

自転車用電動アシストアタッチメントの基礎開発

鈴木真ノ介*¹, 横島 英明*²

Fundamental Development of Electric Assist Attachment for Bicycles

Shin-nosuke SUZUKI, Hideaki YOKOSHIMA

This study deals with the results of study on the fundamental development of electric assist attachment for bicycles. Electric assist bicycles does not have only these advantages (for example, light pedaling, good for health care, and not to need driver license), but it is also good for ecology, because it does not use fuels. Hence it is getting more and more popular with its market increasing. However the market price of electric assist bicycle is still higher than 60,000 yen. In this study, I propose the technique to construct an electric assist bicycle by using an ordinary bicycle and the electric assist attachment. Using this technique, I attempt to reduce production costs and recycle the resource. So then I considered front wheel exchange method for attaching this attachment to ordinary bicycle. First of all, I have designed and made the wheel of this attachment. Second, I have started to make an IPM motor, but I couldn't finish this motor. And the last, I verified possibility of adding Assist function through the easy experiment using the wheel.

KEYWORDS : pedelec, electric assist bicycle, assist attachment, front wheel exchange method, IPM motor

1. はじめに

現在, 化石燃料の枯渇問題に加えて地球温暖化による CO2 削減などが叫ばれていることから, 世間に“エコ思考”が高まっている. このような背景から, 今後の移動手段としてエコカーや電車の利用が推奨されているが, 近距離でも使用しがちであり, 一概にエコとは言い難い局面も存在する. エコとは化石燃料の利用を極力削減することにあ

り, 移動手段における究極のエコといえるのは自転車であろう.

自転車の利点は, 資源節約の他にも免許が不要なことや, 適度な運動になることから生活習慣病の予防にもつながる. これらの利点を持ち, 坂道や向い風などの状況下でも軽快に走行できる自転車として, 電動アシスト自転車 (以下, アシスト車) が現在注目を集めている¹⁾. アシスト車の現状として, 自転車市場全体が横ばい状態の中, 年々その販売数を増加させている. この背景には, 2008

*1 電気情報工学科(Dept. of Electric and Computer Engineering), E-mail: shin-s@oyama-ct.ac.jp

*2 専攻科電子システム工学専攻 (Advanced Course of Electronic System Engineering) ※2010年度修了

年の法律改正によりアシスト力の許容範囲が拡大されたことや、3人乗り対応の車種が登場してきたことに加えて、昨今の車種では動力源であるバッテリー持続時間の改善策としてエネルギー回生機能が付加されたことなどがあげられる。しかし、市販のアシスト車は最安値でも6万円台と高価であることや、一般の自転車を所持している場合には買い替えとなり資源の無駄につながるものが、買い控えの要因にもなっている。

そこで、本研究では一般の自転車に取り付けることでアシスト機能を付加する安価なアタッチメントの基礎開発を行った。これにより、低コスト、かつ資源を有効活用したアシスト車の実現を目的とする。これまでの研究では、前輪のブレーキ部へ電動機を取り付ける方式を提案したが、アシストに足る性能の電動機が製作できず、加えてこの方式に対する問題が複数あげられた²⁾。そこで、これらの問題を解決するため、前輪交換方式のアタッチメントを提案し、まずその一部である車輪の設計および製作を行った。次に、本方式に利用するモータの製作を行ったが、時間の都合から完成させることができなかった。最後に、製作した車輪を用いて簡単な検証実験を行い、本方式によるアシスト機能付加の可能性を確認した。

2. アシスト車のシステム構成

アシスト車とは、バッテリーで駆動する電動機により、人がペダルを漕ぐ力（以下、人力）をアシストする自転車である。アシスト車には免許不要という利点があるが、そのためには道路交通法で定められた基準を満たさなければならない。図1にこの基準を示す。2008年12月の法改正以降規制が緩和され、新基準では旧基準より大きなアシストが認められている。新基準では、人力に対して、アシスト力の許容値を式(1)のように定めている。この許容値を超えるアシストは道路交通法違反となる。このため、人力を測定するトルク

$$\frac{\text{アシスト力}}{\text{人力}} = \begin{cases} 2 & (\text{時速 } 10\text{km 以下}) \\ (24 - \text{速度})/7 & (\text{時速 } 10 \sim 24\text{km}) \\ 0 & (\text{時速 } 24\text{km 以上}) \end{cases} \quad (1)$$

