

エレベータ利用によるビル火災時の避難時間の短縮

Shortening of Evacuation Time Using Elevators in Fire Emergency

三浦 龍二 (埼玉大学) 出利葉 大輔 (埼玉大学)
金子 裕良 (埼玉大学) 阿部 茂 (埼玉大学)

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

Evacuation methods using elevators and stairs are studied in tall buildings with several zones. We have developed an evacuation method which gives the shortest evacuation time in fire emergency. In the egress, the occupants in fire zone use stairs, and the occupants in the other zones use normal elevators. The proposed method has features in the elevator control method, the use of stairs in early stage and the use of elevator in last stage. The control method of the occupants who use stairs is very important. The comparison between the proposed method and the method proposed by Sekizawa et al. is shown in detail.

Key Words: Evacuation, Elevator, Stairs, Fire emergency

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。火災時の避難に階段と共にエレベータ(以下EVと記す)を利用して避難時間を短縮する検討や研究が世界的に盛んになっている⁽¹⁾⁻⁽⁶⁾。

関沢らはゾーニング方式のビルで、火災発生ゾーンの在館者は非常用EVと階段だけで玄関階まで避難し、他のゾーンの在館者は一般用EVだけで避難する方式を提案している⁽¹⁾。岩田らはゾーニング方式の高層事務所ビルにおいて、EVのゾーン毎にあらかじめEV停止階を決め火災ゾーンのEVも含めた一般用EVで1階とシャトル運転させ、避難させる方式を提案している⁽³⁾。

我々は「EV利用による避難時間の短縮」の研究を行ってきた。ビル火災を想定しない場合の全館避難では、ビルを縦にEVのゾーン数+1の区画に分け、最も下の区画は階段だけで、それ以外の区画は階段とシャトル運転するEVで避難する方式が有効であることを示した⁽⁴⁾⁽⁵⁾。本論文ではビル火災時におけるEVと階段を利用した全館避難の検討結果について述べる。

本研究の目的はEVと階段を利用すればどれだけ避難時間を短縮できるかを明らかにすることである。このために在館者やEVはあらかじめ決められたルールで移動や運転が可能と仮定し、避難方式が複雑にならず、避難時間が最短となる避難方式を検討した。なおビル火災時は安全のため火災ゾーンのEVは停止させ、非火災ゾーンのEVを運転すること、身障者や高齢者は非常用EVで避難することを前提条件とした。

検討の結果、火災ゾーンの在館者を階段でより下の安全なゾーンに移動させることを最優先にすべきであること、ビルの全員が階段だけで避難を行うとこれが不可能になる恐れがあり、階段利用の優先順位が重要であることがわかった。

本論文で提案する火災時の避難方式の特徴は以下の点にある。

(1) **火災ゾーン在館者の階段優先利用**：ビル全体をゾーンと同じ区画に分け、非火災ゾーンの在館者は基本的にEVを利用して避難することで火災ゾーンの在館者に階段を空け、火災ゾーンの在館者は階段で1階まで移動する。

(2) **EVの乗車階の分散配置とシャトル運転**：各ゾーンのEVを1号機はN階、2号機はN-1階というように、EV毎にサービス階を変えて割り振り、各EVは乗車階と1階との間をシャトル運転し、それぞれ乗車階の在館者がいなくなれば別の階を応援する(分散配車運転)。

(3) **初期空き階段の有効活用**：避難開始直後は火災ゾーンの在館者が階段を下りて来るまでは、それ以下の非火災ゾーンの階段は空いているので、火災ゾーン以下の全階から階段への進入を数十秒間だけ認め、空き階段を有効活用する。

(4) **終期空きEVの有効活用**：火災ゾーンより下の非火災ゾーンの在館者が避難を完了すると、そのゾーンのEVが空くことになる。そのEVを階段で避難途中の火災ゾーンの在館者が途中から使用する。

(5) **火災ゾーンより上ゾーンの在館者のシャトル運転EV避難**：火災ゾーンより上のゾーンの在館者は、各ゾーンの最下階まで階段で下りその階から1階とシャトル運転するEVで避難する。

