

階間交通を考慮したダブルデッキエレベータの 輸送能力計算法

松下 真也*, 金子 裕良, 阿部 茂(埼玉大学)

Up-peak Traffic Calculation of Double-deck Elevator Considered Inter-floor Traffic
Shinya Matsushita, Yasuyoshi Kaneko, Shigeru abe (Saitama University)

1. まえがき

高層ビルではエレベータの占有面積が大きくなるため、これを削減しレントラブル比を高めたいという要求がある。この解決に輸送能力が大きなダブルデッキ(DD)エレベータの採用が有効である。しかし DD エレベータには DD 運転中(ピーク需要時、輸送能力大)はエレベータによる奇数階と偶数階との間の移動ができず、使いにくいという問題がある。ピーク時以外はどの階にも移動できるセミダブル(セミ D)運転を行うため問題はない。階間交通を考慮した輸送能力計算法は普通のエレベータについては文献があるが⁽¹⁾、DD については見当たらない。階間交通を考慮した DD エレベータの DD 運転とセミ D 運転における輸送能力計算法、輸送能力比較結果を紹介する。

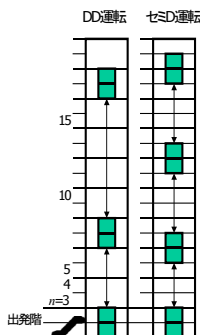


図1 DDエレベータの運行方法
Fig.1 Operation of DD elevators

2. エレベータの輸送能力

DD でないシングルデッキエレベータの輸送能力は朝の Up-peak 時の 5 分間輸送能力 HC [人] で計算され、かごが玄関階で乗客を乗せサービスをして再び玄関階に戻ってくるまでの一周時間 RTT [秒] との間に次の関係がある。

$$HC = L \times 0.8 \times CC \times 5 \times 60 / RTT \quad \dots (1)$$

ここで、 L : かご台数、 CC : かご定員である。

エレベータの一周時間 RTT は、乗客総乗降車時間 + 総戸開閉時間 + 玄関階から反転階までの走行時間 + 反転階から玄関階までの走行時間として(2)式で計算される。

$$RTT = P(t_l + t_u) + S(t_o + t_c) + S_u t_f(s_u) + S_d t_f(s_d) \quad \dots (2)$$

ここで、 P : 平均乗車人数、 t_l, t_u : 乗客総乗降車時間、 $S(=S_u + S_d)$: 予想停止数、 t_o, t_c : 戸開閉時間、 $t_f(s)$: 距離 s 走行時間、 S_u : 上方向予想停止数、 s_u : 上方向平均走行距離、 S_d : 下方向予想停止数(玄関階の停止を含む)、 s_d : 下方向平均走行距離である。

3. DD 運転の輸送能力計算

$m (=2n)$ 階建てのビルで DD 運転(下かごは奇数階、上かごは偶数階のみ停車する)をした場合を考える。2. と同様に朝の Up-peak 時を考え、全交通量の内、 $(100-x)\%$ が玄関階(1, 2 階)からの出勤交通、残り $x\%$ が階間交通とし、上かごと下かごは全く同じ条件とする。目的階分布は均一とし、表 1 に下かご総乗客 P_o の目的階分布を示すが、上かご(総乗客 $P_e (=P_o = P)$)も同様である。かごに i 階から乗車する上方向乗客数を P_{Ui} 、下方向乗客数を P_{Di} とすれば、乗場呼びがポアソン分布の場合、上向きのかごが i 階で乗場呼びによって停止しない確率は $e^{-P_{Ui}}$ となり、予想停止数 S_{DD} は(3)式で表される。(3)式で、第 1 項は上向き途中階(下かご 3 階 ~ $m-3$ 階)での停止数、第 2 項は最上階(下かご $m-1$ 階)での停止数、第 3 項は下向き途中階での停止数、第 4 項は玄関階(下かご 1 階)での停止数を表している。

表 1 下かご乗客の目的階分布
Table 1. Passenger distribution

From \ To	1	3,5,...,15	Total
1		9/49	9
3,5,...,15	1/49		1/7

($m=16, P=10$, 階間交通 $x=10\%$ の場合)

