

108 エレベータ利用による避難時間の短縮

Shortening of Evacuation Time Using Elevators

○出利葉 大輔 (埼玉大学) 金子 裕良 (埼玉大学)
阿部 茂 (埼玉大学)

Daisuke IDERIHA, Saitama University, 255 Shimo-Okubo, Sakura-ku, Saitama-shi, Saitama
Yasuyoshi KANEKO, Saitama University
Shigeru ABE, Saitama University

The effect of using elevators and stairs is examined for evacuation of tall buildings. The elevator operating method that gives the shortest evacuation time is studied in detail and the following method is found as a good solution. Buildings are divided into (zone number+1) sections. During the evacuation, people in the lowest section use only stairs to get to the evacuation floor (1F) and people in the other sections use stairs to get to the rescue floors where the shuttle elevators depart to the evacuation floor. The rescue floors that give the shortest evacuation time change with the population of the building.

Key Words: Elevator, Evacuation, Stairs, Operation, Zoning

1. はじめに

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。NYの世界貿易センターテロ事件は、早期避難の重要性を再認識させた。火災時などの避難にエレベータ(以下EVと記す)を使用することは現在認められていないが、階段と共にEVを利用する検討や研究が世界的に盛んになっている^{(1)~(4)}。

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EVが設置される。つまりEVだけでも約30分で全員が避難できることになる。しかし現在の階段だけの避難では、ビルの階数に比例して避難時間が直線的に増大する。従って高層ビルほどEVを併用した避難による時間短縮効果は大きい。

閑沢らはゾーニング方式のビルで、火災発生ゾーンの人は非常用EVと階段だけ玄関階まで避難し、他のゾーンの人は常用EVだけで避難する方法を提案し、シミュレーションの結果、EVと階段を併用する避難の方が階段だけによる避難に比べて優っていると述べている⁽¹⁾。Siikonenらは超高層ビルで、普通のEVを避難モードで運転し全員がEVで避難する場合、スカイロビーまで階段で下り耐火性シャトルEVで避難する場合、2台の非常用EVを使用し大部分の人は階段で避難する場合をシミュレーションした結果、避難時間の比が1:1.5~2:5になり、EVの運転モードが重要であると述べている⁽²⁾。しかしビルからの避難において、避難時間をより短くするEVの運転方式はまだ検討の余地があると思われる。

我々はEV併用避難の有効性を明らかにするため、最適なEV運転方式や避難時間の短縮効果を研究してきた。ゾーニング方式でないビルにおいて、EVを1ヶ所の避難時乗車階と玄関階との間をシャトル運転させる方式を提案し、最適な避難時乗車階や避難時間の短縮率を明らかにした⁽³⁾。

本論文では、ビル人口(各階の居住者数)によるシャトル運転時の避難時乗車階の数と避難時間の関係、ゾーニング方式のビルにおける避難時のEV運転方式などの検討結果を報告する。

2. ビルの最短時間避難問題

2-1. 最短時間避難問題

ビル火災時などの避難にEVを利用する目的は、(1)身障者や高齢者の避難、(2)避難時間の短縮の2つである。本論文では後者を目的とし、火災は想定せずに全館全員を最短時間で避難させる方法を考える。火災を想定しないのは、火災階によって最適な避難のパターンが様々に変わるからである。火災を想定せず、階段とEVを利用すると、階段だけの避難に比べどのくらい避難時間を短縮できるのか、そのためにEVの運転方式はどのようにすべきか、これを最短時間避難問題と呼ぶことにする。この問題の答えが出た後に火災時はどうすべきかを考えることにする。

2-2. 前提条件

- (1) EV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。(オフィスビルを想定する)
- (2) 階段は非常階段を含め2カ所とする。(2方向避難が義務づけられているため)
- (3) 火災階は設定せず、全館全員避難を考える。
- (4) EVの運転はシャトル運転とし、乗車率は定員の80%とする。
- (5) ゾーニング方式でないビルとゾーニング方式のビルを分けて考える。

