

実験検証シリーズ(第6回)

梶原一寿 大野誉洋 上野弘

Experimental Verification Series

K. KAJIHARA Y. OONO H. UENO

事例11 円すいころ軸受のスキュー角測定
Measurement of Skew Angle for
Tapered Roller Bearings

表1 各センサの特徴
Sensor characteristics

タイプ	原理	特徴
1 非接触式	渦電流	<ul style="list-style-type: none"> 正弦波的な出力発生 応答感度悪い 定位置測定 変位測定可
2 接触型ばね式	異種金属接触による起電力変化(熱電対を改良)	<ul style="list-style-type: none"> ころ接触中に出力発生 応答感度良い 定接触荷重測定
3 接触式	異種金属接触による起電力変化(熱電対を改良)	<ul style="list-style-type: none"> ころ接触中に出力発生 応答感度良い 定位置測定

1. はじめに

円すいころ軸受のスキューは、一般に軸受昇温や振動を助長する悪影響面がよく知られています。ところが、このスキューが適度であれば、軸受の組込みを容易にする特性も併せ持っています。自動車用デフピニオン等への組み付け工程では、内輪同士をナットにて一定トルクで締め付けることで予圧を与えますが、この時ころ大端面が内輪つばに接触しない状態で組み付けられると、その後組幅が減少することから所定の予圧がかからないという問題もあります。この場合、軸受の沈み込み特性が重要な要素となっており、ころのスキューが沈み込みを早くする効果があります。そこで、正確なスキュー角の測定を行うことが重要です。

ここでは、従来からスキュー角の測定によく使用されていた非接触式ギャップセンサで問題となっていた出力波形を改良するため、新たに接触式センサを製作し、ギャップセンサとのスキュー角の比較測定を行った事例を紹介します。

2. 測定センサおよび測定原理

表1に測定に使用した3タイプのセンサの特徴、図1にセンサ取り付け部の概略図を示します。

また、図2にはスキュー角の概念を示します。今回製作した接触式センサではセンサ上をころ頂点が通過した瞬間に得られる2出力の時間差から、非接触式では各センサの出力正弦波のピーク出力をころ頂点通過時として2本のセンサの時間差からスキュー角を導出します。接触式の利点は、ころ通過瞬間に出力が得られる点です。

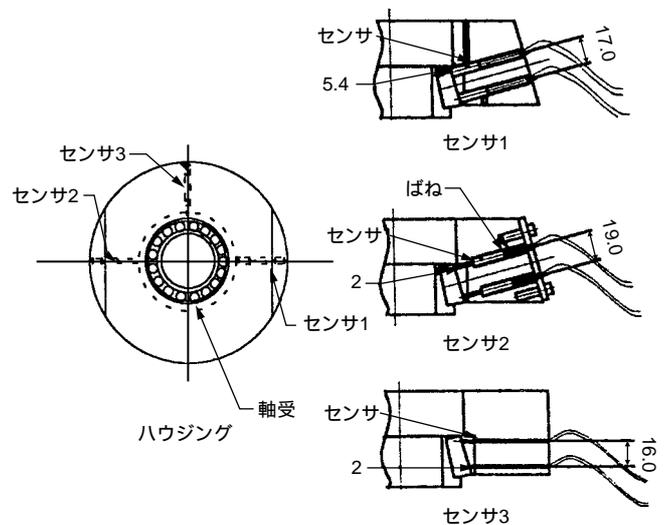


図1 センサ取り付け部概略図
Sketch of sensors mounted area

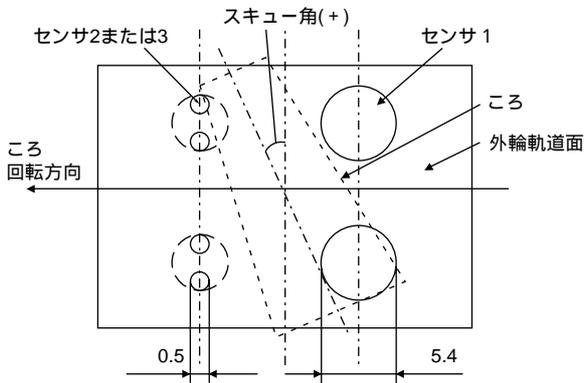


図2 スキュー角の概念
Sketch of skew angle

3. 測定内容

3.1 測定試料

円すいころ軸受33210JR(内径50mm, 外径90mm, 幅32mm, ころ20個)

