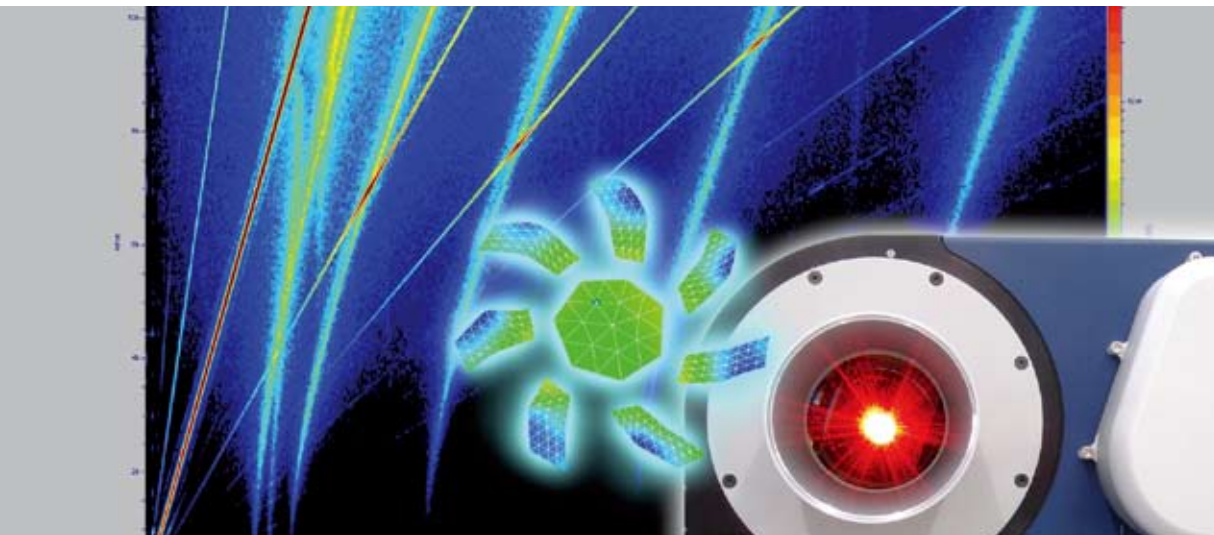


回転体表面の振動測定



ポリテック アプリケーション ノート

- A 航空宇宙
- B 音響解析
- C 自動車
- D データストレージ
- G 一般的な振動
- M マイクロデバイス
- P 生産テスト
- S 科学・医療
- T 構造検査
- U 超音波

PSV-A-440光学ディロテータ： 回転体の実稼動振動を非接触で測定し、解析を支援

スキャニング レーザドップラ振動計は、静的な構造体の振動形状を高精度に測定できる装置として、幅広い用途に利用されています。この測定では、事前に定義した測定ポイントのグリッドをレーザビームでスキャンすることで、構造的な振動応答を、ヘテロダイン光干渉計により、1ポイントずつ収集します。このため、回転する物体の振動形状を直接収集することは、これまで不可能となっていました。新開発のPSV-A-440光学ディロテータでは、回転する物体をあたかも静止しているように捉えられるため、スキャニング レーザドップラ振動計による振動形状やランアップの計測を可能にします。測定の完了後、収集した振動データは、実験的モード解析用の入力データとして利用できます。

構造体の振動特性を予測するにはシミュレーションが多く用いられますが、構造体を構成する材料パラメータについて把握されている情報は限られており、十分な結果を求めることは、最新の手法を用いてもいまだに困難となっています。

そこで実験的モードテストを行うことによって、振動形状、固有振動周波数、モード減衰の計算値と実験値を比較し、シミュレーション モデルで使用されているパラメータを修正することができます。

回転体では、回転によって材質が硬化することにより、モードパラメータが変化します。そのため、構造体の固有振動数は通常、回転状態と静止状態では異なるものになります。さらに、回転時に実際にどのような振動が起こるかは、予測が困難です。

このため、回転体に対する実稼動振動形状と固有振動数を把握するには非常に多くの労力と技術的な壁

を乗り越える必要があり、特に羽根形状などの測定エリアが分割されている回転体についてはほぼ不可能となっています。

この課題を解決するため、ポリテックは新しく、PSV-A-440 光学ディロテータを提供します。この画期的な技術では、回転する構造体の振動を直接、その形状をほとんど問わず、同軸で測定できます。