(1)は関沢らの避難方式と同じであるが、(2)~(5)は異なる。関沢らは最初ゾーン内の最上階にEVを集散的に配車し、上の階から順に在館者を降ろしていく方式である(集中配車運転)。このため各ゾーンの最下階の在館者は長時間EVに乗車できない問題があった。(2)では各ゾーンの各階にほぼ一定間隔でEVが配車されるためこの問題は生じない。また(3)~(5)により階段とEVを最大限活用するため、避難時間を短縮できる。

以下、第2章でビル火災時の避難方式、第3章でモデルビルでの計算結果、第4章でむすびを述べる。

2. ビル火災時の避難方式

2-1. 避難方式とEV運転方式

第1章に示した特徴をもつ避難方式の詳細について述べる。

(1) 火災ゾーンより上の非火災ゾーンの在館者

- 各ゾーンの最下階まで階段で下り、その階と1階との間をシャトル運転するEVで避難する。

(2) 火災ゾーンの在館者

- 基本的に階段だけで避難する。
- 終期に下の非火災ゾーンのEVが空き次第、そのゾーンの最上階から1階とシャトル運転するEVで避難する(終期空きEV利用)。

(3) 火災ゾーンより下の非火災ゾーンの在館者

- 基本的にEVだけで避難する。
- 避難開始直後に火災ゾーンの在館者が階段を1階分下りる数十秒間だけ、各階から空いている階段に進入可能とする(初期空き階段利用)。これ以後は階段利用を禁止する。
- EVは分散配車のシャトル運転を行う。

図1はCゾーンに火災が発生した場合の避難を示したもので、図1(a)はゾーニング方式のビル(4ゾーン)における初期空き階段利用を、図1(b)は火災ゾーン在館者の階段優先利用を、図1(c)は終期空きEV利用を示している。

以下、我々の提案方式と関沢らの方式を比較しながら、ビル火災時の避難にEVと階段を併用すると、階段だけの全館避難に比べ、どれ程避難時間を短縮できるかを検討する。

2-2. 前提条件

- (1) 火災階のゾーンのEVは使用しない。
- (2) 火災階の身障者、高齢者は非常用EVで避難する。
- (3) 火災階は1ヶ所とする。(2ヶ所同時出火は考えない)
- (4) EVはすべて火災時に運転可能である。
- (5) 避難時のEVの運転はシャトル運転とする。
- (6) 階段は非常階段を含め2カ所とする。(法律で2方向避難が義務づけられているため)

2-3. 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。

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

階段の数: K 、人の速度: s 、階段人口密度: D 、階段幅: W とする。

また、階段で人が1階床移動する時間: t_s を定義する。 HC_s と t_s で、階段の避難完了時間を決定する。

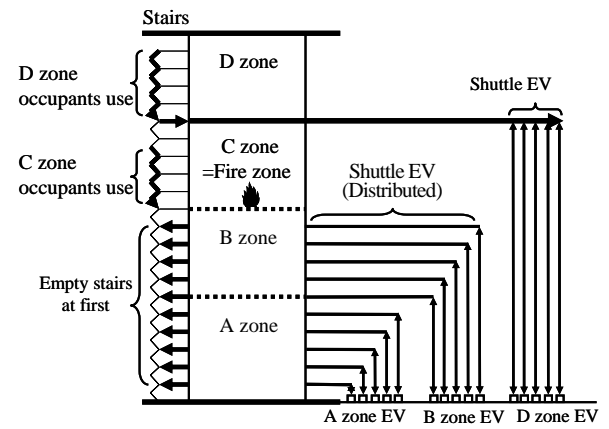
2-4. シャトル運転でのEVの輸送能力

$$HC_E = (L \times CC) / RTT_s \quad [人/s] \dots (2)$$

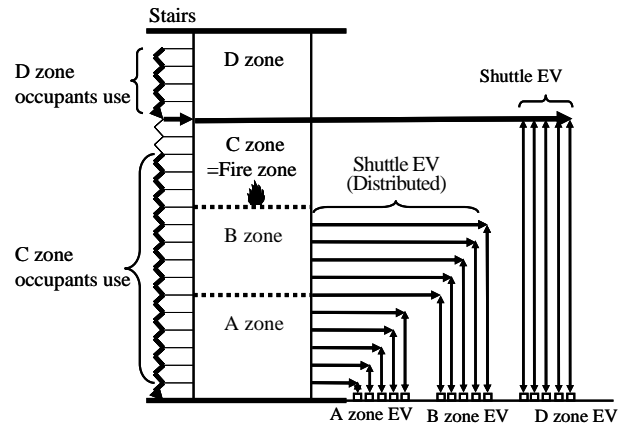
シャトル運転一周時間: RTT_s 、EV台数: L 、EVかご定員: CC とする。

