

# 電気二重層キャパシタを用いた 電動アシスト自転車システムの人力平均化制御法の検討

○野口 健二 折川 幸司 伊東 淳一

長岡技術科学大学 大学院 工学研究科 電気電子情報工学専攻

{k\_noguchi@stn|orikawa@vos|itoh@vos}.nagaokaut.ac.jp

## 1. はじめに

近年、自転車走行時の人力をモータで補助する機能を持った電動アシスト自転車が目ざされている<sup>(1)</sup>。従来の電動アシスト自転車の電源には長距離走行を想定して、リチウムイオン電池が用いられている。また、アシスト制御法は人がペダルを踏む力に対してある比率でモータが瞬時にアシストパワーを出力する。そのため、短時間で起伏が激しくペダルを踏む力にリップルが発生する場合、人が疲労しやすくなる可能性がある。

本論文ではアシスト制御法として人力平均化制御法を提案している。本制御法は従来のアシストモードに加えて回生モードを有し、短時間に起伏が激しい道では人力を一定に制御する。これによって、人の疲労感を軽減する新たな走行モードを実現可能である。また、回生電力により、充電システムを用いないシステムも実現可能である。

まず、電動アシスト自転車の走行例として、アシストパターンを漕ぎ出し時と坂道の2種類のパターンを想定し、従来システムでの人力の変化を実機検証して、従来システムのアシスト制御法を評価する。次に提案アシスト制御法でのシミュレーションを行い、提案制御の有効性を検証する。

## 2. 提案システム構成

図1に提案システム構成を示す。筆者らは電動アシスト自転車の電源にサイクル寿命が長い電気二重層キャパシタ(以下 EDLCs)を用いた電動アシスト自転車用非接触充電システムを提案している<sup>(2)</sup>。提案システムでは、非接触充電時に双方向 DC-DC コンバータで EDLCs へ充電制御を行う。なお、低エネルギー密度の EDLCs は非接触による頻繁な急速充電によってその欠点を補う。

また、アシスト走行時は双方向 DC-DC コンバータで EDLCs の放電制御を行い、BLDC モータ(アシストモータ)を駆動する。また、提案アシスト制御により走行中にアシストモータからの回生電力で EDLCs に充電することが可能である。

## 3. 人力とアシストパワーの計測

図2にアシストパターンを示す。パターン A は、

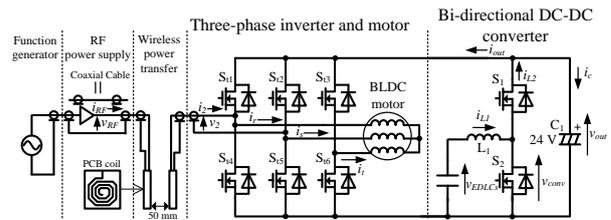


Fig. 1. Proposed system configuration.

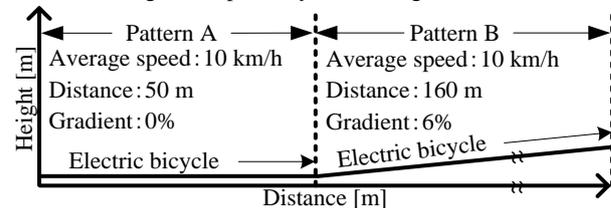
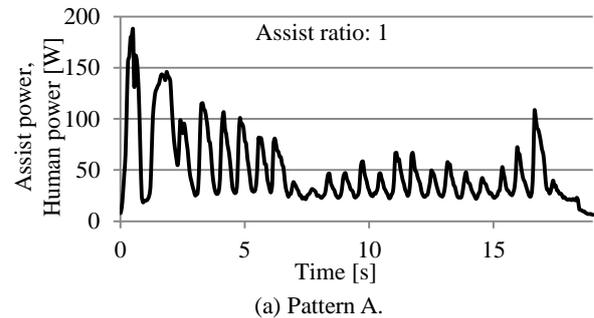
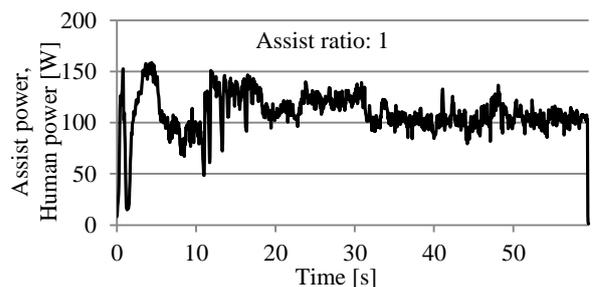


Fig. 2. Assist pattern.



(a) Pattern A.



(b) Pattern B.