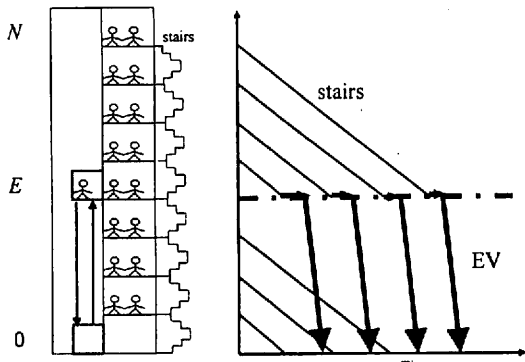
2-3. 避難方式とエレベータの運転方式

階段とEVの併用避難の場合に避難時間を最短にするには、まず階段とEVの輸送能力を最大化する必要がある。EVは停止回数が少ないほど輸送能力が大きくなるので、EVは平時とは異なるシャトル運転で考える。

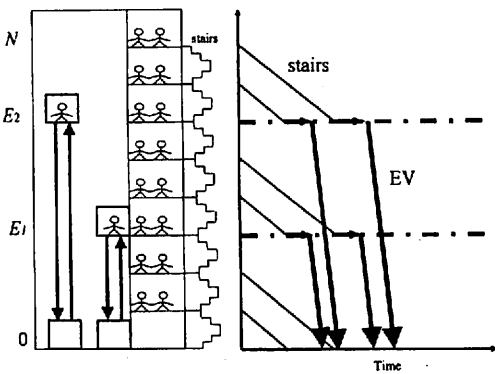
EVをシャトル運転する場合はEVに乗車する階(避難時乗車階、E階と呼ぶ)を決める必要がある。避難方式は図1(a)のように、E階以上の人はE階まで階段で下りそこでEVに乗り玄関階(1階)から退出し、E-1階以下の人は階段で玄関階まで下りてビルから避難する方式を考える。階段のみの避難は、階段の出口速度(人/秒)×階段の数で避難時間が決まるが、EVを併用するとE階が玄関階として機能し、階段の数を増やしたのと同じ効果が得られる。

問題は避難時にE階をどの階に設定すべきか、E階は何ヶ所が最適なかを明らかにすることである。

また、ゾーニング方式のビルでは、ゾーンを考慮してE階を考える必要がある。



(a) One loading floor



(b) Two loading floors

Fig.1 Elevator operation in evacuation

2-4. 階段の輸送能力

階段の輸送能力は Siikonen の論文の式²⁾を用いる。

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

階段の数: $K=2$ 、人の速度: $s=0.6\text{m/s}$ 、階段人口密度: $D=2\text{人/m}^2$ 、階段幅: $W=1.2\text{m}$ とすると、 $HC_s=2.39\text{人/s}$ となる。以下この値を用いる。

3. ソーニング方式でないビルの避難時間

避難時乗車階E階をどの階に設定すべきか、E階は何ヶ所が最適なのかを検討し、そのときの避難時間の短縮率を求める。

3-1. モデルビルとエレベータの仕様

9階建て ($N=8$) と16階建て ($N=15$) の2つのビルで検討する。玄関階の1階 ($N=0$) に居住者はいないとする。各階の居住者数 R を変化させ、階段のみ、階段とEVの併用 (E 階3ヶ所の場合まで) について避難時間を比較する。なお N =ビル階数-1、階間距離 $FD=4.0\text{m}$ とする。EVの仕様を表1に示す。

Table1. Elevator specification of 9 and 16 floors buildings

	N=8	N=15
Rated Speed [m/s]	$v=2.5$	$v=3.0$
Car Capacity [person]	CC=24	
Acceleration [m/s ²]	$a=0.8$	
Loading and unloading time [s]	$t_l+t_u=2.0$	
Door opening and closing time [s]	$t_o+t_c=3.3$ (running open)	

3-2. 避難方式とエレベータの運転方式

図1(a) にE階が1ヶ所、図1(b) に2ヶ所の場合の避難方式とEVの運転方式を示す。E階が2ヶ所、3ヶ所の場合も1ヶ所の場合と同様に E_i ($i=1,2,3$) 階まで階段で下りEVに乗り避難する。

