

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 7 日現在

機関番号：14301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23760135

研究課題名(和文)単純形状の組合せにより桁違いの高精度を実現するナノ精度凹曲面原器の開発

研究課題名(英文)Development of a high-precision calibration artifact for concave form using simple features

研究代表者

小森 雅晴 (KOMORI, Masaharu)

京都大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：90335191

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円、(間接経費) 1,050,000円

研究成果の概要(和文)：機械装置には凹形の複雑な幾何曲面形状を有する部品が多く用いられる。このような部品の測定機には高い測定精度を保證することが求められるが、現状の校正用アーティファクトの精度は低い。本研究では、凹曲面形状を高精度に精度保證するための検査・校正用凹曲面アーティファクトを開発し、それをを用いた測定機精度検査・校正法を構築した。アーティファクトを製作し、測定機検査・校正法の検証実験を行ない、提案した方法が有効であることを確認した。

研究成果の概要(英文)：In mechanical devices, parts with complicated concave form are often used. High measurement accuracy is required for the measuring instruments of those parts but the current calibration artifact does not have high accuracy. In this research, a calibration artifact is developed in order to realize high precision measurement of concave form and a calibration method of the measuring instruments is proposed. The proposed artifact is manufactured. Experiments on the calibration method of the measuring instruments are carried out and it is verified that the proposed method is effective.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学、設計工学・機械機能要素・トライボロジー

キーワード：計測 測定 形状

## 1. 研究開始当初の背景

機械装置には凹形の複雑な幾何曲面形状を有する部品が多く用いられる。このような部品は、部品表面の微細な凹凸形状が性能・品質に大きく影響する。例えば、近年、自動車の駆動用などに用いられるインボリュート内歯車では、振動・騒音の低減が大きな課題となっている。自動車における車内騒音の構成要素のうち、エンジン音・風切り音・ロードノイズなどは騒音対策技術の進歩により低減されたため、歯車に起因する振動・騒音がこれまで以上に目立つようになっている。このような歯車の振動・騒音は、歯面形状誤差などに起因する振動起振力が歯車対間に発生し、それが歯車軸を介してギヤボックスに伝わることにより発生する。このような歯車の振動・騒音性能は歯面のマイクロメートルレベルの形状精度に大きく影響される。

このため、振動・騒音を低減するためには、歯面形状精度の高度な管理が必要となる。この管理のため、製品の検査工程において、曲面形状専用測定機や三次元測定機による形状測定が行われる。すなわち、歯車製造過程において、歯車の歯面形状を測定し、製造された歯車が要求とされる精度に達しているか検査する必要がある。

一般的に、歯車の精度検査は歯車歯面形状測定機と呼ばれる歯車形状検査に特化した測定機で行われる。歯車に要求される精度がマイクロメートルレベルであるため、これらの測定機にはより高い測定精度を保証することが求められる。このような測定機の精度は、より精度の高いアーティファクトを用いて検査・校正がなされる。歯車歯面形状測定機の校正には、通常、インボリュートアーティファクトと呼ばれるインボリュート形状の歯を有するアーティファクトが用いられる。測定機の精度はアーティファクトの精度以上のものとはなり得ないため、アーティファクトには極めて高い精度が要求される。しかし、インボリュートは複雑な曲面形状であるため、高精度に加工することが難しく、その形状精度は最高でも1  $\mu\text{m}$ 程度であると考えられる。また、アーティファクトのインボリュート面に研削痕が存在することも精度向上を阻害する要因である。したがって、インボリュート形状アーティファクトに含まれる不確かさの低減は困難であり、このアーティファクトによって校正される歯車歯面形状測定機が保証できる精度も低下することとなる。この結果、検査・校正された測定機の精度は産業界の要求を満足するものとはなっていない。

## 2. 研究の目的

このような状況を鑑み、本研究では、インボリュート内歯車の凹曲面形状を高精度に精度保証するための検査・校正用アーティファクトを開発し、それを用いた歯車歯面形状

測定機精度検査・校正法を構築することを目的とする。ここでは、単純形状を用いたアーティファクトを開発する。

## 3. 研究の方法

(1) まず、提案する単純形状凹曲面アーティファクトの基本概念とこれを用いた歯車歯面形状測定機校正法を提案する。

(2) 提案した単純形状凹曲面アーティファクトの測定状況を分析し、有効性を理論的に検証する。

① 凹曲面の測定方式には種々の方式があるため、その調査を行う。

② 単純形状凹曲面アーティファクトにより歯車歯面形状測定機を検査・校正する状況について、シミュレーションを行う。アーティファクトを測定する場合の数学モデルを構築し、これに基づいて、検査・校正方法を構築する。

(3) 単純形状凹曲面アーティファクトの設計を行う。凹曲面アーティファクトに適した材料・加工法を調査する。また、これらを実現する構造を検討する。

(4) 設計に基づき、単純形状凹曲面アーティファクトの製作を行う。

(5) つぎに、製作した単純形状凹曲面アーティファクトの精度評価を行う。精度評価測定には三次元測定機を用い、これにより、製作した単純形状凹曲面アーティファクトが有する精度を明らかにする。

(6) さらに、歯車歯面形状測定機を用いた単純形状凹曲面アーティファクト測定実験を行い、その有効性を確認する。

## 4. 研究成果

(1) 提案する単純形状凹曲面アーティファクト

球面や平面のような単純な形状はインボリュート形状に比べて高精度な加工が可能である。そこで、本研究のアーティファクトでは、このような単純形状を被測定面と見なして測定することとする。インボリュート以外の形状の測定面をインボリュートと見なして測定する場合、歯車歯面形状測定機は被測定面の形状とインボリュート形状の偏差を出力することとなる。しかし、その偏差が歯車歯面形状測定機の測定可能範囲を超えると測定不可能となる。このため、測定面はインボリュートと近い形状でなければならない。本研究では、凹球面を測定面として使用する。凹球面は単純な幾何形状であり、部分的にインボリュートに似た形状を有する。この凹球面をインボリュート内歯車の歯面