$$S_{DD} = \sum_{i=1}^{n-2} \left[1 - e^{-P_{U2i+1} - P_{D2i+2}} \left(\frac{n-2}{n-1} \right)^{P_{U1} + P_{D2}} \left(\frac{n-3}{n-2} \right)^{P_{U3} + P_{D4}} \dots \left(\frac{n-i-1}{n-i} \right)^{P_{U2i-1} + P_{D2i}} \right] \\ + 1 - e^{-P_{D2n-1} - P_{D2n}} \left(\frac{n-2}{n-1} \right)^{P_{U1} + P_{D2}} \left(\frac{n-3}{n-2} \right)^{P_{U3} + P_{D4}} \dots \left(\frac{1}{2} \right)^{P_{U2n-2} + P_{D2n-4}} \\ + \sum_{i=1}^{n-2} \left[1 - e^{-P_{D2i(n+1)} - P_{D2i(n+1)}} \left(\frac{n-2}{n-1} \right)^{P_{D2n} + P_{D2n+1}} \left(\frac{n-3}{n-2} \right)^{P_{D2n-2} + P_{D2n-3}} \dots \left(\frac{n-i-1}{n-i} \right)^{P_{D2i(n+1)} + P_{D2i(n+2)}} \right] \\ + 1 - e^{-P_{U1} - P_{D2}} \left(\frac{n-2}{n-1} \right)^{P_{D2n-1} + P_{D2n}} \left(\frac{n-3}{n-2} \right)^{P_{D2n-3} + P_{D2n-2}} \dots \left(\frac{1}{2} \right)^{P_{D2} + P_{D6}} \quad \dots (3)$$

(3)式は、総乗客数 $2P=P_o + P_e$ の $m/2$ 階のシングルデッキエレベータの場合⁽¹⁾と同じになることが分かる。

DD エレベータの交通計算では、上かご乗客と下かご乗客の降車階が一致し、乗客の降車時間が短くなる場合を考える必要がある。簡単のため 1, 2 階からの乗客に対するのみ並行降車による時間短縮効果を考慮する。 n 階のシング

ルデッキエレベータで玄関階から乗車した乗客のかご呼びによる停止数は(4)式で表される。

$$S_{SD} = (n-1) \times \left\{ 1 - \left(\frac{n-2}{n-1} \right)^{P_{U1}} \right\} \quad \dots (4)$$

これより、DD 運転の RTT_{DD} は(5)式となる。

$$RTT_{DD} = P_{U1} \times t_l + P_{U1} \times (2 - S_{SD}/(n-1)) \times t_u + 2 \times (P - P_{U1}) \times (t_l + t_u) \dots (5) \\ + S_{DD} \times (t_o + t_c) + S_{DDU} \times t_f(s_u) + S_{DDD} \times t_f(s_d)$$

ここで S_{DDU} : 上方向の停止数、 S_{DDD} : 下方向の停止数である。DD 運転の 5 分間輸送能力 HC_{DD} [人] は(6)式となる。

$$HC_{DD} = L \times 2P \times 5 \times 60 / RTT_{DD} \quad \dots (6)$$

4. セミ D 運転の輸送能力計算

$m (=2n)$ 階建てのビルでセミ D 運転 (上下かごはどの階にも停車できる) をした場合を考える。乗客の乗降条件については DD 運転の場合と同様に考える。玄関階 (1, 2 階) で乗車する乗客は目的階が奇数階なら 1 階、偶数階ならば 2 階から乗車し、途中階の奇数階 (偶数階) から乗車する乗客は、下かご (上かご) に必ず乗車すると仮定すると上方向の予想停止数 $S_{SemiD-UP}$ は(7)式、下方向の予想停止数 $S_{SemiD-DN}$ は(8)式となり、予想停止数は $S_{SemiD} = S_{SemiD-UP} + S_{SemiD-DN}$ となる。(7)式の第 1 項は下かご 3 階の停止数、第 2 項は途中階で下かご奇数階 (乗車あり) での停止数、第 3 項は途中階で下かご偶数階 (乗車なし) での停止数、第 4 項は最上階における停止数を表し、(8)式の第 1 項は途中階で下かご奇数階 (乗車あり) での停止数、第 2 項は途中階で下かご偶数階 (乗車なし) での停止数、第 3 項は玄関階における停止数をそれぞれ表している。

$$S_{SemiD-UP} = 1 - e^{-P_{U3} - P_{U4}} \left(\frac{n-2}{n-1} \right)^{P_{U1} + P_{U2}} \\ + \sum_{i=2}^{n-2} \left\{ 1 - e^{-P_{U2i+1} - P_{U2i+2}} \left(\frac{n-2}{n-1} \right)^{P_{U1} + P_{U2}} \left(\frac{2(n-2)-1}{2(n-2)} \right)^{P_{U3} + P_{U4}} \dots \left(\frac{2(n-i)-1}{2(n-i)} \right)^{P_{U2i+1} + P_{U2i+2}} \right\} \\ + \sum_{i=1}^{n-2} \left\{ 1 - \left(\frac{2(n-2)-1}{2(n-2)} \right)^{P_{U3} + P_{U4}} \dots \left(\frac{2(n-i)-1}{2(n-i)} \right)^{P_{U2i+1} + P_{U2i+2}} \right\} \\ + 1 - e^{-P_{D2n-1} - P_{D2n}} \left(\frac{n-2}{n-1} \right)^{P_{U1} + P_{U2}} \left(\frac{2(n-2)-1}{2(n-2)} \right)^{P_{U3} + P_{U4}} \dots \left(\frac{1}{2} \right)^{P_{U2n-3} + P_{U2n-2}} \quad \dots (7)$$

