

駆動用モータを用いた振動モード測定技術

藤田智哉*
長岡弘太郎*

Modal Analysis Method by Using Drive Motors

Tomoya Fujita, Kotaro Nagaoka

要旨

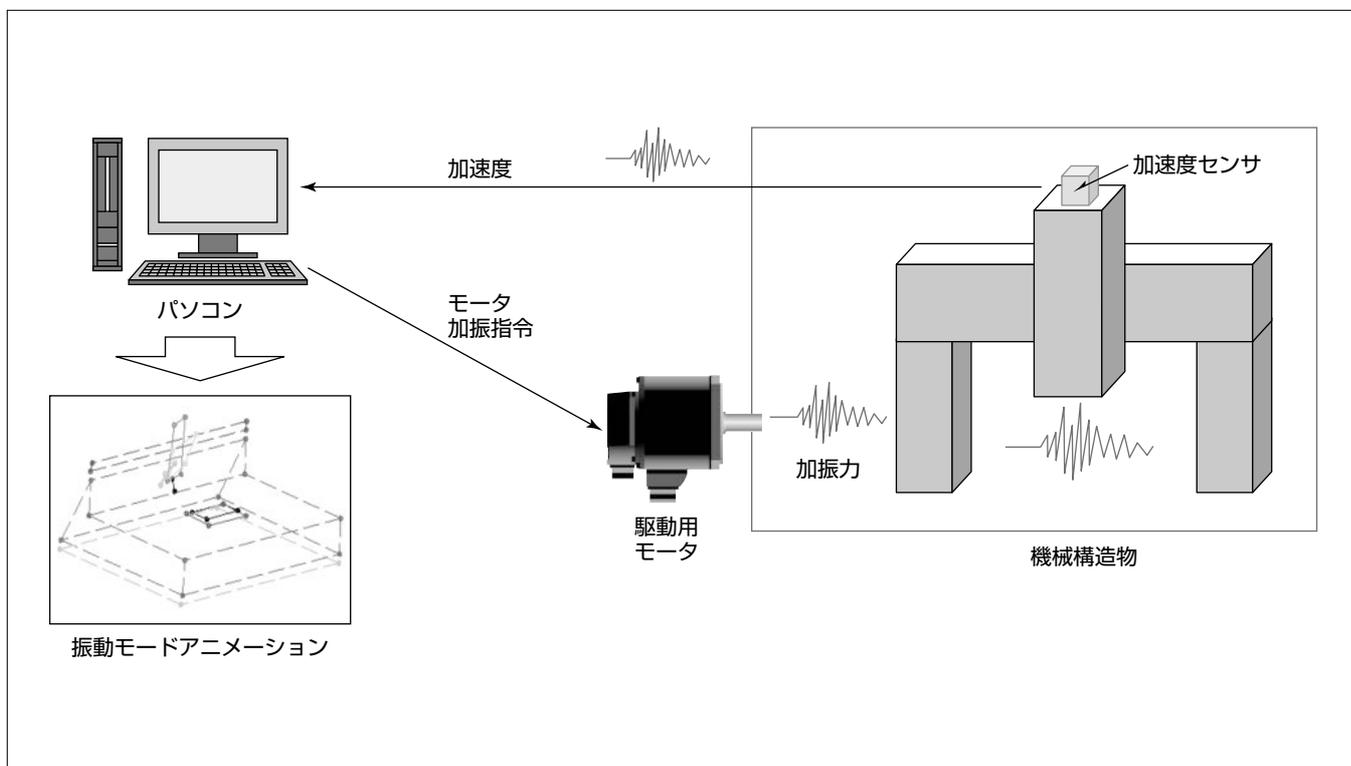
部品の搬送や加工、製品の組立に使用される産業用途の機械には、生産にかかる時間を短縮して高い生産性を実現することが求められている。そのため、機械を動かす駆動装置の高速化・高加速度化が図られているが、高速・高加速度駆動によって機械構造物が振動しやすくなるという問題がある。大きな振動が発生すると部品に傷をつけたり、組立て精度に影響を与えたりする。

