

論文内容の要旨

氏 名 なが さき よう いち
長 寄 羊 一

学位の種類 博士(工学)

学位記番号 シ 第 12 号

学位授与の日付 平成 19 年 3 月 22 日

学位授与の要件 学位規程第 4 条第 2 項該当

学位論文題目 歯車の特性評価と傾斜歯車減速装置に関する研究

論文審査委員 (主 査) 教授 小 松 眞 一 郎

(副主査) 教授 深 谷 保 博

(副主査) 教授 京 極 秀 樹

歯車を設計する際には、歯の面圧や曲げ強度を計算するだけではなく、歯車を使用した装置全体の振動や騒音特性などの動特性や、歯車の種類によっては機構的要素をも考慮する必要がある。

歯面強度(面圧)は、一般にヘルツの弾性接触理論を適用して得られる弾性接触面における最大分布荷重から計算されているが、潤滑油や添加剤の種類、粘度および雰囲気の影響も受けることが考えられる。また、歯の曲げ強度は、一般にルイスの式を修整した計算式が用いられている。これらの式の適用に当たっては危険断面の位置決定が必要になるが、有限要素法や境界要素法を用いれば危険断面位置を決定することなく歯元応力を求めることができる。歯車の動特性に関する研究では、平歯車、はすば歯車などの円筒歯車についてかなり行われているが、軸受の違いがすぐばか歯車の歯元応力比や直交三方向の振動にどのような影響を及ぼすかについてはさほど明らかにされていない。一方、傾斜歯車減速装置においては、一般の差動歯車減速装置と同様に遊星歯車(歯数が僅かに違う)間の速度差を利用するものであり、振動や騒音が少ないと報告されている。この装置の歯形は一方では半円状のピン(凸円弧歯)、他方では半円筒の溝(凹円弧歯)を持ち、入力軸に対して僅かな軸角をもってかみ合っている。また、軸方向に予圧を加えることによって、バックラッシュをゼロにすることが可能である。したがって、この装置を実用化するためには、装置の機構解析、かみ合いシミュレーションなどの静的挙動、運転中の振動加速度、上昇温度および騒音などの動的挙動を調べ、静特性及び動特性などを明らかにする必要がある。本研究は上記の諸点を明らかにするために行ったものである。

第 1 部では、「平歯車の強度解析システム」と題して歯車強度解析のためのシステム開発を行った。歯形に修整、工具の頂げきや丸みに特別な形を与えることなどにより、歯車の曲げ強度を増すことができるが、歯形の形状が複雑となって歯元応力の解析が近似的にしか求めることができなくなる。そこで、有限要素法を使用して、特殊な歯切り工具の設計およびその工具で歯切りされた平歯車の強度解析が可能なシステムを開発した。このシステムによる計算結果は従来から行われている計算結果とも一致していることを示し、平歯車の引張り側に生じる最大歯元応力を低くできるラッ

ク形歯切り工具の形状と歯形を求め平歯車の強度解析システムの開発を行った。

第2部では、第1章において、「すぐばかさ歯車の動特性に及ぼす軸受の影響」と題し、すぐばかさ歯車を支える軸受に円すいころ軸受とアンギュラ玉軸受の二種類の軸受を用いて、これら軸受の違いによって動荷重・各歯元応力比・直交三方向振動などがどのような影響を受けるかなどについて調べた。その結果、歯すじ方向の歯元応力比はアンギュラ玉軸受を使用した場合に比べて、円すいころ軸受を使用した場合の方が動荷重の影響を受けて高くなることや、軸方向変位における高周波成分の各かみ合い周波数に対する振幅は、円すいころ軸受を使用した場合の方がアンギュラ玉軸受を使用した場合に比べてかなり小さくなることなどを明らかにした。

第2章では、「すぐばかさ歯車とはすばかさ歯車の動特性の違い」と題し、動力循環式かさ歯車試験装置と円すいころ軸受を使用して、それぞれのかさ歯車の歯元ひずみ、歯車軸のトルク変動および曲げ振動、かさ歯車の軸方向振動変位の測定解析などを行った。その結果、はすばかさ歯車の歯元応力比は、すぐばかさ歯車に比べて、回転速度が増しても動荷重は増加しなく、あまり高くないことや、歯元応力比は歯車軸のトルク変動や歯車軸の曲げ振動の影響を受けやすいこと、また歯車軸のトルク変動と曲げ振動の振動成分の振幅もすぐばかさ歯車に比べかなり低くなることなどを明らかにした。