3.2 測定器

円すいころ軸受のスキュー角をより正確に測定するために図3に示す測定器を使用しました。この測定器の特徴は、次のような点にあります。

- 1) スラスト空気軸受を使用することで、純アキシャル荷重が負荷できるとともに、回転トルクも同時に測定可能です。
- 2) 潤滑特性がころのスキュー角測定に大きく影響することが予想されました。そこで正確かつ安価な油滴下供給装置として医療用ポンプを利用しました。
- 3) 外輪に3種類のセンサを取り付け、出力をアナライジングレコーダに取り込むことで3センサ同時に測定を行いました。

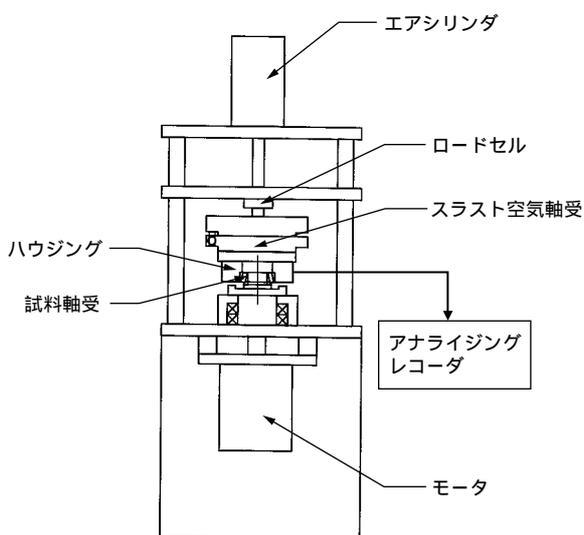


図3 スキュー角測定器概略図
Sketch of measuring equipment

3.3 測定条件

回転数60, 120min⁻¹, アキシャル荷重1kN, 6kNにて測定を行いました。潤滑油供給量は一定としました。温度は室温にて測定しました。



図4 測定器外観
Appearance of measuring equipment

4. 測定結果

- 1) 熱電対は異種金属の接触により起電力が発生するという原理を接触式センサに活用し、ころがセンサに接触した瞬間の電圧をピークとして測定できました。
- 2) これらのセンサ出力を比較すると、非接触式に比べ、接触式の方で出力感度が高い(ころ頂点通過時のピークがより明確に測定できる)ことが分かりました。
- 3) 図8, 9から、接触式センサではころは正・逆回転いずれも小端先行にて回転していました。非接触センサではこの現象をなかなかうまく捕えられませんでした。
- 4) 図8, 10から、接触型ばね式センサでアキシャル荷重を増やした場合、スキュー角変動が大きい傾向が見られました。つば荷重の増加により、ころと内輪つば間の摩擦が増加し、ころの安定性が悪くなったためと考えられます。
- 5) 図8, 11から、回転数を増加させた場合、特に大きな変化は見られませんでした。

- 6) さらに高回転での試験から、接触型ばね式センサでは追従性が問題となりました。高回転では接触式センサもしくは非接触センサが適していることが分かりました。
- 7) ただし、接触型ばね式センサにおいてもばねの弾性特性を変化させることである程度高速回転まで追従すると予想されます。