EVがL台のときは、一周時間をLで割った等間隔の運転とし、E階でEVはかご定員の80%の人が乗車する時間だけ戸開し、時間がくれ

ば定員以下でも発車する。E階がn ($n=2,3$) 箇所の場合はL/n台を各シャトルへ割り当てる。L/nが割り切れない場合はE階が高い階のシャトルにより多くの台数を割り当てる。

3-3. 計算結果

表1に示した2つのビルについて、E階が1~3ヶ所の場合について最適なE階と最短避難時間を計算した。計算手順は次の通りである。

- ① 居住者数 R を決めるとEV台数が決まる。
- ② E階を変えて、あるいはE階のすべての組み合わせについて、避難時間が最短となる場合を求め、その最短避難時間とE階を求める。

図2と図4は、E階が1~3ヶ所の各ケースについて、各階の居住者数 R を変化させた場合の最短避難時間の変化と、階段のみの避難時間を示したものである。図3と図5には居住者数 R とEV台数、最短避難時間となるE階の関係を示す。

9階建てのビルでは、図2より居住者数 R によらず常にE階が1ヶ所のケースが最短避難時間となること、また階段だけの避難に比べEVを併用すると表2のように避難時間を短縮できることがわかる。

16階建てのビルでは、図4より $R=150$ まではE階が1ヶ所のケースが、 $R=175 \sim 350$ まではE階2ヶ所のケースが、それ以上では3ヶ所のケースが最短時間避難となった。また階段だけの避難に比べた避難時間の短縮率を表3に示す。

16階建てのビルで各階の居住者数 R が175人以上の場合はEV台数が10台を越え現実的でなくなるが、E階の数と避難時間の関係を求めるためにあえて計算した。

図3と図5より、9,16階建てのどちらについてもEVの輸送能力 (EVの台数) が増すとE階が建物の居住者をE階の数+1で割った階に近づくことがわかる。またEVの輸送能力が階段の輸送能力に比べ小さい場合はE階がより高い階となる。これらは予想通りの結果である。

