

# 超高速ポリゴンモータの効率化

Higher-Efficiency for High Speed Laser Scanning Motor

小林 浩志\*  
Kobayashi, Hiroshi

黒沢 高昭\*  
Kurosawa, Takaaki

High speed image processing of digital copiers and laser printers requires high speed laser beam scanning. To achieve such high speed rotation as 40,000 rpm or more, it is necessary to improve motor efficiency.

The following report introduces the implementation of this difficult theme by means of two methods, reduction of magnet attraction with increasing the gap between the magnet and the state yoke which reduces starting current, and optimization of the hall sensor position which reduces temperature rise. Consequently a high efficiency laser scanning motor development has been accomplished.

## 1 はじめに

ポリゴンモータはポリゴンミラーを高速回転させることでレーザー光を感光体ドラム上に走査するモータであり、レーザー書き込みユニットのキーパーツである。近年、デジタル複写機およびレーザープリンターのさらなる高速化・高精細化にともない40,000rpm（回転数/分）以上の超高速回転が要求されている。ポリゴンミラーを高速度で高精度に回すためには、

- ①ミラーによる風損の低減
- ②軸受部による損失の低減
- ③遠心力および発熱による部品歪みの低減
- ④磁気回路の効率化および駆動回路の最適化

が重要なポイントである。現在、セラミック軸受によるエアベアリングを開発<sup>1) 2)</sup>し、約25,000rpmのポリゴンモータに量産適用している。さらに高速回転させるためにはモータの効率を高め、モータの発熱を低減することが重要な課題となる。本文では磁気回路の効率化と駆動回路の最適化による超高速ポリゴンモータの開発について報告する。

## 2 ポリゴンモータの構造

開発した高速ポリゴンモータの外観写真をFig.1に示し、概略断面図をFig.2に示す。ミラー形状はレーザー書き込みユニットの仕様にて決まり、内接円：φ37mm、ミラー厚：4mm、面数：6面とした。

軸受構造はセラミック動圧エアベアリング方式を採用し、ロータ（ミラーを含む回転部）の回転とともにスラスト軸受に形成した溝により外気を巻き込み空気層を形成することで浮上する。定常回転時は非接触であるため低振動・低騒音、高信頼性、長寿命が特徴である。

モータ構造は小型にするためにプリント基板上にコイ

ルを配置し、ロータにリング状の磁石を取り付けた面対向型ブラシレスDCモータ構造を採用した。磁気回路構成は、外形φ33mm、内径φ27mm、厚さ2mmのリング状ネオジウム焼結磁石、着磁局数8極、コイル数6個とし、速度および位置検出にはホール素子を使用した。

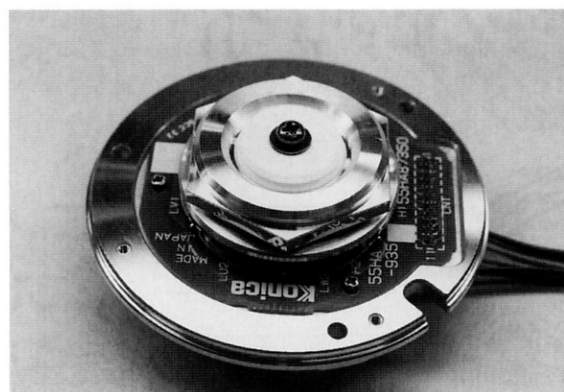


Fig.1 High speed laser scanning motor.

