

平成 21 年 5 月 25 日現在

研究種目：基盤研究 (B)  
 研究期間：2006～2008  
 課題番号：18360077  
 研究課題名 (和文) ナノ精度の単純形状原器による歯車測定機校正法の開発  
 研究課題名 (英文) Evaluation method of gear-measuring instrument using artifact with nano-meter accuracy  
 研究代表者 小森 雅晴 (KOMORI MASA HARU)  
 京都大学・工学研究科・准教授  
 研究者番号： 90335191

研究成果の概要： ギヤノイズは歯車歯面の微細な形状に支配されるため、騒音低減のためには歯車の超高精度な品質管理が必要となる。しかし、品質管理の根幹となる原器の精度は、現在のところ 1 $\mu$ m 程度しかない。このような状況を鑑み、本研究では、歯車歯面形状測定機の測定機能を数百 nm レベルで精度保証するための検定・校正用ナノ精度原器を開発する。原器による歯車歯面形状測定機のナノ精度検定・校正法を開発し、検証実験によりその有効性を確認した。

## 交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006 年度	5,500,000	1,650,000	7,150,000
2007 年度	4,800,000	1,440,000	6,240,000
2008 年度	4,500,000	1,350,000	5,850,000
年度			
年度			
総計	14,800,000	4,440,000	19,240,000

研究分野：精密計測、機械要素

科研費の分科・細目：設計工学・機械機能要素・トライボロジー

キーワード：超精密計測、原器、歯車、校正

## 1. 研究開始当初の背景

ギヤノイズは歯車歯面の微細な形状に支配されるため、騒音低減のためには歯車の超高精度な品質管理が必要となる。しかし、品質管理の根幹となる原器の精度は、現在のところ 1 $\mu$ m 程度しかないため、検定・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。また、現状の原器はトレーサビリティが保証されていないという問題もある。

## 2. 研究の目的

このような状況を鑑み、本研究では次の成果を得ることを目的とする。

- (1) 歯車歯面形状測定機の測定機能を数百 nm レベルで精度保証するための検定・校正用ナノ精度原器を開発する。
- (2) 数十 nm 精度を有し、長期的にその精度を維持できる原器の構造設計とその製作、ならびに、高精度でトレーサビリティの保証された原器測定法を実現する。
- (3) これらの原器による歯車歯面形状測定機のナノ精度検定・校正法を開発し、検証実

験によりその有効性を確認する。

- (4) これにより、歯車歯面形状測定機の数百 nm 精度保証システムの基礎を構築する。

### 3. 研究の方法

- (1) 測定機への原器の設置方法と設置状態の高精度な確認方法の検討、設置誤差が検定精度に与える影響の理論的検討を行う。検討の際は、コンピューター上の歯車歯面形状測定機であるバーチャルギヤチェッカーを用いて、仮想空間上でのシミュレーションを行う。
- (2) また、歯車歯面形状測定機に対応した検定・校正法の段取りを詳細に検討する。
- (3) 原器には温度変化による寸法・形状変化が少ないことが要求される。また、長期間使用されるため、経年変化が少ないことも重要となる。さらに、高精度に加工しやすい材料であることも要求される。これらの条件に適した材料・加工法を調査する。
- (4) 平面度測定機による形状原器構成部品の精度評価：形状原器は数十 nm レベルの高精度な平面を用いて構成され、その平面度が原器の精度を決めるため、製作した原器の平面度測定を行う。
- (5) 三次元測定機、ナノ精度形状測定機などを用いた形状原器の精度評価：形状原器は多数の平面を有しており、その平面間の相対位置関係や角度をあらかじめ測定し、原器の有する精度を決定する必要がある。そこで、三次元測定機などを用いてこれらを測定する。
- (6) 歯筋測定状態を模擬した理論式を構築して、理想状態での仮想測定結果を得るための理論的基盤を構築する。
- (7) 測定誤差要因が測定結果に与える影響を含めた理論構築を行い、その定量的評価を行う。
- (8) 提案した歯筋原器による歯車測定機の検査法の検証実験を行ない、原器固定・調整作業、原器姿勢確認作業、計測データ処理上の問題点を明らかにする。

