

フォトファブリケーションによるコアレスモータの開発

片山 直樹, 齋藤 隆之, 飯野 潔, 中西 洋介, 赤沼 正信,
岩谷 公明*, 大泉 雅靖*, 小原 正秋**

Development of Coreless Motor by Photo-Fabrication

Naoki KATAYAMA, Takayuki SAITO, Kiyoshi IINO, Yosuke NAKANISHI,
Masanobu Akanuma, Kimiaki IWAYA*, Masayasu OIZUMI*, Masaaki OBARA**

抄 録

めっき, エッチング, 写真製版の複合技術であるフォトファブリケーションを用いた電機子回路の形成プロセスを確立し, 高磁束密度を有する磁気回路と組み合わせることにより, 軽量・高出力なフラット形状のコアレスモータを開発した。モータ性能に及ぼす導体厚, 磁束密度および印可電圧の影響について明らかにした。

キーワード: フォトファブリケーション, コアレスモータ

Abstract

The formation process of the armature by photo-fabrication that was composite technology of plating, etching, and lithography was established. A flat type coreless motor combined with this armature and the magnetic circuit was developed. The influence of the conductor thickness, the magnetic flux density, and the applied voltage on the motor characteristic was examined.

KEY-WORDS : Photo-Fabrication, Coreless Motor

1. はじめに

エンジンを動力源とする機器類では排気ガス, 振動, 騒音といった環境負荷や作業負担が問題視されており, モータへの代替が進んでいる。モータ市場は急激に成長しており, 2007年は約8,000億円の市場規模を有している¹⁾。ユーザーニーズとして, 低価格化, 短納期化の他に小型・軽量化や高機能化が求められている²⁾が, 一般的なモータはコアとなる鉄心に銅線をコイル状に巻き付け, 周囲に磁石を配置したシリンダ形状であり, 重く, 容積も大きい。各種の電動機械・装置を小型化・軽量化するうえで課題となっている。また, モータの形状や出力等の仕様はモータメーカーにおいて標準化されており, ユーザーの要求にフレキシブルに対応できないのが現状である。

本研究では, 金属の加工技術の一つであるフォトファブリケーションを用いることにより, 小型・軽量で, ユーザー仕様にフレキシブルに対応できる高出力コアレスモータの開発を目指した。このフォトファブリケーションは写真技術により, 光学的にパターンニングし, 材料の一部を化学的に除去(エッチング), あるいは堆積(めっき)する加工技術である。

ここでは, 開発したモータの構造と加工プロセスおよび性能特性について報告する。

2. モータの構造

本モータは直流ブラシ付コアレスモータである。モータの外観およびパーツを図1に, 構造概略図を図2に示す。コア

* (株)コスモメカニクス

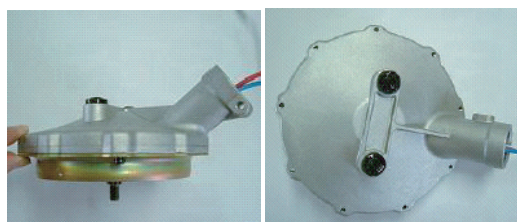
* Cosmo Mechanics Co., Ltd

** (株)中央ネームプレート製作所 ** Central Name Plate Co., Ltd.

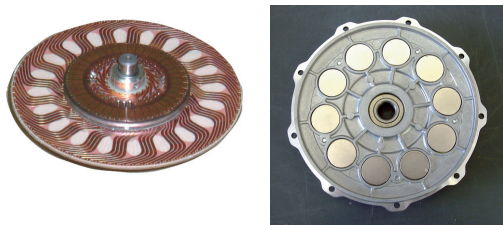
事業名: 重点領域特別研究

課題名: フォトファブリケーションによる小型・軽量モータの開発

レスのディスク型電機子が中央に位置し、その両側に配置した永久磁石とヨークによって磁気回路を構成している。直流電源から、ブラシと整流子を介して電機子に電流を供給する。N、Sを交互に並べた磁石の極性に応じて、電流の向きを整流子によって切り替えることにより、継続的な電磁力を得る。一般的なモータの電機子は被覆銅線をコアにコイル状に巻きつけているが、本モータはめっき、エッチング、写真製版等を組み合わせたフォトファブ리케이션によって絶縁板上に銅回路を形成することでコイルを代替した。



