

# 論文内容要旨 (和文)

平成 16 年度入学 大学院博士後期課程 システム情報 工学専攻 知能機械システム 講座

学生番号 04522306

氏 名 松浦 尚志



論文題目 トリポード・ツェッパ等速継手系の運動特性解析

自動車は一般にはエンジンを動力源とし、それをクラッチ、変速機そして終減速機を経て、前車輪または後車輪を駆動し、ハンドルを回すことによって運転者の行きたい方向に、任意の速度で走行することを第1の特長としている。このとき、路面の凹凸により前車輪、後車輪は共に車体に対して上下に運動し、さらに、前車輪は方向変更のために鉛直軸まわりに回転させられる。このため、動力供給系の出力軸に対する前車輪の回転軸の位置は変動し、同時にそれらの方向も変化する。

前輪駆動乗用車においては、動力源から前車輪への回転運動とトルクの伝達は固定式、摺動式等の様々な等速継手を使用されるが、一般には、入力軸と出力軸が  $20^\circ$  程度まで屈曲可能で、かつ両軸の交点が移動できるトリポード等速継手またはダブルオフセット等速継手、入力軸と出力軸が  $45^\circ$  程度まで屈曲可能であるツェッパ等速継手、加えて前者の出力軸と後者の入力軸とを一直線上で一体化する動力伝達軸からなる等速継手系等を用いて行なわれる。4輪駆動車において動力供給系から後車輪に回転運動とトルクを伝達する場合も同様の駆動軸が用いられる。

しかし、これらの等速継手は、回転中にボールまたは球面ローラなどが案内溝上を移動するため構成部品間の相対運動が複雑であり、運動学、力学特性が十分に解明されていない。その第1の理由は構成部品間の連結に高次対偶が存在するため閉回路方程式の導出と解法が複雑であることである。第2の理由は、入力軸および出力軸をフレームに対偶して構成される空間機構としての自由度が零または負（過拘束機構）であるが構成部品の相対運動の対称性で運動可能になっている等速継手に対する力学解析の手法が確立されていないことである。これらの等速継手は何れも、ボールまたはローラと高次対偶する案内溝をもつ等速継手であり、基本的共通事項を多く含んでいる。

加えて、等速継手の構成部品は寸法公差、加工・組立の誤差をもち、動力伝達時には変形する。これらが原因して、入力軸の回転角に対して出力軸の回転角は微小の誤差（遊びと等速性の誤差、以下においては回転角誤差と呼ぶ）をもつ。他方、構成部品間には摩擦が存在するため伝達されるトルクは減少し、変動する。特にトリポード等速継手においてはハウジングスラスト力が発生する。このため、企業においては汎用的機構解析ソフトを用いてシミュレーションすると共に耐久試験を行い、多大な経費と時間を掛けながら設計開発しているのが現状であ

る。しかし、これらの等速継手の高機能化、長寿命化などを抜本的に促進するためには、構成部品の厳密な相対運動並びにそれらの接触部に作用する力とモーメントを形状寸法、摩擦係数を変化させながら解析することが必要あり、解決が強く要請されている機械設計上の問題の一つである。

また、入力軸と出力軸の間の角変位誤差や動力伝達軸の振れ回り運動および構成部品間の摩擦による力とモーメントは振動・騒音の原因であり、乗用車の静粛性、乗り心地の向上を妨げている。このため、等速継手の構成部品の相対運動の特性および構成部品間に作用する力とモーメント等の特性に関して研究が行われているが、両者を動力伝達軸と一緒に等速継手系として、実機で使用されている状態での特性を明らかにするまでには至っていないように思われる。このため、長谷はダブルオフセット等速継手およびツェッパ等速継手と動力伝達軸から成る前輪駆動用等速継手系の静力学解析を行ったが、構成部品の相対運動の特性に関しては論じていない。本研究は軸交差角が可変で伸縮できる等速継手の一つであるトリポード等速継手および軸交差角が可変のツェッパ等速継手の広角化、低摩擦化、軽量化を実現するために、これらの等速継手と動力伝達軸から成る前輪駆動用等速継手系の構成部品の相対運動および力学特性を実験的に解明する。また、トリポード等速継手およびツェッパ等速継手と動力伝達軸から成る前輪駆動用等速継手系の構成部品の相対運動および力学特性を解明する一環として、この等速継手系の入力軸の回転角と出力軸の回転角の差（回転角誤差）の特性を実験により明らかにする。