第3部では、第1章で「傾斜歯車減速装置に関する研究」と題し、相対するそれぞれの歯形が、一方では半円筒状の凸歯で、他方は半円筒の溝（凹円弧歯）である場合の試作機を作り、その性能解析などについて研究している。ここでは、歯切りを容易にするために外歯車（かさ歯車のような円すい台形）を使用したために、入出力歯車対の一方においては、ピッチ円すい角の頂点が一点で交わらないことが生じることが分かった。この自転及び公転を含む傾斜歯車のかみ合い状態は、軸角や歯数などによって影響を受けるので、かみ合い状態が複雑である。したがって、本章では、機構解析と三次元CADによる歯のかみ合い状態のシミュレーションを行い、装置として成り立つための歯数と軸角の条件などを研究した。その結果、歯数比

が一定な歯車対の場合、歯数を少なくすると内端側の歯厚が薄くなる歯形になることや、円弧歯形の干渉を防ぐために必要な歯形修整の量に影響を及ぼす因子は軸角が最も大きく、次いで歯数、ピッチ円すい角の順であることなどを明らかにした。

第2章においては、「円弧歯形をもつ傾斜歯車減速装置の特性」と題し、前章で理論的解析を行った円弧歯形をもつ傾斜歯車減速装置の試作機を作って、実験的研究を行った。その結果、この装置は硬化性ばね特性を示すことや、トルクとねじり角の関係においてヒステリシスループもバックラッシュも存在しないこと、また運転時に要する負荷トルクは非常に小さく、温度上昇や騒音も比較的低いことなどを明らかにした。

第3章においては、「近似創成ピン歯をもつ傾斜歯車減速装置の特性について」と題し、本章の研究で使用した実験装置は第2章で述べたものとほぼ同じであるが、前装置ではピッチ円すい角の頂点が一点で交わらないために運転時に摩擦損失が生じていたので、今回の装置では凸円弧歯に加工が容易な近似創成ピンを使用して、実験的研究を行った。その結果、ねじり特性・温度特性・効率特性などにおいてかなりの改善が見られたが、騒音特性はさほど改善されないことなどがわかった。

第4章においては、「円弧歯形かさ歯車をもつ傾斜歯車減速装置」と題し、前章で歯形を近似創成ピンとしていたが、本章ではピッチ円すい角の頂点を一点で交わらせることによって通常の円筒ピンが使用可能な方式に変えて研究を行った。この円弧歯形かさ歯車はピッチ円すい角のかなり大きなすぐばかさ歯車と考えられる。したがって、歯形の中心がピッチ点にくるとその接触により力を伝えることができる歯車であり、シムの有無により歯面間の距離を3タイプに変化させるなどして実験研究を行った。その結果、騒音レベルは、バックラッシュが存在する場合には負荷トルクの大小によって変化することや、また伝達効率はバックラッシュがない場合には低トルク時では低くて、トルク増加に伴って高くなることなどを明らかにした。

第4部では「総括」として、第1部から第3部までの結言をまとめた。

論文審査結果の要旨

本研究は歯車装置の特性評価と傾斜歯車減速装置の解明に関する一連の研究を行ったものであり、四つの部からなっている。

第1部は「平歯車の強度解析システムの開発」に関する研究である。歯形修整や工具頂げきへの丸み付加などによって歯形に特別な形を与えた場合の応力解析について論じている。歯形に特別な形状を与えることによって歯車の曲げ強度を増大させることができるが、歯形形状が複雑となるので従来の歯元応力解析手法では歯元応力は近似的にしかなることができない。そこで、有限要素法を使用して、特殊な歯切り工具の設計およびその工具で歯切りされた平歯車の強度解析が可能なシステムを開発している。開発した解析システムによる計算結果は、従来手法による計算値結果ともよく一致していることを示し、更に平歯車に生じる最大歯元応力を低減できるラック形歯切り工具の形状や歯形を求めことのできる平歯車強度解析システムを開発している。この成果は既に日本機械学会論文集C編に発表掲載されている。

