電気自転車用新形高効率電動機の性能評価

正員 高坂 拓司* 学生員 橋本 直英*

正員 安陪 稔*

Performance Evaluation of the New High-Efficiency Motor for an Electrical Bicycle

Takuji Kousaka*, Member, Naohide Hasimoto*, Student Member, Minoru Abe *, Member

Over the past years, a great deal of studies have been devoted to electrical bicycle, electrical vehicle, and so on. In previous work, we studied a new d-c compound motor which is suitable for the electronic bicycle on the level ground. In contrast to this, this paper considers the performance evaluation of the new high-efficiency motor for an electrical bicycle in detail. We try to show the experimental results of several driving condition. This directly leads us to the conclusion that a new d-c compound motor is higher efficiency than conventional one.

キーワード：電気自転車，新形電動機，勾配，性能評価

Keywords: electrical bicycle, motor, slope, performance evaluation

1. まえがき

電気自動車や電気自転車など，電動機を利用した交通手段は環境および騒音の問題を解決し，さらにバッテリーの充電時に夜間電力を利用できることなどから，各企業では一般的な普及を目指してさまざまな研究，開発が行われている⁽¹⁾。とくに，電気自転車は従来の自転車と比べ様々な利便性を有しており，その普及率が高まっている。

先にわれわれは，省エネルギー化を目的とした電気自転車用新形複巻電動機（以下，新形）を提案した⁽²⁾。しかし，平地以外の走行特性に関する検討は十分行われていない。そこで本論文では，異なる走行条件において走行実験を行い，その性能について比較検討する。その結果，新形搭載時は従来形電動機（以下，従来形）と比べ一般的に，省エネルギー効果をあげ得る，始動時の加速力が優れている，ことを示す。

2. 新形複巻電動機

電気自転車には永久磁石型直流電動機が用いられており，電機子反作用により永久磁石界磁が減少し，電機子電流が増大する（図1(a)参照）。そこで，さきにわれわれは図1(b)に示す新形を提案した。この電動機は，電機子反作用による永久磁石界磁の減少を保護する方向に直巻巻線を付加しているため，和動複巻電動機として動作する。その結果，永久磁石を効率よく励磁するため，増磁作用による省エネルギー効果と始動時のトルクの増加が見込まれる。

図1 直流電動機

Fig. 1. DC motor.

3. 走行実験および検討

以下，変速機 [平][速] において：

- 勾配 0.0° ，距離 60 [m]，始動抵抗の短絡位置 10 [m]（文献(2) 参照）
- 勾配 -6.4° ，距離 34.5 [m]，始動抵抗の短絡位置 4.5 [m]
- 勾配 3.3° ，距離 30 [m]，始動抵抗の短絡位置 15 [m]

を設定し，走行実験を行う。また，電動機の制御方法は文献(2)を参照。

図2に勾配 -6.4° ，変速機 [平][速] における始動・加速度特性をそれぞれ示す。ここで，時間 t [sec] は時間， I_a [A] は電機子電流， v [km/h] は速度である。また，実線は新形搭載時（NEW COMPOUND MOTOR）の始動・加速度特性，破線は従来形搭載時（MAGNET MOTOR）の始動・加速度特性を表している。図中の電機子電流特性より，従来形搭載時と比較すると，新形搭載時は変速機 [平][速] ともに始動時の電機子電流がわずかながら減少している。しかし速度特性については，新形搭載時より従来形搭載時の方

* 福山大学

〒729-0292 福山市学園町1番地

Fukuyama University

1, Gakuen-cho, Fukuyama 729-0292

(a) Transmission [normal]

(b) Transmission [fast]

図 2 勾配 -6.4° における始動・加速度特性

Fig. 2. Starting and accelerating characteristic of the slope -6.4° .

(a) Transmission [normal]

(b) Transmission [fast]

図 3 勾配 3.3° における始動・加速度特性

Fig. 3. Starting and accelerating characteristic of the slope 3.3° .

