

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	運転条件下の振動計測によるはずば歯車のかみ合い伝達誤差の推定に関する研究
Title(English)	Study on estimation of loaded static transmission error of helical gears by vibration measurement under operating load conditions
著者(和文)	南雲稔也
Author(English)	Toshiya Nagumo
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第10536号, 授与年月日:2017年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:松村 茂樹,進士 忠彦,佐藤 千明,吉岡 勇人,高山 俊男
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第10536号, Conferred date:2017/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	論文要旨
Type(English)	Summary

論文要旨

THESIS SUMMARY

専攻： メカノマイクロ工学 専攻
Department of
学生氏名： 南雲 稔也
Student's Name

申請学位 (専攻分野)： 博士 (工学)
Academic Degree Requested Doctor of

指導教員 (主)： 松村 茂樹 准教授
Academic Advisor(main)

指導教員 (副)： 進士 忠彦 教授
Academic Advisor(sub)

要旨 (和文 2000 字程度)

Thesis Summary (approx.2000 Japanese Characters)

本論文は、「運転条件下の振動計測によるはすば歯車のかみ合い伝達誤差の推定に関する研究」と題して、以下の全6章により構成されている。

「第1章 緒論」では、動力伝達用の歯車装置における振動・騒音の低減に関して現状の課題を概観し、振動の発生原因であるかみ合い起振力を小さく抑えることが重要であること、従来の研究では歯車装置を組み立てた状態での各部の寸法偏差および運転時の負荷による変形という要因がはすば歯車対の相対歯面偏差に与える影響を詳細に考慮できる設計方法がないという問題からかみ合い起振力の低減には限界があること、それを解決するためには組み立てた状態の歯車装置をユニットとして各部の寸法偏差と運転時の負荷による変形の影響を評価できるような方法が要望されていることを述べている。そしてこれらをふまえて、本研究の目的は、運転条件下の振動計測結果をもとにしてはすば歯車の歯のかみ合い起振力を定量的に評価し、歯車対の相対歯面偏差に影響する要因を把握可能とすることとしている。

「第2章 動力伝達用はすば歯車の振動モデル」では、動力伝達用はすば歯車の振動モデルについて整理して説明している。はじめに歯車対の相対的な回転方向振動を表す一自由度モデルの運動方程式をもとに、周波数領域において振動がかみ合い伝達誤差と周波数応答関数との積として単純な形に近似して考えることができるという、動力伝達用はすば歯車の振動に関する性質を示している。次に、かみ合い起振力の主な成分およびその発生メカニズムについて、歯当たり解析による計算結果を具体例として示しながら説明している。

「第3章 振動計測によるかみ合い伝達誤差の推定手法」では、運転条件下の振動計測によりかみ合い伝達誤差の時間波形を推定する手法を提案している。本推定手法では、第2章で述べた振動モデルをもとに、振動計測結果と周波数応答関数を用いることでかみ合い伝達誤差を推定する。かみ合い伝達誤差を時間波形として定量的に求めるためには、推定に用いる周波数応答関数の振幅と位相の基準を定める方法が必要になる。そこで本研究では、振動計測結果か

ら周波数応答関数の形状を求める従来方法に対し、歯車装置の多自由度振動解析により低周波数域での周波数応答関数を計算し、この計算結果を基準として用いることで周波数応答関数を定量的に求める方法を新しく提案している。具体的には、歯車装置の周波数応答特性を振動計測結果のかみ合い整数次成分から取り出し、次にこの周波数応答特性に適合するように実数値 GA を用いてパラメータを最適化した数値解析モデルを作成し、最後にこの数値解析モデルで計算される周波数応答関数に対して周波数応答特性を連続的に接続することで、歯車かみ合い部と振動計測点の間の周波数応答関数を取得可能としている。さらに、一段減速のはずば歯車振動試験装置に本推定手法を適用し、得られたかみ合い伝達誤差の推定結果を、歯当たり解析による計算結果と比較することで、本推定手法の有効性を実験的に検証している。

