

エアベアリング搭載高速ポリゴンユニットの開発

The Development of High Speed Optical Scanner Unit using Gas Bearing

伊 雅 夫*
Itoh, Masao

山 本 和 典**
Yamamoto, Kazunori

The demand for full color, high speed and high quality in digital information machines has created the need for the development of high speed optical scanner units. To meet this need, we have developed high quality, compact and low price self acting gas bearing of more than 30,000 rpm.

1 はじめに

近年、デジタル複写機、レーザービームプリンタ等に代表されるデジタル情報機器の高速化、高画質化、カラー化に伴い、光走査系の主要部品であるポリゴンミラースキャナーユニットにも高速高精度の性能が要求されている (Fig.1 参照)。

この要求に答える為、エアベアリングを採用した高速ポリゴンユニットが各社から発表されているが、ユニットの性能や取扱い易さ、サイズや価格等が障害となり広く普及するには至っていない。

我々は今までにエアベアリングの理論解析、加工技術開発を行い技術蓄積を行ってきたが、その成果として、性能安定性や量産性に優れ、小型化、低価格化を実現したエアベアリング搭載高速ポリゴンユニットを開発したのでここに報告する。

- 1) セラミックス製サンドイッチ軸受構造の採用による起動特性や耐環境性の向上と傾斜設置の可能化
- 2) アキシタル型モータの採用とドライバー体型による低消費電力と小型化
- 3) ポリゴンロータの精密2面バランス調整による振動低減と高速回転性能の安定化

