番号：60187052

研究成果の概要：単相電源で三相回転磁界を有するパラメトリックモータの実用化促進のために、種々の実験検討を行い、出力向上の実現手法を見出した。固定子の内外環状磁路の磁束分布の大小条件、及び固定子材料に付与する磁化容易軸方向の最適角度を見出し、その妥当性を有限要素解析により確認した。また更なる高出力化への突破口として、共振用コンデンサの設定方法に関する知見を得、理想的な三相回転磁界を得るための新たな固定子形状の提案を行った。

## 交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2005年度	900,000	0	900,000
2006年度	1,100,000	0	1,100,000
2007年度	900,000	270,000	1,170,000
2008年度	600,000	180,000	780,000
年度			
総計	3,500,000	450,000	3,950,000

研究分野：磁気応用工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・電力工学・電気機器工学

キーワード：発振安定化、磁束分布条件、最適磁化容易軸角度、同調用コンデンサ設定、共振側磁路独立固定子

## 1. 研究開始当初の背景

三相誘導モータは、単相誘導モータに比べて、固定子と回転子間の空隙起磁力の空間高調波成分が少ないことから効率が良く、その利用は省エネルギーに役立つが、家庭やオフィスなど三相配線が無い場所では使えない。また、三相モータをインバータで駆動する方法があるが、システム全体で高価格となり、破損したときのメンテナンス性も悪い。従って、単相電源で三相回転磁界を有するモータの実現は極めて有用である。

筆者は、研究開発当初、単相電源で三相回転磁界を有するパラメトリックモータの実現可能性を明らかにし、安定な三相電圧を得るためには、固定子内磁束分布を不平衡とすることが有効であることを示し、そのための固定子形状や材質の設定条件等を見出していた。

本研究において、この三相パラメトリックモータの出力向上を目指し、成果を挙げることが、省エネルギータイプの新しいモータの開発に結びつき、またエネルギー資源の有効

活用にも結びつき、社会や経済に対する波及効果は大きいと考えた。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、本モータの実用化への最終段階としてパラメトリック発振の安定化手法を巧みに利用し、高出力化を図ることにある。これを実現するために次の項目について検討を行う。

(1)固定子内磁束分布不平衡の創出手法として、これまでに構造的な面、および材質的な面について独立に検討を行ってきたが、この両方を組合わせた場合のパラメトリック発振の安定性を探り、モータの高出力化手法を見出す。

(2)これまでに明らかにした、パラメトリック発振を安定にする磁束分布状況を踏まえて、固定子寸法、及び磁気異方性の方向付けの最適化を図り、モータの高出力化を目指す。

(3)これまでに明らかにしたパラメトリック発振の安定状況を表す Mathieu 方程式を用いて、本モータの高出力化に向けた設計法を確立する。

## 3. 研究の方法

本モータの出力向上のためには構造的（形状、寸法）な面、および材質的（材料磁気異方性の有無）な面から、それらの形状最適化、磁気異方性方向最適化に関する検討や、種々の役割を担う固定子の複合によるモータ特性の検討が必要である。

以下に各年度における研究方法について記述する。各年度においては、前年度の研究の進捗状況、成果を踏まえて実験・検討の計画を立案し、研究を実施した。

### (1)平成 17 年度

一つの固定子に構造的、および材質的な面を考慮した設計を施し、モータの製作、実験、検討を行う。

作製した各モータについて、磁心内磁束動作を測定し、磁束の飽和が固定子のどこで生じるか、またどの部分が発振確立に寄与するかを明確にし、出力に最大の影響を及ぼす回転子有効磁束との関係を明確にする。

負荷特性の測定を行い、三相電圧、電流、電力、出力、効率等の回転数依存性を把握し、これらの測定結果から、パラメトリック発振 2 系統の電圧振幅、位相等の相互関係を明確にし、モータ出力との関係を明確にする。