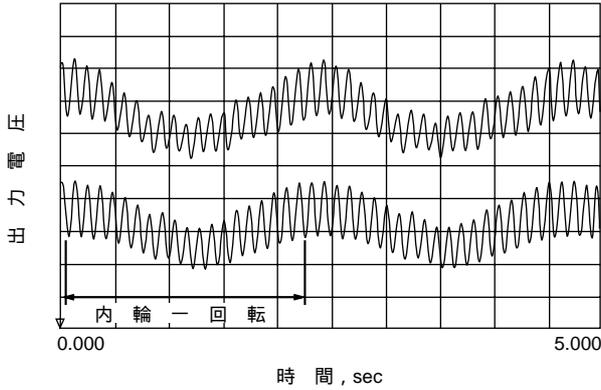


図5 センサ出力測定例(非接触式センサ)
Sensor output from gap sensor

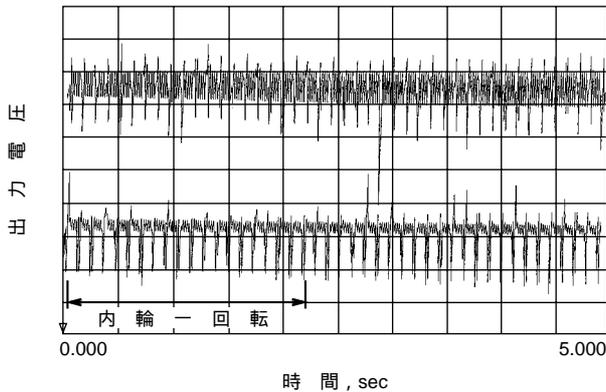


図6 センサ出力測定例(接触型ばね式センサ)
Sensor output from contact type sensor with spring

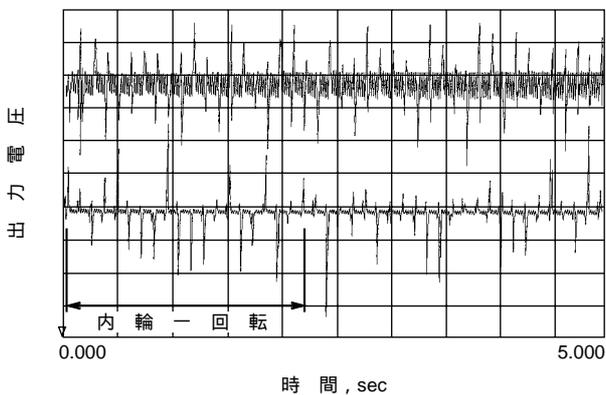


図7 センサ出力測定例(接触式センサ)
Sensor output from contact type sensor

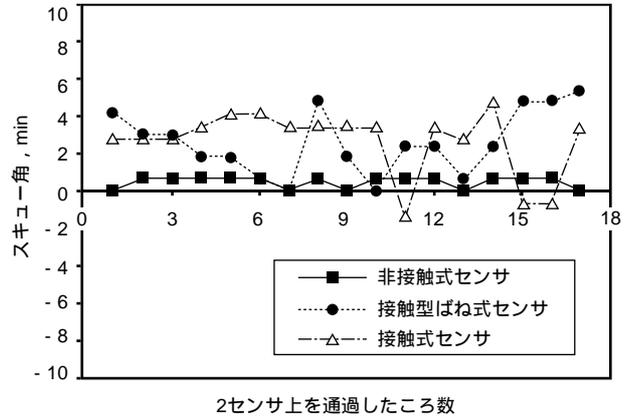


図8 スキュー角測定例(正回転, 1kN, 60min⁻¹)
Example of skew angle measurement with clockwise direction

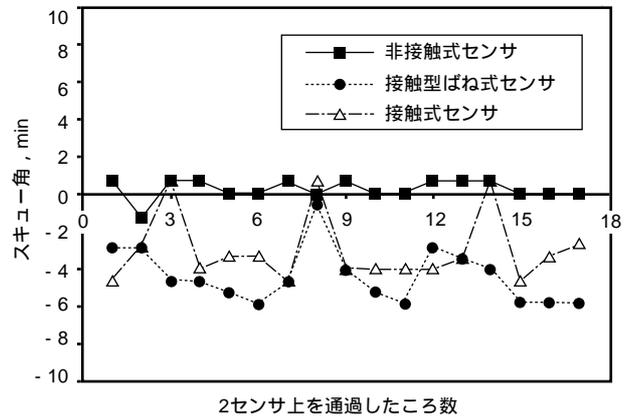


図9 スキュー角測定例(逆回転, 1kN, 60min⁻¹)
Example of skew angle measurement with anti-clockwise direction

