

# 博士学位論文審査要旨

2023年1月14日

論文題目： CVT用金属Vベルトの運動挙動の変化に関する研究

学位申請者： 三林 誠治

審査委員：

主査： 理工学研究科 教授 大窪 和也  
副査： 理工学研究科 教授 田中 達也  
副査： 理工学研究科 准教授 小武内 清貴

要 旨：

自動車車輛用の金属Vベルト式無段変速機（CVT：Continuously Variable Transmission）では、数百枚のエLEMENTとそれらの軌道を保つための2組の積層リングとを組み合わせた金属ベルトを周回させ、その際に可動シーブのみを摺動しVプーリ間の溝幅を変化させベルトの巻き付き径を変化させることにより連続的かつ円滑な変速を可能としている。この変速機構に起因するベルトの運動挙動の変化はCVTの伝動性能を低下させる要因となっている。本研究ではこの自動車車輛用の金属Vベルト式の無段変速機の動力伝達時の力学作用による伝動特性の変化やベルト自体の運動挙動の変化の要因を詳しく分析している。

本論文は全6章で構成されている。

第1章では序論として、金属Vベルト式CVTの現状と課題について述べ、本研究の意義と目的を述べている。

第2章では、まず積層リングを平ベルトに見立て、プーリ軸に付与する面内ミスアライメント角の大きさを変更することにより、平ベルトのスキュー挙動の変化を調査している。研究の結果、プーリに付与する面内ミスアライメント角の増加に伴い、ベルトのプーリ退出角およびプーリ進入角はともに増加するが、プーリ退出角はプーリに付与された面内角度ミスアライメントの増加に伴い相対的に大きく増加することを明らかにしている。また、駆動プーリに面内ミスアライメント角がある場合と従動プーリに面内ミスアライメント角がある場合とでは、駆動プーリ上でのスキューがベルト進行方向から見て反対方向に生じることを示している。

第3章では実際にCVTに採用されている金属Vベルトを用いて、CVTの伝達トルクの増加に伴うELEMENTの内力状態の変化を分析している。小サイズのひずみゲージを貼り付けたELEMENTを金属Vベルトに組み込み走行試験を実施することにより、ELEMENTの幅方向に作用する力を調査している。ELEMENTの幅方向押し力はプーリ出入口において著しく増加する傾向が見られたことを示している。研究の結果、プーリ溝中での幅方向押し力の分布の変化の要因は、CVTベルトがプーリに対し楕円状に巻き付いているためであることを示している。また伝達トルクの増加に伴う幅方向押し力の変化の左右位置での違いを、可動シーブの軸方向がプーリの軸方向に対して傾斜する歳差運動に伴うベルトとプーリの接触位置の半径方向の移動により説明している。

第4章では、ELEMENTの内力状態の変化による幅方向変形に伴うベルトの半径方向変位を調査している。研究の結果、ELEMENTの変形によりベルトの半径方向変位は駆動及び従動プーリの出入口付近では小さくなり、それ以外の範囲では大きくなることを明らかにしている。また、

プーリの軸方向変位の発生によりベルトの半径方向変位は駆動及び従動プーリの入口付近は大きくなり、それ以外の範囲では小さくなることを明らかにしている。さらにベルト半径方向変位の主因はシーブの軸方向変位であるが、エレメントの幅方向変形による影響が重要である事を示している。

第5章では、加速度センサを搭載したエレメントを金属Vベルトに組み込み走行試験を実施し、測定された加速度からベルトの軌跡を類推することにより、伝達トルクの増加に伴うベルトの軌跡およびエレメントのピッチ角の変化を調査している。研究の結果、ベルト周回中の巨視的なピッチ角の変化は概ね幾何学的な変化に従うが、プーリの入口および出口付近での局所的なピッチ角の変化が伝動特性を支配することを示している。また、エレメントはプーリ出口付近で後方に倒れこんだ状態で脱出し、弦部で前方に倒れ込む方向にピッチ回転しながら移動し、プーリ入口付近で前方に倒れ込みながら進入することも示している。

第6章では、本研究の総括として各章で得られた結論をまとめ、今後の展望を述べている。

本論文は、CVT用ベルトの機構設計への反映に向けて工学的有用性を発揮できるものと評価できる。よって、本論文は、博士(工学)(同志社大学)の学位を授与するにふさわしいものであると認められる。

