

VTR 用 VCM 型レンズ移動機構の非線形摩擦の評価

An Evaluation of Nonlinear Friction of a VCM type Linear Lens Actuator for Video Camcorders

江村 哲 二*

Emura, Tetsuji

We have developed a VCM (Voice Coil Motor) type linear lens actuator for video camcorders. The evaluation of friction is an indispensable item for using a linear actuator. The kinematic analysis in consideration of friction is generally very complex because of nonlinear properties. We adapted a practical method of the evaluation of nonlinear friction to the developed linear lens actuator, using D. Hartog's the energy equivalent model.

1 はじめに

VTR 用レンズユニットのズーミングやフォーカシングなどのレンズ移動機構としては現在ステッピングモータによるスクリュウ駆動が主流であるが、今後は高速化に有利なリニアアクチュエータにかわっていくであろう。リニアアクチュエータを用いたレンズ移動機構においてはそのリニアガイド部に作用する摩擦の評価が特に重要である。しかし一般に固体摩擦が作用する物体の動解析は、その非線形性のために取り扱いがきわめて複雑である。今回我々はエネルギー等値モデルを応用することによってきわめて簡便に摩擦を評価することができる方法を確認した。

2 構成

我々が開発した VCM (Voice Coil Motor) 型リニアアクチュエータを搭載した VTR 用レンズユニットのレンズ移動機構部を Fig. 1 に示す。鏡胴に固定された 2 本のガイドシャフトに移動レンズ枠に設けたガイドブッシュと回転止めの U 溝が嵌合され光軸方向に移動可能な状態となっている。また移動レンズ枠には図のように光軸中心に円筒コイルがボビンを介して固定され、純鉄を深絞りプレスによって形成したヨークの内面にはラジアル方向に着磁されたリング状プラスチックマグネットが接着してある。

3 解析

この移動機構は光軸方向を x 座標として式 (1)、(2) の様に記述することができる。L はコイルインダクタンス、R はコイル抵抗、 i はコイル電流、 e はコイル入力電圧、 m は可動部質量、 K_v は逆起電力定数、 K_f は推力定数である。

$$L \left(\frac{di}{dt} \right) + Ri = e - K_v \left(\frac{dx}{dt} \right) \quad \dots\dots\dots(1)$$

$$m \left(\frac{d^2x}{dt^2} \right) + c \left(\frac{dx}{dt} \right)^n = K_f i \quad \dots\dots\dots(2)$$

c は n によって定義が異なる。 $n = 1$ のときは c は流体の粘度となり式 (2) は線形となって解法が容易であるが、今回問題とする固体摩擦の $n = 0$ のときは、

$$c = \text{sgn} \left(\frac{dx}{dt} \right) \mu N \quad \dots\dots\dots(3)$$

と符号関数で定義されるため (μ は摩擦係数、 N は接触力) 解法が複雑化する。高次多項式近似やフーリエ級数を使った解法が研究されているものの、それらはあまり簡便とはいえない。そこで我々は D. Hartog のエネルギー等値モデルを応用することにした。ある系にエネルギーを入力して何らかの仕事を得るとき、 $n = 1$ のときも $n = 0$ のときも同じ仕事を出力しているときは同じエネルギーが消費されているはずである。ここで系が $x = X \sin \omega t$ の定常な微小振幅振動を行っているとき、固体摩擦で消費されるその振動の 1 周期分のエネルギーを流体摩擦のそれにおきかえる次のモデルが考えられる。

$$\oint c \left(\frac{dx}{dt} \right) dx = \oint \mu N dx \quad \dots\dots\dots(4)$$

これを計算すると $c = 4 \mu N / \pi \omega X$ となり、この c を使って $n = 1$ で解けば固体摩擦 μN を導入することができる。またこの微小振幅振動を行うための系を Fig. 2 に示す。これは比例要素 K_p がバネ定数となるバネ系であり、

$$e = K_p (x_i - x) \quad \dots\dots\dots(5)$$

と表され (x_i は系に入力する関数) これによって式 (1)、(2) が連結できる。この振動を低周波数領域のみで行わせると仮定すると L が省略でき以下の様に簡単な式になる。

$$\left(\frac{mR}{K_p K_f} \right) \frac{d^2x}{dt^2} + \left(\frac{K_v K_f + \mu N}{K_p K_f} \frac{4R}{\pi \omega X} \right) \frac{dx}{dt} + x = x_i \quad (6)$$

* オプト事業部 オプト開発グループ

4 測定

Fig. 2の系に発振器より $x_i = x_o \sin \omega t$ を入力し、 x の挙動を、 x/x_o としてデータを取得する。測定は摩擦力の比較のために、研削メタルブッシュA、エンプラPC-G 20%の切削ブッシュB、Cについて行った。