が始動時において速度が増加している。次に、勾配 3.3° 、変速機 [平][速] における始動・加速度特性を図 3 にそれぞれ示す。図より新形搭載時は従来形搭載時に比べ電機子電流が減少しており、始動時における加速力が増加している様子が伺える。以上の結果から、新形搭載時は従来形搭載時に比べ、勾配がきつくなるほど電機子電流および始動時の加速力が向上する。また、変速機 [速] は変速機 [平] と比べ車両への負荷が増加しているため、新形の特性が大きく現れる。つまり、両電動機搭載時の特性を比較した場合、変速機 [速] の方が、変速機 [平] より電機子電流および始動時の加速力が向上している。

上述の走行実験結果より得た省エネルギー効果の比較結果を、表 1 に示す。ここで表中の Energy efficiency は、 $(\text{Conventional} - \text{New}) / (\text{Conventional} + \text{New}) \times 100 [\%]$ を用い計算した。勾配 -6.4° において、変速機 [速] と変速機 [平] はエネルギー効率および速度特性はほとんど変化がない。これは、勾配 -6.4° の走行では時間が経過すると電

表 1 エネルギー消費量の比較

Table 1. Comparison of the energy-consumption.

Slope	Transmission	Energy-consumption[W·sec]		Energy efficiency [%]
		Conventional	New	
-6.4°	Normal	2544.59	2337.74	4.21
	Fast	3883.03	3595.43	3.85
0.0°	Normal	7207.49	6517.95	5.02
	Fast	10443.44	9278.88	5.9
3.3°	Normal	8151.21	7797.76	2.22
	Fast	13152.41	12131.69	4.04

動機が無負荷運転と同様な状態になるためである。ここで、下り坂においては電動機のアシストの有無は重要な問題ではないことに注意する必要がある。また、勾配 0.0° 、勾配 3.3° とともに変速機 [速] は変速機 [平] と比較して、エネルギー効率が向上している。したがって、勾配 0.0° 、 3.3° とともに、本電動機は変速機のギア比が小さくなるにつれ、省エネルギー効果と加速力の向上が発揮されるといえる。

最後に、各勾配間の関係について考えるが、表 1 は走行距離と始動抵抗を短絡する位置が違いため、単純に勾配間の比較を行うことができない。そこで、始動時のみに注目して省エネルギー効果の算出を行った結果、変速機 [平] においては、勾配 3.3° のエネルギー効率が勾配 0.0° よりも約 3% 向上している。また、変速機 [速] のときも約 2% のエネルギー効率の向上を確認した。理論的な検討からも推測できるように、走行実験においても、新形は傾斜角度が増加するにつれエネルギー効率も向上するといえる。

以上より、新形の性能を総合的に評価すると、平地のみならず一般的な走行条件においてもエネルギー効率は向上するといえる。さらに、変速機のギア比が小さく、傾斜角度が増加する、状況においてはその力をより発揮するであろう。これは、登り坂のような電動機のアシストが必要な場面において、特に本電動機は有効であることを示唆している。

4. むすび

本論文では、さきにわれわれが提案した電気自転車用新形高効率電動機のパフォーマンスを評価した。その結果、あらゆる走行条件において、本電動機は従来形よりも有効であることを確かめた。また、この利点は車両への負荷の大きさに追従して増加するため、もっとも電動機の補助が必要な高負荷時の走行に、本電動機は特に有効であることがわかった。(平成 15 年 8 月 19 日受付, 平成 16 年 1 月 16 日再受付)

文 献

- (1) 安倍 稔:「電気自動車の要素技術と開発動向—電気自動車の長所と短所をさぐる—」, 電気評論, Vol.79, No.11, pp.12–15 (1994-11)
- (2) T. Kousaka, N. Hasimoto, and M. Abe: “Remarks on the New High-Efficiency Motor for an Electrical Bicycle”, *T. IEE Japan*, Vol.123-D, No.12, pp.1548–1549 (2003-12) (in Japanese)

高坂拓司・橋本直英・安倍 稔:「電気自転車用新形高効率電動機に関する一考察」, 電学論 D, 123, 12, pp.1548–1549 (2003-12)