## 総合試験結果の要旨

2023年1月11日

論文題目： CVT用金属Vベルトの運動挙動の変化に関する研究

学位申請者： 三林 誠治

審査委員：

主査： 理工学研究科 教授 大窪 和也  
副査： 理工学研究科 教授 田中 達也  
副査： 理工学研究科 准教授 小武内 清貴

要 旨：

本論文の提出者は、2018年4月に同志社大学理工学部機械システム工学科から飛び入学により同大学大学院理工学研究科機械工学専攻博士前期課程に入学した。2020年3月に同課程を修了後、同年4月に同志社大学大学院理工学研究科博士後期課程に入学し、現在、正規学生として機械工学を専攻している。これらの就学期間において申請者は一貫して金属ベルト式CVTに関する研究に取り組んできた。本論文の主たる内容は、自動車技術会論文集をはじめ、設計工学、IOP Conference Series Materials Science and Engineeringなどの主要な専門雑誌に、本日現在、少なくとも4編の査読付き学術論文として掲載されている。また本論文提出者は本論文の内容を、国内外で研究発表しており、十分な評価を受けている。

2022年12月17日15時30分より約1時間30分にわたり学術講演会が行われ、各種の質疑応答が行われた結果、提出者の説明により十分な理解が得られた。また講演会終了後、審査委員により学位論文に関連して、機械工学全般の諸問題につき口頭試問を実施した結果、十分な学力を有することが確認された。なお、学位申請者は英語による論文発表を行っており、十分な語学力を有しているものと認められる。よって、総合試験の結果は合格であると認める。

# 博士學位論文要旨

論文題目： CVT用金属Vベルトの運動挙動の変化に関する研究  
氏名： 三林 誠治

## 要旨：

動力の伝動の形態は摩擦伝動とかみ合い伝動の2つに大別される。その中でも、摩擦伝動は長距離軸間の伝動が可能であり、伝動経路の自由度が高いことから、産業界でも幅広く普及している。摩擦伝動の1種としてベルト伝動が挙げられる。平ベルトでは、ベルトの単位長さあたりの質量が小さいので、遠心張力が小さく高速運転に適する。しかし、ベルト/プーリ間の垂直抗力を大きくできないため、伝動能力は小さい。そのため、平ベルトを用いた伝動機構は転写や媒体搬送といった低負荷な伝動に用いられることが多い。一方で、Vベルトでは、V面の傾斜角度がもたらすくさび効果によりベルト/プーリ間の摩擦力を上げることができるため、摩擦伝動の中でも一般に高い伝動能力を持つ。Vベルトを利用した伝動機構は、一般産業用、農業機械用、自動二輪車用等に用いられる。このように、伝動ベルトに関するニーズが多様化しており、ベルトは産業的に大事であると言える。

上記のベルトの産業的なニーズから、自動車産業界において、歯車を用いたかみ合い伝動により変速を実現する自動変速機(AT)の代替の変速機として摩擦伝動によるベルト式無段変速機(CVT)の開発が進められている。一般にステップ式AT車では、停止状態から加速していく際にシフトチェンジを行うと、エンジンの回転合わせなどによりいわゆる変速ショックと呼ばれる振動が発生することが知られている。それに対し、CVTは無段階に変速動作を行うことにより変速ショックを皆無にできる特長を持つ。摩擦による動力伝達が行われているCVTでは歯車伝動に比べて大きな押し付け荷重が必要であるため従来のステップ式ATと比較して変速機単体としての伝動性能が低いものの、自動車の燃費や快適性の向上が期待されさらなるCVTの需要拡大が求められている。

本研究で用いた金属Vベルト式CVTは数百枚のエレメントと呼ばれる金属製の薄いコマ(以下、単にエレメントと呼ぶ)とそれらの軌道を保つための2組の積層リングとを組み合わせた金属ベルトと、軸方向に固定されたシーブ(以下、固定シーブ)と軸方向に可動なシーブ(以下、可動シーブ)により構成されるVプーリを有する。このベルトの挟み込み力を可動シーブから付与すると同時にVプーリ間の溝幅を変化させベルトの巻き付き径を変化させることにより、連続的かつ円滑な変速を可能としている。可動シーブのみを摺動させる変速機構を有するため、変速の有無によらず必然的に幾何学的にプーリ平行ミスアライメントが生じる。また、ベルトの巻き付き軌道は、プーリの倒れのため、幾何学的な理論半径に対しずれが生じる。これらに起因するベルトの軌道のずれは変速機の伝動性能を低下させる要因となっている。この問題を改善する上で、ベルト自体の挙動の詳細な分析は必要不可欠である。しかし、ベルトの構成要素の運動挙動を明らかにするための研究がなされているものの、エレメントの姿勢変化等のベルト自体の姿勢変化の要因は完全には明らかにされていない。本研究では、CVT用金属Vベルトの運動挙動の変化の要因の把握を目的に、ベルトの運動挙動を支配するエレメントに着目し、ベルトの運動挙動の変化の要因の把握に努めた。