(a)モータ外観



(b)電機子

(c)磁気回路

図1 コアレスモータ

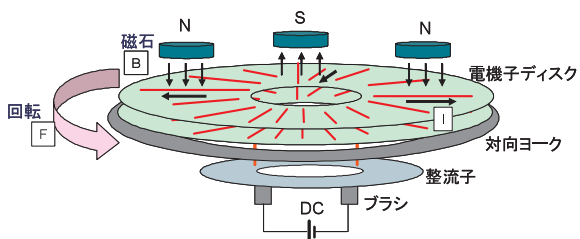


図2 モータの構造

3. 電機子回路の加工プロセス

電機子回路の加工プロセスを図3に示す。①ガラス繊維にエポキシ樹脂を含浸させた絶縁体に銅板を両側に貼り付けた銅張積層板を基材とする。②表裏の導通を得るため、所定の箇所に穴を明けて、銅めっきを施すことでスルーホールとする。絶縁樹脂上へめっきのため、めっき前処理として、触媒処理および無電解銅めっきを行った後、電気銅めっきによって一定の厚みを形成する。③紫外線に感光するフィルムを基材の表裏にラミネートし、パターンニング用マスクフィルムを介して紫外線露光する。④弱アルカリ溶液で現像し、紫外線

非照射部の感光性フィルムを取り除く。⑤紫外線露光されたフィルムをエッチングレジストとし、露出した銅を塩化第二銅溶液にて溶解した後、強アルカリの水酸化ナトリウム溶液でレジストフィルムを取り除く。⑥規定のサイズに切削加工して、1枚の電機子ディスクが形成される。⑦巻き線数を増やすため、ディスクを複数枚積層して接着する。接着材には半硬化状態のエポキシ系フィルムを用い、ホットプレスで成型する。⑧同様のプロセスで整流子回路を形成し、電機子ディスクとはんだ付けにより接続する。

以上のように、本開発モータはマスクフィルムの設計によって容易に電機子回路を変更することが可能であり、ディスクの径や重ね枚数によって、フレキシブルにモータ特性を制御できることを特徴としている。

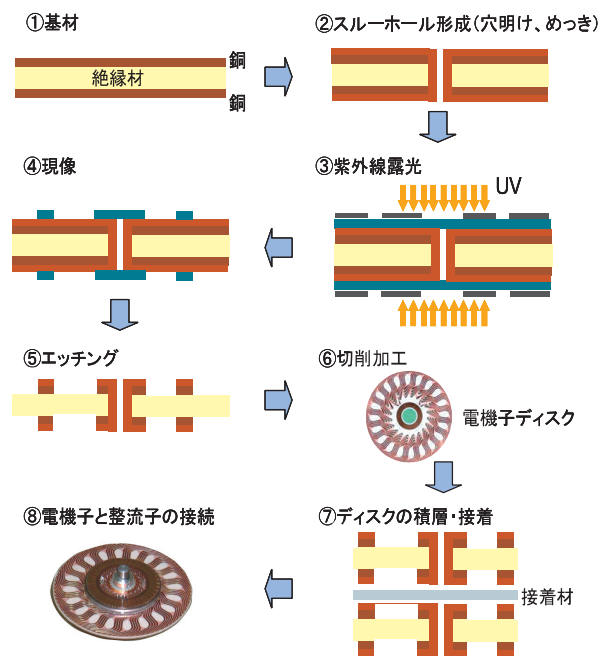


図3 電機子回路の加工プロセス

4. モータの特性

4.1 特性評価方法

開発したモータの特性について、導体厚、磁気回路および印可電圧を変動因子として評価試験を実施した。

モータは電気エネルギーを機械的エネルギーに変換する装置であるから、特性の把握には入力としての電圧と電流、出力としての回転数とトルクを計測評価する。評価装置として、図4に示すトルク試験器（小野測器製TS-7700）を用いた。この試験器はヒステリシスブレーキによって、モータに連続的なトルクを加え、そのときの電流、電圧および回転数を計測し、モータの入出力と効率を算出し、モータ特性を自動計測する機能を有している。