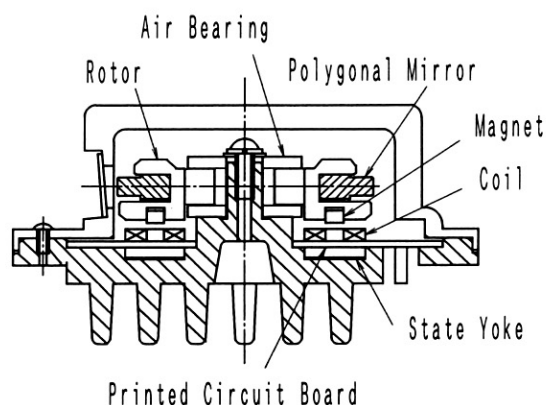


Fig.2 Construction of laser scanning

\* 機器生産事業部 技術部

ポリゴンモータは高精度な回転を要求されるため、モータ速度制御は速度に比例するFG信号(Frequency Generator)と基準クロックとの位相を比較し、位相を一致させるように制御するPLL(Phase Locked Loop)方式を採用した。また、モータ駆動は駆動回路の損失を低減するためにモータ印加電圧を変調するPAM(Pulse Amplitude Modulation)方式とした。

### 3 ポリゴンモータの効率化

#### 3.1 磁気アップと吸引力低減構造による効率化

モータを回転させる電磁力(F)は、フレミングの左手の法則に従い、(1)式で表される。

$$F = B \cdot L \cdot I \quad [\text{N}] \quad \dots\dots (1)$$

- B: 空隙磁束密度 [T]
- L: 磁束と鎖交するコイル長さ [m]
- I: コイルに流れる電流 [A]

また、コイルに電流が流れるとジュール熱(J)が、

$$J = I^2 \cdot R \quad [\text{W}] \quad \dots\dots (2)$$

により発生し、モータ発熱の原因となる。

上式よりポリゴンモータを高速で回転させるには強い電磁力が必要であり、効率的に強い電磁力を得るには磁石の磁力を強くすれば良いことがわかる。Fig.3に磁石の磁力を変えたときのモータ消費電流と回転数との関係を示す。磁力が強い方が消費電流が低減しモータ効率が良いことが確認できる。なお、磁力は磁石の厚みにより増大させた。

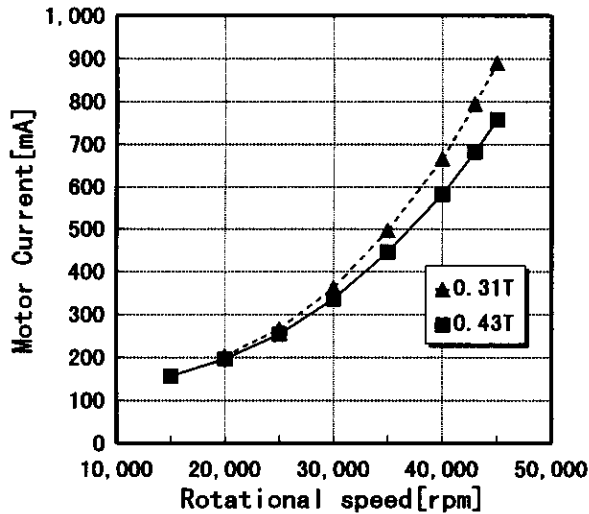


Fig.3 Effect of magnetic force on motor current.

ところが、磁石の磁力を上げると固定ヨークとの間に働く吸引力(f)は、

$$f = (1/2 \mu_0) \cdot B^2 \cdot S \quad [\text{N}] \quad \dots\dots (3)$$

- $\mu_0$ : 真空中の透磁率  $4\pi \times 10^{-7}$  [T/m]
- S: 永久磁石の面積 [m<sup>2</sup>]

となり、式のように磁束密度の2乗で増大してしまう。

今回採用した動圧エアベアリングはロータの回転とともに外気を巻き込んで浮上する方式のため、磁石の吸引力の増大はモータの起動時には大きな負荷であり対策が必要となる。吸引力対策として、磁石とコイルとの位置を維持したまま、磁石と固定ヨークとの距離を離すことによる吸引力低減を実施した。

磁石-固定ヨーク間距離と磁石吸引力との関係を Fig.4 に示す。吸引力はおおよそ距離の2乗で減衰しており吸引力の低減に効果があることがわかる。Fig.5にコイルの中心付近に配置したホール素子の出力の結果を示す。ホール素子出力の低減が少ないことからコイル近傍の磁束密度は保持されており、固定ヨークを離しても磁気回路への影響は小さいことが予想できる。

