

サーボモータにおける 耐振動性向上に関する一考察

日置 洋
Hiroshi Hioki
清水 明
Akira Shimizu

石井 秀幸
Hideyuki Ishii
小野寺 悟
Satoru Onodera

1. まえがき

サーボモータを使用する機械の小型軽量化と高応答化への要求に伴い、サーボモータは振動の大きな環境で使用される用途が多くなってきた。

従来の小型サーボモータにおいては、シャフトの軸方向振動変位を小さくするモータ構造として、ベアリングを定圧与圧接着とする構造が一般に用いられている。しかし、この場合、過大な振動が発生する用途では、ベアリング外輪の接着層に剥離が発生する事態が起こり得る。

本稿では、定圧与圧接着後に両サイドのベアリング端面を機械的に保持することにより、耐振動性向上を図ることができるモータ構造を提案し、その妥当性について述べる。

2. サーボモータと振動

2.1 従来モータの課題点

一般に、サーボモータにおいては、反出力軸端に回転位置を検出するための光学式エンコーダを設けるが、このエンコーダが振動により誤動作しないようにする必要がある。たとえば、軸方向振動に起因してエンコーダが過大な振動を起すと、パルスカウントエラーが発生したり、最悪の場合にはエンコーダ(回転ディスク)の破損に至る危険もある。

従来、モータ軸方向の振動を抑えるために、モータシャフトを回転支持するベアリングを定圧与圧接着とする形態を取っている。この場合、ベアリングを固定するための接着剤の塗布量のバラツキを管理することは難しく、過大な振動が発生する用途にこの構造のモータを適用した時、接着剥離が生じる事態が起こり得る。もちろん、モータが受ける振動が比較的小さい一般的な用途においては、従来のモータ構造でも接着剥離は生じないが、近年、サーボモータを使用する機械の小型軽量化と高応答化への要求に伴い、モータの受ける振動が大きくなる傾向にある。

このような大きな振動環境においてもサーボモータの信頼性を確保するためには、モータの耐振動性を向上する必要がある。特に、軸方向振動に起因する振動変位を小さくできるようなモータ構造が求められ、過大な振動環境においてもエンコーダ破損を防止できることが必要である。つまり、接着剤を使用するベアリング固定方法においても、最悪の事態として接着剤が剥離しても確実にエンコーダを保護できるようにすることが課題である。

2.2軸方向剛性

ここでは、モータの耐振動性を定量的に把握するために、モータの軸方向剛性について簡単に示す。

いま、ロータの質量を m 、ベアリングおよびベアリングの固定構造によって決まる軸方向バネ定数を k とすると、モータシャフトの軸方向固有振動数 f は次式で与えられる⁽¹⁾。

$$f = (k / m)^{1/2} / (2\pi) \text{ ----- (1)}$$

軸方向バネ定数 k が高いほど固有振動数が高く、振動変位振幅も小さくなり、軸方向振動に対する剛性が高くなる。

次章では、上記バネ剛性 k を用いて、モータの耐振動性を定量的に取りあつかう。

3. 軸方向剛性を向上できるモータ構造の提案

3.1提案機の構造

前述の課題を解決するモータ構造として、定圧与圧接着後に両サイドのベアリング端面を機械的に保持することにより、耐振動性向上を図ることができるモータ構造を提案する。

[図1](#)に、提案するモータ構造の概略図を示す。

この例は、定格出力:20W、モータ外径: □ 42mm、回転数:1000min⁻¹ の中空軸タイプのサーボモータである。

与圧バネによって定圧与圧を与え、ベアリング外輪をベアリングハウスの接着する基本構造に加え、六角穴付き止めネジで機械的にベアリングを保持する構造である。この止めネジは、与圧バネ(波型バネ)の谷間に突き当てられている。

3.2軸方向剛性の検討

提案機における軸方向荷重に対するシャフトの軸方向変位の変化と軸方向剛性について検討する。

[図2](#)に、止めネジの締付トルク T が零の場合と $T=0.059\text{N}$ (0.6kgf-cm)の場合の軸方向荷重-変位特性の実測値を示す。ただし、接着剤が剥離した場合を想定して、接着剤は塗布されていない。

