

スピンドルの計測:回転数および帯域幅

該当機器:

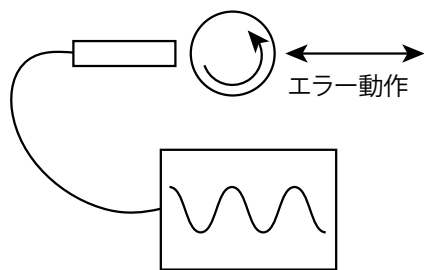
スピンドル回転を測定する静電容量センサーシステム

適用:

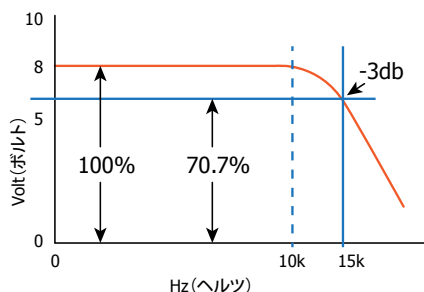
高速回転対象物の回転を計測

概要:

回転スピンドルは、様々な周波数でエラー動作が発生する。これらの周波数は、回転スピード、ベアリング構成部品の形状のエラー、外部影響およびその他の要因によって決定される。これらの周波数の検証により、高速スピンドルの正確な計測には、15 kHzの帯域幅が適切である。



非接触型センサーは1軸上の回転スピンドルのエラー動作を計測する。対象軸上の動作周波数はセンサーに必要な帯域幅を決定する。



15 kHzの帯域幅でのセンサー出力は70%に低減される。周波数反応は10 kHzまで一定である。

スピンドル動作

スピンドルエラーの計測は、通常、複数の軸にあるセンサーによって行われる。これらの計測の仕組みを理解するために、これらのセンサーの1つを検討する。シングル非接触型センサーは、回転する対象物がセンサー方向またはセンサー反対方向に移動する1軸上の対象物の変位を測定する。計測システムの帯域幅は、対象軸上のスピンドル動作の周波数の計測が可能でなければならない。高速スピンドルの計測においても、これらの周波数は、通常、計測システムの性能で十分対応できる。

センサーの帯域幅

Lion Precision社の静電容量センサーCPL190およびCPL290はおよそ10 kHzまで「一定」で、10 kHzで移動する対象物を正確に計測することができる。

10 kHzまで一定の場合、「帯域幅」は15 kHzである。どの種類のセンサーの仕様においても、出力電圧は低周波数(または直流)出力レベルの70.7%(-3db)に低減された周波数であることを理解することが重要である。つまり、15 kHzで移動する10 μmの変位を有する対象物は、7 μmとして計測される。

基本周波数

離心率によって、すべての回転対象物は1回転につき1サイクルのエラー動作を示す。これによって「基本周波数」が確立され、必ず以下となる：

$$\text{基本周波数 (Hz)} = \text{回転数} / 60$$

10 kHzまで一定周波数のセンサーは、最大600,000回転/分までの対象物の基本動作を正確に測定できる。標準的な15 kHz帯域幅センサーは900,000回転/分を正確に繰り返し計測できるが、実際の振幅の70%となる。

基本外周波数

その他すべてのエラー動作の周波数は、基本周波数に関連付けて測定することができる。例えば、基本周波数の2倍の周波数は単純に「2」と表示される。これは一般的なケースの考察において限定されており、限定的な周波数を用いる個々のケースには該当しない。

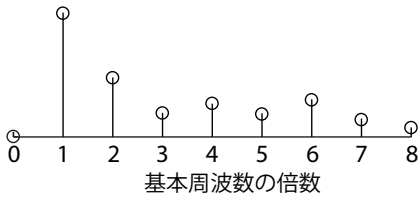
スピンドルのエラー動作には、基本周波数以外の周波数もある。ベアリング部品、固定部品、モータ、ドライブの不備、構造振動およびその他の要因によって特有の周波数が発生する可能性がある。これらのエラー動作は、基本周波数の整数倍および非整数倍で発生する。

同位エラー動作

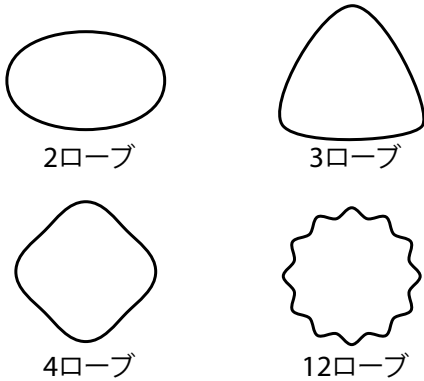
基本周波数の整数倍のエラー動作は、スピンドル回転毎に同じ角位置で繰り返し発生するため「同位」と言われている。同位エラーは、ローターとステーターの不備、固定部品の負荷、およびローターまたはステーターの形状に影響を与えるその他の要因によるものである。

ステーターおよびローター形状の不備

ステーターおよびローターは完全な円形ではない。これらの不完全性によって、基本周波



同位エラー動作の典型的な周波数分布。同位エラー動作は、基本周波数の整数倍で発生する。



同位エラー動作によって“ローブ”パターンが発生する。ローブ数が多くなると、正確な計測のために高い帯域幅が必要である。

数と必ず同位であるスピンドル動作に追加的な周波数が発生する。円形から逸脱するエラーの一般的なものに、2ローブおよび3ローブの形状がある。これらの形状のエラーは、基本周波数の2倍および3倍のスピンドル動作周波数を発生させる。左図を参照。

