

# 回生電力蓄電電源用電気二重層コンデンサの 充放電効率

八代 昌大\*, 峯村 明憲, 金子 裕良, 阿部 茂 (埼玉大学)

Charge and Discharge Efficiency of Electric Double Layer Capacitors  
for Regenerated Power Storage System

Masahiro Yashiro, Akitoshi Minemura, Yasuyoshi Kaneko, Shigeru Abe (Saitama University)

## 1. まえがき

標準形エレベータは回生電力を制動抵抗で熱消費している。Ni-MH 電池に蓄電する方式が実用化されているが、充放電効率が約 84%と低いため、省エネ率も 20%~31%と低い<sup>(1)</sup>。電気二重層コンデンサ(Electric Double Layer Capacitor、以下 EDLC と記す)を利用すれば、省エネ率の拡大と蓄電装置の長寿命化・保守軽減が期待できる。省エネ率は主に蓄電装置の充放電効率で決まる。本研究ではエレベータの電力パターンから電圧変化を求め、充放電効率を算出した。低内部抵抗(1 F)の EDLC を用いれば約 94%の充放電効率を得ることができる。

## 2. 電気二重層コンデンサ蓄電式エレベータ

図 1 にシステム構成を示す。EDLC を直接直流母線に接続し、充放電で電圧  $V$  が変化する特性を利用して充放電制御を行う。回生運転時は EDLC の電圧  $V$  が最大電圧  $V_H$  以下であれば EDLC に充電され、力行運転時には EDLC から電力を供給し、電圧が交流電源の整流電圧以下になれば、交流電源から電力が供給される。また、回生時に最大電圧  $V_H$  以上になる場合には、従来通り制動抵抗を動作させる。

## 3. エレベータのエネルギー計算

エレベータの力行及び回生電力  $P$  は、速度パターンを図 2 の台形で近似し、(1)~(4)式を用いて計算した<sup>(2)</sup>。

$$M_{CP} = M_C + M_P \times i/n \quad M_{CW} = M_C + M_P/2 \quad \dots(1)$$

$$F = (M_{CP} + M_{CW}) \times a + (M_{CP} - M_{CW}) \times g + F_L \quad \dots(2)$$

$$F_L = (M_P/2) \times g \times (1/\eta - 1) \quad \dots(3)$$

$$P = F \times v \quad \dots(4)$$

ここで、 $M_C$ : かご質量、 $M_P$ : 定員乗客質量、 $M_{CP}$ : かごと乗客の質量、 $M_{CW}$ : 釣り合い重りの質量、 $n$ : 定員、 $i$ : 乗客数、 $g$ : 重力加速度、 $a$ : 加速度(加速時=減速時)、 $v$ : 速度、 $v_0$ : 定格速度、 $N$ : ビル階数 - 1、 $FD$ : 階間距離、 $\eta$ : 機械系の効率、 $P$ : 走行パワー、 $F$ : かごをロープで上に引き上げる力、 $F_L$ : 機械系の効率を摩擦力に換算した値  
典型的な住宅用エレベータの仕様を表 1 に示す。住宅用

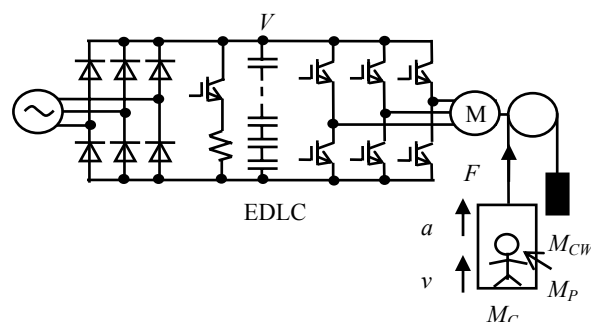


図 1. システム構成  
Fig.1 System Configuration

表 1. 住宅用エレベータの仕様

Table 1. Apartment house elevator specifications

$N=6$	$FD=3.5m$	$v_0=1.0m/s$	$a=0.55m/s^2$	$n=9$
$M_C=600kg$	$M_P=600kg$	$M_{CW}=900kg$	$\eta=0.80$	

