

電気二重層キャパシタ蓄電式エレベータの 電力回生効率

加藤 康平*, 太田 圭祐, 辻 俊明, 阿部 茂 (埼玉大学)

Power Regeneration Efficiency of Elevators with Electric Double Layer Capacitors
Kohei Kato, Keisuke Ota, Toshiaki Tsuji, Shigeru Abe (Saitama University)

1. まえがき

電気二重層キャパシタ (EDLC) は、二次電池と比較して長寿命かつ出力密度が高い⁽¹⁾という特長があり、瞬低補償装置や上海のトロリーバスなどに用いられている。

我々は EDLC をエレベータに用い、省エネ率の向上と蓄電装置の長寿命化を図る EDLC 蓄電式エレベータを研究している。シミュレータを構築し、一日の省エネ率を算出すると約 40%であった⁽²⁾。このシミュレータではインバータとモータの効率をそれぞれ 95% 一定と仮定している。小形誘導電動機のすべり周波数制御による実験⁽³⁾では、回生効率 (インバータ+モータ効率) が低く、回転数によって大きく変化することがわかった。

現在のエレベータで一般的な永久磁石同期電動機のベクトル制御では、高い回生効率が期待できる。エレベータ 1/5 モデル模擬装置を製作し、シミュレーションで回生効率を検証した。回生効率は回生開始直後を除いて 80~90% と高く、従来の仮定に近い結果が得られた。

2. 電気二重層キャパシタ蓄電式エレベータ

〈2・1〉 システム構成 EDLC 蓄電式エレベータのシステム構成を図 1 に示す。モータの電力回生時に EDLC に蓄電し、力行時に再利用する。EDLC は整流器とインバータ間の直流部に直結し、充放電による EDLC 電圧 V_d の変化で交流電源と EDLC 電源が自動的に切り替わる方式である。

〈2・2〉 エレベータ実機 1/5 モデル 典型的な住宅用エレベータの仕様を表 1 に示す。 N は階数、 FD は階間距離、 v_0 は定格速度、 a は加速度、 n は定員、 M_C はかご重量、 M_P

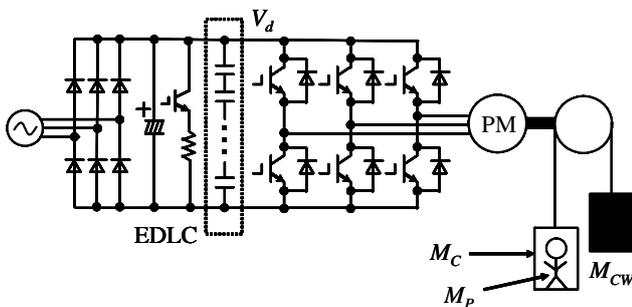


図 1 システム構成
Fig.1. System configuration

表 1 エレベータの仕様
Table 1. Elevator specifications

N	7	FD	3.5 m	v_0	1.0 m/s
a	0.55 m/s ²	n	9	M_C	600 kg
M_P	600 kg	M_{CW}	900 kg	η	0.80

は定員乗車時の乗客重量、 M_{CW} は釣り合いおもりの重量、 η は機械系の効率である。

今回、実機の重量を 1/5 とし、慣性をモータとフライホイールで模擬する装置を製作した。模擬装置を図 2 に示す。モータ 1 でエレベータのモータを模擬し、モータ 2 では釣り合いおもりとかごの重量アンバランスを模擬する。本論文では重量アンバランスは考えない。

以下、1/5 モデルの重量を m_c 、 m_p 、 m_{cw} で表す。1/5 モデルの運動エネルギー E_S は、エレベータ速度 v のとき

$$E_S = \frac{1}{2}(m_c + m_p + m_{cw})v^2 \quad (1)$$

である。模擬装置の回転エネルギー E_F は、慣性モーメントを J ($= 0.0544 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$)、回転角速度を ω_m とすると

$$E_F = \frac{1}{2}J\omega_m^2 \quad (2)$$

である。 $E_S = E_F$ となるように ω_m を変えることでエレベータを模擬する。

〈2・3〉 重量バランス時 2 階床間走行の速度パターン エレベータでは、かごに乗客が定員の 1/2 乗車した際 ($M_p = 300 \text{ kg}$ 、 $m_p = 60 \text{ kg}$) に釣り合いおもりとかごがバランスする。2 階床間 (1 階から 3 階) 走行時のエレベータ速度を図 3 に示す。(1)(2)式に従って求めた模擬装置の回転数パターン ω_m^* を図 4 に示す。

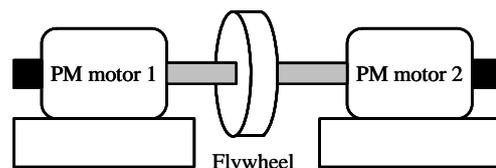


図 2 エレベータ模擬装置
Fig.2. Elevator simulator (MG set)