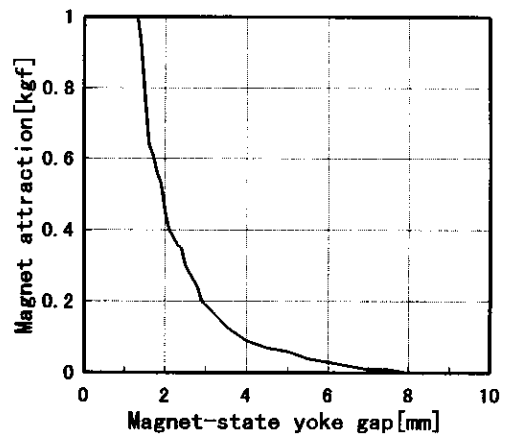


Fig.4 Relationship between magnet attraction and magnet-state yoke gap.

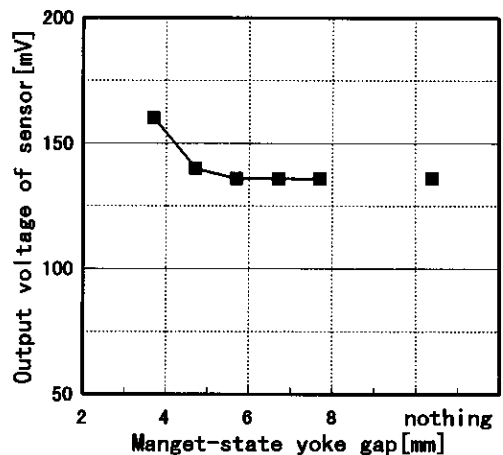


Fig.5 Relationship between output of hall sensor and magnet-state yoke gap.

Fig.6に磁石-固定ヨーク間距離を変化させた時のモータ消費電流と回転数との関係を示す。固定ヨークを取り除いた場合には消費電流は増大してしまうが、固定ヨークを4~5mm程度離れた場合には消費電流はほとんど変

化していない。固定ヨークを磁石から離すことは定常回転特性には影響しないことがわかった。

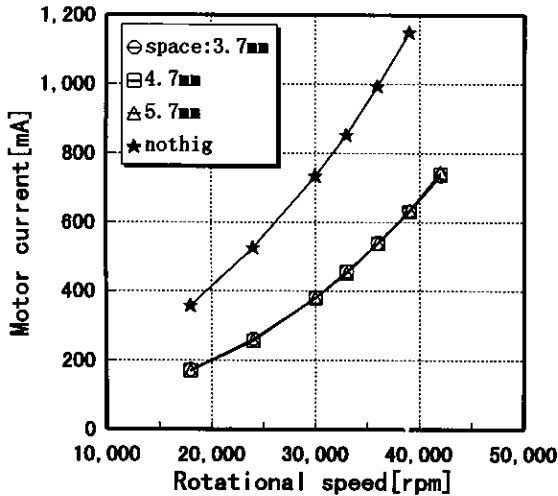


Fig.6 Influence of magnet-state yoke gap on motor current.

モータ起動時は、スラスト軸受に接触している状態から回転を始めるため磁石の吸引力の影響を受ける。モータ起動に必要な電流と磁石-固定ヨーク間距離との関係を Fig.7 に示す。磁石-コイル間距離、コイル高さ、プリント基板の厚さを考慮すると、磁石と固定ヨークとの最短距離は約 4mm となり、ここから更に 1.5mm 離すことにより起動に必要な電流を約 1/2 にまで低減できることがわかる。固定ヨークを磁石から離すことによりスラスト軸受への負荷を低減できることがわかった。

