

ギヤホーニング盤の振動管理による 歯車加工精度の安定化

松石 秀明* 下坂 俊郎* 中谷 勇哉*

抄 録

トランスミッションの品質課題の一つにギヤ精度に起因するゴーストノイズがある。今回、ギヤホーニング盤による加工時に突発的に発生する異常振動が歯面に転写されてゴーストノイズにつながることを突き止めた。そこから設備振動をモニタリングすることで異常振動を検出し、不良品の流出防止を図る技術を確認した。

1. はじめに

トランスミッションから発生する音振に関する課題のひとつに異常歯面形状に起因するゴーストノイズがある。この異常歯面形状の発生原因となるギヤホーニング工法に着目し、その原因究明を行った。その結果、異常歯面形状はギヤホーニング盤の異常振動に起因しているため、振動レベルの大きさを検知でき、この振動レベルを全数監視することで、安定した生産品質を確保できたので報告する。

2. ゴーストノイズ

2.1 ゴーストノイズについて

トランスミッションから発生するギヤノイズとしては、かみ合いに起因するギヤノイズと傷に起因する打音、バックラッシュに起因するガタ打ち音がある。この内、かみ合いに起因するギヤノイズには、かみ合い歯数と一致した次数成分（かみ合い1次成分と呼ぶ）、その整数倍の次数成分及び整数倍以外の次数成分を持つゴーストノイズがあ

る。このゴーストノイズは車室内で耳障りな異音として聞こえる為、その撲滅が要求されている。

2.2 ゴーストノイズの解析事例と発生原因

ゴーストノイズを指摘されたトランスミッションの車室内音の分析データをFig. 1に示す。横軸に車輪軸1回転当たりの次数、縦軸に時間（加速/減速で走行）、色の違いで騒音レベルを表している。このデータでは、かみ合い1次成分からずれた0.8次成分が他の次数成分と比較し高くなっていることが分かる。

次に、このトランスミッションを使用して部品の組み替え実験を行い、発生源となる歯車部品を特定した。その歯車精度を調査したところ、歯面測定データ（Fig. 2）に異常なうねり形状が見られることが分かった。

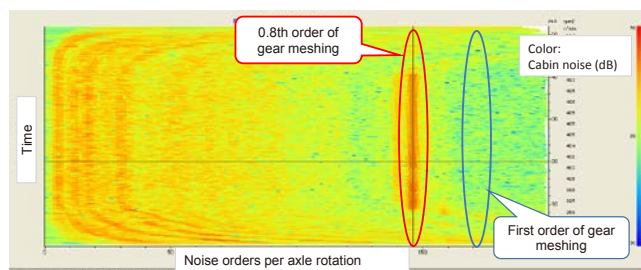


Fig. 1 Cabin noise data at the time of ghost noise detection



Fig. 2 Gear data measured at the time of ghost noise detection: Measurement of tooth trace of all teeth

* 部品技術部

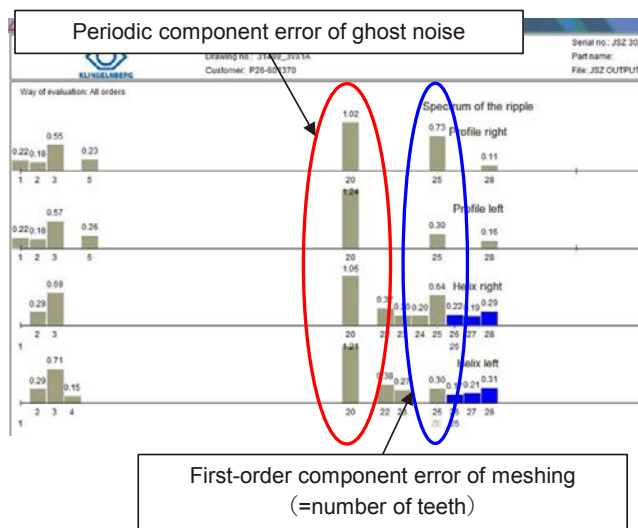


Fig. 3 Gear data measured at the time of ghost noise detection: Measurement of periodic component error