2-5. 集中配車運転と分散配車運転

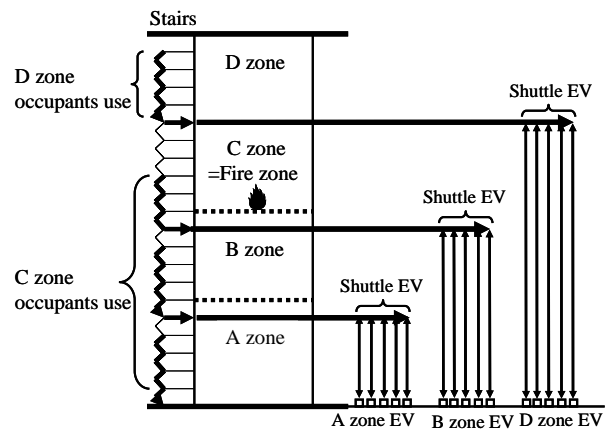
集中配車運転と、分散配車運転の運転方式は先に述べた通りである。Bゾーンにおける、この2つの運転方式の待ち時間とサービス時間をそれぞれ図2、図3に示す。この図より、避難完了時間はほぼ変わらないが、待ち時間とサービス時間に明らかな違いが見られる。集中配車(図2)では15階の待ち客がEVのサービス開始を18.6分間も待たなければならない。これに対し分散配車(図3)では1.6分後にはサービスが開始され、一定間隔でサービスする為、待ち客の心理を考慮すると後者のほうが好ましい。



(a) Illustration of empty stairs at first



(b) Illustration of priority evacuating occupants of the fire zone



(c) Illustration of empty EV later

Fig.1 Elevator and stairs operation in evacuation

Table 1. Model buildings and Elevator specification

	Building (53 floors)				Building (37 floors)				
	$N=1-14$ (A zone)	$N=15-27$ (B zone)	$N=28-40$ (C zone)	$N=41-53$ (D zone)	$N=1-9$ (A zone)	$N=10-16$ (B zone)	$N=17-23$ (C zone)	$N=24-30$ (D zone)	$N=31-37$ (E zone)
Number of occupants [person]	2470	2470	2470	2470	2560	2240	2240	2240	2240
Number of elevators	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Handling Capacity(5 minutes) [%]	12.1	10.3	9.1	8.4	15.3	15.8	14.5	13.6	13.1
Rated Speed [m/s]	$v=4.0$	$v=5.0$	$v=6.0$	$v=7.0$	$v=2.5$	$v=3.0$	$v=4.0$	$v=5.0$	$v=7.0$
Car Capacity [person]	$CC=22$				$CC=24$				
Acceleration [m/s^2]	$a=0.7$				$a=0.8$				
Loading and unloading time [s]	$t_l+t_u=2.0$ (=1.6 in evacuation)				$t_l+t_u=2.0$ (=1.6 in evacuation)				
Door opening and closing time [s]	$t_o+t_c=3.3$ (running open)				$t_o+t_c=3.3$ (running open)				
Floor Distance [m]	3.65 (The first floor is 7.0)				4.2				