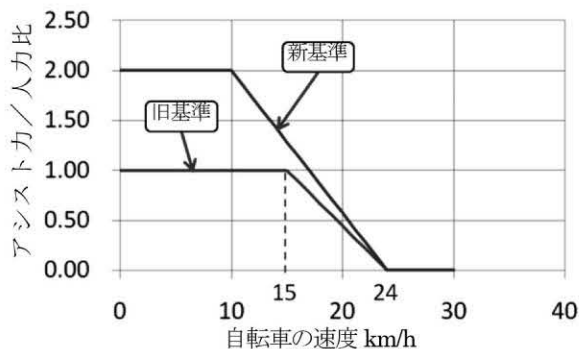


図1 アシスト力許容値（人力比）

センサと、アシスト制御回路が必要になる。

アシスト車は、電動機を搭載する位置により3種類に分類され、ペダル付近のセンターマウント方式、後輪のリアハブユニット方式、前輪のフロントハブユニット方式がある。一般的に、バッテリーや制御回路等はサドル下部に搭載されている。システム構成の例として、図2にフロントハブユニット方式を示す。アシストの手順は以下の通りである。まず、トルクセンサにより測定された人力値が制御回路へ入力される。次に、制御回路は、入力された人力値に対するアシスト力が出力されるよう、電動機を駆動する。最後に、電動機で発生したトルクがタイヤへ伝達することでアシストが行われる。

アシスト車が市場に登場した当初は、バッテリー持続時間が短く、アシスト可能な走行距離が限られていた。この改善策として、昨今の車種ではエネルギー回生機能が搭載されている。本機能は、電動機を発電機として利用しバッテリーの充電を行うもので、バッテリー持続時間およびアシスト可能な走行距離を約2倍に伸ばしている。

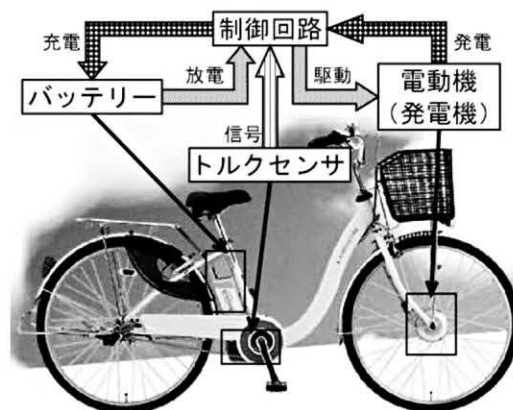


図2 市販アシスト車のシステム構成

3. アシストアタッチメントシステム

本研究は、アタッチメントによるアシスト付加を目的とするため、その取り付け方法が重要となる。取り付ける自転車には、一般的な軽快車を想定している。これまでの研究では、図3のようにブレーキ部付近へ電動機を取り付ける方式を提案し、専用の電動機を製作した。しかし、製作した電動機はアシスト機能に十分な出力が得られなかった。原因として、ブレーキ部へ取り付けるため、電動機サイズを一般のアシスト車のものと比べ、小さく雨や泥などの環境で信頼性の低下やバッテリーや回路を前カゴへ配置するため重心が高くなりバランスが悪くなるなどの問題があげられた。そこで、新たな方式を考案した。

図4に前輪交換方式のアタッチメントを示す。本方式は、電動機やバッテリー、回路等を内包した車輪を軽快車の前輪と交換する方式である。このため、取り付け後はフロントハブユニット方式のアシスト車となる。本方式を採用した理由には、前方式における問題点の改善が図れることに加えて、ギヤ構造の無い前輪は比較的簡単に取り外しができるため、タイヤ交換の要領で容易にアタッチメントが取り付けられる点があげられる。さらに、各要素を車輪に内包することで、部品数を減らし取り付けの簡単化を図った。また、トルクセンサは、人力を測定するため、ペダル周辺への取