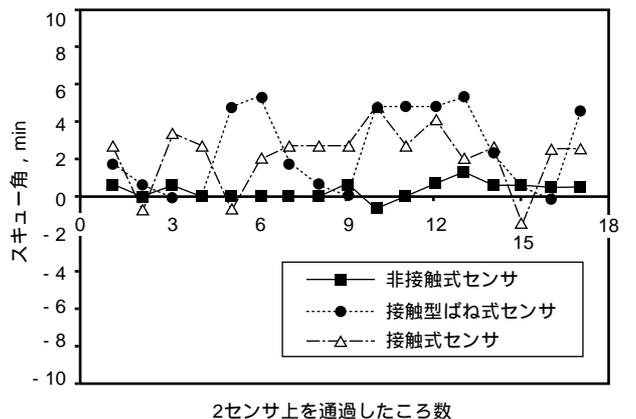


図10 スキュー角測定例(正回転, 6kN, 60min⁻¹)
Example of skew angle measurement with clockwise direction

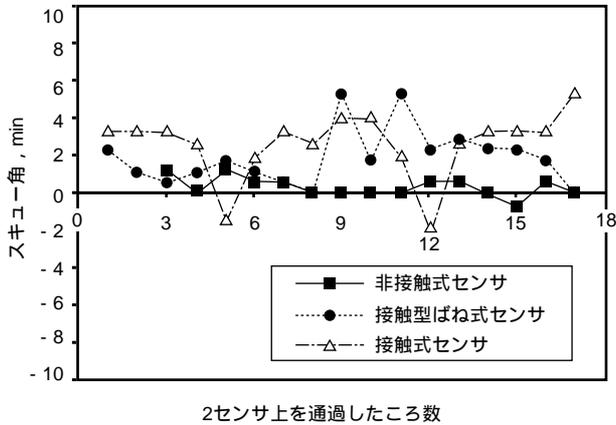


図 11. スキュー角測定例(正回転, 1kN, 120min⁻¹)
Example of skew angle measurement with clockwise direction

5. おわりに

今回測定に使用した2種類の接触式センサは、異種金属接触時に起電力が発生するという熱電対を、スキュー角測定といった異なった用途に転用することで、安価で入手しやすいセンサを製作しました。さらにこのセンサを用いると、同時にこの表面温度測定が可能です。ただし、外輪軌道にセンサを取り付ける時の2線の位置、外輪表面からの突出具合により出力波形の感度が変わるので、これらに注意を払う必要があります。

今回の測定により正確なスキュー角度が得られることが確認されましたので、この方法を改善することで軸受回転中のこの挙動を把握し、軸受の寸法、精度がどの程度このスキューに影響するかを知ることで、この運動、トルク、振動および温度上昇を制御した円すいころ軸受を作ることが期待できます。

事例12 樹脂製プーリ異音解析 Noise Analysis of Resin Pulley

1. はじめに

欧米では、自動車エンジン用補機装置のプーリや補機駆動ベルト系のアイドルプーリに、早くから樹脂製プーリが使用されてきました。最近日本においても、軽量化やリサイクル性といった環境面の対応から、プーリの樹脂化が進んでいます。

当社においても、軸受製品の一つとして、この樹脂製プーリ(以下プーリと称す)の生産を行っていますが、開発段階での問題点として、プーリから異音が発生するという現象がありました。ここでは異音の原因解析から対策例について、簡単に紹介します。