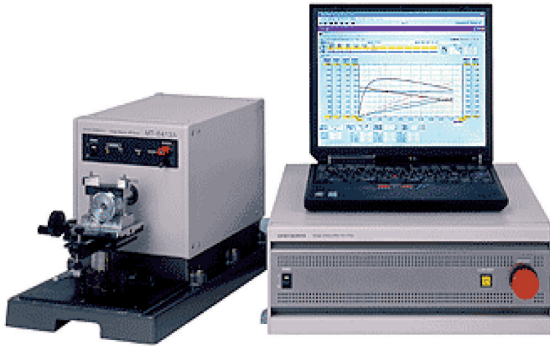


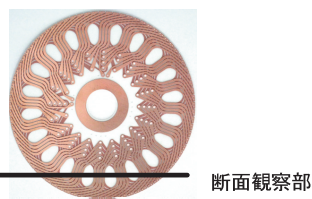
図4 トルク試験器 (TS-7700)

4.2 導体厚の影響

電機子回路の導体厚さの違いによるエッチング加工性およびモータ特性を評価した。基材の銅板厚 (18, 35, 70, 105, 175 μm) とめっき厚 (25 μm , 50 μm) によって導体厚を 43~225 μm として試験に供した。

4.2.1 加工特性

各導体厚さの基材について、同じマスクフィルムを用いて回路形成したときの電機子の断面写真を図5に示す。導体の厚みが43 μm と薄い場合は、回路のトップ (上部) とボトム (下部) の幅はほぼ同じであるが、銅の厚みが増えるほど、ボトムの幅が大きく、トップが細ることが確認された。これはエッチング過程で、レジストフィルム下の銅が横方向から溶解されるサイドエッチング現象によるものである。トップとボトムの幅を均一化するためには、銅の溶解性能が高い塩化第二鉄溶液等のエッチング液を用いることや設計段階で導体厚みに応じてマスクフィルムのパターン幅を補正する等の対応が必要と考えられる。



導体厚43 μm	導体厚95 μm
導体厚155 μm	導体厚225 μm

図5 電機子回路の導体断面

4.2.2 モータ特性

磁束密度 (430mT) と印可電圧 (25V) を同一条件として、モータ特性に及ぼす導体厚の影響を調べた。導体厚43 μm 、導体厚225 μm におけるモータ特性図6, 図7に示す。無負荷では導体厚によらず、ほぼ同程度の回転数であるが、導体厚が43 μm と薄い場合には、トルクを増やすと急激に回転数が低下し、さらにトルクが大きくなると発熱により、樹脂が劣化して絶縁不良を起すことが確認された。一方、導体厚が225 μm と厚い場合はトルク増に伴う回転数の低下は緩やかであり、最大出力も200W以上となった。図8に示した導体厚と出力および効率の関係より、導体厚が増えるほど、出力と効率が向上することが明らかである。これは導体厚が増えることで、電機子回路の電気抵抗が小さくなることによるものであり (図9)、薄い導体厚では、電気抵抗に伴うジュール熱によって銅損が生じている。