### (2)平成 18 年度

固定子内磁化容易軸角度を磁極に対して  $0^\circ$  とし、外側共通磁路幅を 10mm、11mm、内側共通磁路幅を 3mm、4mm、5mm とした場合の 6 種類のモータの諸特性を測定し、モータの高出力化のための内外共通磁路幅の最適条件を探る。

平成 17 年度に、固定子内磁化容易軸角

度を磁極に対して  $45^\circ$  とした場合、理想的な三相回転磁界が得られる可能性が高まった。平成 18 年度はこれを受けて、磁化容易軸角度  $0^\circ$  モータで特性の良好であったモータ数台に対して、磁化容易軸角度を磁極に対して  $45^\circ$  としたモータを作製し、上記と同様の検討を行い、モータの高出力化を目指す。

### 有限要素解析

前年度、磁束動作の有限要素解析に着手し、解析の磁束動作が実測と良好な一致を示したので、本年度は本解析を更に進め、モータの高出力化に結びつく寸法、材質の条件について探る。

### (3)平成 19 年度

平成 18 年度は、固定子内磁化容易軸角度を磁極に対して  $0^\circ$ 、 $45^\circ$  とした場合のモータを作製した。これらのモータの場合、励磁側と共振側の結線を変えることで、磁化容易軸角度を  $60^\circ$ 、 $15^\circ$ 、 $75^\circ$  とすることができる。平成 18 年度はこれらのモータについて検討を行い、磁化容易軸角度とモータ特性、発振の安定性の関係について新たな知見を得ているが、磁化容易軸角度  $30^\circ$ 、 $90^\circ$  のデータが無く、最終結論には至っていなかった。そこで平成 19 年度は、磁化容易軸角度  $30^\circ$ 、 $90^\circ$  モータを作製し、その諸特性を測定し、高出力化のための磁化容易軸角度の最適設計法を見出す。

これまでの結果で、2 系統あるパラメトリック発振それぞれが、互いにエネルギーを授受し、不安定になることが見受けられた。したがって、これらの磁路を独立にして、互いの影響を無くすることにより発振の安定性を増すことができると考え、平成 19 年度は、全く新しい発想に基づく形状のモータを作製し、上記と同様の検討を行い、モータの高出力化を目指す。

### (4)平成 20 年度

共振側磁路独立固定子それぞれに磁化容易軸を持たせたモータの検討を行う。平成 19 年度の検討においては、磁化容易軸を励磁側磁路に揃えてコアを積層した。平成 20 年度は共振側それぞれに磁化容易軸を配置し、コアを積層し、モータの諸特性を測定する。この結果に基づき、発振の安定化機構を探り、モータの高出力化方策を見出す。

共振側磁路独立固定子にこれまでの共振側一体固定子を組み合わせたモータの検討を行う。励磁側、及び共振側 2 系統のコア厚さの比率を変えて種々のモータを作製し、上記と同様の検討を行う。この結果に基づき、それぞれコアの特性に与える役割を明確にし、発振の安定化機構を探り、モータの高出力化方策を見出す。

昨年度までの結果と本年度の結果を合わせて総括する。

#### 4. 研究成果

まず、研究対象となっている単相励磁入力・三相パラメトリックモータの基本構造、各部名称について記述する。

図1に本モータの構成を示す。固定子の磁極を $60^\circ$ ずつずらして配置し、パラメトリック発振回路2系統を空間的に $120^\circ$ 及び $240^\circ$ となるように設計を施すことで、回転子部に生成される磁界方向を定めている。交流電源(50 Hz) $E_1$ を接続している脚部を励磁側磁路、同調用コンデンサ  $C_a$  を励磁側磁路に対し $120^\circ$ 方向に接続している脚部を共振側A、同様に同調用コンデンサ  $C_b$  を励磁側磁極に対し $240^\circ$ 方向に接続している脚部を共振側B、回転子付近の環状部を内側共通磁路、外側の環状部を外側共通磁路と称している。内側共通磁路はパラメトリック発振に必要な磁気飽和を生じやすくするために、外側共通磁路よりも細く設計している。固定子材質は各モータ、共に厚さ0.35 mmの方向性ケイ素鋼板であり、55枚積層して固定子を構成している。巻線数は $N_1=N_{2a}=N_{2b}=1000$  turnsである。このモータを単相励磁入力・三相パラメトリックモータと称することとする。