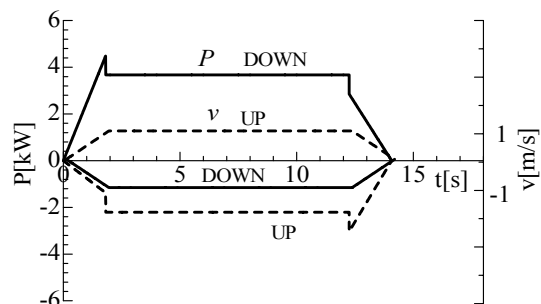


図 2. エレベータの速度と電力特性(空車時)  
Fig2. Car velocity and power demand(empty car)

エレベータは平均乗車人数が少なく、図 2 に示す空車時の力行電力と回生電力の形に近い。

## 4. 充放電効率の計算法

EDLC の充放電時の損失は内部抵抗で決まるので、図 3 のモデルで計算を行う。図 2 の力行電力と回生電力が与えられると(5)式を数値解析で解くと EDLC の電圧変化  $V$  を求めることができる。

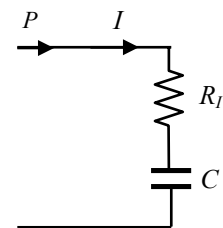


図 3. 計算モデル  
Fig3. Calculation model

$$R_l I^2 + VI = P \quad R_l \left( \frac{dq}{dt} \right)^2 + \frac{q}{C} \frac{dq}{dt} = P$$

$$\frac{dq}{dt} = \frac{-q + \sqrt{4R_l C^2 P}}{2R_l C} \quad V = \frac{q}{C} \quad \dots\dots(5)$$

同様に内部抵抗  $R_l=0$  の場合の電圧変化  $V_0$  を計算すれば、(6)式で充電効率  $\eta_c$  と放電効率  $\eta_d$  を計算できる。

$$E = C\Delta V^2/2 \quad E_0 = C\Delta V_0^2/2$$

$$\eta_c = E/E_0 \quad \eta_d = E_0/E \quad \dots\dots(6)$$

5. EDLC の充放電効率

EDLC は 1 階と最上階を往復する間に電圧が最小 ( $V_L=270V$ ) と最大 ( $V_H=380V$ ) になる容量を計算し、 $C=1F$  とした。低内部抵抗品(1 F)を用い、 $R_l=1\Omega$  とした。表 1 のエレベータが平均走行距離 3.5 階を空車で上昇、下降した場合の電圧変化を図 4 に示す。電力  $P$  は図 2 の値にモータ効率  $\eta_m=0.95$ 、インバータ効率  $\eta_M=0.95$  を考慮し、放電時は  $1/(\eta_i \times \eta_M)$  倍、充電時は  $(\eta_i \times \eta_M)$  倍して計算を行った。EDLC の初期電圧は 270V とした。

充放電効率の計算結果は表 2 となり、Ni-MH 電池に比べて、EDLC(1 F)では充放電効率が約 10%上がる。しかし、同じ条件で内部抵抗 3 倍の EDLC(3F)で計算すると充放電効率は悪化するので、内部抵抗の低い EDLC を使う必要がある。

6. 考察

定電流を仮定した充放電効率の計算を行う。初期電圧  $V_L$ 、内部抵抗  $R_l=0$ 、充放電時間  $t_c$  とし、充電/放電後の電圧  $V_C$  を図 2 の電力から求め、効率を(7)式から算出する。

$$I = \frac{C|V_L - V_0|}{t_c} \quad W = \frac{C|V_L^2 - V_0^2|}{2} \quad L = R_l I^2 t_c$$

$$\eta_{ic} = \frac{W}{W+L} \quad \eta_{id} = \frac{W-L}{W} \quad \dots\dots(7)$$

ここで、 $I$ :充電/放電電流、 $W$ :コンデンサの電力変化、 $L$ :内部抵抗での損失、 $\eta_{ic}$ :充電効率、 $\eta_{id}$ :放電効率