動作原理

光学ディロテータは、スキャニング振動計を使用することにより、コンシューマ製品に搭載されている冷却ファン、タービン、羽根車、タイヤなど、回転体の振動形状を実際に回転させながら直接、最大24,000 RPMまで測定できます。また、実際の振動形状、振動周波数、応答振幅を測定できるため、回転によって生じる材質の硬化の影響を観察できます。この測定では、正確に制御された光学回転ユニットを経由

ポリテックジャパン株式会社
アプリケーション ノート
VIB-G-12
2010年5月

してレーザービームを照射することで、回転する物体の動きを追跡しながら測定します。ディロテータは、回転する測定物から送出されるエンコーダ信号と同期することにより、一定の回転速度にも、ランアップ（徐々に加速する回転）にも対応できる柔軟な制御機能も実現されています。光学ディロテータは、エンコーダ信号と同期しロックすることで回転を相殺するため、回転体はプリズムを通して見るとあたかも静止しているように見えます。スキャニング振動計では通常の測定と同じように、測定グリッドの定義や、その後のスキャニング処理を実行できます。1台のシングルポイント振動計を、同様に測定レーザーをディロテータを介して照射するように設置すると、振動形状を表示するための位相リファレンスとして機能します。さらにスキャニング振動計をシングルポイントモードにして測定すると、ランアップおよびランダウン（減速）試験を実行でき、次数解析に役立てることができます。

PSV-A-440 光学ディロテータの主要な構成装置は、回転ユニットです。このユニットには、一般的に「ドーププリズム」と呼ばれる光学部品が搭載されています。ドーププリズムは、測定物が回転する速度の半分の速度で回転します。この光学部品のしくみを、図2で図解します。

回転ユニットはコントローラを介し、測定物に電気的に接続されています。

測定物の回転速度はエンコーダで収集します。回転を光学的に完全に相殺するには、測定物の回転軸と回転ユニットの回転軸を完全に一致させる必要があります。このため、回転ユニットは4自由度で調整できます。

標準的な測定と、ディロテータによる測定の違い

ディロテータを使用した測定と使用しない測定を比較するときは、測定対象として表面が平坦なオブジェクトを選択します。冷却ファンやタービンなど羽根で分かれた部品は、ディロテータが得意とする主な測定分野であるものの、これらは逆にディロテータを使用しないと測定できないためです。ここでは比較を可能にするため、ディスク状のオブジェクトであるCDを例に測定します。