次に各年度の研究の主な成果を記述すると、以下ようになる。

##### (1)平成 17 年度

モータの高出力化には三相パラメトリック発振の安定化が必要である。本研究では、この発振を安定化するための、外側共通磁路3箇所(三相分)磁束密度分布の大小条件を明らかにすることができた。

固定子内の磁化容易軸の角度を、励磁側磁極に対して $45^\circ$ とした場合に、極めて理想に近い三相電圧波形が得られ、始動トルクや出力の改善に結びつくことを明らかにすることができた。

有限要素解析ソフト JMAG-Studio を用いて、本モータの磁界解析を行った結果、これによって見出された固定子内磁束動作が、探りコイルを用いて測定したそれとほぼ一致し、本解析が、今後の本モータの高出力化方策を探る上で有用であることを明らかにした。

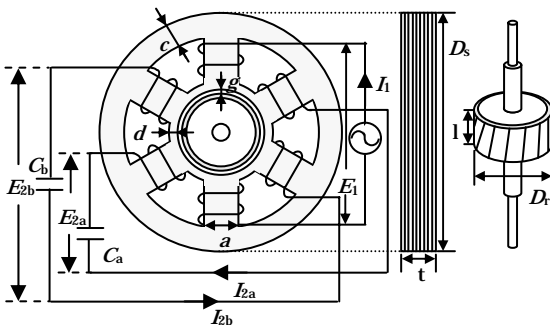


図1 単相励磁入力・三相パラメトリックモータの基本構成

図2に、有限要素法による磁界解析例を示す。励磁側磁路磁束最大時、共振側磁路A磁束最大時、共振側磁路B磁束最大時における磁束分布の実験結果と解析結果である。実験結果における矢印の長さは瞬時的な磁束の量を表す。磁束分布が良好に一致していることが分かる。