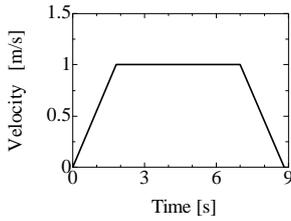


図3 エレベータ速度
Fig.3. Elevator velocity

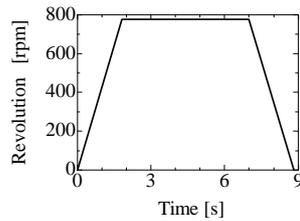


図4 フライホイール回転数
Fig.4. Flywheel revolution

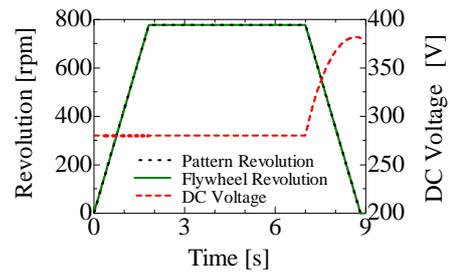


図6 回転数と直流電圧変化
Fig.6. Revolution and DC voltage

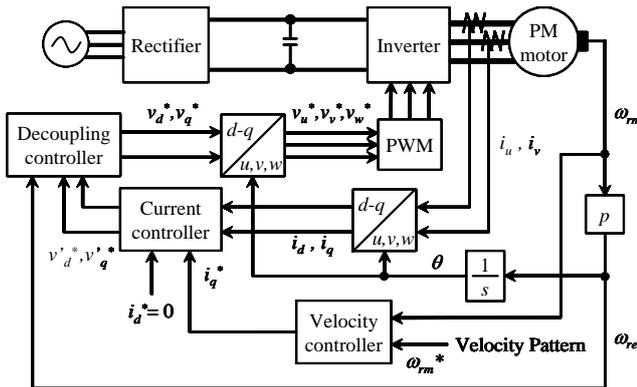


図5 制御ブロック図
Fig.5. Control block diagram

〈2・4〉 制御方式 図5に示す構成でベクトル制御を行った。制御する永久磁石同期電動機（Mitsubishi HC-SFS121、図2のモータ1）の定数を表2に示す。 P_R は定格出力、 N_{rm} は定格回転数、 T_R は定格トルク、 Φ_{fa} は誘起電圧定数、 R_a は電機子巻線抵抗、 L_a は電機子巻線インダクタンス、 J_M は慣性モーメント、 p は極対数である。 d 軸電流指令値 $i_d^*=0A$ とし、最大効率で駆動する。

3. シミュレーション結果 —重量バランス時—

〈3・1〉 回転数と電圧変化 EDLC 蓄電式エレベータが、重量バランス時に2階床間上昇した際の1/5モデル模擬装置のPSIMによるシミュレーション結果を示す。

重量バランス時は回生エネルギーが小さい。電圧上昇幅を大きくするため、容量の小さい電解コンデンサ ($C=4500 \mu F$) を用いた。

回転数と直流電圧の変化を図6に示す。減速時にエネルギーが回生している。直流電圧は回生に伴って上昇するが、速度フィードバックが有効に働き回転数は目標のパターンに追従している。電解コンデンサに蓄積されたエネルギーは150Jで、回転エネルギー180Jの83%に相当する。

表2 永久磁石同期電動機の定数
Table2. Permanent magnet synchronous motor parameters

P_R	1.2 kW	N_{rm}	1000 rpm
T_R	11.45 N·m	Φ_{fa}	0.964 V·s/rad
R_a	0.657 Ω	L_a	12.5 mH
J_M	0.00425 kg·m ²	p	4

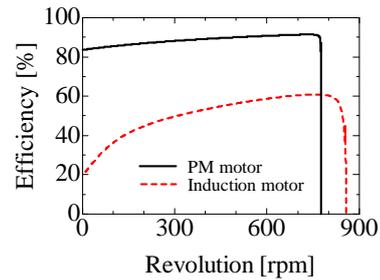


図7 回生効率
Fig.7. Regeneration efficiency

〈3・2〉 回生効率の比較 小形誘導電動機のすべり周波数制御⁽³⁾と、永久磁石同期電動機のベクトル制御で回生効率（インバータ+モータ効率）を比較する。いずれもPSIMによるシミュレーション結果から回生効率を算出した。

回転数と回生効率の関係を図7に示す。回生開始直後は効率が低い。この部分を除いて考えると、小形誘導電動機のすべり周波数制御では回生効率が20~60%と低いが、永久磁石同期電動機のベクトル制御では80~90%と高い。回転数が低い場合でも回生効率の低下は10%にとどまることがわかった。我々はインバータ+モータ効率を90.25%（各95%）と仮定して一日の省エネ率を算出⁽²⁾しており、仮定に近い結果が得られた。

4. 結論

永久磁石同期電動機のベクトル制御を採用し、エレベータ重量1/5モデル模擬装置のシミュレーションで回生効率を検証した。乗客バランス時に2階床間上昇した場合、回生効率は回生開始直後を除き80~90%と高く、回転数が低い場合も高効率となることがわかった。

文献

- (1) 岡村旭夫:電気二重層キャパシタと蓄電システム 第3版、日刊工業新聞社 (2005)
- (2) 八代昌大、太田圭祐、金子裕良、阿部茂:電気二重層キャパシタ蓄電式エレベータの1日の詳細電力シミュレーション、日本機械学会技術講演会 昇降機・遊戯施設等の最近の技術と進歩、No.08-75 (2009)
- (3) 加藤康平、辻俊明、阿部茂:電気二重層キャパシタを用いた誘導電動機回生電力蓄電装置、平成21年電気学会産業応用部門大会、No.1-86 (2009)