導体厚を厚くすると安定したモータ特性が得られることが確認されたが、材料コストやエッチング等のプロセス負荷が増大することから、仕様に応じた材料選択が必要となる。

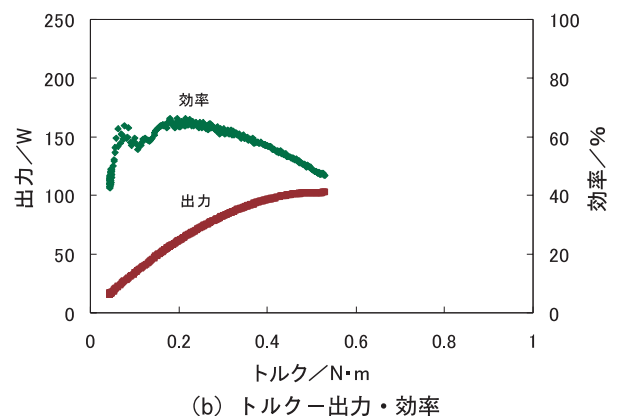
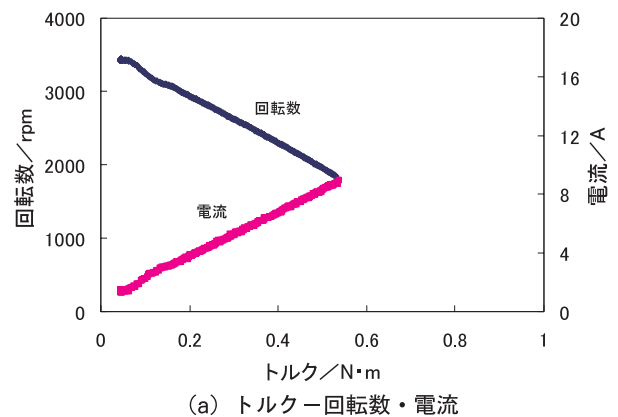
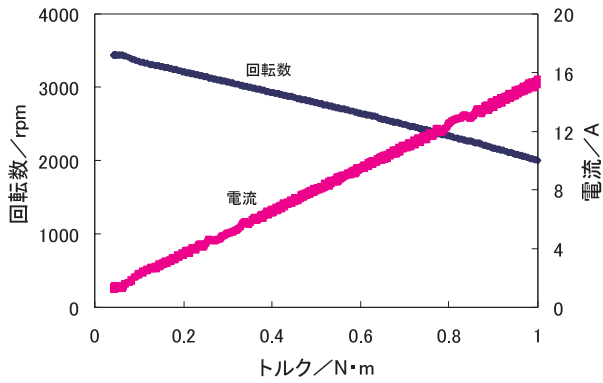
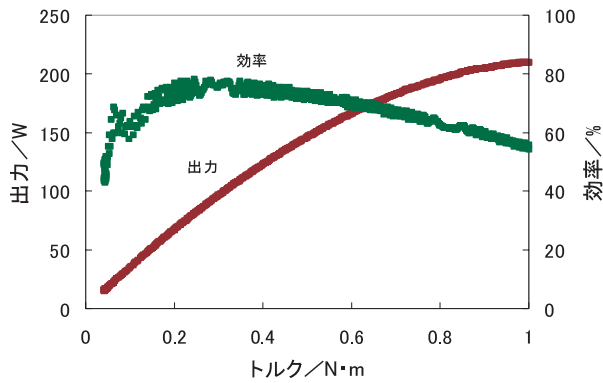


図6 導体厚43 μm のモータ特性 (印可電圧25V)



(a) トルク-回転数・電流



(b) トルク-出力・効率

図7 導体厚225 μ mのモータ特性 (印可電圧25V)

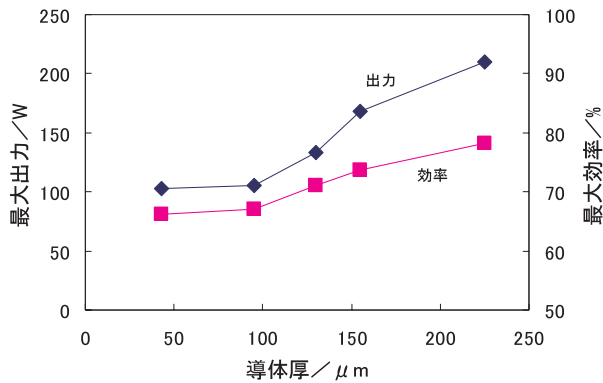


図8 導体厚とモータ特性

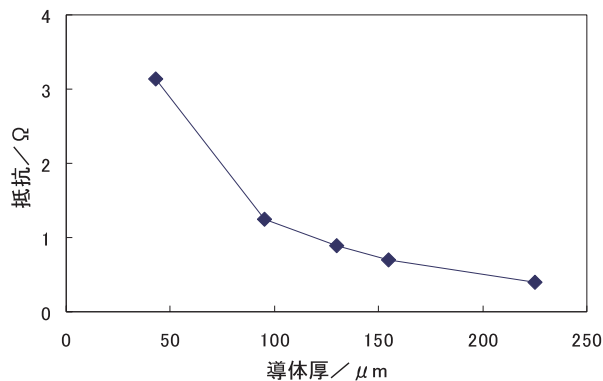


図9 導体厚と回路抵抗

4.3 磁気回路

4.3.1 磁束密度

磁気回路とモータ特性の関係を把握するため、各種磁気回路における磁束密度を評価した。磁束密度の測定には電子磁気工業(株)のガウスメータ (GM-301) を用いた。磁気回路の構成を図10に示す2種とし、エアギャップ (磁石とヨークの距離) を2 mmと固定したときの磁石の種類、形状毎の磁束密度は表1となる。フェライト磁石では100mT程度であるが、ネオジム系磁石では430mTとなり、N極とS極を対向させることで600mT以上の磁束密度が得られることが確認された。