2. プーリ形状

最近のエンジン補機ベルト系に使用されるベルトは、Vリブドベルトが主流になっていきますので、プーリには、図1のように溝付プーリと平プーリの2種類の形状があります。プーリの形状から異音が問題となるのは、平プーリの場合です。

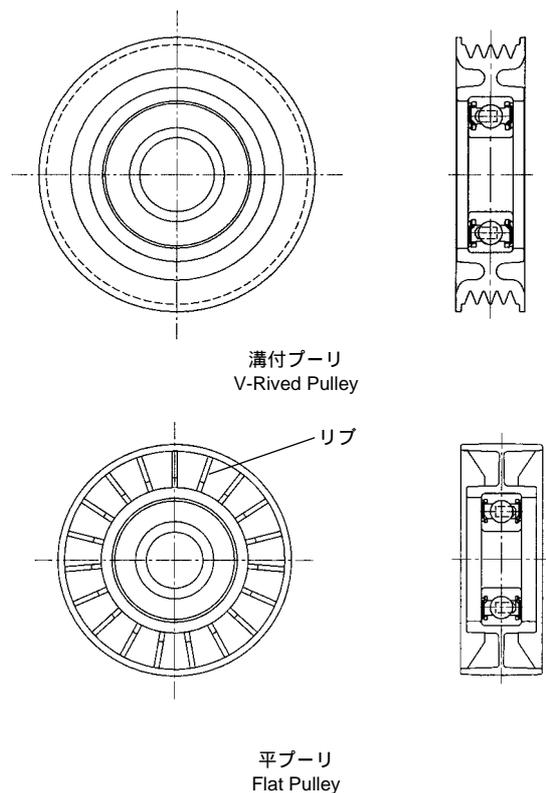


図 1 樹脂プーリ代表例
Example of typical resin pulley

3. 異音原因

プーリ単体での回転では異音の発生はありませんが、ベルトを介して回転させると異音が発生します。そのことから、プーリ外径面(ベルトとの接触面)の精度が異音と関係していると考え、調査した結果を図2～5に示します。

図2はプーリ外径面の真円度データ、図3は異音発生時の振動加速度を周波数分析した結果、図4はプーリ外径真円度と振動加速度の関係、図5は回転数トラッキング分析結果をそれぞれ示します。これらの結果から、異音の周波数成分はプーリ外径真円度の凹凸数に一致していることがわかります。すなわち、プーリ外径の凹凸がベルトと噛み合うことによって振動が発生し、それが起振源となりプーリの固有振動数にて共振(図5にて、特定の回転数で振動が大きくなっている。その時に異音も大きくなる)し、異音が発生しているものと考えます。

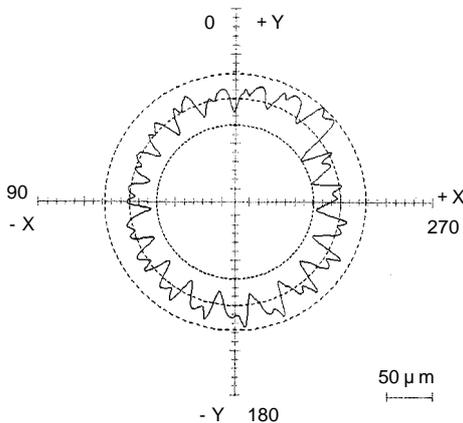


図2 プーリ外径面真円度データ(1)
Roundness data of pulley O. D.