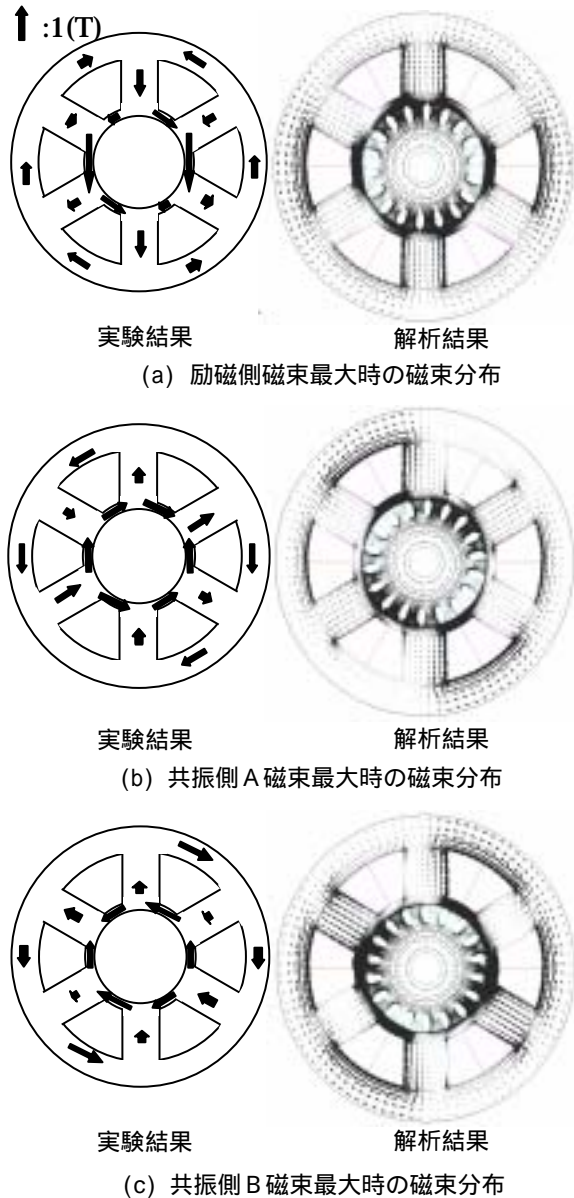


図2 有限要素法による磁界解析例

##### (2)平成 18 年度

三相出力時には内外共通磁路磁束密度分布が不平衡であると共に、始動時においても内外共通磁路の磁束密度分布が不平衡となる条件を満たしていることが三相出力の安定発振に繋がり、出力が大きくなることを明らかにした。

安定な三相出力となるためには、始動時において、外側共通磁路磁束密度分布が励磁側から相順の順番に大きくなるのが、重要な条件の一つであることを明らかにした。

有限要素解析を行った結果、上記の結論が妥当であることが明確になった。

固定子内磁化容易軸の角度 5 種類のモータについて検討を行い、45°とした場合に、極めて理想に近い三相電圧波形が得られ、始動トルクや出力の改善に結びつくことが明らかとなり、前年度の結果を裏付ける結果となった。

### (3)平成 19 年度

固定子内の磁化容易軸角度を 0°から 45°方向に傾けることで、無負荷時における 2 系統の共振電圧の差が増大し、外側共通磁路の磁束分布が不平衡となるため、この手法がモータの高出力化・高効率化につながることを明らかにした。

固定子の磁化容易軸角度が 0°のモータにおいて、三相波形が崩れ、発振が不安定になる問題は、磁化容易軸角度を傾けることで改善される傾向があることが明らかとなった。

固定子の磁化容易軸角度を 45°とし、2 系統のコンデンサ容量の値を近づけ、三相波形を出力することができれば、モータの高出力化・高効率化に繋がることを明らかにした。図 3 は、磁化容易軸角度に対するモータ出力・効率を示したものである。角度が 45°、75°の場合に、コンデンサ容量の値を近づけることが出来、出力、効率が向上した。

2 系統のパラメトリック発振磁路を独立にして、互いの磁束の影響を無くすることにより、発振の安定性を増すことができることが明確になった。この固定子の形状を図 4 に示す。

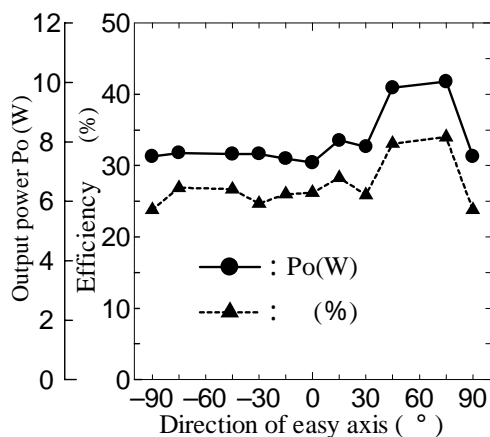
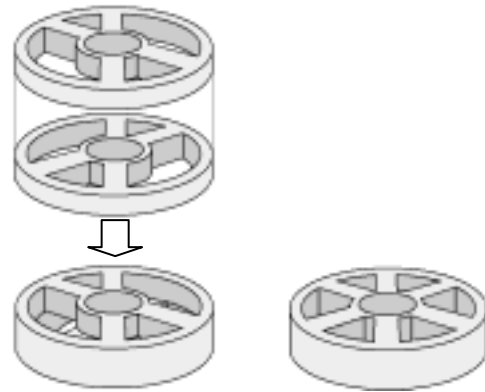