4.3.2 三次元磁束分布

磁力線は最も近接した磁性体間で引き合うことから、本モータでは電機子回路に効率よく磁束が生じるよう、となりあう磁石間距離と磁石厚よりもエアギャップが狭くなるように磁気回路を設計した。

この磁気回路の三次元的な磁束分布を(株)アイエムエス製マグネットアナライザ (MTX-4 R) によって評価した。本装置は三軸プローブにより、軸方向、接線方向、軸方向の磁束密度を同時に計測することができる (図12)。磁気回路 (図3 (c)) を1回転する毎にプローブ位置を径方向に1 mm移動させて、磁束分布を測定した結果を図13に示す。合成値は各成分の二乗和の平方根で表わしている。3成分共に各10極の磁石に磁束の乱れが無く、効率的な磁気回路が構成されていることが明らかとなった。

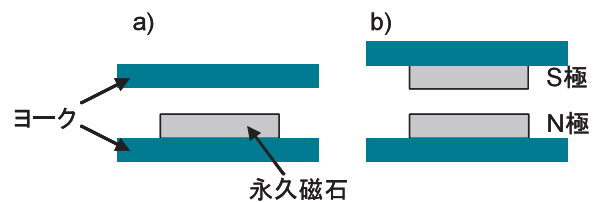


図10 磁気回路

表1 磁気回路と磁束密度

構成	磁石			磁束密度 (mT)
	種類	径 (mm)	厚さ (mm)	
磁石-ヨーク	フェライト系	20	4	105
磁石-ヨーク	サマリウム・コバルト系	20	4	285
磁石-ヨーク	ネオジム系	20	4	430
磁石-ヨーク	ネオジム系	20	2	180
磁石-ヨーク	ネオジム系	20	8	635
磁石-磁石	ネオジム系	20	4	625

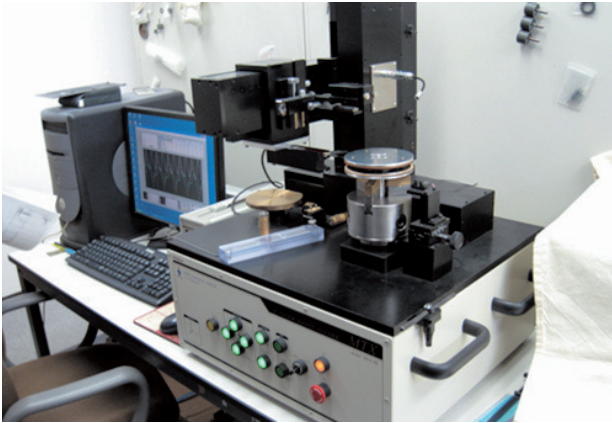


図11 マグネットアナライザ (MTX-4R)