さらに、この歯面測定データのスペクトル分析を行うと、車室内騒音で検出された0.8次成分に相当するスペクトルが高い値となり、ゴーストノイズと次数が一致した。Fig. 3に歯すじ測定データのスペクトル分析結果を示す。

以上のことから、今回調査したゴーストノイズの真の原因は歯車部品の歯面うねり形状であり、この歯面形状を詳細に分析することでゴーストノイズの発生原因が特定できることが分かった。

3. ギヤホーニングとは

3.1 ギヤ加工工程

ギヤ加工工程の順序をFig. 4に示す.

ホブ加工，シェービング加工の後，浸炭焼き入れを行うが，焼き入れ時に熱処理歪が発生し，歯形・歯すじ形状が崩れる．そこで，ギヤホーニング加工を行い，歯面形状を滑らかに整えることで，ギヤノイズの発生を抑制している．

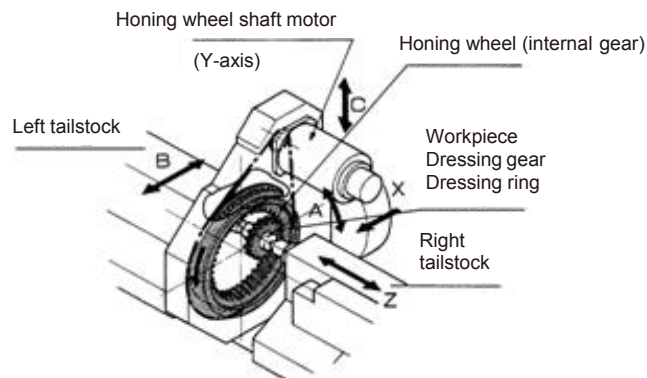


Fig. 5 Configuration of gear honing machine

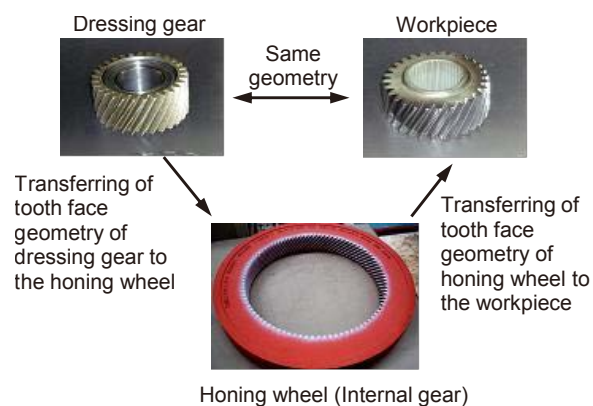


Fig. 6 Honing wheel, dressing gear and workpiece

3.2 ギヤホーニング加工

ギヤホーニング盤は、内歯車形状の砥石と歯車部品をかみ合わせ、押し付けながら回転させることで生じる微小切込みと歯面滑りにより、歯車部品の歯面を高精度に仕上げる工法である。

Fig. 5に設備概要を示す.

内歯車砥石の歯面は、完成品の狙い精度で製作されたダイヤモンド電着ドレスギヤを用いて歯面ドレスを行うことで、砥石歯面が高精度に成形される。次に、この砥石で歯面仕上げ加工を行うことで、砥石精度が部品に転写され (Fig. 6)、高精度な歯面が得られる。