本論文は全6章で構成されている。以下に各章の概要を述べる。

第1章では、金属Vベルト式CVTの現状と課題について述べ、本研究の意義と目的を述べている。

第2章では、まず平ベルトで運動挙動の変化の要因の把握を行った。具体的には、面内角度ミ

スアライメントを有するプーリにより駆動された摩擦伝動平ベルトのスキュー挙動の変化の要因の把握を目的として、駆動または従動プーリ軸に付与する面内ミスアライメント角の大きさを変更することにより、ベルトのプーリ進入角および退出角と角度ミスアライメントとの関係およびベルト幅方向挙動の変化を調べた。その結果、プーリに付与する面内ミスアライメント角の増加に伴い、ベルトのプーリ退出角およびプーリ進入角はともに増加するが、プーリ退出角はプーリに付与された面内角度ミスアライメントの増加に伴い相対的に大きく増加することが分かった。また、駆動プーリに面内ミスアライメントを有する場合、ベルトは従動プーリではスキュー方向に、駆動プーリではスキュー方向と反対方向に変位する一方で、従動プーリに面内ミスアライメントを有する場合、ベルトは従動プーリおよび駆動プーリともにスキュー方向に沿って変位することが分かった。駆動プーリに面内ミスアライメント角がある場合と従動プーリに面内ミスアライメント角がある場合とでは、駆動プーリ上でのスキューがベルト進行方向から見て反対方向に生じることが分かった。

第3章以降には実際に採用されている CVT 用金属 V ベルトを用いて運動挙動の変化の要因の把握を行った。まず第3章では、金属 V ベルトの伝動走行時のエレメントの内力状態の変化の要因の把握を目的として、小サイズのひずみゲージを貼り付けたエレメントを組み込んだ金属 V ベルトを用いて走行試験を実施し、伝達トルクの増加に伴うベルトの構成要素であるエレメントの内力状態の変化を調べた。幅方向押し力はプーリ出入口において著しく増加した。これは CVT ベルトがプーリに対し楕円状に巻き付いているためであると考えられた。また、伝達トルクの増加に伴うエレメントの幅方向押し力の変化の左右位置での違いは、可動シーブの軸方向がプーリの軸方向に対して傾斜する歳差運動に伴うベルトとプーリの接触位置の半径方向の移動により説明された。

第4章では、第3章で調べたエレメントの内力状態の変化による変形に伴うベルトの半径方向変位を調査した。エレメントの変形によりベルトの半径方向変位は駆動及び従動プーリの出入口付近では小さくなり、それ以外の範囲では大きくなることが分かった。また、プーリの軸方向変位の発生によりベルトの半径方向変位は駆動及び従動プーリの入口付近は大きくなり、それ以外の範囲では小さくなることが分かった。ベルト半径方向変位の主因はシーブの軸方向変位であるが、エレメントの幅方向変形に伴い生じるベルト半径方向変位は観察されるその変位のうち最大で約 15%を占めており、エレメントの幅方向変形による影響は一般には無視できない値であることが分かった。

第5章では、ベルトの傾斜の指標であるピッチ角の伝達トルクの増加に伴う変化を明らかにすることを目的として、加速度センサを搭載したエレメントを金属 V ベルトに組み込み走行試験を実施し、測定された加速度からベルト軌跡を類推することにより、伝達トルクの増加に伴うエレメントのピッチ角の変化を調査した。ベルト周回中の巨視的なピッチ角の変化は概ね幾何学的な変化に従うが、プーリの入口および出口付近での局所的なピッチ角の変化は幾何学的な姿勢角では説明できないことが分かった。また、エレメントはプーリ出口付近で後方に倒れこんだ状態で脱出し、弦部で前方に倒れ込む方向にピッチ回転しながら移動し、プーリ入口付近で前方に倒れ込みながら進入するような特徴的挙動を示すことが分かった。

第6章では、本研究の総括として各章で得られた結論をまとめ、今後の展望を述べて本論文の締め括りとした。

以上