このCDを、ロータリーエンコーダ（500カウント/回転）を設置したモータに取り付けます。

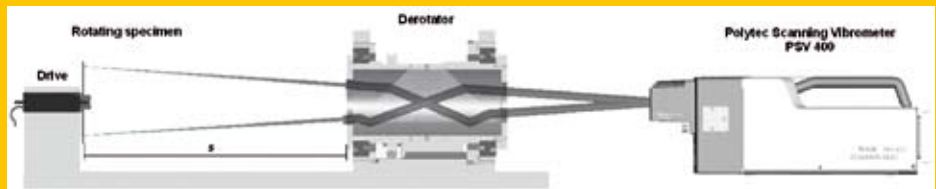


図1: PSV-A-440 光学ディロテータの標準的なセットアップ



図2: ドーププリズムのしくみ — プリズムを90°回転させると、画像が180°回転します。

PSV-A-440 光学ディロテータ システム構成

- 回転ユニット
- コントローラ
- 高さ・角度・横方向調整用のベースフレーム
 - 測定物とディロテータの回転軸を調整
- 振動計

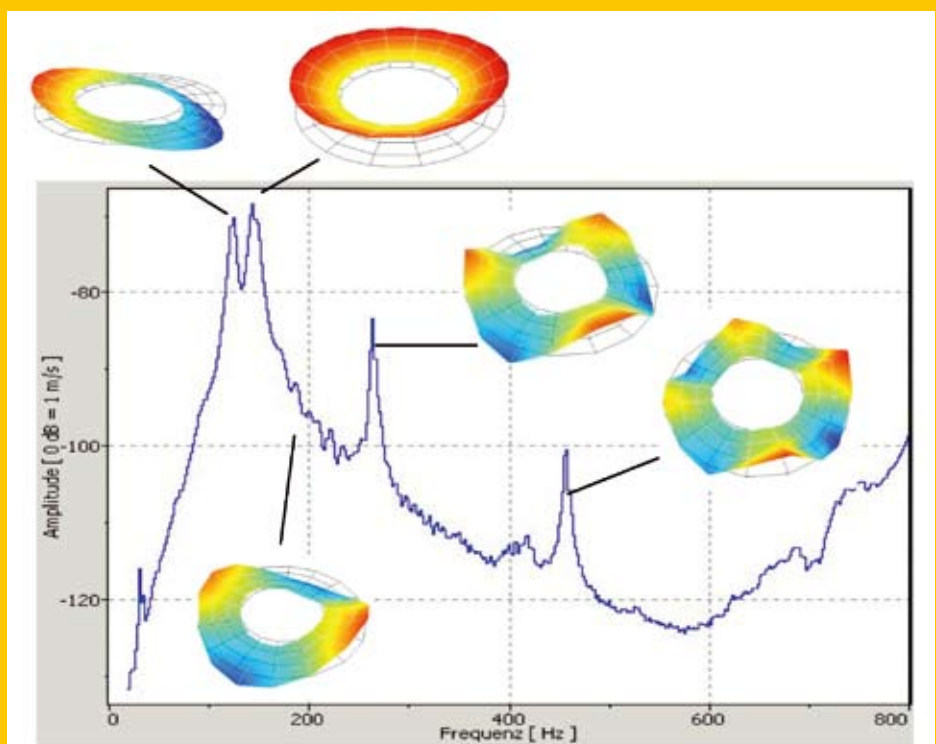


図3: 静止しているCDのスペクトラムと振動形状

1) 静止状態のCDにノイズを加振

今回の測定では基本的に、静止状態のCDを用い、静止状態における固有の振動形状および固有振動数を測定します。加振には、広帯域で加振できるスピーカーを用います。図3に、測定結果を示します。図3には、各スキャンポイントで得られた平均スペクトラムのほかに、いくつかの共振で得られた振動形状が示されています。

2) ディロテータによるランアップ試験

次に、ディロテータを使用したランアップ試験を実施します。レーザービームは回転するオブジェクトに追従して回転するため、測定表面上の同一ポイントを連続して照射できます。これにより、静止状態のときと同じように振動を測定できます。図4のキャンベル線図は、次数（原点と交差している直線）、つまり強力な加振によって強制的に振動を発生させる回転周波数の倍数と、構造的な共振の2つを示しています。構造的な共振は垂直な線にはならず、回転速度増加するにつれ高周波側へ曲がります。これは、ポリカーボネートという比較的柔らかい材質でも、遠心力が強まるほど硬化するという現象によって説明できます。この結果から、実際の回転時における硬化現象および振幅を測定できるという、ディロテータの特長が明らかになっています。

3) 負荷/回転をかけた状態での振動形状

ディロテータを使って一定の回転数（6500 RPM）に対するスキャンを実行し、シフトした共振周波数に対応するODSを測定しました。

測定されたODSは予測通り、静止状態でスピーカーによる加振を行った場合とほぼ同じ形状を示しました。しかしながら6500 RPMでのスペクトラムでは、周波数がシフトした様子が確認できます（図5）。

まず、スペクトラムの左から右に向かって1次の周波数のところに、1本の共振線が描画されています（左から2本目）。これは、1次による強力な励振に基づいて、強制的に発生した振動を表しています。次に描画されているのは、回転が対称な振動形状です。この形状は静止状態で加振したとき、1点が大きく振幅する振動形状よりも高い周波数で生じます。これは、キャンベル線図でもはっきりと確認でき、1点が大きく振幅する共振は、回転軸に対称なものよりも硬化の度合いが強くなるため、2本の線が約5000 RPMのところで交差します。そのた

