

氏名	近 久 満 雄
授与学位	工 学 博 士
学位授与年月日	昭 和 58 年 10 月 12 日
学位授与の根拠法規	学位規則第 5 条第 2 項
最終学歴	昭 和 20 年 8 月 米沢高等工業学校機械科卒業
学位論文項目	だ円系歯車の加工に関する研究
論文審査委員	東北大学教授 酒井 高男 東北大学教授 戸部 俊美 東北大学教授 植川 武男

論 文 内 容 要 旨

第 1 章 緒 論

だ円系歯車は周期的に角速比を変える装置として利用される。この装置は構造が簡単でありながら、円滑で確実な運動が得られるという特徴をもつ。このため、だ円系歯車を用いた変速装置は各種機械への応用が大きく期待される。しかし、現在までのところ、この種の歯車の加工法や検査法は確立されておらず、実用化は著しく阻害されている。この現状に鑑み、本論文ではだ円系歯車の加工法から検査法および応用にいたるまでの一連の研究を取上げ、だ円系歯車の実用化を可能にした。

従来、だ円系歯車の製作には、創成歯切法が採用されている。このため、特殊形状のカムを装着した歯切装置や数値制御装置を装備した歯切盤によって加工されている。しかし、この歯切法には複雑な機構が必要であり、そのため、高価な加工法となる。さらに、これまでのところ、だ円系歯車といえば、もっぱら切削加工であるところの歯切法のみであり、転造法等の他の生産的加工法については、その試みさえ行われていない。さらにまた、加工されただ円系歯車の精度検査には、主として、工具顕微鏡や歯厚測定用マイクロメータを用いた法線ピッチ誤差の測定を行っているが、この検査法は非能率的であるため、だ円系歯車の実用化を阻害する一要因となっている。

本研究はだ円系歯車の加工とその実用化を目的としている。このため、だ円系歯車のピッチ曲線を接線極座標を用いて表わし、その幾何学的諸性質を明らかにすることによって、だ円系歯車の歯

切加工法、転造加工法およびシェービング仕上げ法を開発した。このうち、だ円系歯車の転造加工法およびシェービング仕上げ法は、従来、その例を見ないものである。

次に、構造の簡単な非円形歯車のかみ合い試験機および歯形試験機を試作し、だ円系歯車の新しい試験法を確立した。この試作試験機によって、短時間に高精度の測定が可能となり、だ円系歯車の精度検査が能率的に行えることとなった。

最後に、加工されただ円系歯車を三輪自転車の駆動、撚糸機のトラバースバーの運動機構および飾り撚糸機構に応用した。特に、撚糸機については、松葉式60錘撚糸機に著者の研究によるだ円系歯車変速装置を装着したところ、その実用化に成功し、大いなる成果を得た。

本論文は全8章から成る。第2章ではだ円系歯車のピッチ曲線の接線極座標による検討、第3章ではホブ盤によるだ円系歯車の簡易歯切法の開発について論じた。第4章ではだ円系歯車の生産的加工法として最も期待される転造加工法の開発、第5章ではシェービングによる仕上げ法について記した。第6章では非円形歯車精度測定のため、新しく試作した試験機と、これによるだ円系歯車の精度試験法について述べた。第7章はだ円系歯車の自転車と撚糸機への応用例である。第8章は結論であり、上述しただ円系歯車の各種加工法による精度について、その比較を試みた。

第2章 だ円系歯車の幾何学

本章では、以下の各章の基礎となるだ円系歯車の幾何学について論じた。

まず、だ円系歯車のピッチ曲線を工作法への配慮から、これを近似だ円によって近似することを提案し、その中心を原点、長軸を原線として接線極座標 (r, θ) によって表示する。すなわち、だ円を表わす式 $r = f(\theta)$ をフーリエ級数に展開した場合の第一次、第二次近似式である次の2式

$$r = r_0 + C_1 \cos(2\theta) \quad (1)$$

$$r = r_0 + C_1 \cos(2\theta) + C_2 \cos(4\theta) \quad (2)$$

によって表現することを試みた。

ここに、 r_0 、 C_1 、 C_2 は係数である。これらの係数を適当に定めれば、真正だ円の焦点を回転中心とする歯車、または、その中心を回転中心とする歯車のピッチ曲線方程式が得られる。

本章では、近似だ円が与えられた時、式(1)、(2)の中の係数 r_0 、 C_1 、 C_2 を求める方法を詳述した。その結果、式(1)および(2)の近似だ円の真正だ円からのかたよりは、離心率が0.5までは、それぞれ長半軸の0.12%および0.02%以下であることを明らかにした。これにより、式(1)、(2)を実用のピッチ曲線として供し得ることが示された。また、だ円系歯車の中心を回転中心とする場合では、式(2)のピッチ曲線とかみ合いピッチ曲線との偏差をみるため、式(2)のピッチ曲線の一對をころがり接触させた場合の軸間距離の変化を求めた。その最大変化量は、長軸と短軸の比が1.43および1.56において、それぞれ長軸の0.2%および0.6%程度であり、これもまた、実用に充分耐えるものであることが確認された。