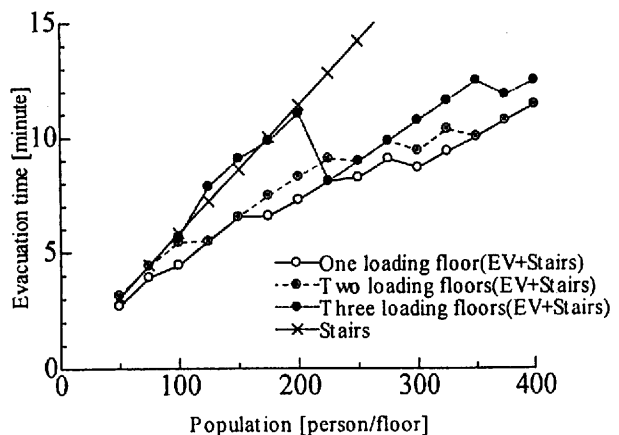


Fig.2 Evacuation time of 9-floors building

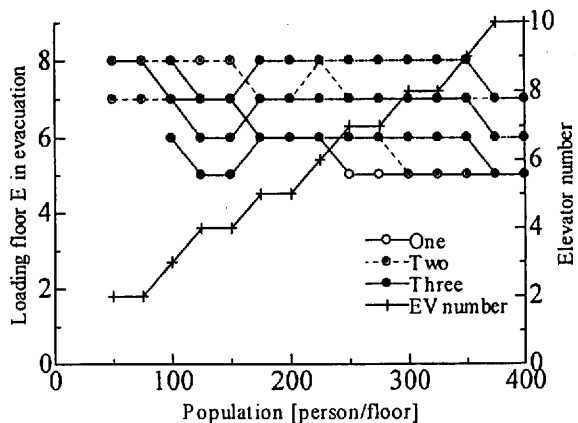


Fig.3 Loading floor E and EV number of 9-floors building

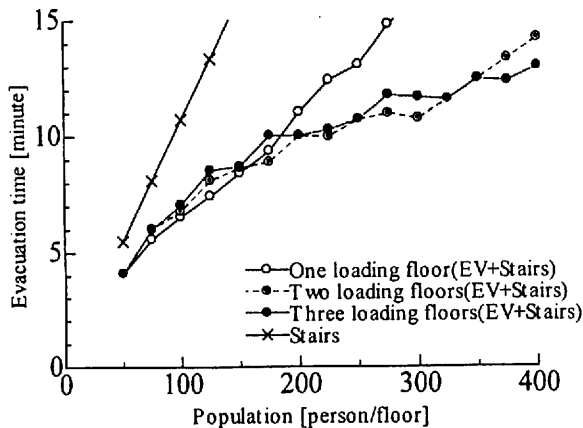


Fig.4 Evacuation time of 16-floors building

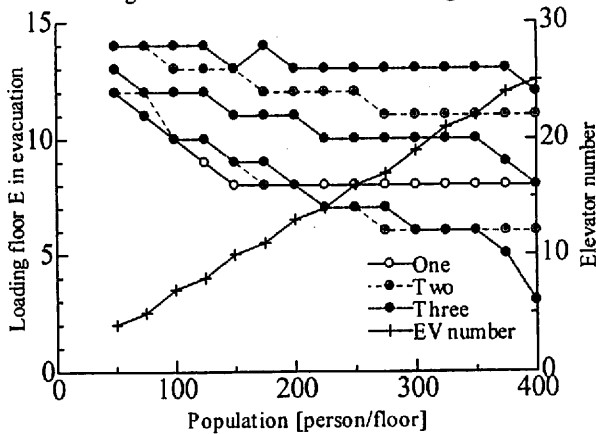


Fig.5 Loading floor E and EV number of 16-floors building

Table2. Shortening rate of 9-floors building

R[person/floor]	100	200	300	400
Shortening rate [%]	23.9	36.2	48.9	49.4

Table3. Shortening rate of 16-floors building

R[person/floor]	100	200	300	400
Shortening rate [%]	39.0	52.7	66.0	69.2

3-4. 考察

9階建てのビルでは居住者数Rによらず常にE階が1ヶ所のケースが最短避難時間となったのに対し、16階建てのビルでは必ず増えるに従いE階の数nが1ヶ所、次に2ヶ所、最後は3ヶ所のケースが最短避難時間となった。この理由は次のように説明できる。なお、玄関階は0階、居住者は1~N階にいる。

- (1) まず階段の輸送能力がEVの輸送能力に比べ十分大きい場合はE階はN/2階よりかなり上となる。
- (2) EVの輸送能力が増すと、E階はN/2に近づき、避難時乗車階が1ヶ所であるかぎり、E階はこれ以上下がらない。さらにEVの輸送能力が増すと、EVはE階で上階から階段で下りてくる人を守り、あるいは定員の80%未満で発車するようになる。
- (3) さらにEVの輸送能力が増すと、EVで避難する人の数を増やし階段だけで避難する人の数を減らした方が避難時間は短くなる。
 - ・このためE階を下げ、E₁階とする。
 - ・階段だけで避難する人達(グループ0)の避難時間が減少し、T₀になったとする。
 - ・E₁階以上の人達がE₁階まで階段で下りる時間が増加する。
- (4) EVで避難する人を2分割(E階をE₁, E₂の2ヶ所)してみる。
 - ・E₁階より上階にE₂階を設定し、E₂-1階からE₁階の人(グルー

プ1)は階段でE₁階まで下りそこでEVに乗り1階に下りるとする。この人達の避難時間がT₀となる台数のEVをこのグループに割り当てる。残ったEVをE₂階以上の人達(グループ2)の避難に割り当てる。

- (5) グループ2の人達の避難時間がT₀以下になれば、E階を2ヶ所に増やした方が避難時間は短くなる。

また図6と図7はそれぞれ、16階ビルでR=175におけるE階が1ヶ所の場合のE階と、E階が2ヶ所の場合のE階における待ち客数の変化を示す。R=175ではE階が2ヶ所の方が避難時間が短くなる。図6を見れば、E₁階まで下りる階段の輸送能力よりもEVの輸送能力が大きく、E₁階のEV待ち客は最初から減り続け、約200秒以降は定員以下でEVは発車していることが分かる。図7は、E階を2ヶ所に増やすとE階対応のEVの輸送能力は減少し、階段の輸送能力以下となるため最初はE₁階でEVを待つ人が増加するが、約250秒以降は階段で下りてくる人が無くなり、EVの待ち客は減少に転じる。この結果E₁階を出発するEVは最後まで定員の80%乗車となり、EVの利用効率が高くなる。

