

第6章 火災避難シミュレーションを活用した課題の分析

近年、駅舎での大規模な延焼火災は発生していないため、「改札内に多数の店舗が設置されている駅舎」での延焼火災を再現し、火災避難上の危険性を抽出することを目的として、シミュレーションを実施する。

なお、シミュレーションの設定に用いた数値の根拠及びシミュレーションシステムの詳細については資料編に記載するものとし、本節においては概略のみ記載する。

第1節 モデル駅舎の設定等

1 モデル駅舎及び火点の設定

シミュレーションを実施するモデル駅舎は、1階にプラットフォーム、2階に改札階を有する「橋上駅舎型」とした。また、改札口内部の商業施設は2階、3階に設置している。

各階の用途・床面積は表6-1のとおりである。なお、出火場所は、改札内の飲食店等の店舗からの出火も考えられるが、火災避難上の危険性を考察するにあたって、最も顕著な結果が出ることが期待される、2階コンコース上の仮設店舗に設定した。

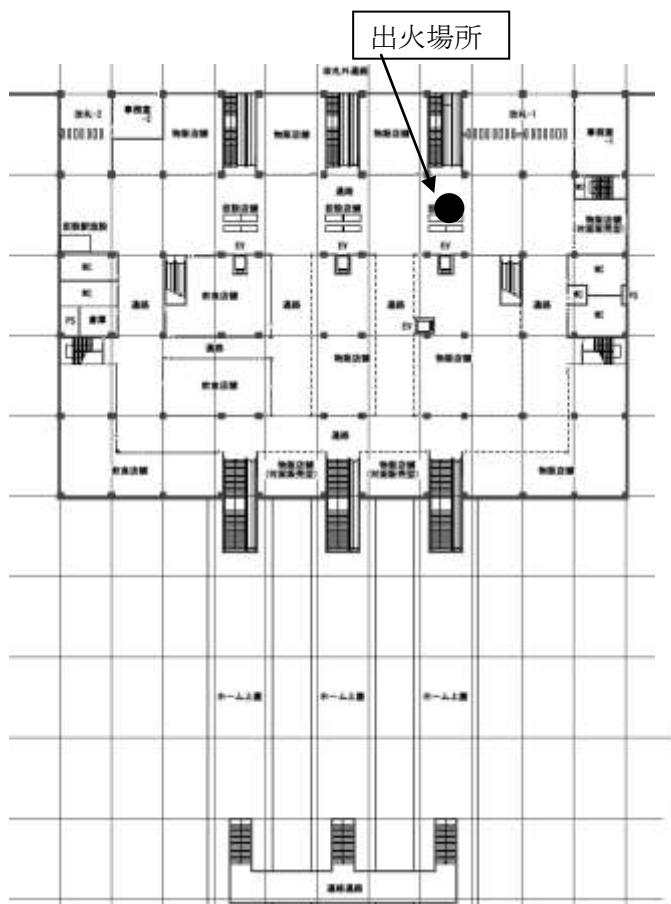


図6-1 モデル駅舎の平面図（2階）

表6-1 モデル駅舎の各階床面積

3階	商業施設部分	1,318 m ²
	コンコース	564 m ²
	その他（トイレ等）	142 m ²
	小計	2,024 m ²
2階	商業施設部分	2,143 m ²
	コンコース	2,322 m ²
	その他（トイレ等）	429 m ²
	小計	4,894 m ²
1階	プラットフォーム	6,300 m ²
	小計	6,300 m ²
合計		13,218 m ²

※ 図6-1において、長方形のマス目は、縦12m、横8mに相当する。

2 在館者数及び歩行速度の設定

在館者の各階の配置については表 6-2 のとおり設定し、避難者の歩行速度については表 6-3 のとおり設定した。なお、歩行速度の数値については、全館避難安全検証法に関する算出方法等を定める件（平成 12 年 5 月 31 日建設省告示第 1442 号）に示す値を使用した。

表 6-2 モデル駅舎における在館者人数

避難開始地点		在館者（避難者）人数
3 F		7 9 8 人
2 F		1, 5 5 5 人
1 F	乗車客	1, 1 5 8 人
	降車客	4, 5 0 0 人
合 計		8, 0 1 1 人