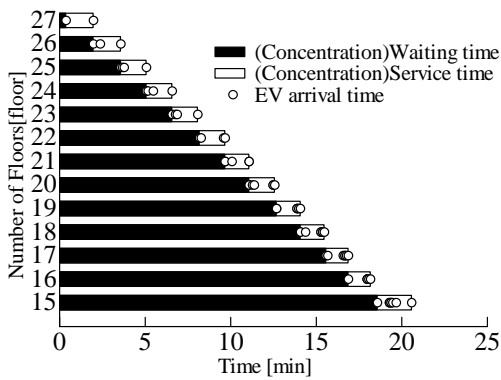


Fig.12 Waiting and service time Elevator and stairs operation in evacuation B

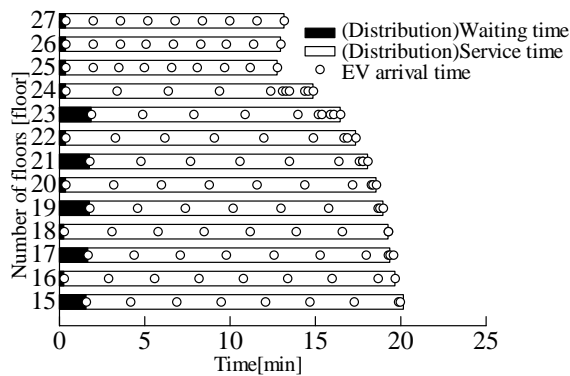


Fig.13 Waiting and service time Elevator and stairs operation in evacuation B

3. モデルビルでの計算結果

表1に2種類のモデルビル，とそれぞれのビルのEVの仕様について示す。この2種類のゾーニング方式のビルについて、我々の提案方式、関沢らの方式、階段による全館避難、これらと比較検討し、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

モデルビル は関沢らの論文の53階建て ($N=53$)、4ゾーンのビルである。玄関階の1階 ($N=1$) に居住者はいないとする。

3-2. モデルビル の計算結果

2-1で提案した避難方式、関沢らの避難方式、また階段のみの避難、について避難時間を計算した。ここで参考文献(1)と式(1)より、階段の輸送能力は $HC_s=2.26$ 人/s、 $t_s=14.6$ sとした。

まず図4にDゾーンが火災の場合の各ゾーンにおける避難完了時間を我々の提案方式、関沢らの方式を比較して示し、また階段だけの全館避難の避難完了時間を示した。この場合、Dゾーンは火災ゾーンの避難方式、A、B、Cゾーンは火災ゾーン以下の非火災ゾーンの避難方式となる。階段のみの全館避難に比べ全体の避難完了時間を、関沢らの方式は45.1分減少させることができ、我々の提案方式は49.9分減少させることができた。各ゾーンにおける避難完了時間は、我々の提案方式が関沢らの方式に比べ、最大4.8分、最小2.5分減少させることができた。先に述べたが、EV避難に関しては、集中配車運転、分散配車運転ともに避難時間は変わらなかった。

次に、火災ゾーンをCゾーンとした。この場合、Dゾーンの在館者は41階まで階段で下りその階から1階とシャトル運転するEVで避難する。Cゾーンの在館者は階段で避難を開始し、以下の非火災A、BゾーンのEVが空いたらそのゾーンの最上階から1階とシャトル運転するEVで避難する(終期空きEV利用)。A、Bゾーンの在館者は避難

開始直後にCゾーンの在館者が階段を下りて来るまでの数十秒間だけ階段への進入可能(初期空き階段利用)であり、それ以後は分散配車運転するEVで避難する。図5はCゾーンが火災の場合の各ゾーンにおける避難完了時間を示した。階段のみの全館避難に比べ全体の避難完了時間を、関沢らの方式は45.9分減少させることができ、提案方式は47.4分減少させることができた。各ゾーンにおける避難完了時間は、提案方式が関沢らの方式に比べ、最大3.5分、最小1.5分減少させることができた。