また、駆動回路において電気部品のスペックは起動電流仕様でほぼ決まっているため、起動電流の低減は部品のコストダウンと動作マージンアップとなる。

磁石の磁力をアップさせながら、磁石-固定ヨーク間距離による吸引力の影響を低減させることによりモータ効率を約 20% 向上させることができた。

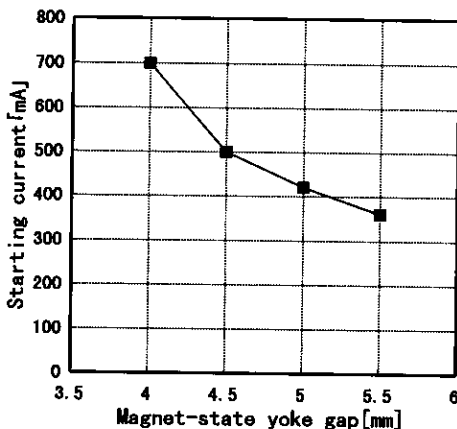


Fig.7 Effect of magnet-state yoke gap on starting current of motor.

### 3.2 駆動タイミングの最適化

ポリゴンモータの基本回路のブロック図を Fig.8 に示す。磁石の着磁パターンをプリント基板上の 3 つのホール素子が検出し、その 3 つの信号の組み合わせに従って指定されたトランジスタが動作し、所定のコイルに PAM 駆動回路で制御された電圧が印加される。コイルに電流が流れることにより電磁力が発生し、ロータが回転する。ポリゴンモータが高速になると駆動回路の信号処理時間およびトランジスタのスイッチング時間等の遅れが無視できなくなってくる。コイルの駆動タイミングが遅れると、モータ駆動損失となり損失分は発熱することになる。

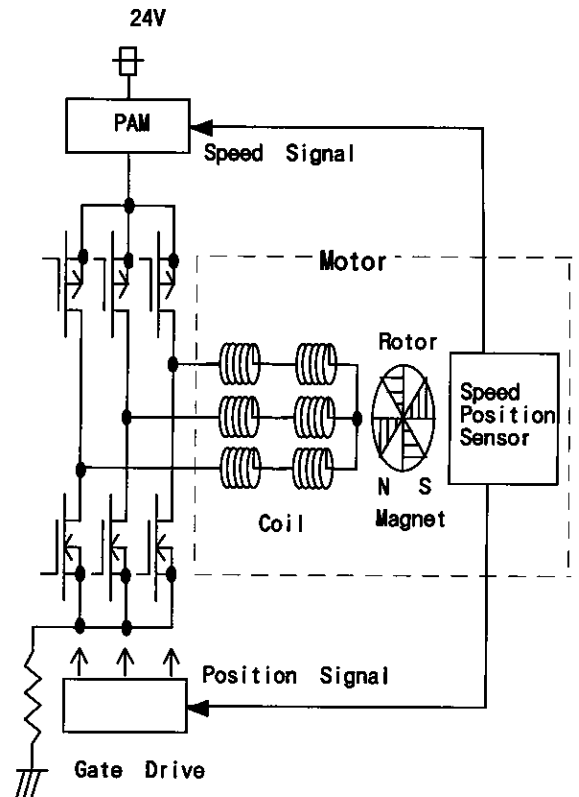
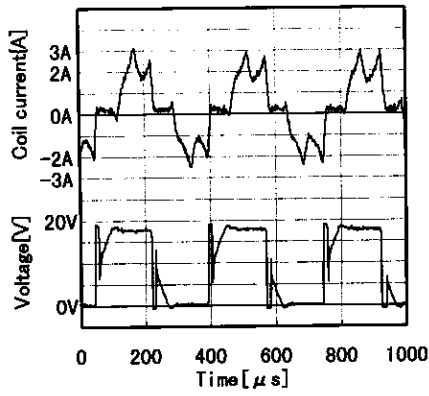


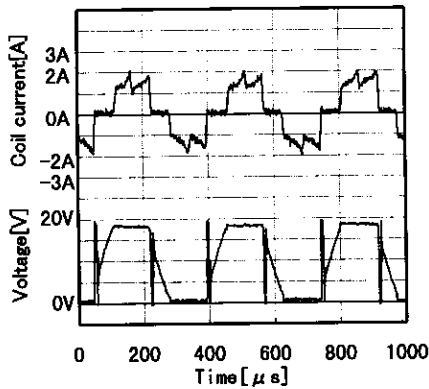
Fig.8 Block diagram of motor drive circuit.