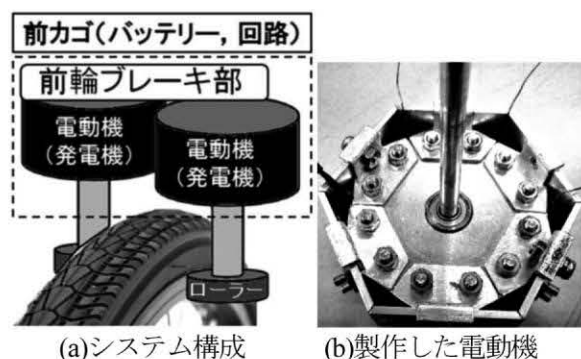


図3 これまでのアタッチメント方式



図4 前輪交換方式アタッチメント方式

り付けが必要である。そのため、車輪に含めることはできず別部品とした。トルクセンサについては次節で述べる。

4. トルクセンサの原理

一般的なアシスト車では、磁歪式トルクセンサが用いられている。磁歪式トルクセンサは、原理的に軸へ負荷を加えないといった利点をもつが、高価であり構造的に後付けが困難なことから、本アタッチメントには不向きである。そこで、本機においてはトルクセンサを以下の方法で代用する。図5にその原理を示す。人がペダルを漕ぎトルクを発生させる際には、左右のうち片方のペダルをより強く踏み込む。そこで、左右のペダル表面に圧力センサを設置し、左右に加わる圧力の差を測定することで、人力を測定する。左右の圧力センサで計測した値の差分を P とし、ペダル表面の面積を S 、クランクの長さを L 、クランクが地面となす角を θ とすれば、トルク τ は式(2)で表される。

$$\tau = PSL\cos\theta[\text{Nm}] \quad (2)$$

θ はペダル軸に設置した非接触型角度センサにより測定する。

5. アタッチメントの設計および製作

前方式では、その取り付け方法から、製作する電動機の大きさが制限され、アシストに足る性能の電動機が製作できなかった。本方式では、様々な電動機の実験による検証実験を行えるものとし、前輪交換方式アタッチメントの研究プラットフォームとした。本研究では、まず車輪の設計および製作を行った。次に、本方式で用いる電動機の製作を行った。

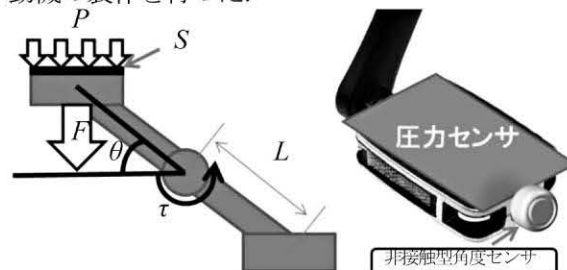
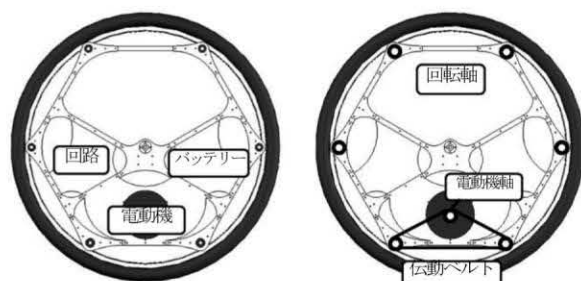


図5 トルクセンサの原理

図6に設計した車輪内部の様子を示す。通常の車輪はその中心軸からリムをスポークで支えているが、本車輪には電動機やバッテリー、回路等を内包させるため、その内部は回転しない構造とした。この方法として、図6(b)のように内部に骨組みとなるフレームを設け、それを自転車本体へと固定し、そのフレーム端にある複数の回転軸でリムを支える構造とした。これにより、リムより外周のみが回転する。また、電動機からタイヤへの伝達系として、伝動ベルトを利用した。ベルトは電動機軸と下部2点の回転軸で張った。電動機で発生するトルクは、電動機軸からベルトへと伝わり、続いてこのベルトがリムと摩擦することで、アシスト力となる。このような構造のため、回転軸とリムは内接型の減速ギヤを構成する。外周のタイヤには、回転軸と吸気口の干渉を避けるため、吸気口のないパンクレスタイヤを用いた。