と見なして測定する。このような凹球面が取り付けられた単純形状凹曲面アーティファクトを提案する。

従来、歯車歯面形状測定機の校正に用いられてきたインボリュート面を有するインボリュートアーティファクトは研削によって最終仕上げ加工される。このため、研削痕が歯面に残り、歯面にある程度の粗さやうねりが存在する。高精度加工を施した場合でも、これらの粗さやうねりにより、実際の歯面形状と理論インボリュート形状には1  $\mu\text{m}$  程度の偏差が残ることが多い。これらのインボリュートアーティファクトを測定した場合、粗さやうねりが測定結果に振幅1  $\mu\text{m}$  程度の波状成分として現れる。これらの成分がインボリュートアーティファクトの形状偏差に起因するものであるか歯車歯面形状測定機の有する誤差であるかを測定結果から判別することは不可能であり、このことが歯車歯面形状測定機の高精度な校正の妨げとなっている。一方、単純形状凹曲面アーティファクトの被測定面は、粗さやうねりは極めて小さくできる。このため、単純形状凹曲面アーティファクトを用いて歯車歯面形状測定機を校正する際に、測定結果に波状成分が現れた場合、この多くが校正対象である歯車歯面形状測定機の誤差に起因する成分であると特定できる。

#### (2) 単純形状凹曲面アーティファクトを用いた歯車歯面形状測定機精度検査校正法

単純形状凹曲面アーティファクトの測定結果を評価する際には、歯車歯面形状測定機に完全に誤差がない状態で単純形状凹曲面アーティファクトを測定した場合の理論測定結果を数学モデルにより算出し、これと実際の歯車歯面形状測定機で単純形状凹曲面アーティファクトを測定した結果である実測結果を比較する必要がある。このための数学モデルを構築した。この数学モデルにより単純形状凹曲面アーティファクトの理論測定結果を算出可能にした。単純形状凹曲面アーティファクトの凹球面と対象とするインボリュート形状に近い形状となるようにアーティファクトの寸法を選択すれば、有効な理論測定結果が得られることが分かった。通常、歯車歯面形状測定機の測定可能範囲には制限があり、測定値がその範囲を超えると測定が不可能となる。これに対して、アーティファクトの寸法を適切に選択すれば、歯車歯面形状測定機の測定可能範囲に含まれる部分を長くとることが可能となることが分かった。

#### (3) 単純形状凹曲面アーティファクトの設計

インボリュート内歯車用単純形状凹曲面アーティファクトの各部の寸法は理論測定結果に直接的に影響を及ぼす。このため単純

形状凹曲面アーティファクトの設計の際には、各部の寸法を、測定時の歯車測定条件に対して適切となるように決定する必要がある。本研究では、歯形測定におけるインボリュートの基礎円半径を設定し、これに対して適切な単純形状凹曲面アーティファクトの設計を行った。

#### (4) 単純形状凹曲面アーティファクトの製作と精度評価

前述の設計を基にして、単純形状凹曲面アーティファクトを製作した。製作したアーティファクトの凹球面の真球度、およびアーティファクト上面の平面度を、三次元測定機により測定した。この結果、凹球面の真球度やアーティファクト上面の平面度は高い精度を有することを確認した。アーティファクト上面の平面度は、干渉計でも測定を行った。この測定でも、アーティファクト上面全体の平面度が高い精度を有することを確認できた。

#### (5) 歯車歯面形状測定機を用いた単純形状凹曲面アーティファクトの測定実験

歯車歯面形状測定機を用いて、インボリュート内歯車用単純形状凹曲面アーティファクトの測定実験を行なった。まず、アーティファクトの取り付けの調整を行った。

単純形状凹曲面アーティファクトを測定する際には、アーティファクトが歯車歯面形状測定機に対して偏心することを避ける必要がある。すなわち、単純形状凹曲面アーティファクトの中心が歯車歯面形状測定機回転軸上にあることが望ましい。そこで、単純形状凹曲面アーティファクト中心と歯車歯面形状測定機回転軸が可能な限り一致するように、単純形状凹曲面アーティファクトの偏心調整を行った。ここでは、ダイヤルインジケータを接触させた状態で歯車歯面形状測定機の回転テーブルを回転させ、この際のダイヤルインジケータの出力を見て、単純形状凹曲面アーティファクトの偏心の調整を行った。

さらに、インボリュート内歯車用単純形状凹曲面アーティファクトを測定する際には、アーティファクトの上面が歯車歯面形状測定機の回転軸と垂直であることも必要とされる。そこで、単純形状凹曲面アーティファクトの上面の調整を行った。ダイヤルインジケータをアーティファクトに接触させ、歯車歯面形状測定機の回転テーブルを回転させる。この際のダイヤルインジケータの出力を見て調整を行った。

上記の調整の後、単純形状凹曲面アーティファクトを歯車歯面形状測定機で測定する実験を行った。この実験では繰り返し測定を行った。理論測定結果と実測結果はほぼ同じ形状となっていることを確認した。また、繰り返し測定をして得られた実測結果の概形はほぼ一致しており、単純形状凹曲面アーテ

ィファクトには測定再現性があることを確認した。これにより提案した単純形状凹曲面アーティファクトが有効であることを確認した。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

小森 雅晴 (KOMORI, Masaharu)

京都大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号：90335191