



Title	超磁歪トルクセンサを用いた高性能電動アシスト自転車開発のための基礎研究
Author(s)	角谷, 和重
Citation	大阪大学, 2004, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/44996
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、大阪大学の博士論文についてをご参照ください。

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

氏 名	角 谷 和 重
博士の専攻分野の名称	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	第 1 8 6 9 0 号
学 位 授 与 年 月 日	平成 16 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	超磁歪トルクセンサを用いた高性能電動アシスト自転車開発のための基礎研究
論 文 審 査 委 員	(主査) 教 授 古 莊 純 次 (副査) 教 授 伊 瀬 敏 史 教 授 掛 下 知 行

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、電動アシスト自転車の高性能化を実現する目的で、超磁歪素子という新素材を用いた小型高剛性のチェーンホイール内蔵踏力トルクセンサの研究開発、およびこれを搭載する電動アシスト自転車の統合シミュレータの研究開発についてまとめたものである。統合シミュレータの開発は、電動アシスト自転車の試作評価サイクルの削減、開発期間の短縮や、開発コストの削減を実現し、且つより高性能で付加価値の高い商品開発を支援する。論文は、序論、本論 5 章、結論の 7 章で構成されている。

序論では、本研究の目的を明らかにし、研究の背景と関連研究、研究の構成・概要について述べている。

第 2 章では、一般的な電動アシスト自転車の駆動補助システムの説明と、日本における電動アシスト自転車に関する法的規制などについて述べている。また、駆動補助システムの構成要素のうち、各社の創意工夫が顕著な踏力トルクセンサについて、その一般的分類と代表的構成例を紹介している。

第 3 章では、超磁歪材料のビラリ効果を用いたチェーンホイール部内蔵の小型軽量で高剛性な踏力トルクセンサの開発内容について述べている。超磁歪力センサの感度は、基本的に素子の大きさに依存し、小型化を進めると感度は低下する。この問題を解決し、素子量を変えずに高効率化を図る目的で、ヨークの一部にフェライト材を用いることにより高感度化を実現する手法を提案している。

第 4 章では、超磁歪素子を用いたカセンシングにおいて問題となる磁気ヒステリシス特性について考察を行い、その原因である磁壁移動や磁区の回転におけるピン止め現象を、コントローラによるセンシングの合間に、パルス磁界によるアクチュエーション（ジュール効果）を与えることでヒステリシスを低減する手法を提案している。また、実用化に向けてセンサの繰り返し精度を向上するために、加圧部分において偏荷重の変動によらず安定した出力が得られるセンサ構成を提案し、精度良く荷重の測定が可能となったことを実験結果から示している。

第 5 章では、電動アシスト自転車の開発における開発期間の短縮、開発コスト削減の必然性から、試作サイクルを削減するための開発支援環境として、設計段階から利用可能な計算機シミュレータと、試作機完成後の実験室レベルでの定量的評価を行うための試験装置シミュレータからなる統合シミュレータ環境について述べている。計算機シミュレータでは、ペダリング動作を行う人間の両脚モデルを考慮したモデリングを行い、電動アシスト自転車固有の構成要素である踏力トルクセンサによるばね剛性を評価できるシステムとしている。

第6章では、人間のペダリング運動による踏力トルク入力、試験装置シミュレータによりサーボモータで実現した際に、実際の走行時と異なるトルク振動が生じる現象について検討を行っている。実験で計測された固有振動数と、計算により得られた理論値を比較し、振動の原因として、試験装置のトルク入力部と人間の脚アクチュエータとの慣性モーメントの違いを挙げ、センサ剛性と駆動タイヤの周方向ばね剛性からなる二慣性系モデルで説明できることを示している。

結論では、本研究で得られた結果をまとめている。

論文審査の結果の要旨

本研究では、電動アシスト自転車の性能向上や高付加価値化を図る上でのキーコンポーネントとなる、超磁歪素子を用いたペダル踏力トルクセンサの開発を行っている。また、このような新提案のセンサ設計を開発段階で評価し、試作後のセンサを搭載した電動アシスト自転車を、実験室レベルで、より実走行に近い定量的評価が行える統合シミュレーション環境に関する研究も行っている。これは、実際の商品開発における期間短縮やコスト削減に貢献する開発プロセス改善のための基礎研究でもある。本論文で得られた結果を要約すると、次の通りである。

- (1)超磁歪素子を用いた電動アシスト自転車用トルク（力）センサの開発内容について述べている。検出原理は、圧縮応力により磁性体材料の透磁率が変化する現象（ビラリ効果）を用い、その変化が通常の強磁性体材料と比較して極めて大きい超磁歪材料により、踏力を検出するものである。金属素子の圧縮強度で力を受けるため、トルクセンサとしての剛性が高く小型化も可能である。また、トルクセンサのコアデバイスである超磁歪力検出部に関しては、性能改善のための各種手法を提案し、その効果についての検証も行っている。
- (2)超磁歪材料を用いたセンサの精度に最も影響を与える磁気ヒステリシス特性について考察し、マイクロコントローラを用いたインテリジェントセンサとしての特徴を利用し、センサ値のサンプリング間に瞬間的なパルス磁界を印加することで、ヒステリシス特性を低減する手法を考案している。また、力センサ部の基本構造において、量産化を行った際のばらつき誤差が問題となるため、安定したセンサ出力を得るためのセンサ構造についての改良提案も行っている。
- (3)計算機シミュレータと試験装置シミュレータによりなり、試作後のレギュレーション検査だけでなく、設計段階から活用可能な統合シミュレータを提案している。両シミュレータにより、センサ剛性の違いや、人間両脚ペダリング運動を考慮したトルク入力の違いによる各部速度応答を比較することでその有効性を明らかにしている。
- (4)人間のトルク入力に対し従動的に作用する電動アシスト自転車は、その評価においても、実際の人間によるペダリング運動と同等のトルク入力、かつ再現性のある実験条件で定量的に評価する必要がある。しかし、現状の技術では、人間の脚の特性とモータによるトルク入力を行う試験装置の特性の違いにより、完全に等価なシステムの構築が困難であることについて考察し、実験と計算上の理論値からその違いの原因を明らかにしている。

以上のように、本論文では、近年、新しいパーソナルコンピュータとして開発された電動アシスト自転車を、より通常の自転車に近い操作感覚で、加える踏力のみが軽減される自然な乗り物として高性能化を図るために、その基礎研究として小型高剛性な超磁歪トルクセンサや、開発プロセス改善のための統合シミュレータの研究開発を行っている。また、このような技術開発は、ロボティクス分野で培われた研究成果を民生に応用し、実際の商品開発に役立つ実用化研究として、極めて重要な位置付けにある。よって本論文は、博士論文として価値のあるものと認める。