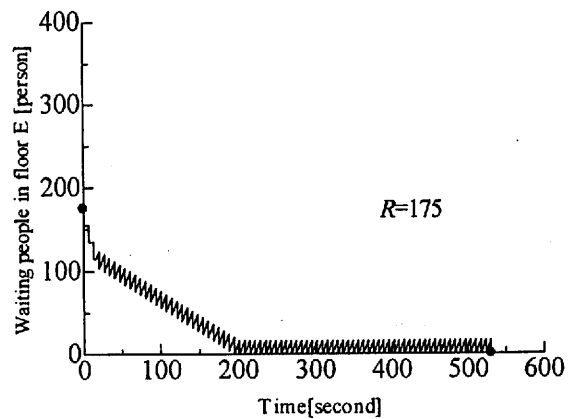


Fig.6 Change of waiting people for 16-floors building (one loading floor, at E₁)

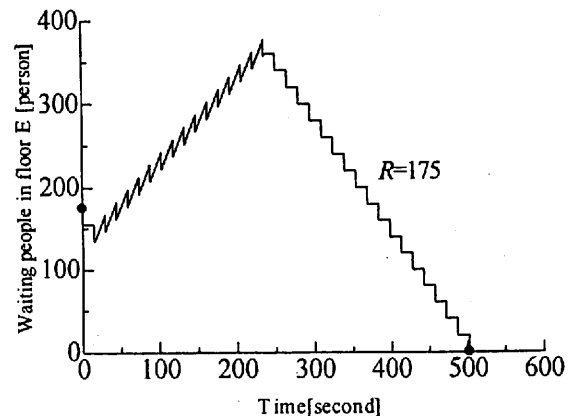


Fig.7 Change of waiting people for 16-floors building (two loading floors, at E₁)

4. ゾーニング方式のビルの避難時間

Table4. Elevator specification of 16 floors building

	N=1-7	N=8-15
Rated Speed [m/s]	v=2.5	v=3.0
Car Capacity [person]	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)	

4-1. モデルビルとエレベータの仕様

16階建て($N=15$)のビルも階間距離 $FD=4.0m$ とし、ゾーニング方式のEVの仕様を表4に示す。

4-2. 避難方式とエレベータの運転方式

3章の結果から9階($N=8$)建てのビルでは、 E_2 階が1ヶ所のケースが常に避難時間が最短となった。ゾーニング方式のビルでは各ゾーンのEVが担当する階数は8~10と考えられる。従って、ゾーニング方式のビルでは、前章のゾーニング方式でないビルのEV運転方式を拡張して、ビル全体を図8のようにゾーン数+1に分ける避難方式を採用する。表4のビルでは図8のように E_2 階を2ヶ所に設定する。ゾーン数が3以上のビルでも、最短避難時間となる避難時乗車階 E 階は、対応する各ゾーンのEVが停車可能な階となる可能性が高いと考えられる。