次に、動力伝達軸の偏心回転と軸方向の運動の特性を実験的に解析し、それらと回転角誤差との関係に関して検討を加えて等速継手系の構成部品の相対運動特性を解明する。さらに、振れ回り運動している動力伝達軸の回転角を測定する手法を提案し、トリポード等速継手の回転角誤差を実験的に解析して等速継手系の構成部品の相対運動に関する新しい知見を提供する。さらに、ツェッパ等速継手の運動学特性を解明するための基礎として、一つのボールと一對の円弧案内溝で構成される等速継手においてボールの半径が零の場合に相当する鏡対称円弧等速継手の変位解析式を、影響係数解析が可能な形で導出し、1 ボール円弧案内溝等速継手の構成部品の相対運動特性の基礎を解明する。

## 論文内容要旨 (英文)

平成 16 年度入学 大学院博士後期課程 システム情報 工学専攻 知能機械システム 講座

学生番号 04522306

氏 名 松浦 尚志



### 論文題目

Analyses of Three Dimensional Motion of the Drive Shaft of the Tripod, Rzeppa CVJ Line

The tripod universal joint of end motion type (TCVJ) consists of three spherical or cylindrical rollers, the tripod (the spider with the shaft) and the housing. Input and output shafts of the TCVJ are capable of expansion and contraction and it is used as the inboard joint of the axle driveshaft. The Rzeppa universal joint (RCVJ) consists of six balls, the outer race, the inner race and the cage and it is used as the outboard joint of the axle driveshaft.

In the paper, the rotational angle error of the TCVJ is analyzed experimentally and theoretically. Such a new method for measuring the rotational angle error of the TCVJ whose output shaft (the drive shaft) performs a whirling motion is proposed, that two displacements of the drive shaft orthogonal to its central line and the displacement of the end of the wire wound round the circular disk fixed perpendicularly to the drive shaft are measured. Synchronously, the displacement of the drive shaft along its axis is measured. Then, three dimensional motion of the drive shaft of the Tripod, Rzeppa CVJ Line and its rotational angle error are analyzed experimentally.

The outer sphere of the inner race and the inner sphere of the outer race of the RCVJ are spherical-paired to inner and outer spheres of the cage respectively, so its input and output shafts are considered to be spherical-paired mutually. Then, the TCVJ is the spatial mechanism of one degree of freedom. The closed loop equations of the TCVJ are deduced and relative motions between three cylindrical rollers, the spider with spherical ends and the housing are analyzed.

From results of experiments with several values of the joint angle  $\alpha$  between the housing shaft of the TCVJ and the drive shaft and the joint angle  $\beta$  between the outer-race shaft of the RCVJ and the drive shaft, characteristics of the rotational angle error and the three dimensional motion (the whirling motion and the fluctuation of axial direction) are made clear.


# 学位論文の審査及び最終試験の結果の要旨


平成 18 年 2 月 16 日


理 工 学 研 究 科 長 殿

課程博士論文審査委員会

主査 山形大学教授 渡辺 克巳 

副査 山形大学教授 大久保 重範 

副査 山形大学助教授 秋 山 孝 夫 

副査 山形大学助教授 南 後 淳 

学位論文の審査及び最終試験の結果を下記のとおり報告します。

## 記

### 1. 論文申請者

専攻名 システム情報工学専攻  
氏名 松浦 尚志 (学籍番号 04522306 番)

### 2. 論文題目 (外国語の場合は、その和訳を併記すること。)

トリポード, ツェッパ等速継手系の運動特性解析

### 3. 学位論文公聴会

開催日 平成 19 年 2 月 2 日  
場 所 山形大学工学部 6-204 室

### 4. 審査年月日

論文審査 平成 19 年 1 月 26 日 ~ 平成 19 年 2 月 9 日  
最終試験 平成 19 年 2 月 13 日 ~ 平成 19 年 2 月 15 日