3ローブエラーは、10 kHzまで一定のシステムにおいて200,000回転スピードまで正確に記録される。

固定部品によるエラー

スピンドルの固定部品はベアリング構造に負荷を与え、軽度な変形を発生させることがある。この変形は、ステーターおよびローター形状のエラーと同様に同位エラー動作を引き起こすが、形状エラーは固定部品の負荷によって引き起こされる。これらのエラーは、基本周波数またはそれ以上で発生する。理論的には、1個の固定ファスナーは同位エラー動作に1個のローブを付加する。

モーター磁極プリント・スルー

モーター磁極によって、極性間よりも極性ごとに異なるモーターのローターに垂直抵抗が発生する。これにより、各回転毎に作用サイクルが異なる。スピンドルのベアリングの剛性によるが、この作用変化がスピンドルのエラー動作として表れることがある。この動作は基本周波数と同位である。

ドライブモーターの磁極数によってプリント・スルーのエラー形状が決定される。例えば、8極モーターによって発生した8ローブのパターンは、10 kHzまで一定のシステムにおいて75,000回転のスピードまで正確に計測される。一般的なドライブモーターは、4極、6極または8極である。特大型のモーターは多くの磁極を有する場合があるが、大型であるため、作動スピードが非常に遅く、比較的低いエラー動作の周波数で維持される。

非同位エラー動作

基本周波数の非整数倍の周波数でエラー動作が発生する場合がある。これらのエラーは循環サイクルを有することがあるが、スピンドル回転の同じ角位置で繰り返し発生せず、基本周波数と同位ではない。

構造振動

この機械構造は、スピンドル動作に見られる固有共振周波数を有する。この機械構造は大きさおよび質量があるため、これらの周波数は通常低く(10~30 Hz)、基本周波数と同位する場合もあれば、同位しない場合もある。低周波数であるため、センサーによって簡単に計測することができる。

転動体ベアリング(非同位エラー)

転動体ベアリングは、転動体(ボールまたはローラー)、内部軌道輪、外部軌道輪、ケージの4つの基本構成部品からなる。ベアリングが回転するとこれらの構成部品が機械的に互いに作用し合い、各部品固有の不完全性がベアリングフォースおよび回転軸に偏差をもたらすことによって、スピンドルのエラー動作が発生する。

ベアリングの構成部品に存在する形状不備によって、スピンドルにエラー動作が発生する。ベアリング構成部品の直径の比および転動体の接触角度によって、基本周波数との関係が決定される。スピンドルとの共振を防止するため、ベアリングが意図的に選択されてお

り、これらの周波数がスピンドルローターと同位しない。そのため、これらのエラーが基本周波数の非整数倍で発生する仕組みになっている。

ベアリング周波数

左図は、典型的な球型ベアリングの周波数分布である。球形ベアリングは、基本周波数の2倍を超えるとすぐに内部軌道輪(球溝)を作動させる。ケージ周波数は基本周波数の半分よりも少し低い。

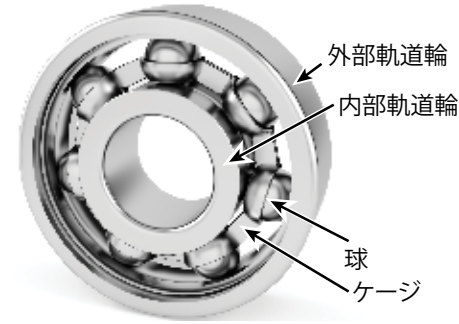
左図では、高調波が $4 \pm$ ケージ周波数で発生し、外部軌道輪が3を超えた時点で発生している。基本周波数の4.5倍を超えると、活動はほとんど見られない。10 kHzまで一定のシステムにおいて、スピンドルが130,000回転までであれば、これらのエラー動作を正確に測定することができる。

下記の表は、典型的なベアリング周波数のもう1つの例で、基本周波数³の倍数で示されている。ここで最も高い周波数は8.32である。10 kHzまで一定のシステムにおいて、スピンドルが70,000回転までであれば、これらのエラー動作を正確に測定することができる。

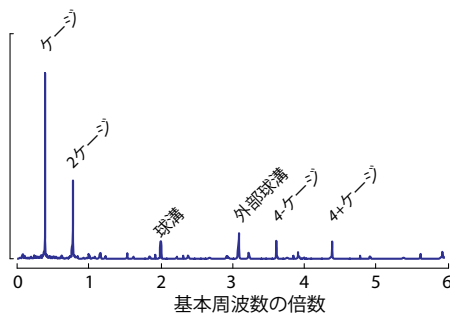
球数	球直径	ピッチ直径	球溝 外部	球溝 内部	ケージ (FTF)	球回転数
15	約0.79248 センチ (0.312 インチ)	約0.79248 センチ (2.854 インチ)	6.68	8.32	0.45	4.52

結論

スピンドルのスピードは経時的に劇的に上昇したが、スピンドルに起因するエラー動作周波数はLion Precision社製センサーの計測性能内である15 kHz帯域幅であった。



ベアリング構成部品の直径はそれぞれ異なり、特有のエラー動作周波数を発生させる。



非同位エラー動作の典型的な周波数分布が“ベアリング周波数”で発生する。分布の大部分は、基本周波数¹の4.5倍以下である。

参照

¹Precision社製スピンドルの計測学, Eric R. Marsh, 2008, DesTech Publishing:Lancaster PA.

²ローリングベアリング分析, Tedric A. Harris, 1991, John Wiley & Sons:New York

³<http://www.ntnamerica.com/website/documents/brochures-and-literature/tech-sheets-and-supplements/frequencies.pdf>

ベアリング周波数計算の詳細:

<http://electromotores.com/PDF/InfoT%C3%A9cnica/EASA/Understanding%20Bearing%20Vibration%20Frequencies.pdf>