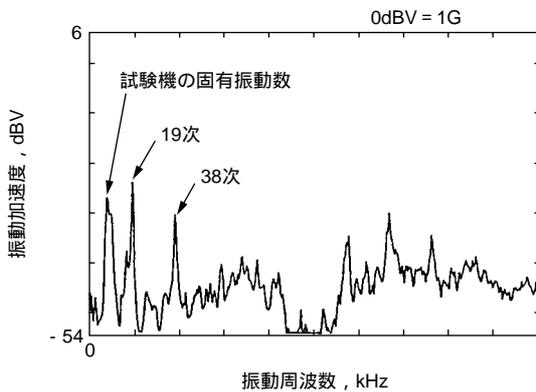


図3 振動加速度の周波数分析(1)
Frequency analysis of vibration

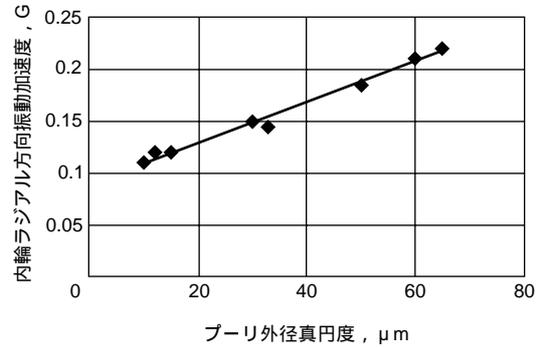


図4 真円度と振動加速度の関係
The relation between roundness of pulley O. D. and vibration

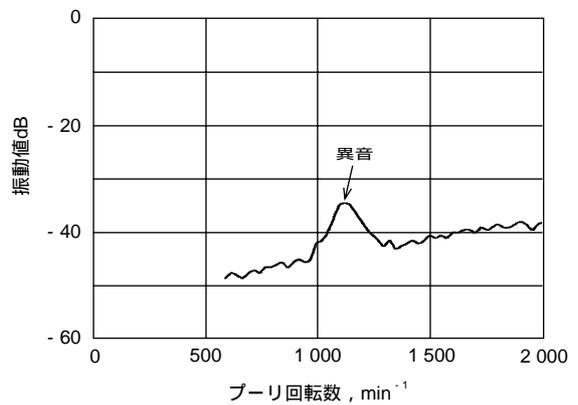


図5 回転数トラッキング分析(1)
Vibration analysis tracking revolution

4. 対策例

対策は、起振源であるプーリ外径精度を改良することになりますが、樹脂プーリでは強度面から、図1のようにリブを設けることが一般的であります。そのため、成形後の冷却収縮量に差がでることによってプーリ外径面に凹凸が生じるようになります。

ですから、対策としては、以下のような方法があります。これらによって外径面の凹凸を減少させるようにします。

- ①金型修正する
- ②リブを廃止する
- ③外径面に後加工を追加する

一般には、①の方法をとる場合が多いのですが、ここでは②による対策例を紹介します。

本来このリブは、補強のために設けていますので、リブを廃止することによる強度面の低下を考慮する必要があります。具体的には、肉厚アップ等により強度低下の起こらない設計を行います。その際、FEM強度計算を有効利用し、最大主応力の比較検討を実施しています。

表1、図6にその結果を示します。

表 1 プーリ形状比較検討結果

Analysis results

リブ付品	リブ無品
最大主応力: 110MPa{ 11.2kgf/mm ² }	98MPa{ 10.0kgf/mm ² }
樹脂部重量(ゲート部含む): 48.3g	47.6g

この結果をもとに、リブ無プーリの形状を決定しています。また、樹脂流動解析についても同様にFEM解析を行い、プーリ外径面に凹凸が出ないことも検討しています。

実際に成形したものの真円度データを図7に示します。リブ無品の真円度データは、数値そのものも小さくなっていますが、形状に差が認められます。すなわち、各凹凸部の段差(山部と谷部の高低差)が小さくなっていることが分ります。