このユニットの外観を Fig.2 に、構造図を Fig.3 に示す。次節以降でこれらの特徴について説明する。

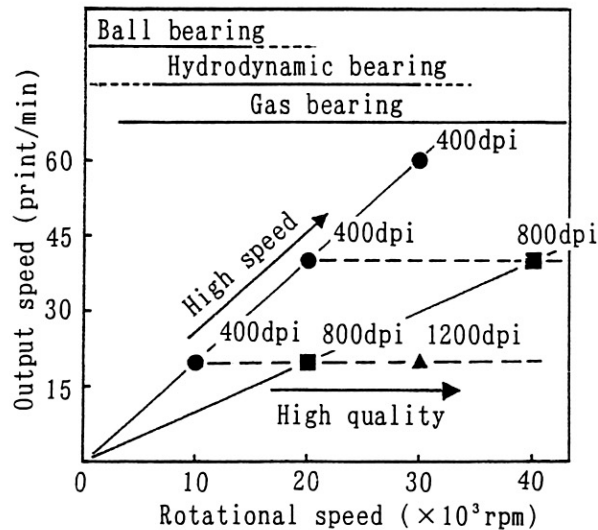


Fig.1 Adaptability of various bearings

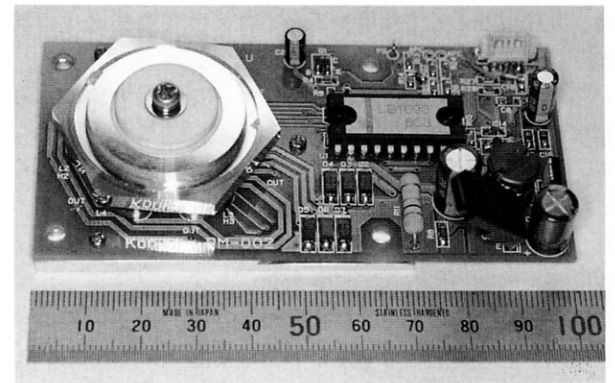


Fig.2 High speed optical scanner unit using gas bearing

2 高速ポリゴンユニットの特徴

開発したエアベアリング搭載ポリゴンユニットは以下に示すような特徴を持つ。

- * 機器生産事業部 生産技術部
- ** 技術研究所 研究グループ

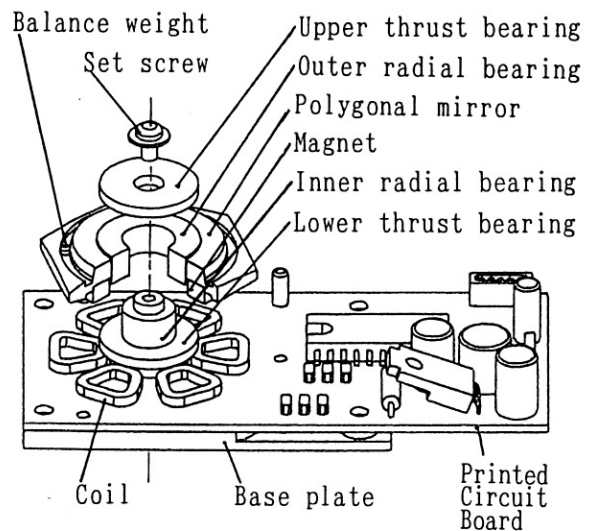


Fig.3 Composition of the scanner unit

3 高速ポリゴンユニット採用技術

3.1 動圧軸受

エアベアリングは、回転部と固定部の間に空気層を作り、非接触状態でベアリング機能を持たせることに特徴があり、ポリゴンユニットでは回転部自らの回転により外気を巻き込み空気層を形成する動圧式エアベアリングが主に用いられる。

動圧式はユニットの小型化が図れる反面、1) モータの起動停止時に発生するベアリング回転部と固定部の接触による軸受摩擦や焼き付き、2) 起動時の軸受摩擦トルクが大きいことによる起動不良、3) 軸受の剛性が低く外部振動など外乱の影響を受け易い等の問題があり、ベアリングの材質と構造上の検討が重要となる。

3.1.1 軸受材質

軸受材質としてアルミやステンレス等の金属を用い、焼き付き等の対策として樹脂コートを実施するのが一般に行われている。しかし、樹脂コートでは耐環境性や起動停止耐久性に問題が残る。そこで、焼き付きに強く耐久性にも優れた材質としてセラミックスの採用が考えられるが、動圧軸受として使用するために必要な動圧発生用溝加工の困難性という問題があった。

動圧発生溝は、例えば幅数百 μm 、深さ数 μm であり金属ではエッチングやレーザ加工により造ることが出来るが、セラミックスの場合には耐薬品性や耐熱性に優れているためこれらの加工法を用いることは困難である。そこで、セラミックスの脆性に着目し μm オーダーでの脆性破壊を制御可能な加工法を開発し、動圧発生溝の加工を実現した。この加工法は金属のエッチングと同様に複数の溝を同時に加工できるため、量産性にも優れている。また、薬品なども使わないため生産工程の環境に対する影響も小さいことが特徴である。

Table 1 Adaptability comparison of metal and ceramics for gas bearing

Contents	Metal	Ceramics
Environment resistance	△	◎
Contact resistance	×	◎
Cost	△	△→○
Productivity	○	×→○

3.1.2 軸受構造

セラミックス製の動圧式エアベアリング構造を Fig. 4 に示す。我々の開発した軸受の構造上の特徴は

- 1) 回転部を上下2枚のスラスト板で挟み込み軸受剛性を向上し、外部振動などによる回転変動や接触を低減。
- 2) 回転部と固定部のギャップを最適化し、接触時は接触エネルギーの小さいラジアル軸側で当たる構造としたことで焼き付きを防止。
- 3) 回転部と固定部の軸受面の表面粗さを変えることで