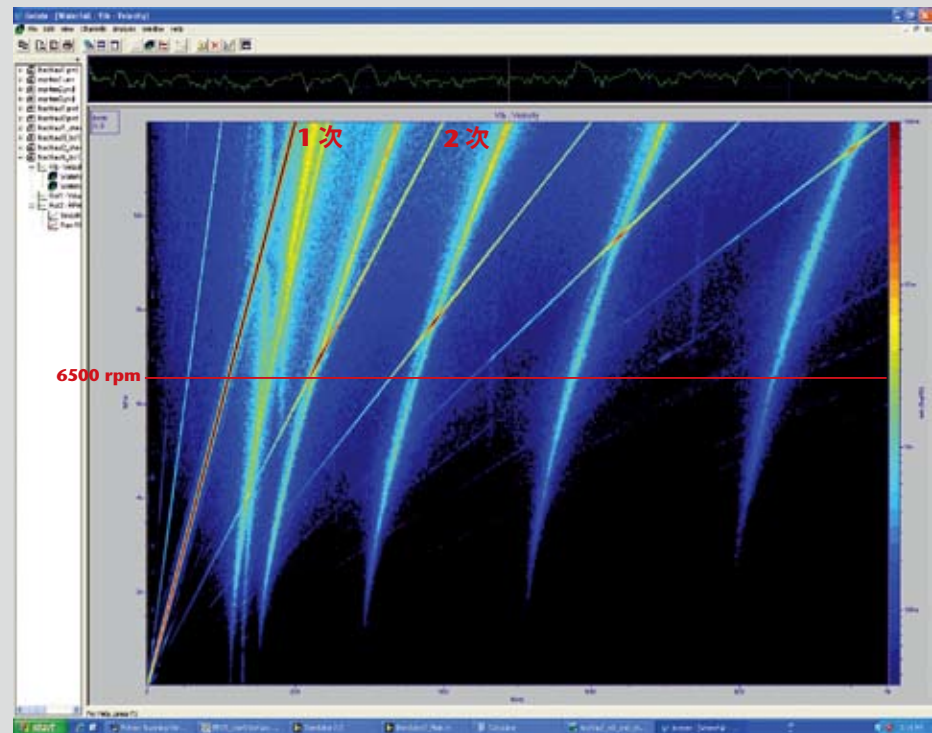


図4: ディロテータによるランアップ

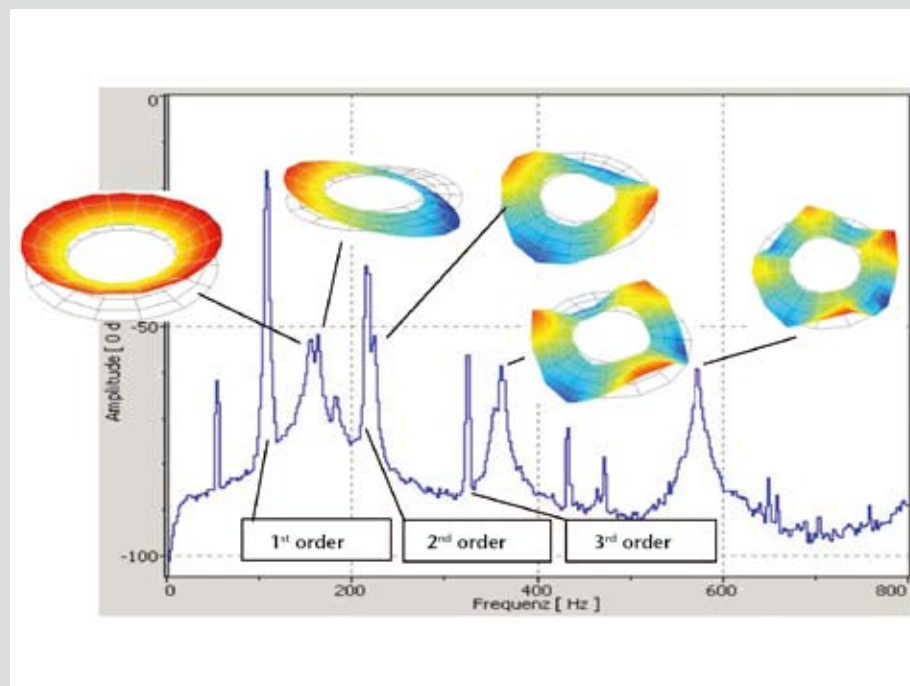


図5: ディロテータで測定した一定速度（6500 RPM）におけるODSとスペクトラム

め、回転速度が上昇すると、回転軸に対称な共振はより低い周波数で発生します。これは当然ながら、振動形状を直接表示できるスキャンによっても確認できます。このためスキャンでは、データをより簡単に、より明確に理解することができます。