以上要するに、本方式のだ円系歯車は、①真正だ円の焦点に当る点を回転中心とする歯車、また、②その歯車の中心を回転中心とする歯車として充分実用に供し得るものであることを幾何学的に確認したものである。

第3章 だ円系歯車のホブ盤による加工

本章では、式1), (2)をピッチ曲線とするだ円系歯車を歯切りするために試作した3種の歯切装置について詳述している。すなわち

- ① 歯車素材に公転と一方向の直線運動を与える装置
- ② 歯車素材およびホブにそれぞれ一方向の直線運動を与える装置
- ③ 歯車素材にたがいに直角方向の直線運動を与える装置

これら3種の装置をホブ盤に取付けて行っただ円系歯車の加工実験について詳述した。

①および②の装置は式1)の曲線を切削ピッチ曲線とするだ円系歯車の歯切加工に用い、③の歯切装置は式1), (2)の曲線を切削ピッチ曲線とする歯車の歯切加工に用いた。このうち、③の歯切装置によって、式2)のピッチ曲線をもつだ円系歯車を歯切りする場合、装置を簡易化する目的により、一組の偏心円形カムを偏心歯車によって変速回転させる方式とした。本方式の歯切法は装置の偏心円形カムの偏心量を変化させることによって、ピッチ曲線形状の異なるだ円系歯車の歯切加工を行うことができるという特徴を有し、きわめて有効な歯切法であることが確認された。

また、これらの歯切法によって加工されただ円系歯車の精度は、最大法線ピッチ誤差において、モジュール2および2.5の歯車につき0.018～0.046mmであり、充分実用に供し得るものであることを確認した。

第4章 だ円系歯車の転造による加工

だ円系歯車の転造加工に関する研究は、従来その例を見ない。本章および第5、6章は本論文の主要部である。本章では、だ円系歯車の生産的な簡易加工法として考案した二方式の転造装置およびその加工実験について詳述している。

転造装置の一つは、素材軸を変位させる方式の転造装置であり、素材軸を二組のカムおよびオルダム接手を用いて変位させるため、構造がやや複雑となるが、歯車素材の旋削も可能であるという特徴をもっている。

他の方式の転造装置は、二又のダイスホルダとだ円系歯車ピッチ曲線形板を用いた簡単な装置である。これらの装置を旋盤に取付けて、だ円系歯車の転造加工実験を行うものである。本章の後半では、後者の装置を用い、両側面の盛り上がり（バリ）を防ぐ転造方法について記した。これは二個のローラによって素材両側面をはさむ方法とV形溝付きカラーの溝部に素材歯形部分を挿入する方法である。実験の結果、第二の方法で加工した歯車が、第一の方法による歯車より精度が格段と優れていることがわかった。この方法によって製作された歯車には側面のバリを除去するための二次加工の必要が全くなく、ただちに実用に供しうる歯車となっている。したがって、本方式はだ円系歯車の生産的加工法として最適であると考えられる。

転造歯車の精度は、最大法線ピッチ誤差において、モジュール1、1.25および1.5の歯車につき0.015～0.040mmである。また、同じモジュールにおいて、歯数70～100の歯車一個当りの正味転造時間は1.5分程度であり、非常に加工能率がよい。

第5章 だ円系歯車のシェーピング仕上

だ円系歯車のシェーピング仕上げに関する研究もまた、従来その例を見ない。本章では、著者が考案したねじ歯車形シェーピング方式と二軸平行形シェーピング方式の二種の装置およびその加工実験について述べている。

ねじ歯車形シェーピング装置は、素材を二組のカムおよびオルガム接手を用いて変位させるため、構造がやや複雑となる。しかし、これを旋盤に取付けるのみで、手軽にシェーピング仕上げを行うことができるため、便利である。

これに対して二軸平行形シェーピング装置は、二又カッターホルダとだ円系歯車ピッチ曲線形板を用いた簡単な装置である。これを立削り盤に取付けるとだ円系歯車のシェーピング仕上げが可能である。この方式は前者に比較して、装置の製作、素材の取付け、取外しがはるかに容易である。

両方式とも、一個当りの加工時間は10分程度であり、能率よく加工することができる。シェーピング仕上げ後の歯車の精度は、最大法線ピッチ誤差において、モジュール2の歯車につき0.010～0.015 mmであり、前2章の歯切法、転造法に比して数段と精度を向上させることができた。

第6章 精度試験

本章では、著者の考案による非円形歯車のかみ合い試験機、歯形試験機の説明とそれによって測定されただ円系歯車の精度について述べている。

非円形歯車かみ合い試験機には、フェライトマグネットを用い、非円形歯車ピッチ曲線形板と模範歯車ピッチ円板にすべりのないころがり運動をする構造を与えた。このかみ合い試験機によって、だ円系歯車の累積ピッチ誤差および歯形誤差などの総合誤差を能率よく測定することが可能となった。また、形板の精度も本試験機によって測定された。

