



Title	高機能メカトロニクスシステム開発を目的とした歯付ベルト駆動系の性能向上に関する研究
Author(s)	李, 亨
Citation	大阪大学, 2003, 博士論文
Version Type	
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/44256">https://hdl.handle.net/11094/44256</a>
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 <a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed</a> 大阪大学の博士論文について

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

氏名	李	リ
博士の専攻分野の名称	博士 (工学)	ヒヨン
学位記番号	第 17830 号	
学位授与年月日	平成 15 年 3 月 25 日	
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当	
	工学研究科電子制御機械工学専攻	
学位論文名	高機能メカトロニクスシステム開発を目的とした歯付ベルト駆動系の性能向上に関する研究	
論文審査委員	(主査) 教授 古莊 純次	
	(副査) 教授 城野 政弘 教授 藤田喜久雄	

### 論文内容の要旨

歯付ベルト駆動は、低価格、低騒音、潤滑の不要、高速駆動などのメリットを有するため、広い分野で応用されている。本研究では、歯付ベルト駆動を用いたメカトロニクスシステムの高精度・高機能化の実現やその新分野への展開を目的として歯付ベルト駆動系の性能向上に関する検討を行ったものであり、以下の章で構成されている。

第 1 章は緒論で、本研究の背景を概観し、研究目的について述べた。

第 2 章では、歯付ベルト駆動系およびそのメカトロニクスシステムにおける位置付けを明らかにするために、歯付ベルトおよびプーリの構造、製造法やその特徴などについて述べた。ベルトとプーリの歯の噛合いにおける特性である不完全噛合い、歯荷重分担、ベルトの取付張力、振動などの問題を取り上げ、次にそれらのベルト駆動系の性能への影響について述べた。

第 3 章では、簡単に実施できる引張り特性試験の結果を用いて、ねじり剛性を推定する手法を提案した。歯付ベルトシステムにおいては、レオロジ特性を示す材料が使用され、また解析が困難な摩擦がその特性に大きく影響する。そこで、最初に引張り特性に関する実験式を提案し、その妥当性を実験により確認した。次に、引張り特性とねじり剛性の関係について解析を行い、ねじり剛性の推定値を与える式を導いた。

第 4 章では、力覚提示システムの性能に影響を及ぼす駆動系の特性に関して各種駆動方式を取り上げて比較検討を行い、歯付ベルト駆動系が力覚提示において優れた特性を持つことを示した。次に、力覚提示システムの低慣性化が可能なコンパクト型歯付ベルト駆動系の提案を行い、提案したコンパクト型が通常型と較べて力覚提示システムに適していることを示した。

第 5 章では、歯付ベルト駆動を適用したメカトロニクスシステムにおいてみられる複数の周期をもつ周期的な速度変動を抑圧する方法を提案した。通常の速度制御では、抑圧できない高周波域の周期的な変動を抑圧するために、周期的な外乱モデルを考慮した外乱オブザーバを導入することによって、効果的に周期的な速度変動の抑圧効果を得た。

第 6 章では、歯付ベルト駆動系を適用したメカトロニクスシステムの位置決め性能を評価するために、ベルトメーターとともに試験システムを開発し、位置決め性能の評価方法を提案した。歯付ベルト駆動に関する従来の研究では、歯荷重分担、伝達誤差、強度、寿命、騒音などに関する研究が行われてゐるが、サーボ駆動系の立場からの研究はほとんど行われてない。開発した試験システムおよび評価方法は、今後増々高精度化が要求される歯付ベルト駆動系開

発における基礎となる。

第7章では、本研究で得られた結論を総括した。

### 論文審査の結果の要旨

本研究は、歯付ベルト駆動を用いたメカトロニクスシステムの高精度・高機能化の実現やその新分野への展開を目的として研究を行ったものである。メカトロニクスシステムの高精度・高機能化を実現するには、歯付ベルト駆動系の剛性や摩擦、バックラッシュなどの特性がシステムの性能に及ぼす影響を明確に理解し対応する必要があるため、それら特性の影響を考慮しながら研究を進めている。本論文で得られた結果を要約すると次の通りである。

- (1) ロボットなどのメカトロニクスシステムは、モータなどの駆動側慣性と従動側慣性の間に駆動系の弾性要素がある2慣性システムとしてモデル化され、駆動系の剛性はシステムのサーボ性能に大きな影響を及ぼす。そこで、歯付ベルト駆動系の剛性に対して、簡単に実施できる引張り特性試験の結果を用いて、トルクと変形角度との関係を示すねじり剛性を推定する手法を提案している。まず、歯付ベルト駆動系の引張り特性とねじり剛性の関係を検討するために、ベルト駆動系の力学モデルを提案している。次に、引張り特性を用いたねじり剛性の推定法について解析を行い、ねじり剛性を、実用上便利な初期軸荷重の関数として表している。最後に、実験により提案した手法の有効性について検証を行っている。
- (2) 歯付ベルト駆動系の新分野への展開として、バーチャルリアリティ、各種訓練等において重要な情報の提示手段の一つである力覚提示システムへ歯付ベルト駆動系を適用する際に必要となる事項について検討を行っている。力覚提示システムの性能に影響を及ぼすねじり剛性、バックラッシュ角度、摩擦損失など駆動系の特性に関して歯付ベルト、平ベルト、ワイヤによる駆動方式を取り上げ比較を行い、歯付ベルト駆動系が力覚提示において優れた特性を持つことを示している。次に、低慣性化が可能な力覚提示システムの構築を目的として、コンパクト型歯付ベルト駆動系を提案している。最後に、コンパクト型歯付ベルト駆動系を力覚提示システムへ適用するに当たっての構成指針を提示している。
- (3) 歯付ベルト駆動系を適用したメカトロニクスシステムにおける速度制御の際に現れる周期的な変動の抑圧手法を提案している。周期的な変動の要因である、ベルト1周の剛性変化によるベルト1周当たりの周期的変動、駆動ブーリ、従動ブーリの偏心による周期的変動および歯の噛合い時に発生する周期的変動などを実験によって確認している。また、ブーリの偏心が最も大きな変動の原因であるため、ブーリ偏心によるベルトの周期的な伸縮について解析している。次に、I-P速度制御系に周期外乱が入力された場合について解析し、高周波側の2つの周期的変動はI-P制御では抑圧できないことを明らかにしている。そこで、高周波側の2つの周期的変動を抑圧するために、周期的な外乱をモデル化して入れた外乱オブザーバを設計し、シミュレーションによってその有効性を示している。最後に、実験を行い、外乱オブザーバによる周期的な速度変動の抑圧効果を検証している。
- (4) 従来の歯付ベルトに関する研究が、メカトロニクスシステムの立場からはほとんど行われていないことに注目し、歯付ベルト駆動系を用いたメカトロニクスシステムの位置決め性能の評価方法を提案している。そのために、まず評価に適した試験システムをベルトメーカーとともに開発している。開発した試験システムを用いて、提案した評価方法によるベルトの評価試験を行っている。開発した試験システムおよび評価方法は、今後増々高精度化が要求される歯付ベルト駆動系開発における基礎になると期待される。

以上のように、本論文では、歯付ベルト駆動系を適用したメカトロニクスシステムの高精度・高機能化の実現やその新分野への展開のために、機構、制御、システム、評価などの観点から各種の提案を行っており、当核分野の研究の発展に寄与するところが大きい。よって本論文は、博士論文として価値あるものと認める。