図 3 磁化容易軸角度とモータ出力・効率



(a)共振側独立形

(b)従来型

図 4 共振側磁路独立形固定子

### (4)平成 20 年度

共振側磁路独立固定子の共振側それぞれに磁化容易軸を配置してコアを積層し、モータの諸特性について検討を行った結果、励磁用磁路に磁化容易軸を設けたモータと比較して、理想的な位相の三相電圧が得られたこと、並びに三相動作領域が拡大し、出力・効率が向上することを明らかにした。

共振側磁路独立固定子にこれまでの共振側一体固定子を、厚み 1/3 だけ組み合わせたモータを作製し、モータの諸特性について検討を行った。その結果、入出力電圧特性、三相波形などの特性において、共振側磁路独立固定子モータと、共振側一体形固定子モータとの中間となる特性を示した。またそれぞれのモータ特性の比較を行うことにより、三相電圧の確立機構解明に結びつく有用な知見を得た。

以上、本研究の主な成果について記述した。次に本研究の成果の位置づけ、今後の展望について述べる。

現在、モータで消費される電力損失は、全発電電力量の半分以上を占めていると言われ、全てのモータの効率を 1%向上させるだけで、50 万キロワット出力分の発電所を削減できるとまで言われている。従って、少しでも効率の良いモータの実現は、地球温暖化ガスの排出削減にも結びつき、その効果は絶大である。本研究では、単相電源で使用できる高効率三相モータの具体的な出力向上を目指したが、残念ながら 10%程度の向上に留まった。しかし、その出力向上のための手法や、指針を見出すことができ、また理想に近い三相電圧を得ることに成功することができた。今後は、本研究の成果を活かしたモータ設計を行い、研究を進めることで、本モータは実用化するものと考えている。更なる研究の継続をしたい。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計7件)

Katsubumi Tajima, Tadashi Sato, Yoshinori Sakamoto, Improvement of the Analytical Model of a Laminated Core Parametric Motor, IEEJ Trans. FM, Vol. 128, pp. 527-532, (2008)、査読有

荒雅敏、太田勝、夏坂光男、坂本禎智、パラメトリックモータの発振方程式に関する考察、日本応用磁気学会誌、Vol. 32, pp. 396-404, (2008)、査読有

氏家悠太、夏坂光男、坂本禎智、方向性ケイ素鋼板を用いたパラメトリックモータの内外共通磁路幅とモータ特性の関係、日本応用磁気学会誌、Vol. 32, pp. 405-409, (2008)、査読有

石川謙司、夏坂光男、坂本禎智、単相入力・三相パラメトリックモータの固定子磁化容易軸角度とモータ特性の関係、日本応用磁気学会誌、Vol. 32, pp. 410-414, (2008)、査読有

鈴木裕介、田島克文、佐藤忠、坂本禎智、磁気抵抗回路網解析に基づく単相入力-三相パラメトリックモータの動作解析、日本応用磁気学会誌、Vol. 32, pp. 419-423, (2008)、査読有

井畑貴吉、夏坂光男、坂本禎智、単相入力・三相パラメトリックモータの動作機構に関する検討、日本応用磁気学会誌、Vol. 31, pp. 246-249, (2007)、査読有

田島克文、服部正俊、宮路剛、佐藤忠、坂本禎智、RNA による平面磁路形パラメトリックモータの回転子駆動時の動作解析、日本応用磁気学会誌、Vol. 29, pp. 680-685, (2005)、査読有

[学会発表](計16件)

川守田大志、吉田雅昭、夏坂光男、坂本禎智、単相励磁入力三相パラメトリックモータの三相電圧確立機構に関する考察、電気学会マグネティックス研究会資料 MAG-09-34, 2009.3.27、静岡県熱海市

川守田大志、太田勝、夏坂光男、坂本禎智、単相入力・三相パラメトリックモータの共振側磁気回路と発振条件に関する考察、電気学会マグネティックス研究会資料 MAG-08-123, 2008.10.9、青森県八戸市