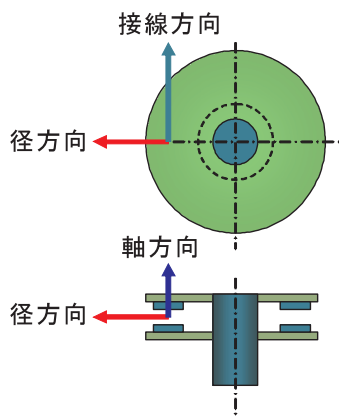


図12 計測方向

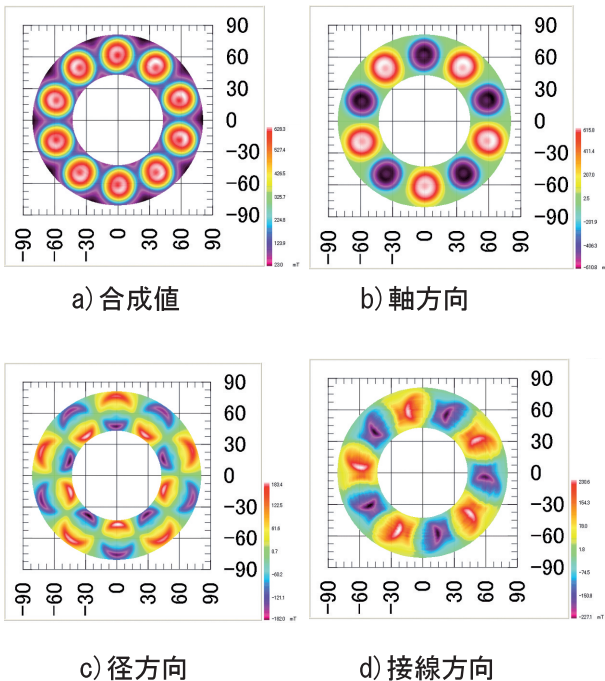


図13 磁束分布

4.3.3 モータ特性

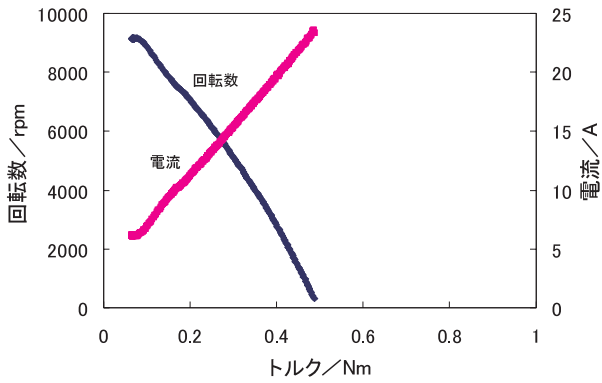
同一の導体厚 ($155\mu\text{m}$) および印可電圧 (25V) において、磁束密度とモータ特性の関係を評価した。図14に磁束密度 105mT のフェライト磁石を用いた特性を、図15にネオジウム磁石を対向させた磁束密度 625mT の場合を示す。磁束密度が小さい場合は、無負荷時の回転数が $10,000\text{rpm}$ と高速になるが、負荷(トルク)をかけると急激に電流が増え、回転が停止する。一方、高磁束密度の場合は、無負荷回転数は $2,500\text{rpm}$ とフェライトの $1/4$ 程度であるが、トルクを増やしても回転数の低下が緩やかであり、高トルクモータとなることがわかった。両者とも最大出力に大きな違いは無いが、磁束密度が大きい場合は効率が向上することが確認された。

導体厚と同様に、要求仕様や重量およびコストを考慮して、磁気回路を設計する必要がある。

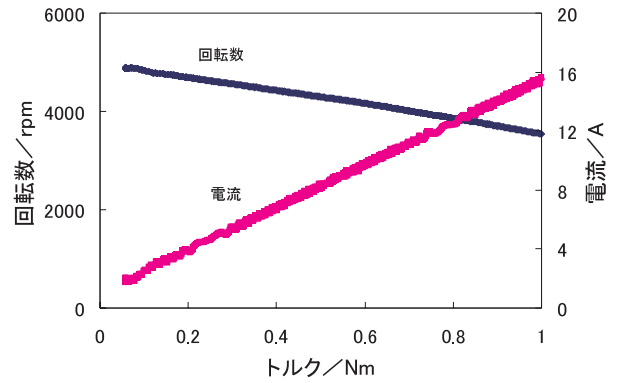
4.3.4 印可電圧と特性

電機子導体厚 $155\mu\text{m}$ 、磁束密度 430mT として、印可電圧 36V における特性を評価した(図16)。同じ導体厚、磁束密度において印可電圧 25V で試験した図7の結果と比較して、印可電圧を上げることで回転数が増え、高出力化していることがわかる。

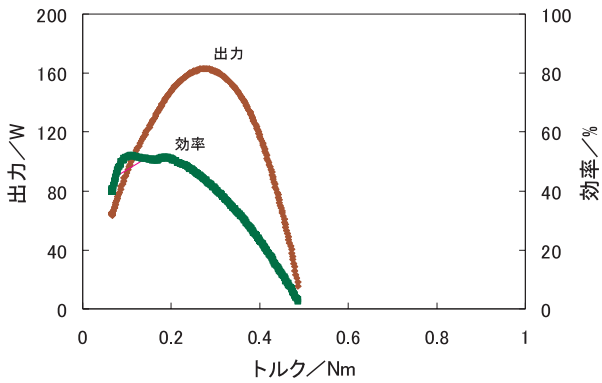
印可電圧 45V の試験結果を加えトルクと回転数の関係を図17に示す(近似線による)。トルクに対して直線的に回転数は降下し、この直線は印可電圧に応じてほぼ平行移動していることから、電圧によって回転制御が可能なモータであることを確認した。



