

# エレベータ利用によるビル火災時の避難時間の短縮

出利葉 大輔\*, 金子 裕良, 阿部 茂 (埼玉大学)

Shortening of Evacuation Time Using Elevators

Daisuke Ideriha, Yasuyoshi Kaneko, Shigeru Abe (Saitama University)

## 1. まえがき

バリアフリーや高齢化の進展により、高層ビルで働く身障者や高齢者の数が増えている。また NY の世界貿易センター事件は、早期避難の重要性を再認識させた。火災時などの避難に、階段と共に現在は認められていないエレベータを利用する検討や研究が世界的に盛んになっている<sup>(1)(2)</sup>

一般にオフィスビルでは階数によらず、5分間にビル人口の約 15%を輸送できる速度と台数のエレベータが設置されている。エレベータだけで、約 30 分でビルの全員が玄関階と居室との間を移動可能である。非常階段は 2 カ所の場合が多く、階数が増すほど避難時間が増大する。従って高層ビルほど、エレベータ併用避難の時間短縮効果は大きい。

一般のエレベータに対策が施され、火災時避難運転が可能になったと仮定した場合、階段だけの避難に比べ避難時間をどこまで短縮できるのかを検討した。

## 2. 前提条件とビル、エレベータの仕様

### 2.1 前提条件

- (1) エレベータはすべて火災時運転が可能で、5 分間輸送能力は 15%とする。
- (2) 階段は非常階段を含め 2 カ所とする。
- (3) 火災階は設定せず、全館全員避難を考える。

### 2.2 ビルの仕様

11 階建て ( $N=10$ ) と 16 階建て ( $N=15$ ) のビルで居住者数  $R$ [人/階]を変化させ、階段のみ、エレベータのみ、階段とエレベータの併用の 3 ケースについて最短避難時間を比較する。なお  $N$ =ビル階数-1、階間距離  $FD=4.0$ m とする。

### 2.3 エレベータの仕様

エレベータの仕様と台数  $L$ [台]を表 1, 2 に示す。

表 1 : 11, 16 階建てのビルのエレベータ仕様

Table 1. Elevator Specification of 11,16 floors buildings

Number of Floors	11 floors	16 floors
Rated Speed [m/s]	$v=3.0$	$v=4.0$
Car Capacity [person]	$CC=20$	$CC=24$
Acceleration [ $m/s^2$ ]	$a=0.8$	
Loading and unloading time [s]	$tl+tu=2.0$	
Door opening and closing time [s]	$to+tc=3.3$ (running open)	

表 2 : 11, 16 階建てのビルのエレベータ台数

Table 2. Number of cars for 11,16 floors buildings

Population [person/floor]	Number of cars	
	11 floors	16 floors
100	4	6
150	6	9
200	8	12
250	10	15

### 2.4 避難時のエレベータの運行方式

階段とエレベータの併用避難の場合、両設備の輸送能力を最大限に利用したい。エレベータは玄関階(1階  $i=0$ )と最適な避難時乗車階(以下  $E$  階と記す  $i=E$ )との間をピストン運転し、 $E$  階より上階の人は  $E$  階まで階段で下り、そこでエレベータに乗る。 $E$  階より下階の人はエレベータを利用せず、階段だけで玄関階まで避難する。

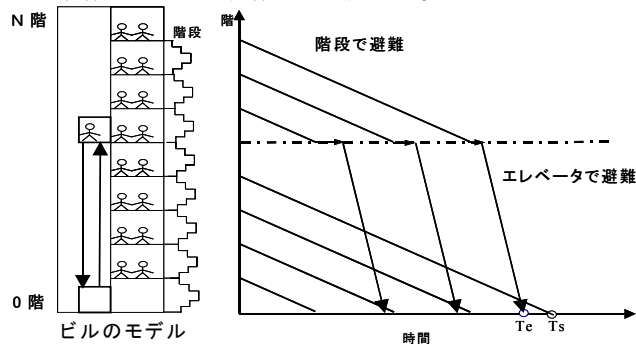


図 1 避難時のエレベータ運行方式

Fig.1. Elevator operation in evacuation

## 3. 階段の輸送能力とエレベータの輸送能力

### 3.1 階段の輸送能力の式<sup>(2)</sup>

$$HC_S = K \times 0.83 \times (s \times D \times W) [\text{人} / \text{s}] \dots (1)$$

階段数:  $K=2$ 、人の速度:  $s=0.6$ m/s、階段人口密度:  $D=2$ 人/ $m^2$ 、階段幅:  $W=1.2$ m とすると、 $HC_S=2.39$ 人/s となる。

### 3.2 ピストン運転でのエレベータの輸送能力の式

$$HC_E = (L \times CC) / RTT_P [\text{人} / \text{s}] \dots (2)$$

$RTT_P$ : ピストン運転一周時間、であり、(3)式で表される。

$$RTT_P = CC(tl+tu) + 2(to+tc) + 2v/a + 2E(FD/v) [s] \dots (3)$$

表 2 は乗車率 80%で(3)式は 100%で計算した。

#### 4. 最適な避難時乗車階と最短避難時間の計算

避難時間が最小になる  $E$  階は、 $E$  階以上の人の避難時間  $T_E$  と、 $(E-1)$ 階以下の人の避難時間  $T_S$  が等しい場合である。また簡単な考察により  $E > (N+1)/2$  である。