Fig. 3. The measured value of assist power and human power. 漕ぎ出し時のアシストを実証するための走行パターンである。パターン B は、勾配のある坂(平均勾配 6%)を登るときのアシストを実証するための走行パターンである。

図3に従来システムでの各パターンでの人力とアシストパワーの実測値を示す。図3よりパターン A 及びパターン B は走行時に人力のリップルが発生

していることがわかる。また、アシスト比を1としているため、人力とアシストパワーは等しい。

#### 4. 人力平均化制御法

図4に人力平均化制御の原理を示す。従来制御は常にアシスト状態であり、人力に対してある比率でアシストをする制御のため、アシストパワーが大きくなったり、小さくなったりする。その一方で、提案制御は、人力  $H_p$  が人力の平均値  $H_{p\_average}$  以下となったら回生状態として負荷を増加させ、平均値以上となったらアシスト状態に切り替え、負荷を低減させる。すなわち、人力の平均値に人力を追従させる制御を行う。この結果、人力を等価的に一定にすることができる。

図5に提案制御のブロック図を示す。人力の平均値は移動平均フィルタ(以下 MAF)により指令値として出力する。MAFは漕ぎ出しのアシスト動作に影響を与えないように漕ぎ出し後3秒後に動作をさせる。

#### 5. シミュレーション結果

図1において、DC-DCコンバータに接続される三相インバータ、モータを可変の電流源で模擬し、提案制御をシミュレーションにより検討する。DC-DCコンバータの出力電圧は24V一定に制御を行い、出力電流は可変電流源の値とする。また、アシスト比  $K$  は1とし、 $H_p$  は図3のパターンAのデータを用いる。図3の実験データより漕ぎ出し後3秒後から停止までの  $H_{p\_average}$  は、40.5Wであった。そこで、40.5W以上ではアシスト状態、それ以下では回生状態として可変電流源の電流指令値は負となる。人力の平均値を既知である条件を条件I、MAFの平均化周期を0.1秒、3秒を条件II、条件IIIとする。

図6に提案制御時の人力の平均値とDC-DCコンバータの出力電力、EDLCsの電圧波形を示す。正の出力電力はアシスト状態、負の出力電力は回生状態を示している。図6より条件IIは人力の平均値にリップルが発生しているのがわかる。これは人力のリップルの周期が0.1秒より長いため平均化ができていないためである。したがって、DC-DCコンバータの出力電力がほぼ0Wであることがわかる。一方で、条件IIIは人力の平均値が40.5Wに収束し、条件Iと同様に平均出力電力0Wを中心にアシスト状態と回生状態が頻繁に切り替えられていることがわかる。したがって、人力の平均値に人力が追従するように制御されていることがわかる。また、EDLCsの電圧は漕ぎ出し時のアシストにより減少するが、その後徐々に電圧が上

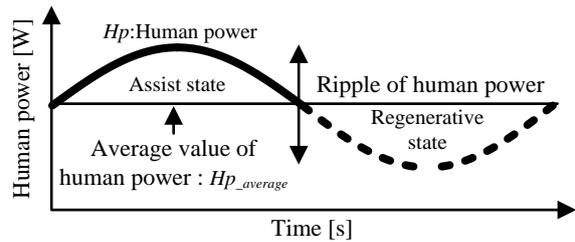
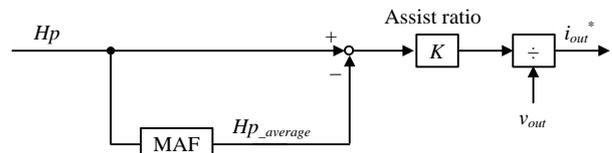
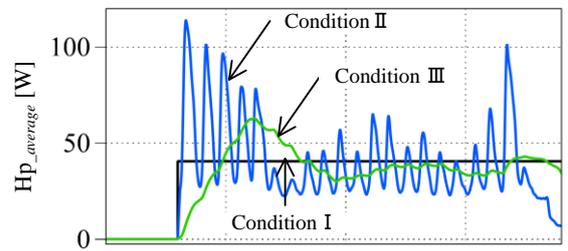


Fig. 4. The principle of human power averaging control.

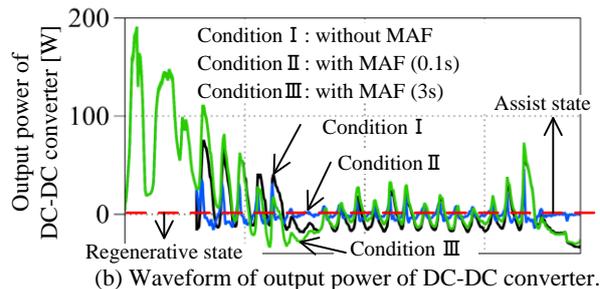


The MAF operate after 3 second.

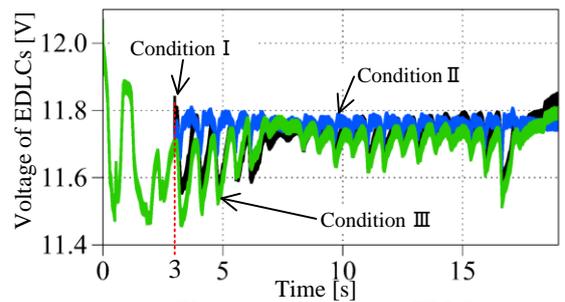
Fig. 5. Block diagram of the proposed control.



(a) Waveform of average value of human power.



(b) Waveform of output power of DC-DC converter.



(c) Waveform of voltage of EDLCs.

Fig. 6. Each waveforms of the proposed control.

昇していることがわかる。したがって、提案制御を用いることで非接触充電システムを用いずに走行を継続することも可能である。

#### 文献

- (1) ヤマハ発動機株式会社 PAS ワゴン (<http://www.yamaha-motor.jp/pas/lineup/wagon/>)
- (2) 野口, 他: 平成 26 年 電気学会 電子・情報・システム部門大会, MC5-5 (2014)