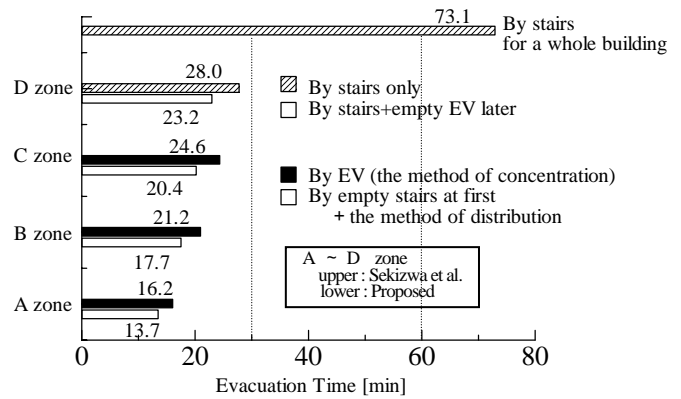


Fig.4 Evacuation time of model building in case of a fire on D zone

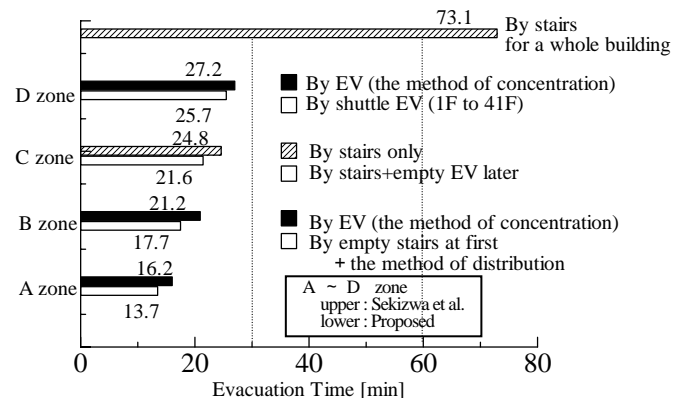


Fig.5 Evacuation time of model building in case of a fire on C zone

3-3. モデルビル とエレベータの仕様

ビルによる相違を調べるため、次に37階建て、5ゾーンのビルについてモデルビルと同様に比較検討し、そのときの避難時間の短縮率を求めた。玄関階の1階 ($N=1$) に居住者はいないとする。37階建て ($N=37$) のゾーニング方式のビルとEVの仕様を表1に示す。

3-5. モデルビル の計算結果

まず図6にEゾーンが火災の場合の各ゾーンにおける避難完了時間を示した。この場合、Eゾーンは火災ゾーンの避難方式、A、B、C、Dゾーンは火災ゾーンより下の非火災ゾーン避難方式となる。階段のみの全館避難に比べ全体の避難完了時間を、関沢らの方式は61.4分減少させることができ、提案方式は64.8分減少させることができた。各ゾーンにおける避難完了時間は、提案方式が関沢らの方式に比べ、最大3.8分、最小1.6分減少させることができた。

次に火災ゾーンをCゾーンとした。この場合、D、Eゾーンの在館者は、モデルビルと同様、火災ゾーンより上の非火災ゾーンの避難方式、A、Bゾーンの在館者は火災ゾーンより下の非火災ゾーンの避難方式で避難する。図7はCゾーンが火災の場合の各ゾーンにお

る避難完了時間を示した。階段のみの全館避難に比べ全体の避難完了時間を、関沢らの方式は64.7分減少させることができ、提案方式は64.9分減少させることができた。各ゾーンにおける避難完了時間は、提案方式が関沢らの方式に比べ、最大2.3分、最小0.2分減少させることができた。両方式において全体の避難完了時間に差がない点については、全体の避難完了時間が初期空き階段利用、終期空きEV利用の効果のない、Eゾーンの避難完了時間で決定してしまうからである。

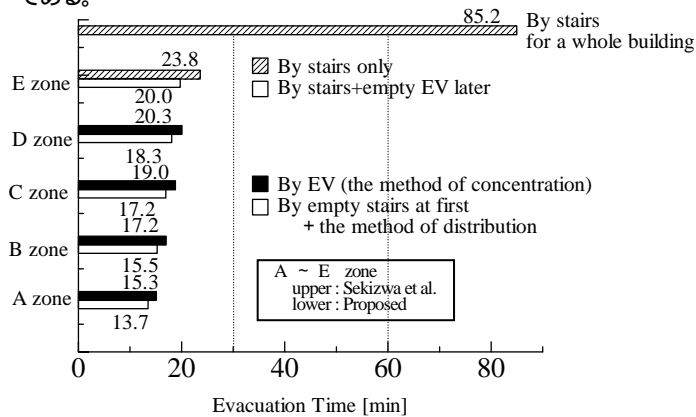


Fig.6 Evacuation time of model building in case of a fire on D zone

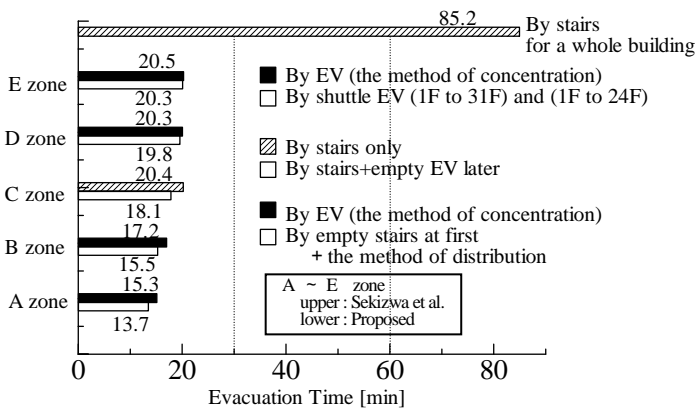


Fig.7 Evacuation time of model building in case of a fire on C zone

3-6. 考察

表2に階段による全館避難に比べ、我々の提案方式、関沢らの方式はどの程度避難完了時間を短縮できるかを示した。この表からも提案方式の方が、階段による全館避難、関沢らの方式に比べ避難完了時間を短縮できることがわかる。