「第 4 章 産業用減速機への適用」では、産業用の減速機として代表的な構造である二段減速のはずば歯車減速機に対して第 3 章で提案した推定手法を適用し、かみ合い伝達誤差を推定している。同期平均を用いて各歯車に起因する振動成分を分離・抽出することで、かみ合い伝達誤差の推定結果が個々の歯車毎に切り分けられた形で求められることを示している。また減速機の出力軸に接続するカップリングのねじり剛性および第 1 段歯車対の被動歯車の歯先修整を変えて実験を行い、これらの要因がかみ合い伝達誤差の推定結果に与える影響について検討している。さらに、推定が正しくできているかを確認すべく、ロータリーエンコーダを用いてかみ合い伝達誤差を直接計測し、振動計測による推定結果と比較することで、本推定手法の有効性を実験的に検証している。

「第 5 章 かみ合い伝達誤差による相対歯面偏差の推定」では、かみ合い伝達誤差をもとにしてはずば歯車対の相対歯面偏差を推定する方法を提案している。ここで提案する方法では、様々な相対歯面偏差のパターンをランダムに生成し、それらを用いて歯当たり解析を行うことでかみ合い伝達誤差の計算結果を求める。次に歯当たり解析で計算したかみ合い伝達誤差の波形を、振動計測結果から推定した実機のかみ合い伝達誤差の波形と比較しながら、この計算を最適化手法により繰り返し行うことで、実機のかみ合い伝達誤差に一致するような歯当たり解析結果が得られる相対歯面偏差を求める。さらにこの方法を第 4 章で用いた減速機に適用して、第 1 段歯車対の相対歯面偏差を推定するとともに、得られた推定結果について検討している。

「第 6 章 結論」では、本研究の成果をまとめ、今後の課題および展望について述べている。

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note：Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1 copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).

(博士課程)
Doctoral Program

論文要旨

THESIS SUMMARY

専攻 : Department of	メカノマイクロ工学 専攻	申請学位 (専攻分野) : Academic Degree Requested	博士 (工学) Doctor of (工学)
学生氏名 : Student's Name	南雲 稔也	指導教員 (主) : Academic Advisor(main)	松村 茂樹 准教授
		指導教員 (副) : Academic Advisor(sub)	進士 忠彦 教授

要旨 (英文 300 語程度)

Thesis Summary (approx.300 English Words)

The purpose of this study is to quantitatively evaluate the mesh excitation force of helical gears under actual load conditions by vibration measurement and to grasp the factors affecting the relative tooth surface deviation of the helical gear pair in an operating gearbox. The importance of reducing excitation within gear teeth is widely recognized from the perspective of producing low noise industrial gearboxes with helical gears. However, in the conventional research, there is no design method that can take into factors affecting the relative tooth surface deviation in detail. The loaded static transmission error (STE) can be used for evaluating gear mesh excitation and deducing the relative tooth surface deviation. However, widespread application of the loaded STE to industrial gearboxes is difficult, because the measurement of the loaded STE requires a dedicated testing apparatus.

To address this concern, this research has proposed a method to estimate the loaded STE waveform by using vibration measurement under operating conditions. The estimation method is based on the understanding that gear vibration is determined by the loaded STE and frequency response function (FRF). The loaded STE is calculated as the ratio of the measured vibration to the FRF in the frequency domain. The FRF is derived by continuously combining the measured frequency response curve with the calculated FRF by using a dynamic model. To construct a dynamic model that has the best fit with the measured frequency response curve, detailed values of stiffness and damping parameters are determined by optimization using a real-coded genetic algorithm.

The proposed method was performed on a single-stage helical gear vibration test rig and a two-stage helical gear reducer. This research confirmed that the effectiveness of the estimation method was verified experimentally. Further, the relative tooth surface deviation of the helical gear pair in operating gearbox was estimated by the loaded STE waveforms and estimated result was verified experimentally.

備考 : 論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note : Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1 copy of 800 Words (English).

注意 : 論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).