周波数の高いほうへ見ていくと、次に1点が大きく振幅する振動形状が描画されています。その隣に、2次によって生じた強制的な振動が、円周上で2点が大きく共振している振動形状とともに描画されています。そのため、(2次近傍の) 強力な励振が構造共振に一致するため、その振動の振幅は非常に大きくなります。こうした現象は、シミュレーションでは非常に予測が困難と考えられます。

このように、ディロテータによる測定では、振幅、振動形状、および共振周波数について、

明確で定量的に正確な結果を容易に求めることができます。

次に、3点が大きく振幅する共振と、3次によって励起された振動が出現し、最後に約560 Hz付近で4点が大きく振幅する共振が出現します。この共振はスピーカーによる加振では460 Hzの場合に現れます。スキャンング振動計のメリットは、シフトした共振点も、振動形状に基づき容易に特定できることです。

羽根車の例

羽根車のカウンターウェイトを長時間使用すると、ウェイトのサスペンション部分にわずかなびびが生じることがあります。これを検証するため、光学ディロテータを用いてランアップ測定を実行します。それには、1つのポイントをスキャンング振動計で照射し、羽根車の回転速度を徐々に最大試験速度まで加速します。その間、レーザビームの照射ポイントは、ディロテータによりカウンターウェイト上の同一ポイントに保たれます。回転速度は時間データと並行して収集され、スキャンング振動計のバイナリ測定データを直接読み込むことができる、VSI Rotateプログラム (Vold Solutions社) で評価されます。このときキャンベル線図から、特に9次において固有振動数が励振されていること