非円形歯車歯形試験機は上記かみ合い試験機と同様に、フェライトマグネットを用い、非円形歯車のピッチ曲線形板あるいは基礎曲線形板とラックのピッチ直線に相当する直定規にすべりのないころがり運動を与える方式のものである。本試験機の使用によって、だ円系歯車の歯形精度を容易にかつ能率的に測定することが可能となった。

第7章 だ円系歯車の応用

本章では、だ円系歯車の応用に関し、これを自転車および撚糸機へ応用した場合についての実験とその検討とを述べている。

自転車の後輪軸に伝達されるトルクの変動をより小さくすることにより効率のよい運転性を得ることを目的として、クランクの回転を一對のだ円系歯車を介して後輪軸に伝達することにした。この結果、ペダルの踏み易い回転区間の踏力を有効に利用することが可能となった。

だ円系歯車の撚糸機への応用については、そのトラバースバーの往復運動にだ円系歯車とクランクを用いた装置を取付け、ボビンの糸層堆積の形状を取扱いに便利な円錐形とすることに成功した。本装置はボビンの幅の変化がクランクの偏心量を調整することによって容易に行えるという利点をもち、その操作性も簡易化された。その装置は松葉式60錘に装着し、実際に実用化されている。

さらに、飾り撚糸機の芯糸の送り速度をだ円系歯車を利用して変速させ、糸の直径が連続的に変化する飾り撚糸の製作をも行った。こうして、従来のレバー式飾り撚糸機に比較し、故障が少く、保守も容易であるという特徴をもつ飾り撚糸機の製作に成功した。

第 8 章 結 論

だ円系歯車の新しい生産的かつ簡易な加工法として、歯切法、転造加工法およびシェービング仕上げ法をそれぞれ考案し、加工装置を製作し、これによる実験を行った。さらに、非円形歯車のかみ合い試験機および歯形試験機をそれぞれ考案し試作した。これにより、著者が考案した各種の加工法によるだ円系歯車の加工精度の比較を行った。その結果、本論文にて述べた各種加工装置は、それぞれの目的に応じて精度のよいだ円系歯車を生産的に加工することが可能であることが示された。特に、シェービング仕上げ法による場合の精度は他の方法に比較して格段と優れていることが確認された。だ円系歯車を用いた変速装置を普通撚糸機に装着したところ、実用的にきわめて好成績を収めていることが示された。その他、飾り撚糸機変速装置および自転車駆動装置にそれぞれだ円系歯車を応用したところ、これまた大きな成果を得ることができた。

審査結果の要旨

だ円系歯車は適当な速度範囲内で周期的に角速比を変化させようとする機械要素として、将来が期待されている。しかし現在までのところ、この種の歯車の加工法や検査法は確立されておらず、未だ十分に実用化されるまでには至っていない。

本論文は、特殊形状のカム装置を用いたり高価な数値制御歯切盤などを用いることなく、身近にあるホブ盤や旋盤程度の工作機械によってだ円系歯車を加工することを目的とし、その基礎理論から始めて、加工法、精度検査法および応用に至るまでの一連の研究をとりまとめたものであって、全文8章よりなる。

第1章は緒論であり、本論文の目的とその構成および特徴について述べている。

第2章は基礎理論であって、まずだ円系歯車の幾何学を取上げ、ホブ盤で近似加工する場合の機構を提案し、それによって加工可能な歯車の精度評価につき論じている。これは本論文の一つの成果であって、一般機械要素の簡易加工法に対し貴重な示唆を与えている。

第3章では上記の基礎理論を実際のホブ盤に適用するための付属装置につき、その有用性を論じ、また試作歯車の精度検査結果について論じている。

第4章では、創成歯切りよりも簡単な加工法として採用した転造法につき、そこにて生ずる諸問題を取上げて論じ、最終的にはこれがだ円系歯車の生産的加工手段として、現時点では最適であると述べている。但しその素材加工には何らかの対策は必要であり、本研究の場合には、前章記述の付属装置つきホブ盤を用いている。

第5章では、だ円系歯車の精度向上を目的としたシェービング加工法に関し二つの方法について論じている。一つは旋盤によるねじ歯車の原理に基づく方法、他の一つは立削り盤を用いて歯すじ方向に往復動を与える方法である。いずれの方法によるときも、最大法線ピッチ誤差10~15 μm の歯車をえている。これらは当面の目的に対し十分な精度である。

第6章では、著者が考案し試作した非円形歯車のかみ合い試験機と歯形試験機について論じている。これら試験機はだ円系歯車の精度検査の能率を著しく高めることに成功しており、歯車工業に与える寄与は大きい。

第7章はだ円系歯車の応用であり、第8章は結論である。

以上要するに、本論文は、だ円系歯車をその基礎理論から始めて、ホブ盤による加工、転造による加工、シェービングによる仕上等その加工法の一般を取上げ、最後に自作試験機によってそれら被加工歯車の精度を論じたものであって、精密工学に寄与するところ少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として合格と認める。