機械構造物の振動の発生を防ぐためには、適切な振動対策を施す必要がある。そのためには、機械構造物全体がどのように振動しているか(振動モード)を正確に把握する必要がある。しかし、従来の振動モード測定方式を産業用途の機械に適用する際には、次のような課題があった。

- (1) 複数の機器やソフトウェアを用意する必要がある。
- (2) 機械振動を発生させる作業(加振)にノウハウが必要。
- (3) 駆動装置や機械位置によって振動モードが変わる。

そこで、これらの課題を解決するため、産業用途の機械向けの振動モード測定技術を開発した。開発した技術は、駆動用のモータを用いて機械構造物の振動を発生させることが特長である。これによって、振動を発生するために使用していた外部の加振装置が不要となる。また、駆動装置を用いて機械振動を発生させることで、加振にノウハウが不要となる。また、駆動装置の位置情報を用いれば、機械の位置による振動モードの違いを簡単に評価できるようになる。

開発した振動モード測定システムでは、従来の振動モード測定方式と比較して、測定時間を40%程度短縮することができる。また、機械位置と振動モードの対応関係を容易に比較できるようになるため、振動の発生原因に対して的確な振動対策を実施することができる。



駆動用モータを用いた振動モード測定技術

今回開発した振動モード測定技術では、パソコンからの指令で、駆動用モータを用いて機械構造物を加振し、振動を発生させることが特長である。この時、機械構造物上に取り付けた加速度センサ信号を用いて測定した振動特性を基に、機械構造物の振動モードアニメーションを描画する。

1. ま え が き

近年、自動車部品や航空機部品、半導体などの生産現場で、生産性向上への要求が高まっている。作業時間を短縮するため、製品の搬送、加工、組立てなどを行う機械の駆動装置の高速化・高加速度化が進んでおり、数十m/minの最高速度と数Gの加速度を持つ駆動装置が採用されることも珍しくない。しかしながら、駆動装置の高速・高加速度化によって、機械振動が生じやすくなるという課題がある。大きな振動が発生すると、加工機であれば部品に傷をつけたり、組立てロボットであれば組立精度に影響を与えたりするため問題である。

機械振動の主な原因の1つは、駆動装置から発生する駆動力によって生じる機械構造物の変形である。そのため、駆動力が大きくなるにつれて、機械振動が大きくなる。機械振動を抑制するためには、駆動装置の制御系にフィルタを適用して駆動力の振動を引き起こしやすい成分の除去を行う制御面からのアプローチと、振動しやすい部材の補強や構造変更を実施する設計面からのアプローチの2通りの方法がある⁽¹⁾。どちらの方法を用いる場合でも、機械の振動モードを正確に把握する必要がある。振動モード測定では、ある基準となる力などの入力に対して機械構造物のそれぞれの部材がどのような振幅比と位相差(時間差)で振動するかを測定する必要がある。そこで、駆動装置を持つ機械の振動モードを簡単に測定するための測定技術を開発した。

本稿では、開発した振動モード測定システムの特長と、そのシステムを用いた加工機の振動モード測定の結果について述べる。

2. 従来の振動モード測定方式とその課題

2.1 振動モード測定方式

図1は、従来の振動モードを測定する方式であるインパルスハンマーを用いた測定システムの構成例である。振動モードを測定するためには、機械構造物の振動を検出するセンサ、振動を発生させるインパルスハンマー(以下“ハンマー”という。)と振動を測定するデータ計測装置(FFT

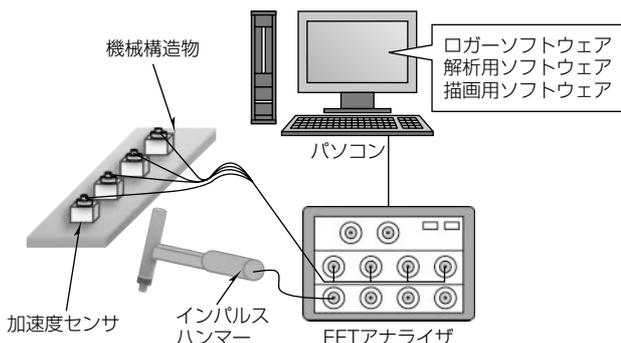


図1. 従来の振動モード測定方式

(Fast Fourier Transform)アナライザ)が必要である。ハンマーの代わりに、機械を振動させる装置(加振器)が使用されることや、加速度センサの代わりに、速度センサや変位センサが使用されることもある⁽²⁾。また、これらに加えてデータを測定するロガーソフトウェア、測定結果を解析し、振動モードを計算する解析用ソフトウェア、振動モードをアニメーションとして表示するための描画用のソフトウェアが必要となる。