効率を計算した結果を表 2 のカッコ内に示す。今回の条件では定電流での充放電を仮定しても 4、5 章での詳細計算法との誤差は低内部抵抗であれば小さい。しかし、内部抵抗が高いと充放電後の電圧差が大きくなり、誤差が大きい。

EDLC(1 F)を使い、同じ条件で静電容量を変化させた場合の充放電効率を図 5 に示す。静電容量が増加すると充放電効率が上がる。静電容量が増加すると電圧アンバランス対策に必要な分圧抵抗での損失増が問題となる。

7. まとめ

エレベータ等の回生電力蓄電電源には内部抵抗の低い EDLC が適している。電力パターンから計算し、約 94% の充放電効率が得られた。低内部抵抗であれば定電流を仮定した簡易計算法でも誤差は小さい。

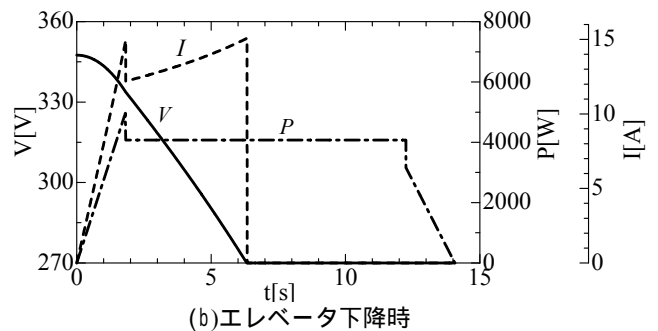
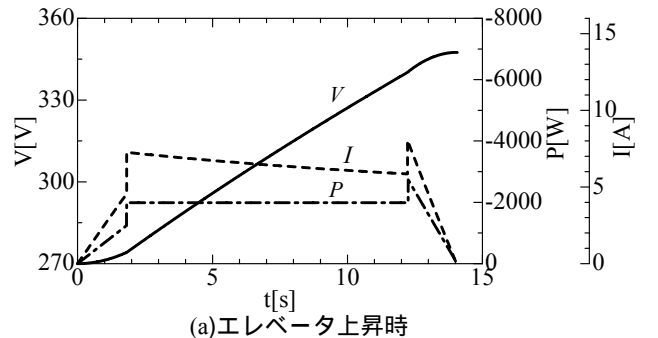


図 4.EDLC の電圧変化  
Fig4.EDLC voltage change

表 2. 充放電効率 ( ) : 定電流で計算  
Table2.Charge and discharge efficiency

	c	d	c × d
EDLC 1 F	98.1% (98.2%)	95.6% (96.2%)	93.8% (94.5%)
EDLC 3 F	94.6% (94.8%)	85.0% (88.6%)	80.4% (84.0%)
Ni-MH battery	-	-	84%

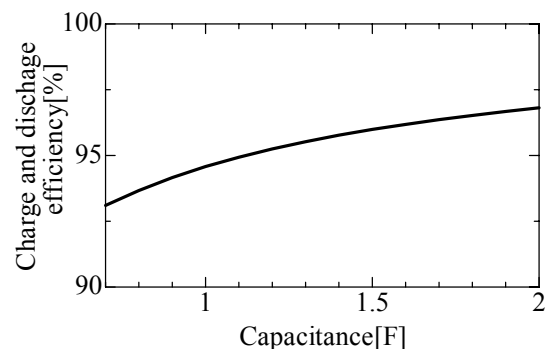


図 5.静電容量変化時の効率  
Fig5.Efficiency of capacitance change

文 献

(1) 楠馬・小林・富永・菅・荒木・池島・田島, ”回生電力蓄電システムによる省エネエレベータの開発”,平成 13 年電気学会全国大会 4-191(2001)  
(2)岩田・峯村・八代・金子・阿部, ”電気二重層コンデンサ蓄電式エレベータの省エネ性能”,日本機械学会 TRANSLOG2006,S3-2 3215(2006)