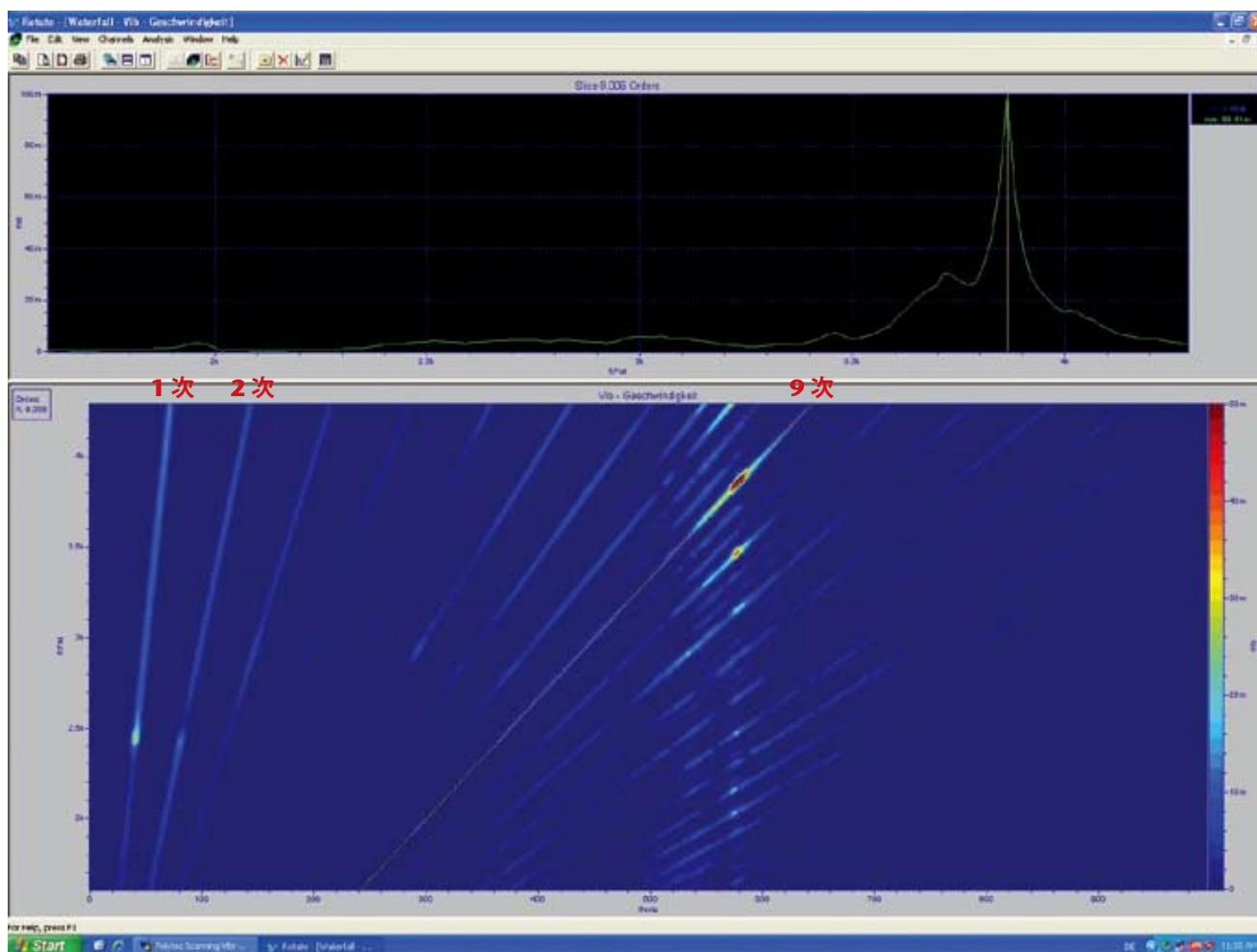


図6: 羽根車の測定におけるキャンベル線図

が分かります。

共振によって生じる影響を正確に把握するため、スキャニング振動計を用いて表面を測定します。このとき羽根車の回転速度を、ランアップテストから判明した、9次で最大の振幅が生じた値に設定します。