このプーリにて、振動測定すると、図8、9のように問題の異音が消えています。

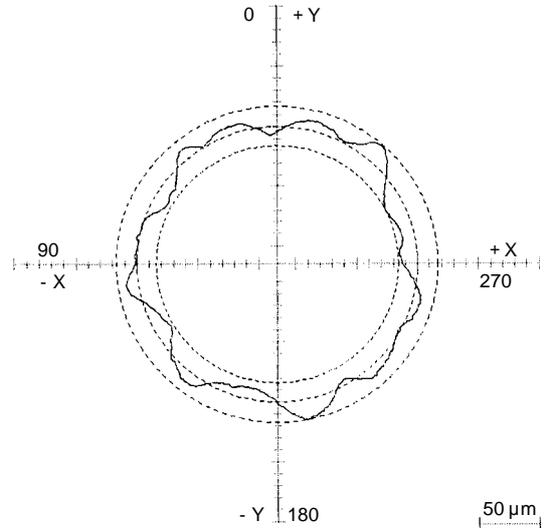


図7 プーリ外径面真円度データ(2)

Roundness data of pulley O. D.

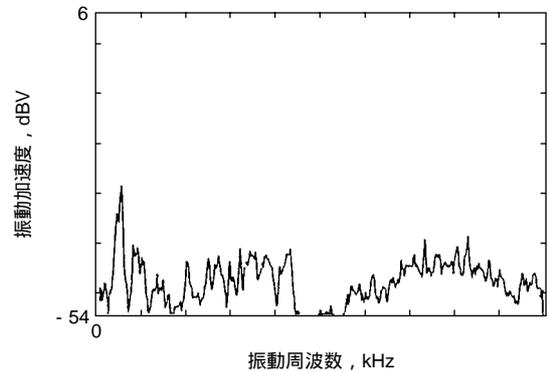


図8 振動加速度の周波数分析(2)

Frequency analysis of vibration

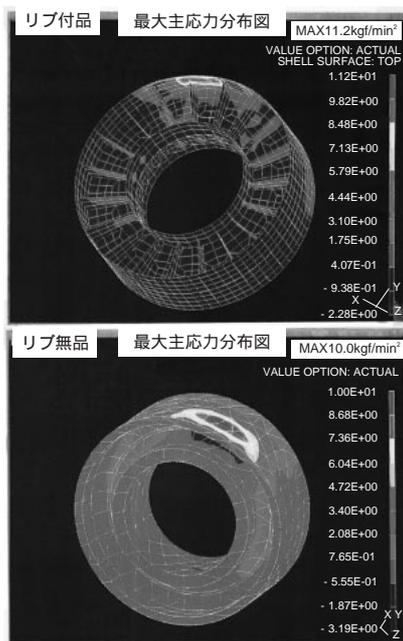


図6 FEM強度計算結果

FEM Analysis results

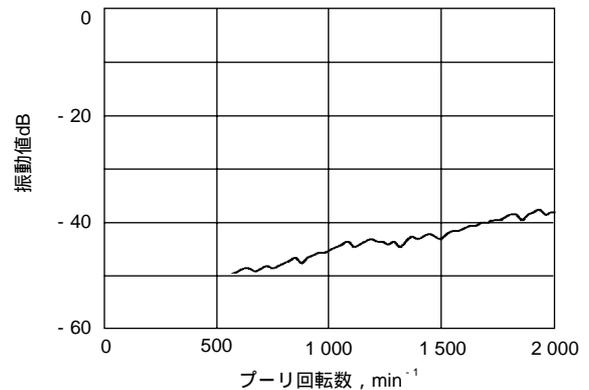


図9 回転数トラッキング分析(2)

Vibration analysis with tracking revolution

5. おわりに

以上のように、樹脂プーリにて問題となる異音については、外径面の凹凸による段差が原因していることが分かりました。ここでは、その段差を小さくする方法として、冷却収縮量が均一になるようにリブを廃止しました。その他にも、種々の対策方法がありますが、基本はプーリ外径面の寸法精度を良くすることです。

その結果、音問題だけではなく、ベルトや軸受そのものの寿命にまで良い影響を与えることになるのです。

筆 者



梶原一寿*
K. KAJIHARA



大野誉洋**
Y. OONO



上野 弘***
H. UENO

* 軸受事業本部 自動車技術センター
自動車技術企画部

** 総合技術研究所 基礎技術開発センター
機械システム開発部

*** 欧州テクニカルセンター