止めネジの締付トルク $T=0\text{N}$ の場合において、軸方向荷重 $F=40\text{N}$ 程度までは与圧バネの剛性が関与している領域であり、 $F > 40\text{N}$ の領域では、ボールベアリングの内外輪間の軸方向剛性で荷重-変位特性が決まる。この領域では、大きな軸方向変位が生じているが、これは、モータに過大な軸方向加振力が加わり、ベアリング外輪に接着層の剥離が生じた場合には、シャフトに大きな軸方向変位が生じて、エンコーダ破損に至らし

めることを示唆している。

一方、止めネジの締付トルク $T=0.059\text{N}(0.6\text{kgf}\cdot\text{cm})$ の場合は、止めネジによって機械的な拘束力が働いているので、過大な軸方向加振力が加わっても、シャフトの軸方向変位が小さく抑えられている。

止めネジの締付トルク $T=0\text{N}$ と $T=0.059\text{N}$ の場合について、軸方向バネ定数 k を荷重-変位特性の傾きに基づいて算出すると、それぞれ、次のようになる。

$$T=0\text{N} : k = 3 \times 10^6 \text{ N/m}$$

$$T=0.059\text{N} : k = 12 \times 10^6 \text{ N/m}$$

このように、本提案のモータ構造によれば、モータシャフトの軸方向剛性 k が高くなり、過大な加振力によりベアリング外輪の接着層に剥離が生じたとしても軸方向変位を小さく抑えられ、エンコーダの破損を防止できる。

止めネジの締付トルク $T=0.059\text{N}$ の場合の軸方向バネ定数 $k=12 \times 10^6 \text{ N/m}$ から、(1)式に基づいて、固有振動数 f を計算すると約 1.8kHz (ただし、 $m=0.09\text{kg}$) であり、実機をハンマリングして得られる固有振動数の実測値は約 1.6kHz であるので、上記の剛性評価は妥当であると考えられる。

図3には、止めネジの締付トルク T を変化した時の軸方向荷重-変位特性の実測値を示す。締付トルク T の増加に伴って、軸方向変位が小さく抑えられていることがわかる。なお、ベアリング外輪に接着を併用する場合、この止めネジの締付トルクは、ネジの軸力が接着剤による接着強度より弱い力になるように設定されるべきである。また、軸方向変位が許容値以内に抑えられる範囲の締付トルクであれば実用上充分である。供試機の例においては、止めネジの締付トルク $T=0.059\text{N}(0.6\text{kgf}\cdot\text{cm})$ が適切な値である。

3.3 提案モータ構造による効果

上述の提案モータ構造にすることで以下の効果が得られる。

1. モータシャフトの軸方向剛性が向上し、モータ加振力に対する振動変位振幅を小さくできる。すなわち、耐振動性が向上する。
2. 過大な振動によりベアリング外輪の接着層が剥離した場合においても、機械的な拘束力により軸方向変位を抑制することができ、エンコーダの破損を防止できる。すなわち、振動が大きな使用環境における信頼性が向上する。

なお、本モータの開発に際して、より小型軽量化を図るためにボールベアリングも薄肉構造としている。

4. むすび

本稿では、定圧与圧接着後に両サイドのベアリング端面を機械的に保持する構造のサーボモータを提案し、この構造のサーボモータでは、高い軸方向剛性が得られ、耐振動性の向上を図ることができることを述べた。

本モータ構造によれば、過大な振動を受けた場合においてもシャフトの軸方向変位は小さく抑えられ、エンコーダの検出精度が悪くなったり、エンコーダが破損することを防止

できる。

本モータは、減速機構などをもたないダイレクトドライブ用として開発したモータであり、小型軽量かつ信頼性の高いモータとして、種々の用途に適用が可能であると考えます。

文献

1. 田中・三枝:「振動モデルとシミュレーション」、応用技術出版、pp.50-57(1986-6)