起動時の摩擦トルクを低減。

- 4) アクシシャル型モータとの組み合わせにより負荷荷重の80%以上を下スラスト板が負担することで、設置姿勢の影響を低減。

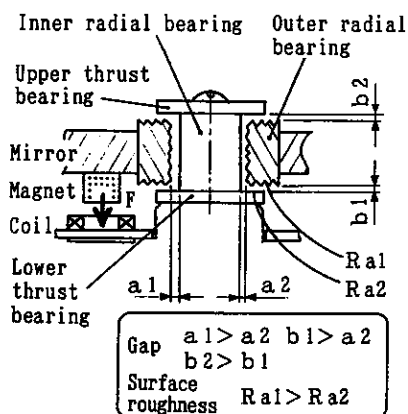


Fig. 4 Structure of gas bearing

この動圧軸受を用いることで、従来問題となっていた起動停止耐久性50万回以上を達成し、設置姿勢による影響も小さく抑えることが可能となった。

この軸受け構造の特性の一例として Fig. 5 に設置姿勢と倒れ角、ジッタの関係を示す。

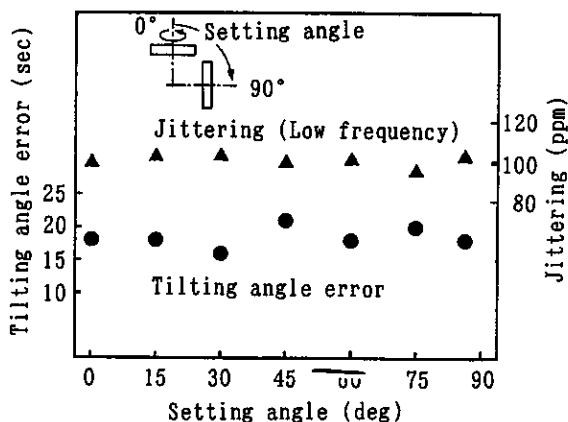


Fig. 5 Tilting angle error, Jittering to setting angle (at 20,000 rpm)

3.2 モータPCB (Printed Circuit Board)

今回開発したポリゴンユニットは20,000 rpm以上での使用を目的としており、その駆動・制御回路にも特別な仕様が要求される。また、機器のダウンサイジングにとれない、本ユニットはロータ部、電気回路部の一体化により小型化を実現し、汎用性の高いものとなっている。これらの条件を満たすためには、低損失、低発熱、低騒音等の特性を実現可能とする技術が必要である。

以下に今回開発したモータPCBの特徴を記述する。

3.2.1 駆動部

駆動部の心臓部となるモータドライバICには、高速回転時に必要とされる大電流、高精度、低損失といった特

性を実現するために、PAM (Pulse Amplitude Modulation) 駆動制御を行う IC を採用した。PAM 駆動制御は、IC 外付けのスイッチングレギュレータによりモータ電源電圧をコントロールし、モータが必要とする最低限度の電圧を供給することにより、ほとんど損失のない駆動が可能である。またこの方式は、低騒音化やパワートランジスタの ASO (Area of Safe Operation) の耐久性の向上に有利でもある。さらに、損失がほとんどないことから、発熱も最小限度に抑えられた。

一方、ステータコイルもモータ回転トルクを発生する駆動のキーパーツで、高速回転に対応するためには、それに即した設計を必要とする。起動時のステータコイルには大電流が流れ、定常高速回転時には逆起電圧が高くなる。ここで、コイルの抵抗値が大きいほど起動時の発熱が大きくなり、インダクタンスが大きいほど高速回転時の逆起電圧が高くなる。逆起電圧が高くなるほどモータ電源の電圧には、より高圧が要求され高速回転に不利となるが、当然のことながらインダクタンスが大きいほどトルクが大きくなるので、インダクタンスについては、ロータの磁気回路のコンピュータシミュレーションを含め最適化設計を行なった。

本ユニットでは、ステータコイルの形状は空芯の板状コイルとし、トルクをより稼ぐために、トルク発生部分となるモータ軸の径方向の部分より長くするようにした。また、抵抗値を下げるために巻線径はサイズの許す範囲で大きくした。さらに、鉄芯があるタイプのコイルは鉄損による発熱があるのに比べ、このコイルは空芯であるため無駄な損失や発熱がなく、より高速回転向けであり、そのうえ特別な巻線機を必要としない量産性の高いものとなっている。

3.2.2 制御部

ポリゴン用スキャナモータには、高精度の回転数制御が必要とされるので、回転数制御には基準クロック信号と FG (Frequency Generator) パルスの PLL (Phase-Locked Loop) 制御方式を採用した。また、異なる解像度などに適用するため、可変速 (数千~数万回転) に対応できるように外部クロック信号での回転数制御とした。