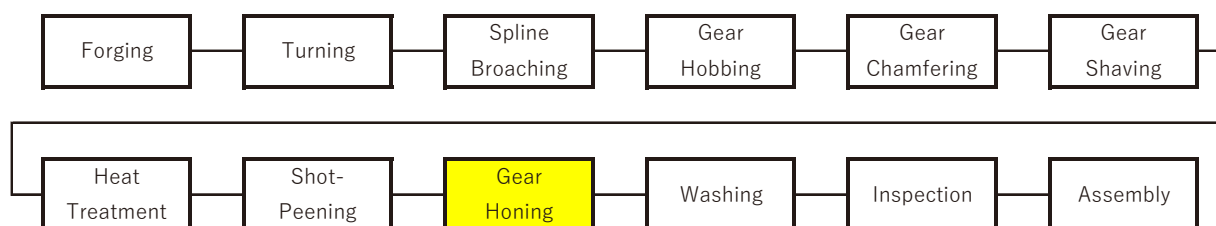


Fig. 4 Outline of gear manufacturing processes

このギヤホーニング工法は、砥石精度を歯車部品の歯面に転写するので、回転の変動や軸間距離の変動が発生すると歯面の接触状態が変化し、精度に悪影響を与えてしまう。そのため、軸間距離が変動する要因となる振動が加工中に発生すると、歯面のうねり形状が発生しやすくなる。ギヤホーニングは最終的に歯面形状を決める工程なので、今回の調査品で発見された歯すじのうねり形状は、この工程で発生していると推定した。

4. ギヤホーニング盤の振動計測

4.1 ギヤホーニング盤の振動計測位置

今回着目した歯面のうねり形状がギヤホーニング工程で発生するかどうか調査するため、ギヤホーニング加工中の状態をモニタする方法を検討し、砥石とワーク間のかみあい反力を支持する心押し台の振動を計測することにした。

4.2 設備振動の計測方法

計測については、一般的な設備振動計測に用いられている加速度センサとアンプを設備に取り付けて行った。この振動計測システムの構成をFig. 7に示す。

4.3 計測する設備振動の周波数について

ギヤホーニング盤の振動計測値の評価に当たって、ゴーストノイズにつながる振動周波数について検討した。ゴーストノイズが発生したギヤは0.8次成分のスペクトル(=周期成分誤差)を持っており、ギヤホーニング加工中の振

動の影響を受けていると想定すると、ワーク軸回転数から振動周波数を計算することができる。今回はワーク軸回転数が3,052rpm、ワーク1回転当たりの発生次数が0.8次であったため、

$$\text{振動周波数[Hz]} = \text{回転数[rpm]} \times \text{歯数(25歯)} \times 0.8 / 60 \approx 1,017\text{Hz}$$

となり、約1kHzの振動の影響を受けたと推定される。

また、芯押し台に治具を介してワークをクランプした状態で、インパクト加振によるワークの加振点応答関数を測定したところ、上述の約1kHzに固有値を持つ事が確認できた。

加振点応答関数の結果をFig. 8に示す。

そこで、1kHz付近の振動に着目して振動レベルを評価することにした。

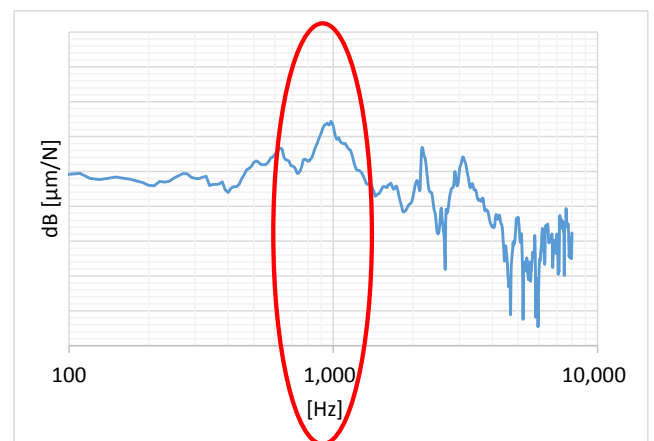


Fig. 8 Frequency response function data

4.4 歯面形状のスペクトル分析値とギヤホーニング振動値との関係

ギヤホーニング盤の1kHz周辺の振動加速度ピーク値と、歯面形状のスペクトル量(0.8次成分)との相関関係を調査した結果をFig. 9に示す。この図より両者には高い相関があり、歯面形状スペクトル評価はギヤホーニング盤振動レベル評価により代用できることが分かった。