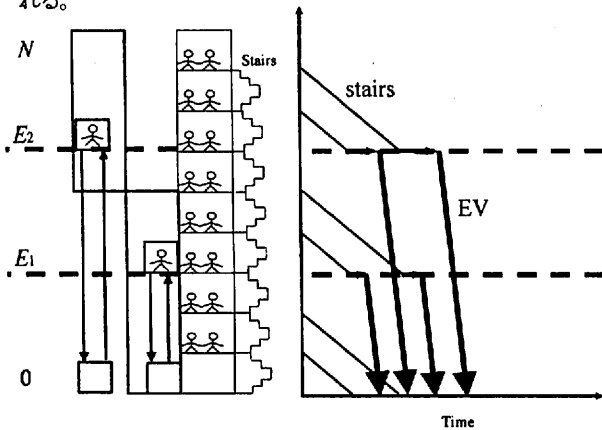


Fig.8 Elevator operation in evacuation

4-3. 計算結果

表4の16階($N=15$)建てのゾーニング方式のビルについて、最短避難時間とその場合の E_1 階と E_2 階を前章と同じように計算した。

図9に R を変化させた場合の、EVのみ、EVと階段併用、階段のみの(最短)避難時間を示す。図10にEV台数と E_1 階、 E_2 階を示す。

図9より $R=100$ 以上の場合は階段避難よりEVと階段併用避難の方が避難時間が短いことがわかる。また階段だけの避難に比べ、EVを併用すると表5のように避難時間を短縮できることがわかる。 R が大きくなるほど短縮率は拡大し、 $R=400$ のビルでEVを併用すれば、階段だけの避難時間の約1/3の時間で避難できる。

図10より、EVの輸送能力(EVの台数)が増すと、ゾーニング方式でないビルと同様に E 階が建物の居住者を E 階の数+1で割った階に近づくことがわかる。またEVの輸送能力が階段の輸送能力よりも小さい場合は E 階がより高い階となり、予想通りである。

以上の結果から4.2.に述べたEV併用の避難方法は有望である。

5. むすび

本論文では、ビル人口(各階の居住者数)によるシャトル運転時の避難時乗車階の数と避難時間の関係、ゾーニング方式のビルにおける避難時のEV運転方式などを検討した。その結果、ゾーニング方式であるなしに関らず、ビルを縦に(ゾーン数+1)のグループに分け、最も下のグループは階段だけで避難し、それ以外のグループはシャトル運転のEVで避難する方法が有望であることを確認した。

今後は火事の場合の避難で、火災階が具体的に設定された場合どのような避難方法が最短避難時間になるのかを検討する予定である。

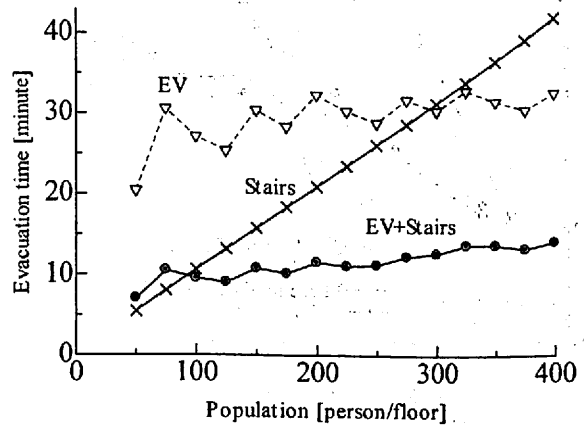


Fig.9 Evacuation time of 16-floors building (zoning)

Table5. Shortening rate of 16-floors building (zoning)

R [person/floor]	100	200	300	400
Shortening rate [%]	10.2	44.8	59.5	66.2

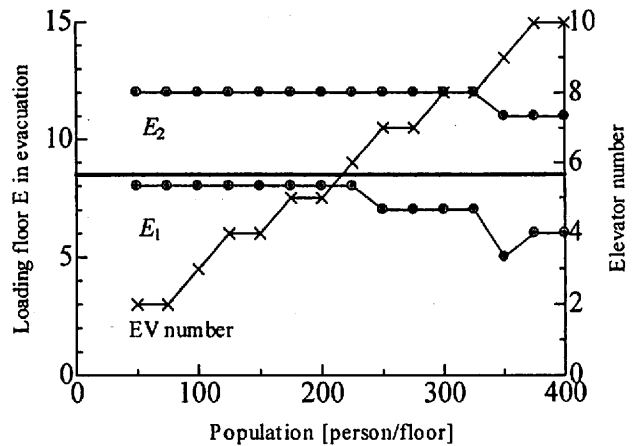


Fig.10 Loading floor E and EV number of 16-floors building (zoning)

参考文献

- (1) 関沢・海老原・中濱・池島・野竹：「高層ビルにおけるEV避難の可能性に関する研究(その2)」, 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) 出利葉・金子・阿部：「EV利用によるビル火災時の避難時間の短縮」, 平成18年電気学会全国大会講演論文集,4-235
- (4) 阿部・渡辺：「EVの歴史と今後の課題」, IEEJ Trans.FM, Vol.124, No.8, 685-686 (2004)