図7に製作した車輪を一般の自転車に取り付けた様子を示す。車輪の寸法は、基本的に市販の26インチタイヤと等しいが、電動機のサイズにより車輪の厚み方向の寸法が変わる。取り付けが可能な電動機として、その寸法は直径が150mmまでであり、軸方向は走行に支障が出ない程度(約200mm)とした。また、取付方法として、一般的なタイヤと同様にフォークの先端と前輪の中心軸を固定する。電動機から外周のタイヤまでの減速比は24:1とした。



(a)要素配置 (b)回転軸と伝達系
図6 車輪内部の様子



図7 車輪を取り付けた様子

6. モータの製作

続いて、本方式で利用するモータの製作を行った。図8に製作したロータとステータの外観を示す。モータの種類には、電動機として性能の良いIPMモータを採用した。モータの寸法は、車輪へ取り付けるため直径140mm、厚さ60mmとした。渦電流損の低下を図るため、1mm厚の鉄板を切削し、IPMモータにおけるロータ及びステータ板を20枚ずつ製作した。図9にロータおよびステータ板の構造を示す。モータの仕様として、ロータはコギングトルクの小さい非突極性であり、ステータは小型化に向く集中巻きとした。また、モータ極数 本方式では、電動機が車輪の厚み方向に飛び出るため、電動機の軸方向は短いものが望ましく、ラジアルギャップ型のモータとした。

本研究では、積層板の製作までが完了したが、時間の都合から、絶縁塗料の塗布やステータコイルの巻線に加えて、制御回路等の製作を完成させることができなかった。これらは、今後の課題である。

7. 検証実験

本方式によるアシスト機能の付加の可能性を検証するため、製作した車輪を用いて実験を行った。図10に検証実験の様子を示す。本来の検証の際には、人力に対するアシスト力制御を行う必要が



左:ロータ 右:ステータと外層
図8 製作したIPMモータの外観

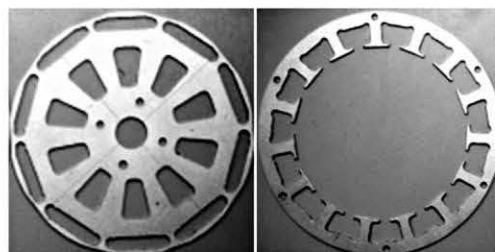


図9 ロータ(左)およびステータ(右)の構造



図10 検証実験の様子

あるが、ここでは簡単にアシストの有無を確認するため、アシスト力制御を可変抵抗器による電流調整で代用した。電動機には市販の DC モータ (MABUCHI 製, RS-540RH, 65W) 2 個をアタッチメントの両側面に設置し、電源には Ni-MH バッテリー (コスモエナジー製, 7.2V, 2 個) を用いて、時速 0~10km 程度で抵抗値を変化させながら実験を行った。

結果として、可変抵抗器による電流制御により、アシスト力の変化が感じ取れた。定量的な測定方法はまだ模索中であるため、結果は定性的な評価

に滞ったが、複数人の試験者が同様の評価であったため、本方式によるアシスト機能付加の可能性が確認できたと言える。

8. まとめと今後の課題
本研究では、アシスト機能を付加する安価なアタッチメントとして、まず前輪交換方式アタッチメントを提案し、その車輪を製作した。次に、本方式で利用する電動機の製作を行ったが、時間の都合から、未完成に終わった。そこで、最後に製作した車輪を用いて簡単な検証実験を行い、本方式によるアシスト機能付加の可能性を確認した。

今後は、製作途中である電動機とその制御回路を完成させ、トルクセンサの製作を行う。トルクセンサで計測した人力に対するアシスト制御を行わせ、システム全体の性能評価を行う。また、本研究の背景である製造コストについても評価する。

参考文献

- 1) 「近距離移動用パーソナルモビリティの将来性」
<http://www.seedplanning.co.jp/report/01362.html>
- 2) 自転車用電動アシストアタッチメントの基礎開発
H21 年度 小山工業高等専門学校専攻科 電子システム工学専攻 特別研究 中間発表プログラム及び研究概要集抄, 25-26p 横島英明

【受理年月日 2011年 9月 9日】

