

博士論文の要旨及び審査結果の要旨

氏名 濱田 成則
 学位 博士 (工学)
 学位記番号 新大院博 (工) 第 494 号
 学位授与の日付 令和元年 9 月 20 日
 学位授与の要件 学位規則第 4 条第 1 項該当
 博士論文名 円筒ウォームギヤの歯当たり解析と高精度製作法に関する研究

論文審査委員 主査 教授・新田 勇
 副査 教授・平元 和彦
 副査 教授・田邊 裕治
 副査 准教授・川崎 一正

博士論文の要旨

本論文は、「円筒ウォームギヤの歯当たり解析と高精度製作法に関する研究」と題して 5 章から構成されている。

第 1 章「緒論」では、本研究の背景と目的および構成について述べている。円筒ウォームギヤの製作においては、現場作業者の勘と経験に基づいて歯当たりの現合検査を行っているため、生産効率を改善できないのが課題である。この課題を解決するためには、製作する前に歯当たりと回転伝達誤差を把握することが必要であり、それには歯当たり解析 (Tooth Contact Analysis, TCA) が有効である。TCA の導入により、現場作業者の勘と経験を必要とせず良好な歯当たりを得ることができるようになり、かつ生産ロットでのばらつきを低減させ、品質の良い円筒ウォームギヤを安定的に製作できるようになる。

第 2 章「円筒ウォームギヤの歯当たり解析」では、円筒ウォームギヤの歯当たり解析 TCA の方法について述べている。TCA の開発に当たって、歯面創成理論に基づいて、ウォームギヤを構成するウォームとウォームホイールの歯面を幾何学的な数学モデルとして定式化した。次いで、定式化した数学モデルに基づいて、ウォームの有効歯面全域を細かくグリッドに区切り両歯面が接触する座標点を算出し、その近郊の隙間を計算し歯当たりを解析している。そして、ウォームの各回転角において両歯面が接触するときのウォームホイールの回転角を求め、回転伝達誤差を算出している。さらに、歯当たりと回転伝達誤差の解析結果の具体例を示している。

第 3 章「TCA を用いた複リードウォームギヤの高精度化」では、バックラッシュが運転後に変化しても調整可能な複リードウォームギヤを対象とし、TCA を用いると高精度な製作が可能になることを述べている。歯面修整を施した複リードウォームギヤのウォームとウォームホイールの加工に必要な専用のホブ盤の機械セッティングを TCA より算出し、加工を行った。そして、加工したウォームとウォームホイールをかみ合わせ、歯当たりと回転伝達誤差を測定した結果、歯当たりは TCA 結果と一致していたが、回転伝達誤差は TCA 結果との間に差異が生じた。その要因を調査した結果、ウォームホイールを加工するホブ工具の歯形形状の誤差が原因であることが明らかとなった。そこで、ホブ工具の誤差値の測定結果を TCA へ反映させた上で、再度回転伝達誤差を解析した結果、実測値との相関が認

められた。これより、TCA の有効性を確認するとともに、TCA を用いた円筒ウォームギヤの高精度製作が可能となった。

第4章「マシニングセンタによるウォームホイール歯切りの高精度化」では、高速回転、高速位置決め装置で使用される多条諸元のウォームギヤのウォームホイールをマシニングセンタで加工する方法を述べている。ウォームホイールをホブ盤で加工すると、歯面に多角形誤差が発生し、歯面の局所的な面圧上昇で異常摩耗が発生するなどの課題が指摘されていた。そこでまず、ウォームとウォームホイールの歯面修整について検討し、組立て誤差が歯当たりと回転伝達誤差に与える影響を調査し、歯面形状の最適化を図った。次いで、開発した TCA を用いてウォームホイールの歯面の 3D-CAD モデルを作成し、CAM により工具パスを決定するとともに、5 軸マシニングセンタを用いて汎用性の高いエンドミル工具でウォームホイールの加工を行った。そして、加工した歯面をホブ盤で加工したそれと比較した結果、ホブ盤の加工で生じるような多角形誤差もなく、加工精度も向上することを確認した。また、回転伝達誤差を測定し、ショートウェーブのかみ合い周波数を分析した結果、ホブ盤の加工による分析結果より小さくすることができた。これより、汎用性の高い 5 軸マシニングセンタで加工を行うと高精度に加工できることを確認した。

第5章「結論」では、本論文で得られた結論を纏めている。

審査結果の要旨

本論文は、円筒ウォームギヤの製作においては歯当たりの現合検査が必要であるという課題を解決するため、歯当たり解析 (Tooth Contact Analysis, TCA) を開発し、それに基づいた高精度加工法について研究を進めている。第2章では、歯面創成理論に基づいて、円筒ウォームギヤの TCA を開発し、歯当たりと回転伝達誤差の解析結果の具体例を示している。本 TCA の開発により、加工する前に歯当たりと回転伝達誤差を把握できるようになった。第3章では、開発した TCA に基づいて、バックラッシが運転後に変化しても調整可能な複リードウォームギヤの歯当たりと回転伝達誤差を解析している。そして、TCA 結果に基づいて、歯面修整した複リードウォームギヤのウォームとウォームホイールをそれぞれ専用のホブ盤で加工し、両者をかみ合わせ歯当たりと回転伝達誤差を測定した結果、歯当たりは TCA 結果と一致したが、回転伝達誤差は TCA 結果との間に差異が生じた。そこで、その原因を明らかにし、それを TCA に反映させることにより両者が一致することを確認した。第4章では、高速回転、高速位置決め装置で使用される多条諸元のウォームギヤの歯面修整について検討し、TCA を用いて組立て誤差が歯当たりと回転伝達誤差に与える影響を調査し、歯面形状の最適化を図った。さらに、多条ウォームギヤのウォームホイールの高精度化を図るため、TCA に基づいて 3D-CAD モデルを作成し、CAM により工具パスを決定し 5 軸マシニングセンタを用いて加工した。そして、加工したウォームホイールの歯面をホブ盤によるそれと比較した結果、ホブ盤では避けられない多角形誤差を避けることができるとともに、加工精度も向上することを確認した。

このように、本論文の成果は、勘と経験に頼ることなく、高精度な円筒ウォームギヤの設計・製作を可能とするものであり、工学的に大変価値が高いと認められる。

よって、本論文は博士 (工学) の博士論文として十分であると認定した。