FG パルスを得る方法には、PCB 上のパターンで形成したピックアップコイルで得る方法や、回転制御用のホール素子から得る方法等があるが、本ユニットはアキシアル型で PCB 上にコイルを実装しているため、PCB 上に FG パターンを設けると基板面積が大きくなり、小型化には不向きであるので、FG パルスはホール素子からの入力とした。さらに、駆動のフィードバック制御を周波数と位相の両者の比較で行い、良好な起動特性と高精度な速度制御を実現している。

今回製作した PCB を用いた場合のモータ回転数と定常電流の関係を Fig. 6 に示す。

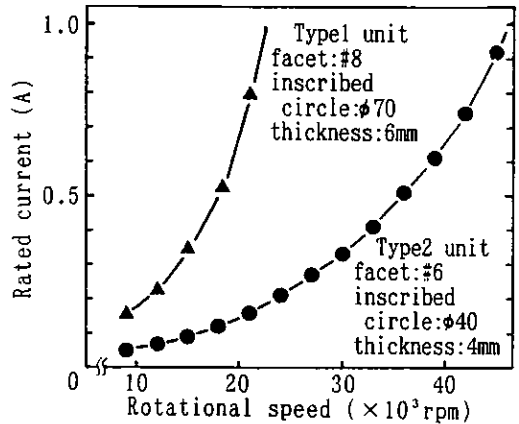


Fig.6 Rated current to rotational speed

3.3 精密バランス調整技術

ポリゴンユニットも車のホイールバランスと同様に振動低減のために、回転部の不釣り合い重量を調整する必要がある。可動部に不釣り合い重量があると、振動の発生源となるばかりかエアベアリングでは回転部と固定部間の空気層を維持できなくなり焼き付き等回転不良の原因にもなる。

回転体のバランス不釣り合いは材料の不均一性や組立誤差により発生し、このバランス状態は回転体の上下2箇所での重量、位相で表すことができる。また、この状態は Fig. 7 に示すように静バランスと偶バランスに分けて考えることができる。*2

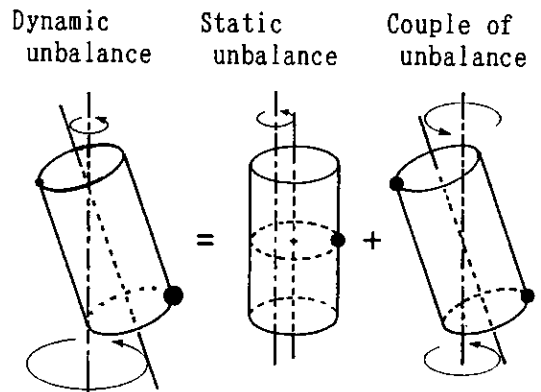


Fig.7 Elements of dynamic unbalance

モータの回転により発生する振動は静バランスによる影響が大きいため、従来は静バランス調整に主眼を置いてきたが、エアベアリングでは焼き付き等回転不良の対策として偶バランスを含めた調整が必要となる。また、従来のボールベアリングユニットでは不釣り合い重量を 10 mg 以下とすれば充分であったものがエアベアリングの場合は 1 mg 以下の高精度な調整が必要となる。

不釣り合いの測定では、ボールベアリングの場合は回転部の振動がボールベアリングを介して直接測定台に伝

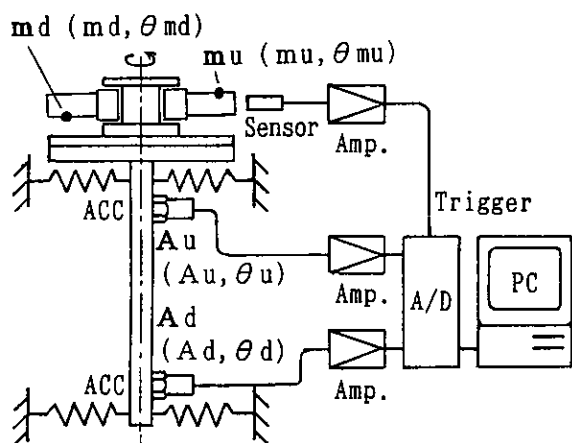
わかるが、エアベアリングでは間に空気ダンパを介することで、検出する振動レベルが減衰し現在市販されている測定機では正確に測定することが困難である。