##### 4.1 $E$ 階以上の人の避難時間 (階段とエレベータ)

(1) 全員が  $E$  階まで階段で降りる時間

$$T_{SE} = t_s + (N - E) \times R / HC_s \dots(4)$$

$t_s$  : 階段で人が 1 階床移動する時間

(2)  $E$  階以上の人をエレベータで 0 階に運ぶ最小時間

$$T_{Emin} = (N - E + 1) \times R / HC_E \dots(5)$$

##### 4.2 $E-1$ 階以下の人の避難時間 (階段)

$$T_S = t_s + (E - 1) \times R / HC_s \dots(6)$$

##### 4.3 最適避難時乗車階と最短避難時間

$E$  を変数とすると、(3)~(6)式は次式で表すことができる( $a \sim h$  定数)。 $RTT_p = aE + b$   $T_{SE} = cE + d$   $T_S = eE + f$

$R$  が比較的小さい場合は、 $T_{Emin} > T_{SE}$  と仮定して

$$T_E = T_{Emin} = (aE + b)(gE + h) \quad T_S = T_E \dots(7)$$

より、最適な避難乗車階  $E$  と最短避難時間が求まる。

もし  $E$  が  $T_{Emin} > T_{SE}$  を満たさない場合は、

$$T_S = T_E = T_{SE} + RTT_p / 2 \text{ として}$$

$$E = (b + 2d - 2f) / (-a - 2c + 2e) \dots(8)$$

となり、最適な避難乗車階  $E$  と最短避難時間が求まる。

#### 5. 計算結果と考察

表 1, 2 に示した 11 階 ( $N=10$ ) と 16 階 ( $N=15$ ) のビルにつき、 $E$  と最短避難時間を計算した。結果をそれぞれ図 2 に示す。

例えば 16 階建て ( $N=15$ ),  $R=100$  人/階,  $L=6$  台の場合,  $E=9.08$  となるが、 $E$  は整数であるので、(1)~(8)式で  $T_E$  と  $T_S$  を再計算し、最適な階  $E=9$  を求めた。

(1) 階段だけの避難に比べ階段とエレベータを併用すると、11 階ビルでは避難時間が平均 12.5 分→7.0 分になり、49% の短縮が可能であった。16 階ビルでは避難時間が平均 18.6 分→9.7 分になり、50% の短縮が可能であった。

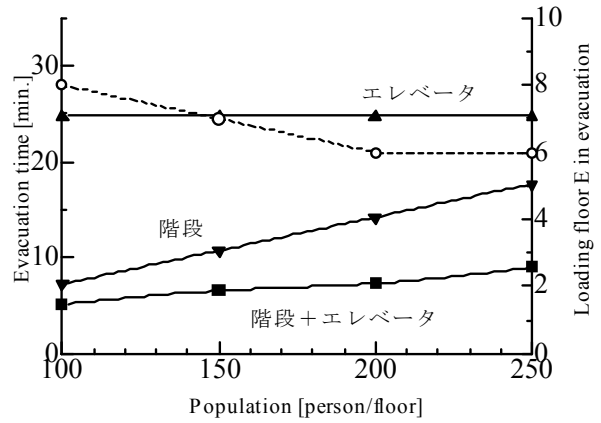
(2) 11 階、16 階ビルともに、居住者数の増加に伴い  $E$  階が下がった。11 階ビルでは 200 人/階よりも居住者が増えると  $E$  階が下がらなくなる。16 階ビルでは 150 人/階よりも居住者が増えると  $E$  階が下がらなくなる。

(3) 今回は簡単のため  $E$  階から 0 階への輸送時間は(5)式を用いて計算した。正確には  $RTT_p/L$  の整数倍となる。

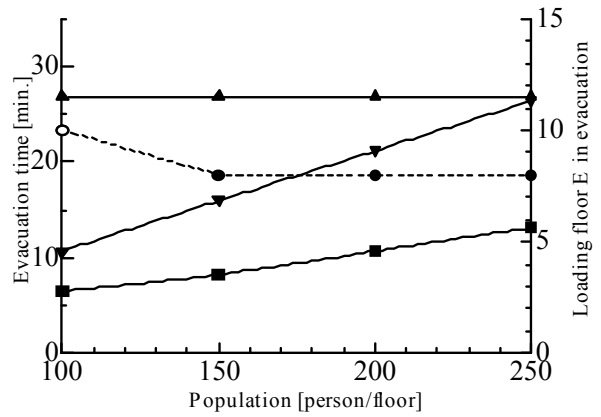
#### 6. むすび

火災時などの避難にエレベータを利用した場合の避難時間の短縮限界を明らかにするために、「階段とエレベータを併用した最短避難時間問題」として定式化し、解を求める方法を提案した。

計算結果よりビル居住者数が増すにつれて、階段とエレ



(a) 11-floors



(b) 16-floors

○ Loading floor eqn.(7)  
● Loading floor eqn.(8)

図2 最短避難時間と避難乗車階E

Fig.2 Evacuation time and Loading floor E in evacuation

ベータを併用した場合の、避難の時間短縮がより大きくなる。これはビル居住者数が増すにつれて、エレベータ台数が増えるためである。階段だけの避難時間を計算し、これが 10 分を超えるような場合にエレベータ併用避難が有効と考えてよい。従ってゾーニング方式のエレベータが採用される超高層のビルではエレベータ併用避難はより有効と考えられる。

#### 文 献

- (1) 中濱・池島・関沢・海老原・野竹, “高層ビルにおけるエレベータ避難の可能性に関する研究(その 1)-エレベータ避難モデルの開発-”, 平成 16 年度日本火災学会研究発表会概要集, (2004)
- (2) Dr.Marja-Liisa Siikonen, Kim Barlund and Risto Kontturi, “Transportation Design for Building Evacuation”, ASME Workshop on Use of Elevators in Fires and Other Emergencies., 2-8,(2004)
- (3) Barny, G. C. , “Elevator Traffic Handbook: Theory and Practice”, Spon Press, (2003)