図2は、振動モード測定の手順を示したフローチャートである。最初に、機械構造物上の振動を評価する点に加速度センサを貼付する。次に、ハンマーで機械構造物を打撃し、振動を発生させる(加振)。この時、ハンマーの加振力から機械構造物の加速度までの振動の伝達特性(伝達関数)を測定する。測定点が多数ある場合は、同様にセンサの貼付位置を変えながら、全ての測定点で伝達関数を測定する。全ての測定が終了したら、伝達関数から機械振動が特に強く表れる周波数(共振周波数)を抽出する。この時、共振周波数で、機械構造物上の全ての点でのハンマーの加振力に対する加速度の振幅比と振動が伝わるまでの時間差(位相差)を計算する。このようにして計算した機械構造物の振動の形態が振動モードであり、目視で確認しやすいように、アニメーションとして表示する。

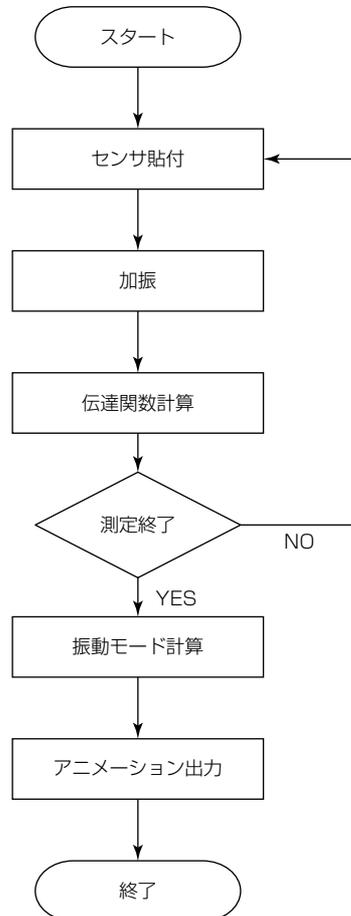


図2. 振動モード測定の流れ

2.2 従来の振動モード測定方式の課題

駆動装置を持つ機械の振動モード測定に、従来の振動モード測定方式を適用する場合、次のような課題がある。

- (1) 単純な構造部材と異なり、産業用途の機械は、多くの部材で構成されているため、測定点が多くなり、何度も測定を繰り返さなくてはならず、面倒である。
- (2) 人手で加振を行うため、加振力の再現性の確保が難しい。また、大型の機械では、数tの質量があるため、十分な機械振動を発生させることができない。
- (3) ハンマーの代わりに加振器を用いる場合は、取付け作業が面倒であるという課題と取付け場所が確保できないという課題がある。
- (4) 駆動する駆動装置ごとに振動モードが異なる場合や駆動装置の位置によって振動モードが変化するため、これらの情報と振動モード測定結果の関係を解析する必要がある。

これらの課題を解決するため、駆動用のモータを用いた振動モード測定技術を開発した。

3. 振動モード測定技術

3.1 システム構成

この開発で試作した振動モード測定システムの構成を図3に示す。このシステムは、機械構造物の機械振動を検出する加速度センサ、振動データを測定するデータ計測装置、駆動装置とそれを制御するコントローラ、測定とデータ解析を行う計測用ソフトウェアで構成している。計測用ソフトウェアは、コントローラ経由で駆動装置に機械振動発生指令(加振指令)の出力とデータ計測装置で測定した信号の取得を行う。

駆動用モータを用いた機械構造物の加振方式の詳細を図4に示す。コントローラは、加振指令に基づいてモータを駆動する。これによって機械構造物に加振力が伝わり、機械振動が発生する。この時、データ計測装置で、モータの駆動力の信号と機械構造物上に貼付した加速度センサの信号を同期して測定する。