そこで、下記の特徴を持つ測定系の開発も行った。

- 1) 回転部による振動を1方向に規制し、センサを回転中心軸と同一平面上に配置することで、検出する振動誤差要因を低減。
- 2) 測定台の重量を可動部の10倍以内とし、固有振動数を低く設定することで測定感度を向上。
- 3) 検出した振動をバンドパスフィルタにより回転に同期した成分のみとし外部振動や電氣的ノイズの影響を低減。

これらの項目に考慮し測定を行うことで、測定分解能1mg、位相分解能1度以下の測定を行うことが可能となった。

開発したバランス測定系はFig. 8に示すように可動部の軸振れを測定台の振動として検出し、数値解析により不釣り合い重量、位相を算出する。



Block diagram of measuring system

Vector equation

$$A u = \alpha_1 \mu u + \alpha_2 m d$$

$$A d = \alpha_3 \mu u + \alpha_4 m d$$

$\alpha_1 \sim \alpha_4$: Correction factor

$A u, A d$: Vibration

$\mu u, m d$: Unbalance weight

Fig.8 Measuring system for dynamic balance

この測定系では、回転部の回転中心軸を垂直方向とすることで作業性が改善され、自動化も容易となった。

不釣り合い重量の調整は、紫外線硬化型の樹脂を付加することにより1mg以下の高精度を実現している。

回転部の不釣り合い重量と振動の関係をFig. 9に示す。

今回開発したバランス調整機を用いると、不釣り合い重量を1mg以下とすることができ、振動レベルに換算するとG0.1級以下となり、従来の測定系の10分の1以下になる。

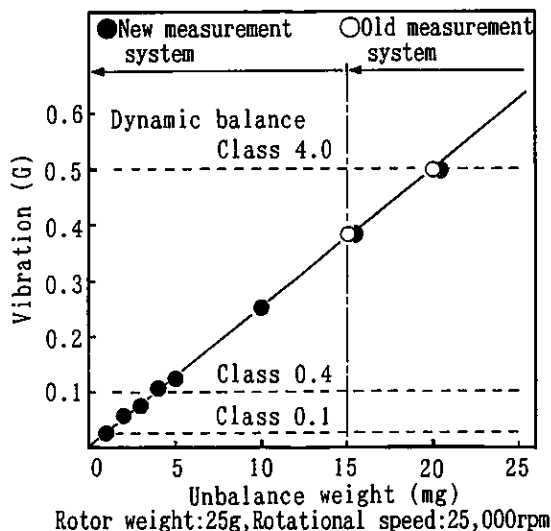


Fig.9 Vibration to unbalance weight

4 高速ポリゴンユニットの性能

今回開発した高速ポリゴンユニットの代表的な性能をTable 2に示す。

Table 2 Specifications of typical units

Contents	type 1	type 2
Mirror facet	#8	#6
Inscribed circle	φ 70 mm	φ 40 mm
Mirror thickness	6.0 mm	4.0 mm
Rotational speed	20,000 rpm	40,000 rpm
Rated current	0.80 A	0.75 A
Start up time	15 sec	8 sec
Voltage	24 V ± 10 %	
Tilting angle error	~ 30 "	
Jittering (Low frequency)	~ 0.02 %	
Class of dynamic balance	~ Class 0.4	
Setting angle	No restrictions	

5 まとめ

以上のように、小型、高精度で量産性を考慮した高速ポリゴンユニットの開発を行った。また、ユニットの総部品点数を30数点から約10点に減らすことでコスト低減と共に品質向上に対応している。

今後は、更に性能や品質の安定化を進めると共に、実機への搭載を含め、幅広い展開を行っていく。

●参考文献

- 1) 岩村義雄等: Konica Tech. Rep., 5, 120 (1992)
- 2) 明石製作所: つりあいに関する技術資料
- 3) 谷口修: 機械力学II, 養賢堂 (1987)