### 4. 研究成果

#### (1) 緒言

自動車などに用いられる歯車は、サブマイクロメートルレベルの表面形状の違いがその振動・騒音性能に影響するため、高度な品質管理が必要となる。歯車の歯面形状の管理は歯車測定機(図1)によってなされる現在、歯車測定機の校正原器として、マスタ歯車(図2)が用いられている。マスタ歯車は、日常測定される歯車よりも高精度に製作されているが、インボリュートヘリコイドは1 $\mu$ mの精度で加工するのが限界である。この

ため、マスタ歯車のような、インボリュートヘリコイドを有する校正原器を用いた場合、1 $\mu$ m以上の精度で歯車測定機を校正することは不可能である。このため、歯車測定機の校正において、高精度なアーティファクトが要求されている。本研究では、歯すじ測定用アーティファクトとしてウェッジアーティファクトを提案する。

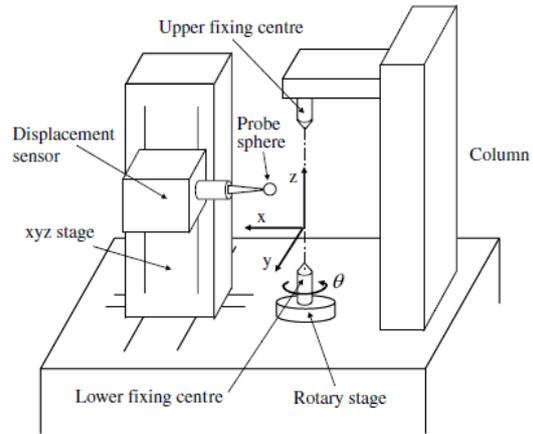


図1 歯車測定機の構造

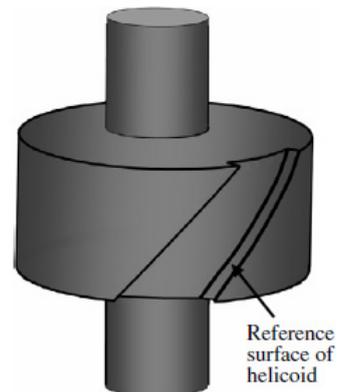


図2 マスタ歯車の構造

#### (2) ウェッジアーティファクトの基本構想

歯すじ測定は、図3に示すように歯面のらせん形状の正確さを計測するものである。らせんであるため、この円筒面を展開すると、らせん形状は直線として現れる。

インボリュートヘリコイドのような複雑な形状と比較すると、平面のような単純な形状は高精度に製作することができる。また、その寸法や形状については高精度な測定機が存在しているため、不確かさの小さな値付けが可能である。本研究では、幾何学的に単純な形状であり、かつ、インボリュートヘリコイドに近い形状として、平面に着目し、図4に示すウェッジアーティファクトを提案する。面S1が歯面の代わりに歯すじ測定される平面である。この平面の傾斜角度を適切に選択すると、部分的にインボリュートヘリコ

イドと近い形状とすることができる。このような平面であれば、インボリュートヘリコイドよりも高精度に製作することができる。ウェッジアーティファクトを用いた歯すじ測定検査では、誤差のない完全な歯車測定機を仮定し、これを用いてウェッジアーティファクトを歯すじ測定する場合に出力される理論測定結果(理論計算により求まる理論曲線)と、誤差を有する実際の歯車測定機から出力される歯すじ測定結果(実測曲線)との比較を行い、その差が歯車測定機の精度を表すものとする。

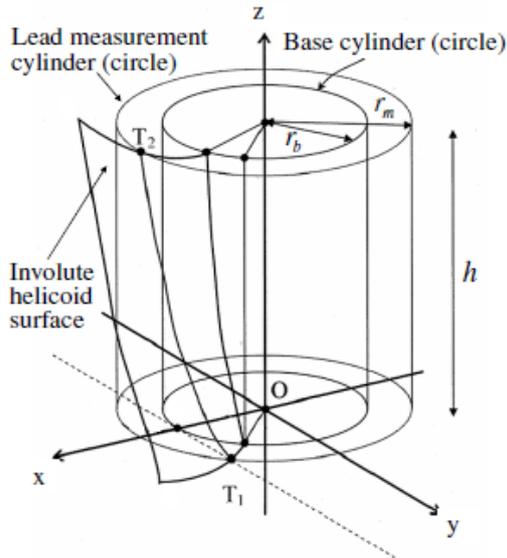


図3 歯すじ測定位置

### (3) ウェッジアーティファクト測定方法

本研究では、インボリュートヘリコイド形状歯面を有する歯車を対象とした測定機を扱う。はすば歯車の歯すじ測定位置に相当する円筒の半径を  $r_p$ 、その円筒上でのねじれ角を  $\beta_p$  とする。測定子を歯車軸方向に移動させるとともに、軸方向移動量  $z$  とねじれ角  $\beta_p$  から計算される角度  $\theta$  だけ歯車を回転させる。軸方向の移動量  $z$  と歯車回転角度  $\theta$  の間には、式(1)が成り立つ。