第2部では、「すぐばかさ歯車の動特性に関する研究」と題して、かさ歯車の動特性を多方面から実験検証している。第1章では軸受の種類による影響の研究を行い、円すいころ軸受とアンギュラ玉軸受の二種類の歯車軸受の違いによって各歯元応力比や直交三方向振動などの動特性がどのような影響を受けるかなどについて調べている。その結果、歯すじ方向の歯元応力比はアンギュラ玉軸受を使用した場合に比べて、円すいころ軸受を使用した場合の方が動荷重の影響を大きく受けて高くなることや、軸方向変位における高周波成分の各かみ合い周波数に対する振幅は、円すいころ軸受を使用した場合の方が小さくなることなどを明らかにしている。この成果は既に日本機械学会論文集C編に発表掲載されている。

第2章では「すぐばかさ歯車とはすばかさ歯車の動特性の違い」と題して、動力循環式かさ歯車試験装置と円すいころ軸受を使用した実験研究を行なっている。その結果、はすばかさ歯車の方が回転速度を増しても動荷重はさほど増加しないが、歯元応力比は歯車軸のトルク変動や歯車軸の曲げ振動の影響を受けやすいことなどを明らかにしている。この成果は既に日本機械学会論文集C編に発表掲載されている。

第3部では、「傾斜歯車減速装置に関する研究」と題して、新しいタイプの減速歯車装置の開発・試作・性能評価などに関する研究を行っている。

第1章では、歯切り作業の容易さの観点から採用した外歯車使用の試作機について性能評価している。同機の機構解析や三次元CADによる歯のかみ合い状態シミュレーションなどの動作解析を行って、減速装置として成り立つための歯数と軸角の条件などを見出し、また入出力歯車対の一方においてピッチ円すい角の頂点が一点で交わらないことが生じることなどを明らかにしている。そして、歯数比が一定な歯車対の場合、歯数を少なくすると内端側の歯厚が薄くなる歯形になることや、円弧歯形の干渉を防ぐために必要な歯形修整の量に影響を及ぼす最大因子は軸角であることなどを明らかにしている。この成果は既に近畿大学工学部研究報告に発表掲載されている。

第2章においては、「円弧歯形をもつ傾斜歯車減速装置の特性」と題し、前章で理論的解析した円弧歯形を採用した試作機について実験的研究を行っている。同装置は、硬化性ばね特性を示すことや、トルクとねじり角の関係においてヒステリシスループもバックラッシュも存在しないことなどを明らかにしている。この成果は既に近畿大学工学部研究報告に発表掲載されている。

第3章では、「近似創成ピン歯をもつ傾斜歯車減速装置の特性について」と題して、凸円弧歯に加工容易な近似創成ピンを使用した試作機について実験的研究を行っている。その結果、ねじり特性、温度特性、効率特性においてかなりの改善が見られたが、騒音特性はさほど改善されなかったことなどを明らかにしている。この成果は既に近畿大学工学部研究報告に発表掲載されている。

第4章では、「円弧歯形かさ歯車をもつ傾斜歯車減速装置」と題し、ピッチ円すい角の頂点を一点で交わせることにより、凸歯に通常の円筒ピンを用いた方式での研究を行っている。同試作機は、歯形中心がピッチ点に来た時に動力伝達できる歯車であり、使用するシムの厚さによって歯面間の距離を3タイプに変化させるなどして実験研究を行っている。その結果、騒音レベルはバックラッシュが存在する場合には、負荷トルクの大小によって変化すること、また伝達効率はバックラッシュがない場合には低トルク時では低く、トルク増加に伴って高くなることなどを明らかにしている。この成果は既に日本機械学会論文集C編に発表掲載されている。

第4部では「総括」として、第1部から第3部までの結言をまとめている。

以上の本研究の成果は、学究的にも工業的にも重要であり、本論文は博士(工学)の学位に値するものと判断した。