3.2 ソフトウェア構成

パソコン上の計測用ソフトウェアでは、1つのソフトウェアで加振とデータの解析、振動モード測定結果の表示を一括して行う。

計測用ソフトウェアを用いた加振では、加振に用いる駆動装置とその時の平均の駆動力の大きさを入力する。これをコントローラで、使用しているモータに合わせて駆動装置の加振信号を自動で生成する。

計測用ソフトウェアを用いたデータ解析では、データ計測装置で測定したモータの駆動力と加速度から振動モードを計算する。この時、コントローラから測定開始時の位置情報や機械に生じている摩擦力、機械の温度情報などを受

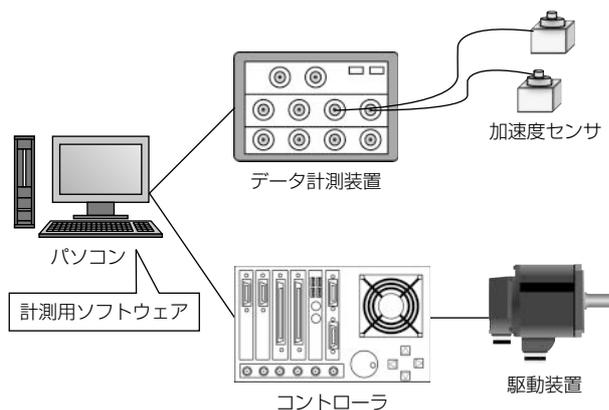


図3. 試作した振動モード測定システムの構成

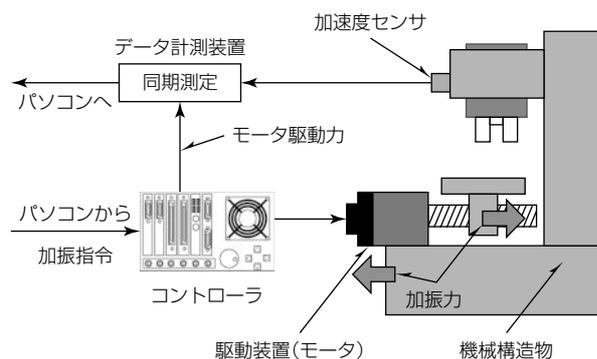


図4. 駆動用モータを用いた機械構造物の加振方式

け取り、これらの情報と振動モードの関係を保存する。これは、産業用途の機械は、次のような特性を持つことが多いためである。

- (1) 駆動装置の位置によって振動モードの形状や共振周波数に変化する。
- (2) 摩擦力の大きさによって共振周波数に変化する。
- (3) 温度によって振動モードが変化する。

計測用ソフトウェアを用いた測定結果の表示では、機械構造物の振動モードをアニメーションとしてモニタに表示する。

4. 小型加工機の振動モード測定

4.1 小型加工機の仕様

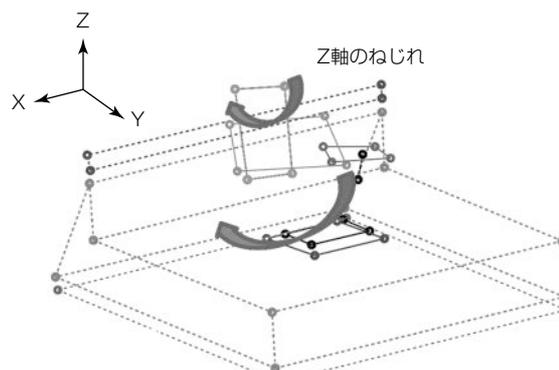
試作した振動モード測定システムを用いて、小型加工機の振動モードを測定する。実験に使用した小型加工機の仕様を表1にまとめる。この加工機は、作業机の上などに置いて使用が可能な実験用の卓上加工機であり、X軸、Y軸、Z軸の直交する3つの可動軸を持ち、各軸の駆動装置を駆動することで、部品を移動させたり、穴あけなどの簡単な加工を行うことができる。