確認されたこの共振におけるODSは、カウンターウェイトの曲げ固有モードになります。後に静止状態での測定を実行すると、この固有モードが正しいことが証

明できました。

曲げ剛性が弱い接合部分では、歪みが大きいため、部品の初期故障の原因となることが多くあります。

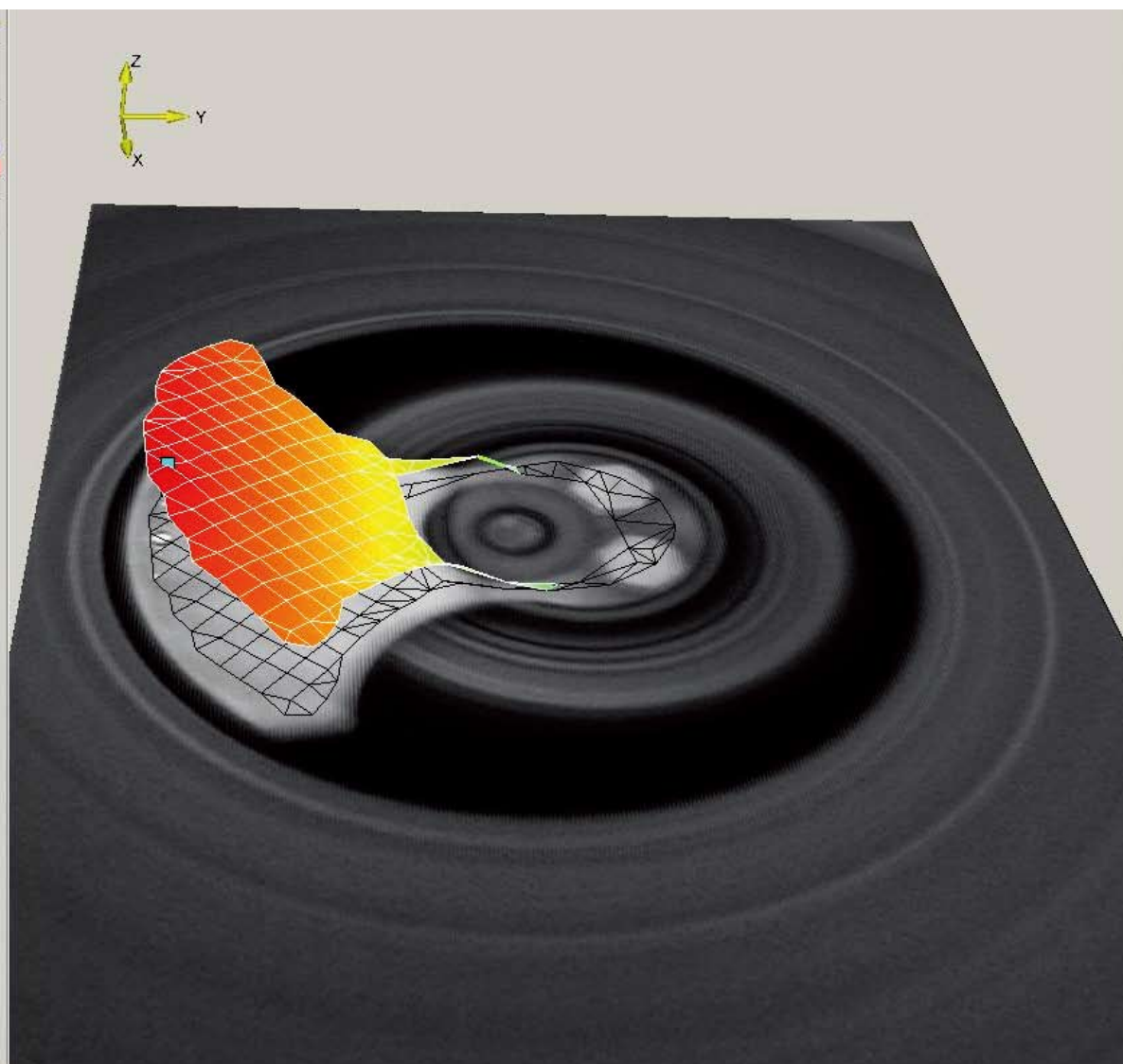


図7: 一致するカウンターウェイトの振動形状

まとめ

非接触のスキャニング振動計と光学ディロテータを組み合わせた測定により、静止状態では観察できなかった故障や不具合の原因を特定することが可能になりました。この測定では、測定ターゲットにマスローディングをかけずに測定でき、また実際に回転している状態で測定できるため、シミュレーション結果の確認に適切な入力データを収集できることが挙げられます。特にプラスチックなどを材料とするターゲットについては、高回転域でシフトする共

振を容易に把握できるようになり、励振した振動形状をモーダル試験で得られた形状と比較したり、数値化することができます。

ポリテックジャパン株式会社
〒 222-0033
神奈川県横浜市港北区新横浜
3-1-9 アリーナタワー 13F
Tel. (045) 478-6980
Fax (045) 478-6981
info@polytec.co.jp

Polytec GmbH (Germany)
Polytec Headquarters
Polytec-Platz 1-7
76337 Waldbronn
Tel. + 49 (0) 7243 604-0
Fax + 49 (0) 7243 69944
info@polytec.de

Polytec France S.A.S.
Bâtiment Orion – 1^{er} étage
39, rue Louveau
92320 Châtillon
Tel. +33 (0) 1 49 65 69 00
Fax +33 (0) 1 57 21 40 68
info@polytec.fr

Polytec Ltd.
(Great Britain)
Lambda House
Batford Mill
Harpenden, Herts AL5 5BZ
Tel. + 44 (0) 1582 711670
Fax + 44 (0) 1582 712084
info@polytec-ltd.co.uk

Polytec, Inc. (USA)
North American Headquarters
16400 Bake Parkway
Suite 150 & 200
Irvine, CA 92618
Tel. +1 949 943 3033
Fax +1 949 679 0463
info@polytec.com

Central Office
1046 Baker Road
Dexter, MI 48130
Tel. +1 734 253 9428
Fax +1 734 424 9304

East Coast Office
25 South Street, Suite A
Hopkinton, MA 01748
Tel. +1 508 417 1040
Fax +1 508 544 1225

詳細について

製品に関する詳細は、www.polytec.co.jpの「スキャニング振動計」より「光学ディロテータ」を参照いただくか、info@polytec.co.jpまでお気軽にお問い合わせください。