提案方式と関沢らの方式を比較すると、まず提案方式では初期空き階段利用により火災ゾーンより下のゾーンの避難時間が短縮され、その短縮により終期空きEV利用が活きることで全館の避難完了時間が短縮される。火災ゾーンより上のゾーンで階段とEVのシャトル運転を利用する方式(階段後EV方式)は、初期空き階段利用、終期空

Table2. Shortening ratio of model buildings compared with using stairs only

Method	Building		Building	
	Proposed [%]	Sekizawa et al. [%]	Proposed [%]	Sekizawa et al. [%]
E zone			76.6	72.0
D zone	68.1	61.8	76.2	74.0
C zone	64.8	62.8	76.2	75.9
B zone	64.8	62.8	76.2	75.9
A zone	64.8	62.8	76.2	75.9

きEV利用の効果がないため、両方式の避難時間に差は見られなかった。この階段後EV方式は、高層ゾーンではEVの輸送能力が階段の輸送能力より低く、EVに乗る人が途切れない為、有効な手段である。

集中配車運転ではEVを長時間待つ階が存在し、避難時の待ち客心理が問題となるが、分散配車運転により待ち客心理も考慮に入れることで問題は解消される。

このように、EVと階段を有効に利用することは避難時間が大幅に短縮でき、階段のみの避難に比べ階段の混雑が緩和される為、避難時に懸念される混雑から発生するパニックを起きにくくできると考えられる。また、火災ゾーン、非火災ゾーンで早期避難の優先順位をつけることも重要である。

我々はEVの運行方式が重要であると考え研究を始めたが、階段の利用方法が重要であると気づいた。避難時の誘導は非常に重要である。本論文では火災ゾーンの在館者に階段を優先させる方式を提案しており、ゾーン毎に階段とEVに分離する必要がある。これには避難誘導および階段の交通整理が不可欠であると考えられる。

我々は火災ゾーンの一般EVは安全のため使用しないと仮定したが、もし使用可能であればこのゾーンの在館者の避難時間が短くなる。つまり本論文の避難時間はより安全側の計算結果と考えられる。

4. むすび

本論文では高層ビル火災時のEVと階段を併用した全館避難において、どのような避難方式を採用すればどこまで避難時間を短くできるかを検討した。

その結果、火災ゾーンより上、火災ゾーン、火災ゾーンより下のグループに分け、火災ゾーンより上のゾーンは各ゾーンの最下階まで階段で下りその階から1階とシャトル運転するEVで避難をする。火災ゾーンは階段のみで避難開始し下のゾーンのEVが空いたらそのゾーンの最上階から1階とシャトル運転するEVで避難する。火災ゾーンより下のゾーンは避難開始直後に火災ゾーンの在館者が階段を下りて来るまでの数十秒間だけ階段を利用し、その後はEVで避難する。この避難方式が有効であることを示した。また、EVの運転方式として集中配車運転よりも分散配車運転のほうが、待ち客の心理を考慮すると有効であることを確認した。

この避難方式ではEVの避難管制運転や階段利用者の交通整理が必要となるが、実現可能な最短の避難時間が分かり、今後火災時のEVを併用した避難を検討する上で役に立つと考えられる。

参考文献

- (1) 関沢・海老原・中濱・池田・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) 岩田・林、他：「高層ビルにおける火災時エレベーター利用避難設計手法の開発 その1～火災時エレベーター利用避難における避難経路の設計手法～」, 電気設備学会全国大会論文集, (2007/9)
- (4) 出利葉・金子・阿部：「エレベータ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(2006)
- (5) 出利葉・金子・阿部：「エレベータ利用による避難時間の短縮」, 昇降機・遊戯施設等の最近の技術と進歩, 39-42(2007)
- (6) 阿部・渡辺：「エレベータの歴史と今後の課題」, IEEJ Trans.FM, Vol.124, No.8, 685-686 (2004)