### 5. 学位論文の審査及び最終試験の結果 (「合格」・「不合格」で記入すること。)

(1) 学位論文の審査 合格  
(2) 最終試験 合格

### 6. 学位論文の審査結果の要旨 (1200 字程度)

別紙のとおり。

### 7. 最終試験の結果

別紙のとおり。

| 専攻名   | システム情報工学専攻 | 氏名 | 松浦尚志 |
|---|------------|----|------|
| 学位論文の審査結果の要旨  |            |    |      |
| <p>前輪駆動乗用車においては、動力源から前車輪への回転運動とトルクの伝達は、一般には、入力軸と出力軸が 20°程度まで屈曲可能で、かつ両軸の交点が移動できるトリポード等速継手またはダブルオフセット等速継手、入力軸と出力軸が 45°程度まで屈曲可能であるツェッパ等速継手および前者の出力軸と後者の入力軸とを一直線上で一体化する駆動伝達軸からなる等速継手系を用いて行なわれる。</p> <p>本研究では、トリポード等速継手およびツェッパ等速継手と動力伝達軸から成る前輪駆動用等速継手系の回転角誤差および動力伝達軸の 3 次元運動を解析するための実験装置を設計製作した。特に、円板に巻き付けたワイヤの移動長と円板の軸直交 2 方向変位を測定することによる、振り回り運動（公転）しながら回転（自転）している回転軸の回転角を測定する手法を提案した。そして、実験解析を行い、次の結果を得た。</p> <p>(1)トリポード等速継手およびツェッパ等速継手と動力伝達軸から成る等速継手系は 1 回転中に、主に <math>2\pi</math> 周期成分、<math>2\pi/6</math> 周期成分の回転角誤差をもつ。(2)この回転角誤差の変動幅はツェッパ等速継手の軸交差角 <math>\beta</math> が大きくなるに従って大きくなるが、トリポード等速継手の軸交差角 <math>\alpha</math> の変化にはあまり影響を受けない。回転角誤差の変動幅は、2.9Nm 負荷トルク時に <math>\beta=40^\circ</math> の場合で約 <math>0.1^\circ</math> である。(3)等速継手系の動力伝達軸は軸交差角 <math>\alpha</math> が小さいときは 1 回転中に 1 回転、<math>\alpha</math> が大きくなると 1 回転中に 3 回転の振り回り運動を行う。(4)動力伝達軸は軸交差角 <math>\alpha</math> が小さく、軸交差角 <math>\beta</math> が小さい場合は軸方向に 1 回転中に 1 往復動、<math>\alpha</math> が小さく <math>\beta</math> が大きいと 1 回転中に 6 往復動し、<math>\alpha</math> が大きくなると 1 回転中に 3 往復動する。(5)動力伝達軸の回転角誤差、すなわちトリポード等速継手の <math>2\pi/3</math> 周期の回転角誤差を測定し、理論値を検証した。</p> <p>さらに、一般化円弧棒等速継手を用いて誤差の原因を推定する手法を提案した。学位論文の構成は以下のように予定されている。</p> <p>1 章 緒論 2 章 等速軸継手の構成 3 章 自動車用等速継手 4 章 トリポード、ツェッパ等速継手系の実験装置 5 章 トリポード、ツェッパ等速継手の回転角誤差解析 6 章 動力伝達軸の 3 次元運動解析 7 章 トリポード等速継手の回転角誤差解析 8 章 ツェッパ等速継手の回転角誤差シミュレーション 9 章 結論</p> <p>実験装置を設計製作し、新たな測定法を提案して、自動車用等速継手系の回転角誤差および動力伝達軸の 3 次元運動を系統的に解明したことは、工学上並びに工業上貢献するところが大きい。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として十分価値あるものであり、合格と判定した。</p> <p>なお、本論文の主要な部分は日本機械学会論文集(C編 72-714, 2006-2)に発表している。</p> |            |    |      |
| 最終試験の結果の要旨  |            |    |      |
| <p>最終試験は、学位論文を中心とし、関連ある科目について口頭により行なわれた。</p> <p>自動車用等速継手系の回転角誤差および動力伝達軸の 3 次元運動特性に関して高度な専門知識を修得していると共に、等速軸継手を中心とする運動機構の特性解析と実験装置の設計製作、計測手法に関して幅広い知識と技術が認められた。また、国際会議の英語論文を作成し口頭発表しているので語学力も十分であると認められた。</p> <p>よって、合格と判定した。</p>   |            |    |      |