5 結果

解析で述べた式(6)の数値計算はオイラー法にて簡単に解くことができる。 $x_i = x_o \sin \omega t$ を入力し、定常振動になってからの解 x を x/x_o として摩擦力 μN をパラメータに測定結果とともに記したものが Fig. 3 である。 x_o の変化による x/x_o の変化が測定と解析とがきわめてよい一致を見せており式(6)の正当性がわかる。このことは実機においてもその機構を分解することなく、入出力のデータのみで動作中に作用している摩擦力を測定できることを示している。また ω をかえて計算すれば Fig. 4 に示すような伝達関数を得る。上段が式(6)の計算結果、下段が測定結果である。測定により 440 Hz 付近に共振がみられるが、これは移動レンズ枠を有限要素法解析することにより、ガイドブッシュとレンズ枠本体との間のたわみに起因することがわかった。剛性改善等でさらに高域特性改善を検討中である。

6 結論

Fig. 1 に示す様な VCM 型レンズ移動機構に対してエネルギー等値モデルを用いた式(6)は、非線形摩擦が作用している微小振幅振動の挙動を記述することに有用であることを示した。しかもその方法はきわめて簡便であるので製品開発過程のみならず生産現場においても利用でき、特に製品の自動検査等、定量的な指標を必要とする場合に最適である。

7 おわりに

固体摩擦では、ある速度領域で摩擦力が速度に対して負の勾配を持つことがあり、そのときスティックスリップ現象(いわゆるビビリ)が現れる。これには摺動部の表面物性面からの評価も必要になってくるが、未だその簡便な方法は見つかっていない。現在各種レンズユニットは益々小型軽量化が要求されており、そのレンズ駆動系においては、時代とともに次第に Massive な線形効果よりも摩擦等の非線形効果がより支配的になってくるであろう。我々は今後もさらに適切な評価方法の検討を続けていく所存である。

●参考文献

J. P. Den Hartog, Mechanical Vibrations, Dover Pub. Inc.
J. Halling, Principles of Tribology, Macmillan Press Ltd.

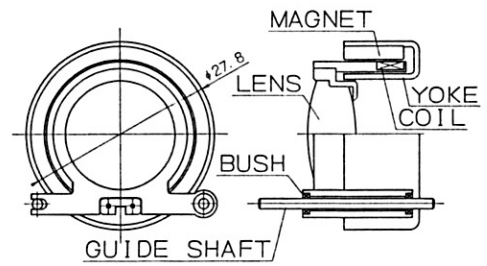


Fig. 1 Configuration of the Lens Actuator

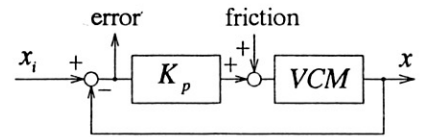


Fig. 2 Evaluation System

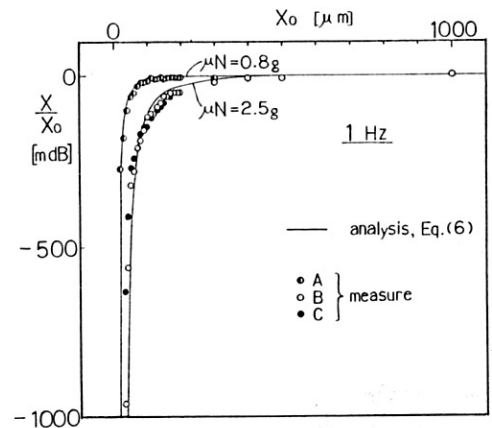


Fig. 3 Characteristics of Friction Force

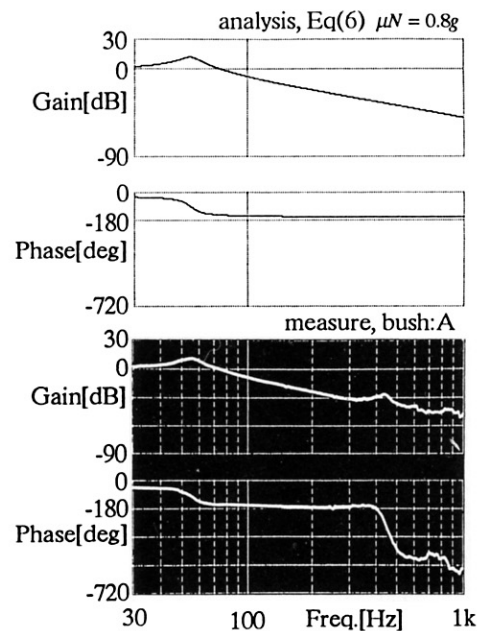


Fig. 4 Transfer Function