$$S_{SemiD-DN} = \sum_{i=1}^{n-2} \left\{ 1 - e^{-P_{D2i(n+1)} - P_{D2i(n)}} \left(\frac{2(n-1)-1}{2(n-1)} \right)^{P_{D2n+1} + P_{D2n}} \dots \left(\frac{2(n-i)-1}{2(n-i)} \right)^{P_{D2i(n+1)} + P_{D2i(n)+2}} \right\} \\ + \sum_{i=1}^{n-1} \left\{ 1 - \left(\frac{2(n-1)-1}{2(n-1)} \right)^{P_{D2n+1} + P_{D2n}} \dots \left(\frac{2(n-i)-1}{2(n-i)} \right)^{P_{D2i(n+1)} + P_{D2i(n)+2}} \right\} \\ + 1 - e^{-P_{U1} - P_{U2}} \left(\frac{2(n-1)-1}{2(n-1)} \right)^{P_{D2n+1} + P_{D2n}} \dots \left(\frac{1}{2} \right)^{P_{U3} + P_{U4}} \quad \dots (8)$$

セミ D 運転の 1 周時間 RTT_{SemiD} 、5 分間輸送能力 HC_{SemiD} [人] については DD 運転の場合と同様に考え、(5)式、(6)式で計算する。

5. 計算例 (DD 運転とセミ D 運転との比較)

16 階建てのビルのエレベータについて DD 運転とセミ D 運転の予想停止数 S と一周時間 RTT を比較した。なお、定数は、 $m=16$ 階、 $L=6$ 台、 $FD=4.0m$ 、 $P=20$ 人、定格速度 $v=3.0m/s$ 、加速度 $a=0.8m/s^2$ 、 $t_o=t_c=2.5s$ 、 $t_l=t_u=1.0s$ とした。

表 2 階間交通の割合
Table 2. Ratio of inter-floor traffic

To \ From	1	3~m
1	—	60~100%
3~m	—	0~40%

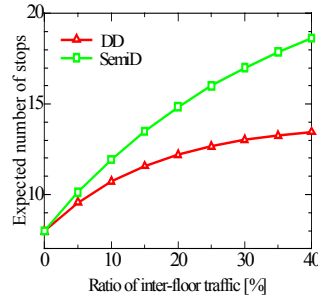


図 2 予想停止数

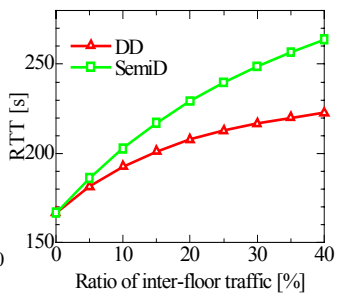


図 3 一周時間

Fig. 2 Expected number of stops Fig. 3 Round Trip Time

(1) 階間交通がある場合セミ D 運転に比べ DD 運転のほうが予想停止数は少ない。階間交通 30% のときで比較すると DD 運転では $S_{DD}=13.0$ 、セミ D 運転では $S_{SemiD} = 17.0$ となり、DD 運転をすることで停止数は 23.5% 減少した。
(2) 一周時間についても、階間交通 30% のとき DD 運転では 216.7 秒、セミ D 運転では 248.9 秒となり、DD 運転をすることで RTT は 12.9% 減少した。これは停止数の減少による。

6. むすび

ダブルデッキエレベータにおける DD 運転とセミ D 運転の輸送能力計算方法を明らかにした。階間交通が多いビルでは DD 運転をすることでセミ D 運転をした場合よりも停止数が減るため RTT が短くなり輸送能力が大きくなることを確認した。ここで紹介したセミ D 運転の輸送能力計算式では途中階の奇数階 (偶数階) からの乗客は必ず下かご (上かご) に乗車すると仮定しているため、今後シミュレーションによって検証する予定である。
貴重なご意見を頂いた三菱電機 匹田志朗氏に感謝します。

文 献

- (1) 堀大成, 林勝洋: 「建築と設備技術者のためのエレベータ・エスカレータ計画」, 技術書院, (1994)
- (2) Barney, G. C. , "Elevator Traffic Handbook: Theory and Practice", Spon Press, (2003)