測定実験では、最も可動質量の大きなY軸駆動装置を用いて機械構造物を加振した時に、この小型加工機に生じる振動モードを測定する。

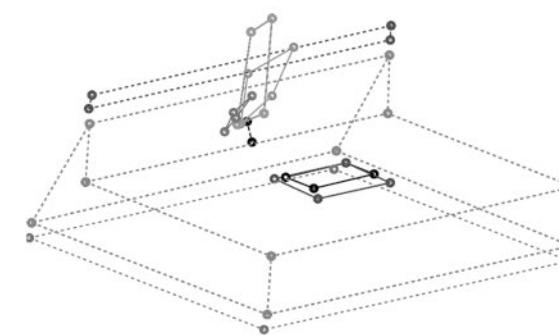
◇ 一般論文 ◇

表 1. 小型加工機の仕様

本体寸法	W560×D810×H840(mm)
質量	約100kg
モータ	ACサーボモータ
駆動力伝達機構	ボールねじ
ストローク	X 270mm
	Y 170mm
	Z 150mm



(a) Y軸正方向に最大振幅をとる時の振動モード



(b) Y軸負方向に最大振幅をとる時の振動モード

図 6. 測定された最大の振動モード

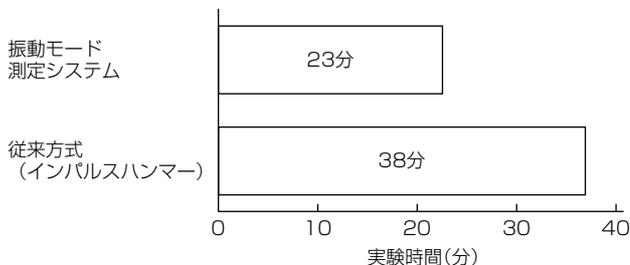


図 5. 実験時間の比較

4.2 振動モード測定時間の比較

実験では、振動モードを評価する測定点として、機械構造上の32点を抽出した。1回の測定で2個の加速度センサを使用し、加速度センサの位置を変えながら32点の機械構造上の測定点を16回に分けて測定した。この時、試作した振動モード測定システムを用いた場合と従来の振動モード測定方式を使用した場合の測定時間を比較した。

図5は実験時間の比較の一例である。従来の振動モード測定方式では、ノイズによる測定の誤差を低減するために1回の測定について5回の打撃を行う必要があった。そのため、機械構造物の振動モードを測定するのに約38分の時間がかかった。これに対して、試作した振動モード測定システムでは、加振に用いる駆動力の再現性が確保できるため1回の加振を行うだけでよい。これによって、実験時間は、約40%減の23分となった。

4.3 振動モード測定結果

振動モード測定の結果、この小型加工機は、周波数が約25Hzのときに最大の振動モードを持つことが明らかになった。図6は、最大の振動モードを模式的に表した図である。同図(a)は、小型加工機のY軸の正方向に最大振幅をとるときの、同図(b)はY軸の負方向に最大振幅をとるときの各測定点でのモータの駆動力に対する振幅比を表示している。この小型加工機で支配的な振動モードは、Z軸の機構が、XY平面内でねじれる振動モードであることが明らかになった。

また、この振動モードは、Z軸の駆動対象の位置によって共振周波数が変化するモードであることが明らかになった。そのため、駆動対象の位置と振動モードの共振周波数の関係を保存しておくことで、機械位置による振動モードへの影響が評価しやすくなる。

このような振動を抑制するためには、例えば、次のような対策が考えられる。

- (1) Z軸の取付け部分の強度(剛性)を高くする。
- (2) Z軸から機械の先端までの距離を短くする。
- (3) X軸駆動時にフィルタを用いて共振周波数の振動成分をカットする。

このように、振動モードを正確に測定することで、適切な振動対策を実施することが可能となる。

5. む す び

駆動装置を持つ機械で、振動モードを簡単かつ高精度に測定するため、駆動用のモータを用いて機械構造物を加振する振動モード測定技術を開発した。開発では、振動モード測定システムを試作し、小型加工機の振動モード測定を行い、従来の振動モード測定方式より簡単かつ短時間で実験を終了できることが確認できた。また、駆動対象の位置による振動モードの違いを評価することができた。

今後も継続して開発を続け、生産現場の生産性向上に貢献できる技術開発に努めていく。

参 考 文 献

- (1) 松原 厚：精密位置決め・送り系設計のための制御工学，森北出版（2008）
- (2) 長松昭男：モード解析入門，コロナ社（1993）