コイルの電流の切り替えは着磁パターンの NS 極の切り替わり位置（ゼロクロスポイント）を検知することでやっているため、ホール素子とコイルとの相対位置をずらすことはコイルの駆動タイミングを変化させることになる。コイルの駆動タイミングを最適化するためにコイルとホール素子との相対位置を補正した。補正量は実際の駆動回路の遅れ時間より求めた。

補正前後のコイルの電流波形と電圧波形を Fig.9 に示す。図中の (a) は補正前の波形であり、(b) は補正角度 5° の波形である。駆動タイミングが遅れている場合の特徴は、補正前の電流波形に顕著に表れている電流ピークが高い点であり、モータ消費電流およびモータ発熱に影響する。



(a) Hall sensor position : 0°



(b) Hall sensor position : 5°

Fig.9 Influence of hall sensor position on coil current and coil voltage wave forms of motor.

Fig.10 にホール素子の位置を変化させた時のモータ消費電流を示す。コイルの電流波形を適正にすることによりモータ消費電流を低減できることがわかる。今回用いた駆動回路では最適補正角度は5°となり、これは、43,000 rpm にて約 20 μS のタイミング補正にあたる。

Fig.11 にポリゴンモータを約 200×300 mm のアルミ板に取り付け、43,000 rpm 回転させた時のモータカバー表面温度の変化を示す。温度上昇が 4.4 deg 低減しており、コイルの駆動タイミングの最適化によりモータ効率を向上することができたことがわかる。

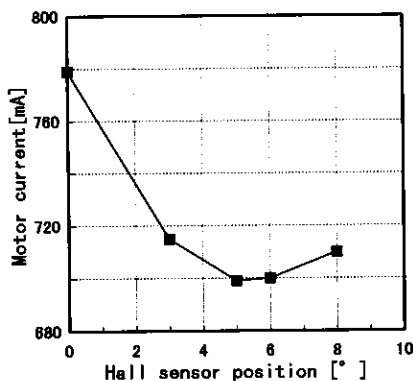


Fig.10 Relationship between hall sensor position and motor current.

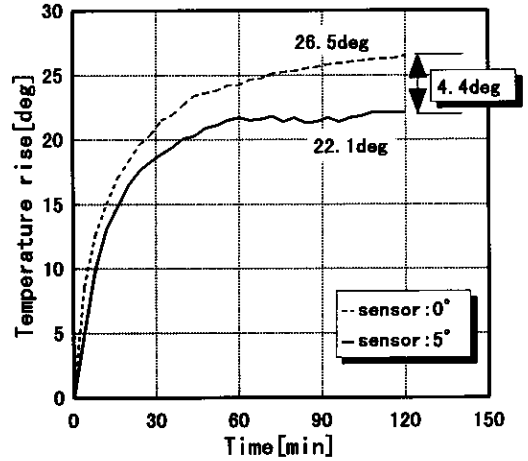


Fig.11 Effect of hall sensor position on temperature rise of motor.

#### 4 まとめ

スラスト軸受動圧により浮上するタイプのエアベアリングを利用した超高速ポリゴンモータの効率化に、

- 1) 磁石の磁力アップと磁石-固定ヨーク間距離による磁石吸引力の低減との組み合わせによる磁気回路の効率化
- 2) 磁石の着磁パターンを検知するホール素子とコイルとの相対位置補正による駆動タイミングの最適化が有効であることがわかった。

今回開発したポリゴンモータの代表的な性能を Table 1 に示す。

Table 1 Typical specifications of high speed laser scanning motor.

Mirror facet	6
Inscribed circle	φ 37mm
Mirror thickness	4mm
Rotational speed	43,000rpm
Motor current	0.7A
DC power supply voltage	24V
Jitter (low frequency)	~0.02%
Jitter (radio frequency)	~0.01%
Tilting angle error	~60"

#### ●参考文献

- 1) 岩村義雄 他、Konica Tech. Rep.,5,120(1992).
- 2) 畚 雅夫 他、Konica Tech. Rep.,9, 43(1996).