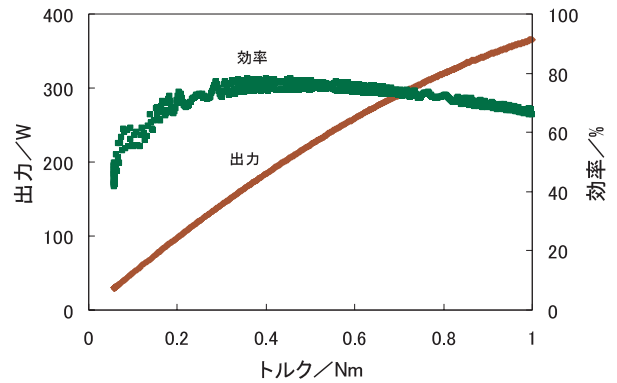
(a) トルクー回転数・電流



(a) トルクー回転数・電流



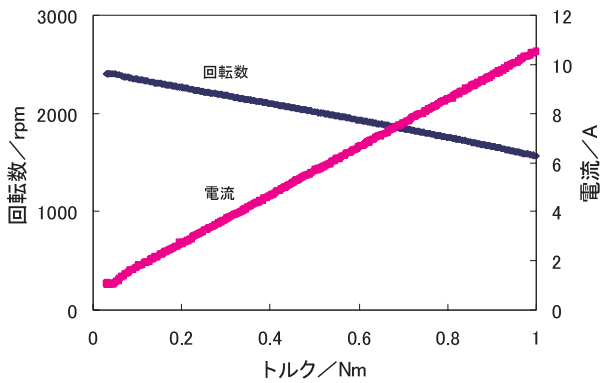
(b) トルクー出力・効率



(b) トルクー出力・効率

図14 磁束密度105mTのモータ特性 (印可電圧25V)

図16 印可電圧36Vのモータ特性 (導体厚225 μ m 磁束密度430mT)



(a) トルクー回転数・電流

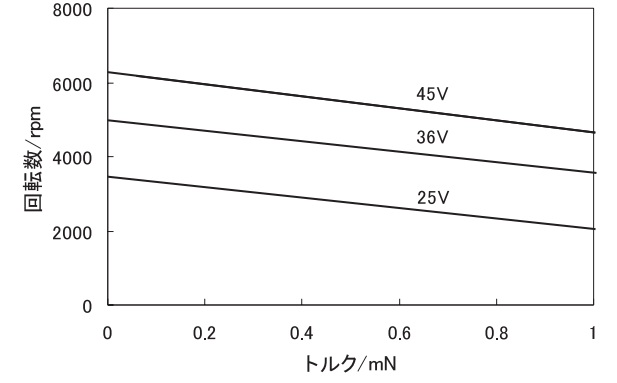
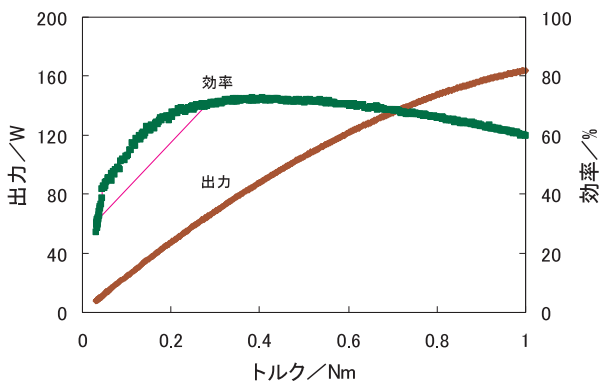


図17 各印可電圧におけるトルクー回転数



(b) トルクー出力・効率

図15 磁束密度625mTのモータ特性 (印可電圧25V)

5. まとめ

めっき，エッチング，写真製版技術を複合したフォトファブリケーションによる電機子回路の形成プロセスを確立し，フラット形状のコアレスモータを開発した。

モータ特性におよぼす導体厚，磁気回路，印可電圧の影響を明らかにした。

現在，共同研究企業では，本モータを搭載した小型エンジン代替製品や新たな電動装置の開発を進めている。

今後は，さらなる高出力化，高効率化に向けて技術開発を進めるとともに，発電装置への応用を検討する。

引用文献

- 1) 経済産業省：生産動態統計機械統計，(2007)
- 2) (株)日本電機工業会：電動機・インバータに関するユーザ調査報告書，(2004)