日置 洋

1990年入社

サーボシステム事業部 設計第1部

サーボモータの設計開発に従事。

石井 秀幸

1989年入社

サーボシステム事業部 設計第1部

サーボモータおよびセンサの開発、設計に従事。

清水 明

1982年入社

サーボシステム事業部 設計第1部

サーボモータの設計開発に従事。

小野寺 悟

1986年入社

サーボシステム事業部 設計第1部

サーボモータの研究、開発、設計に従事。工学博士。

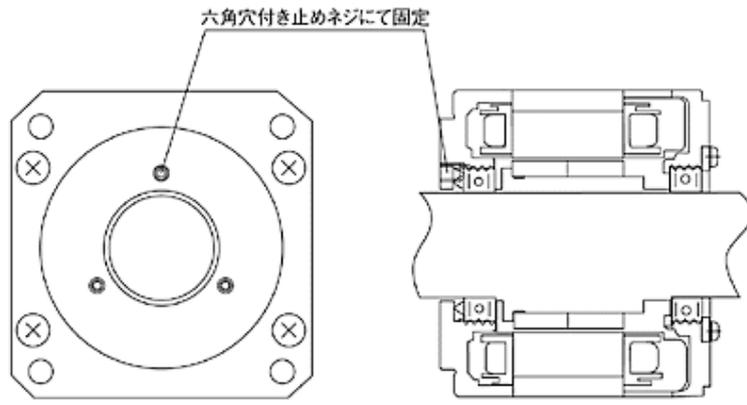


図1 モータ構造

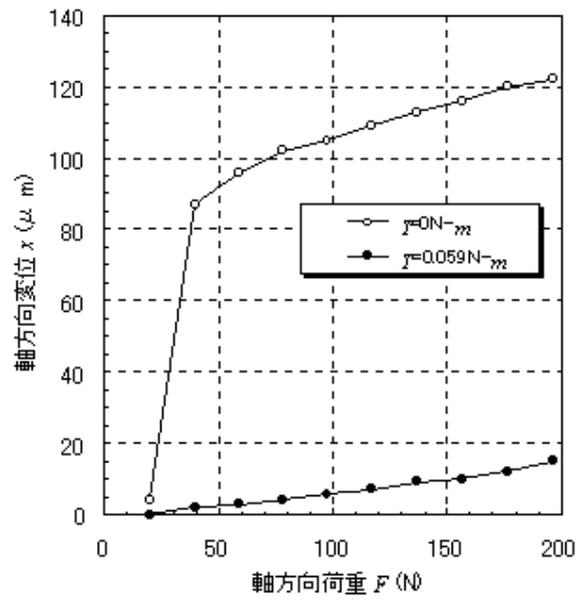


図2 軸方向荷重—変位曲線

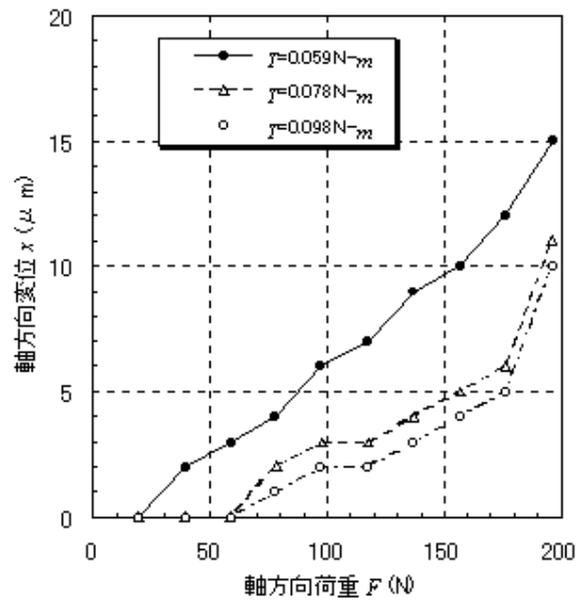


図3 軸方向荷重—変位曲線(ネジ締付トルクによる変化)