$$\theta = \frac{2\pi z \tan\beta_p}{2\pi r_p} \quad (1)$$

基礎円接線方向の偏差が歯すじ誤差であり、それを軸方向位置の関数としてグラフ化したものが歯すじ曲線となる。歯すじ測定にも種々の方式があるが、プローブ先端に被測定歯車に対する相対的な動きとして式(1)に相当する動きをさせ、理論ヘリックスと実際の歯面形状の差を出力する方式が一般的である。

ウェッジアーティファクトを歯車測定機に設置し、図5に示すように歯すじ用平面の最大傾斜角断面を含む仮想平面がプローブの測定方向に一致する状態を測定開始状態とする。歯すじ測定位置に相当する円の半径は、例えば、歯すじ測定の対象とする歯車の基礎円半径と一致するように選ぶ。これは、基礎円上での歯すじ測定に相当する。

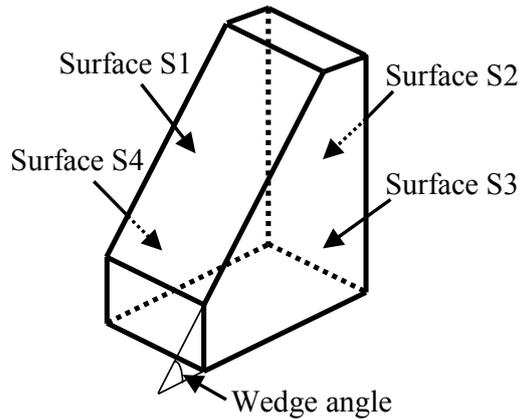


図4 ウェッジアーティファクトの構造

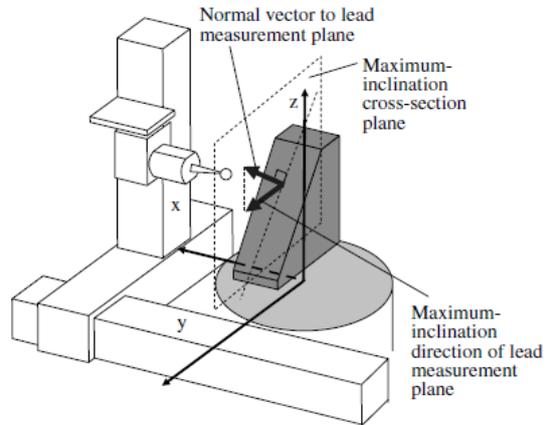


図5 ウェッジアーティファクトの設置状態

### (4) 仮想測定結果の算出方法

歯すじ測定時には理論ヘリックスと実際の被測定面との偏差が出力されるため、ウェッジアーティファクトを歯すじ測定する場合には、ヘリックスと楕円との偏差が出力されることとなる。ここで、誤差のない完全な歯車測定機を想定し、アーティファクトの平面部を歯すじ測定する場合の数学モデルを構築し、出力される理論曲線を求める。ウェッジアーティファクトの最大傾斜角度が 60.17deg.、測定円半径が 49 mm、測定円筒上ねじれ角が 30 degree、プローブ半径が 3 mm の条件で測定した場合に得られる理論曲線

を図6に示す。このように、平面とヘリコイドとの差が小さくなるように歯すじ用平面の最大傾斜角度を選べば、図のようなS字形状となることが分かった。また、一般的な歯車測定機の変位センサでは測定可能範囲は-100~+100 $\mu\text{m}$ 程度であるが、その範囲において50mm以上の歯幅方向範囲を測定することが可能であることがわかる。これより、アーティファクトの形状として平面を採用することの有効性を確認することができた。