川守田大志、夏坂光男、坂本禎智、共振側を分離構造とした三相パラメトリックモータの特性、第32回日本磁気学会学術講演概要集 12pE-16, 2008.9.12、宮城県多賀城市

川守田大志、夏坂光男、坂本禎智、共振側分離方式による三相パラメトリックモータの特性、平成20年度電気関係学会東北

支部連合大会 2I-12, 2008.8.22 福島県郡山市

川守田大志、夏坂光男、坂本禎智、共振側分離方式による三相パラメトリックモータの発振安定化に関する検討、電気学会マグネティックス研究会資料 MAG-08-62, 2008.3.28、石川県金沢市

石川謙司、夏坂光男、坂本禎智、単相入力・三相パラメトリックモータの固定子磁化容易軸角度が与えるモータ特性への影響、電気学会マグネティックス研究会資料 MAG-07-103, 2007.10.5、北海道函館市

石川謙司、夏坂光男、坂本禎智、単相入力・三相パラメトリックモータの固定子磁化容易軸角度とモータ特性の関係、第31回日本応用磁気学会学術講演概要集 14pB-2, 2007.9.14、東京都豊島区

鈴木裕介、田島克文、佐藤忠、坂本禎智、RNA に基づく単相入力-三相パラメトリックモータの解析、第31回日本応用磁気学会学術講演概要集 14pB-4, 2007.9.14、東京都豊島区

石川謙司、夏坂光男、坂本禎智、単相入力・三相パラメトリックモータの固定子磁化容易軸角度とモータに関する検討、平成19年度電気関係学会東北支部連合大会 2I-10, 2007.8.24、青森県弘前市

鈴木裕介、田島克文、佐藤忠、坂本禎智、RNA に基づく単相入力-三相パラメトリックモータの動作解析-その1-、電気学会マグネティックス研究会資料 MAG-06-104, 2006.10.5、秋田県秋田市

鈴木裕介、田島克文、佐藤忠、坂本禎智、単相入力-三相パラメトリックモータの RNA モデルに関する基礎検討、平成18年度電気関係学会東北支部連合大会 2D-25, 2006.9.1、秋田県秋田市

井畑貴吉、石川謙司、夏坂光男、坂本禎智、単相入力・三相パラメトリックモータの動作機構に関する検討、第30回日本応用磁気学会学術講演概要集 13pE-5, 2006.9.13、島根県松江市

石川謙司、井畑貴吉、夏坂光男、坂本禎智、単相入力・三相パラメトリックモータ特性の固定子磁化容易軸角度依存性、第30回日本応用磁気学会学術講演概要集 13pE-6, 2006.9.13、島根県松江市

井畑貴吉、夏坂光男、坂本禎智、単相入力・三相パラメトリックモータの外側共通磁路磁束分布と発振安定性に関する考察、電気学会マグネティックス研究会資料 MAG-06-3, 2006.3.6、福島県郡山市

井畑貴吉、里見泰章、夏坂光男、坂本禎智、単相入力・三相パラメトリックモータの出力向上に関する検討考察、第29回日本応用磁気学会学術講演概要集 19pE-5, 2005.9.19、長野県長野市

井畑貴吉、里見泰章、夏坂光男、坂本禎智、  
単相入力・三相パラメトリックモータの高  
出力化に関する検討、平成 17 年度電気関  
係学会東北支部連合大会 2B -2、2005.8.26、  
岩手県盛岡市

〔その他〕

ホームページ掲載

東奥日報あおもりー押し技術シーズ

単相電源用三相モーター / 高効率で省工  
ネ効果 / 2007.12.6

<http://www.toonippo.co.jp/kikaku/ichioshi/1206b.html>

## 6 . 研究組織

### (1)研究代表者

坂本 禎智 (SAKAMOTO YOSHINORI)

八戸工業大学・感性デザイン学部・教授

研究者番号：60187052

### (2)研究分担者

無し

### (3)連携研究者

無し