5. ギヤホーニング盤 振動監視装置

このように、特定周波数の振動加速度と歯面形状のスペクトル量には高い相関性が見られることから、振動を監視すれば不良品の検知が可能であると言える。また、振

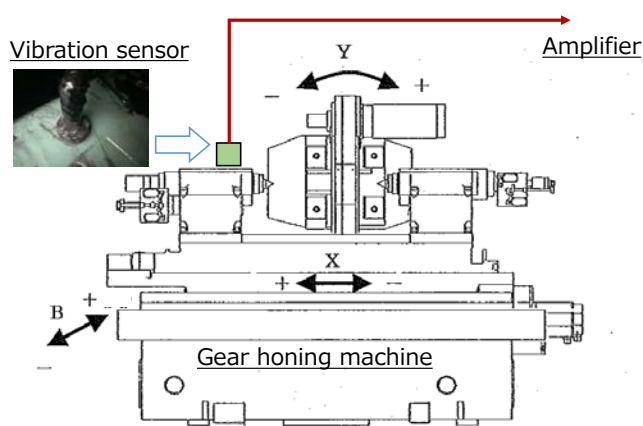


Fig. 7 Vibration measurement on gear honing machine

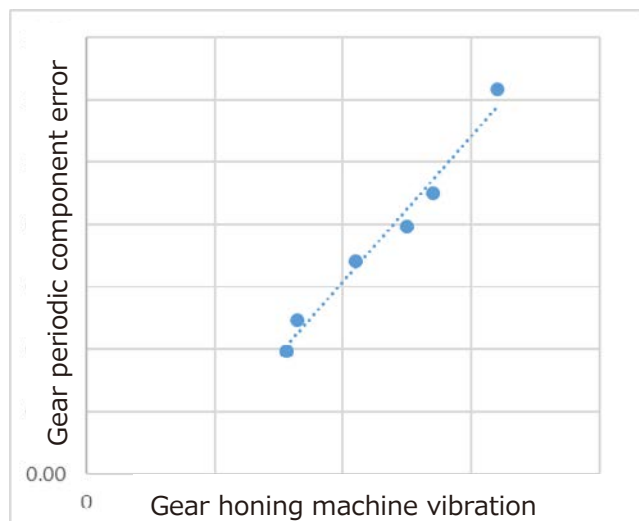


Fig. 9 Graph of gear periodic component error vs. vibration values

動レベルを一定量に抑えることができれば、ギヤの歯面形状のスペクトル量を低く抑えることができるので、生産品質の安定化につながることが期待される。

量産ラインでの日々の振動監視データ例をFig. 10に示す。

計測された振動値に対して、Fig. 10に示すように判定ライン(赤ライン)を設定し、NG品の流出防止を行っている。これにより歯車の全数保証が可能となった。

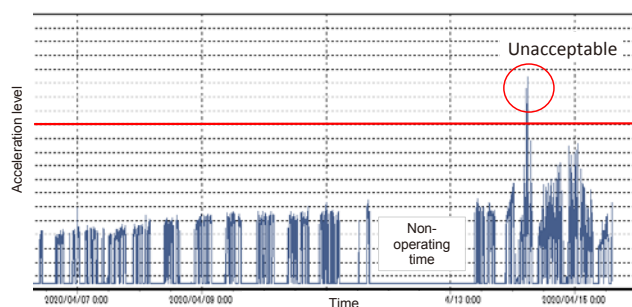


Fig. 10 Vibration monitoring data on gear honing machine

6. まとめ

トランスミッションから発生する音振に関する課題のひとつである異常歯面形状に起因するゴーストノイズの原因究明を行った。

①ゴーストノイズの原因は歯面うねり形状に起因する周期成分誤差であることが分かった。

②周期成分誤差の評価はギヤホーニング盤の振動レベルの評価で代用できることが分かった。

上記のことから、ギヤホーニング盤の振動レベルを監視すれば不良品の流出を防止できる。

■ 著者 ■



松石 秀明



下坂 俊郎



中谷 勇哉