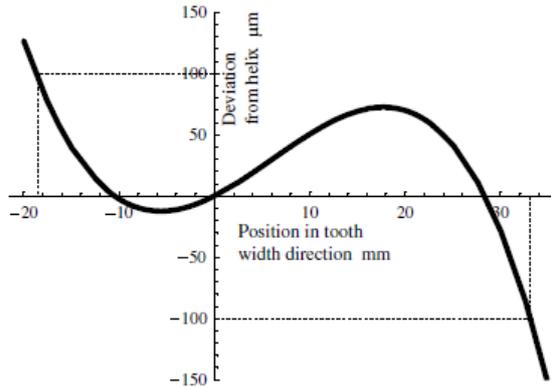


図6 ウェッジアーティファクトを測定する場合の理論曲線

(5) 実験検証

ウェッジアーティファクトを歯車測定機に設置して、歯すじ測定を行った結果と理論曲線を重ねたものを図7に示す。ほぼ同一の状況であり、理論解析が正しいことが示唆されている。実測曲線と理論曲線の差を図8に示す。図8は歯車測定機の有する誤差を示すこととなる。このように、提案したウェッジアーティファクトによりはすじ測定精度を評価することが可能であることが確認できた。

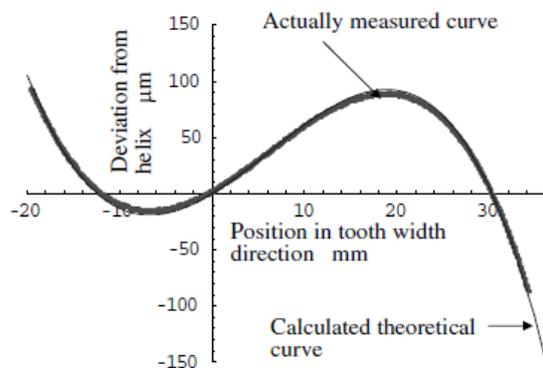


図7 ウェッジアーティファクトを測定した実測曲線と理論曲線

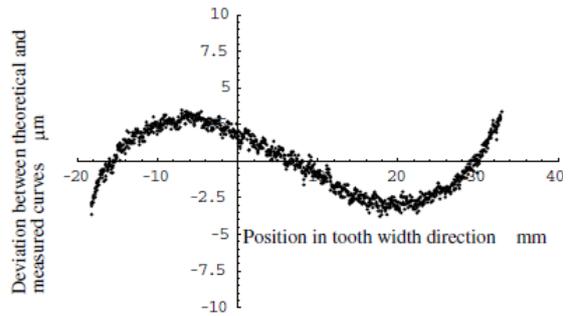


図8 ウェッジアーティファクトの実測曲線と理論曲線の差

(6) 参考文献

Masaharu Komori, Fumi Takeoka, Aizoh Kubo, Kazuhiko Okamoto, Sonko Osawa, Osamu Sato and Toshiyuki Takatsuji, Evaluation method of lead measurement accuracy of gears using a wedge artefact, Measurement Science and Technology, Volume 20, 2009, 1-13.

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)

[雑誌論文] (計 1 件)

Masaharu Komori, Fumi Takeoka, Aizoh Kubo, Kazuhiko Okamoto, Sonko Osawa, Osamu Sato and Toshiyuki Takatsuji, Evaluation method of lead measurement accuracy of gears using a wedge artefact, Measurement Science and Technology, 査読有, Volume 20, 2009, 1-13.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

久保 愛三 (KUBO AIZOH)

京都大学・工学研究科・教授

研究者番号: 10027899

野中 鉄也 (NONAKA TETSUYA)

京都大学・工学研究科・助教

研究者番号: 00180761

小森 雅晴 (KOMORI MASAHARU)

京都大学・工学研究科・准教授

研究者番号: 90335191

(2) 研究分担者

小森 雅晴 (KOMORI MASAHARU)

京都大学・工学研究科・准教授

研究者番号: 90335191

高辻 利之 (TAKATSUJI TOSHIYUKI)

独立行政法人産業技術総合研究所・企画本部・総括企画主幹

研究者番号： 20357362  
野中 鉄也 (NONAKA TETSUYA)  
京都大学・工学研究科・助教  
研究者番号： 00180761

(3)連携研究者

高辻 利之 (TAKATSUJI TOSHIYUKI)  
独立行政法人産業技術総合研究所・企画本  
部・総括企画主幹  
研究者番号： 20357362  
野中 鉄也 (NONAKA TETSUYA)  
京都大学・大学院工学研究科・助教  
研究者番号： 00180761