表 6-3 避難者の歩行速度の設定

場所	移動速度
水平方向への移動速度	1.0 m/s
階段の移動速度（上り）	0.45 m/s
階段の移動速度（下り）	0.6 m/s

3 その他の設定条件（(1)から(3)の条件については、対策シミュレーションで変更する。）

- (1) 改札機のうち退場用として利用できるのは、2 箇所の改札口ともに、それぞれの全改札機数のうち半分とする。（出口に向かって右側の改札口 7/14 台 左側の改札口 4/7 台）
- (2) 列車は 3 編成（それぞれのホームに 1 編成）到着し、その時点で運行停止となる。
- (3) 列車からの降車客を含め、すべての在館者が避難する。
- (4) 在館者は、火炎からの輻射熱、煙の降下、非常放送及び火点室からの避難者の入室のいずれか早い条件で避難を開始する*。

*火点室、出火階及び出火階以外の階で、条件が異なる。詳細は資料編に記載する。

4 評価項目の設定（シミュレーション出力）

- (1) 避難完了時間
火災が発生してから、改札内のすべての駅利用者が改札外に出るまでにかかる時間
- (2) 煙暴露者数
煙層の高さが 1.8m 以下の場所を歩行した人の数
- (3) 天井熱気流下歩行者数
天井下の熱気流の温度が 160°C 以上の地点を歩行した人の数
- (4) 滞留継続時間
滞留（1 m²あたり概ね 2.8 人以上）が継続していた時間

5 シミュレーションモデル

- (1) 火災（煙性状）シミュレーションモデル
非定常二層ゾーンモデル（B R I 2 0 0 2）
- (2) 避難シミュレーションモデル
メッシュ歩行型マルチエージェントシミュレータ（L S - M A C S）

第2節 基本シミュレーションの実施結果

1 シミュレーション結果

4つの評価項目についてのシミュレーション結果を表6-4に、火災の発生から避難完了までのシミュレーションを可視化した画像を図6-2から6-7に整理した。

表6-4 4つの評価項目の出力結果等

評価項目	シミュレーション結果	備考
避難完了時間	26分25秒	火災発生から避難開始までの時間(1分13秒)を含む。
煙暴露者数	4,040人	全避難者数 8,011人
天井熱気流下歩行者数	1,800人	全避難者数 8,011人
滞留継続時間	約23分間	

2 火災避難上の課題

基本シミュレーション結果から確認できた火災避難上の危険性や課題は次のとおりである。

(1) 避難に関する内容

- ア 多数の人が一斉に避難した場合には、階段や改札口がボトルネックとなり、駅利用者は、密度が高い状況の中で、長い時間の滞留を余儀なくされる可能性が高い。
- イ 火災発生後に到着した列車からの降車客が、改札口に向けて一斉に避難することにより、煙暴露者数や滞留継続時間が増加する。

(2) 火災に関する内容

- ア 火災の延焼拡大の状況によっては、改札内に充満した煙に暴露する駅利用者が多数発生する可能性がある。
- イ 火災や煙等の影響により、利用者が整然と避難しない（できない）状況が発生した場合には、パニック等が発生し、パニックによる死傷者が発生する可能性もある。

(3) 消防活動に関する内容

消防隊がホースを持ち、火災現場に駆け付けようとしても、火災現場までの通路や改札口が避難者で溢れている場合には、火災現場までの接近に時間がかかる可能性がある。

3 火災避難上の危険要因

(1) ボトルネック箇所の存在

特に、「避難完了時間」、「滞留継続時間」に影響を与えると考えられる。

(2) 在館者全員による一斉避難

特に、「滞留継続時間」に影響を与えると考えられる。

(3) ホーム階（外気への開放性の高い空間）から出火階への避難

特に、「煙暴露者数」、「天井熱気流下歩行者数」に影響を与えると考えられる。

(4) 列車の到着による避難者数の増加

特に、「避難完了時間」、「滞留継続時間」に影響を与えると考えられる。

火災避難シミュレーション可視化結果

凡例

※煙層の高さ（天井高さ（3.5m）に対する割合）

- 3.325m（5%）以上まで…無色（白）
- 3.325～3.15m（5～10%）まで…薄い灰色
- 3.15～1.8 m（10%～人体への影響小）まで…灰色
- 1.8m（人体への影響大）以下…濃い灰色

※輻射熱等

- 橙色の円…2kW/m²の輻射熱を受ける範囲
- 淡黄色の円…天井下の熱気流が160℃以上の範囲

※粒子上の避難者

- 赤点の粒子…1階からの避難者（降車客含む）
- 緑点の粒子…2階からの避難者
- 青点の粒子…3階からの避難者



図 6-2 火災発生時（0分後）の避難性状

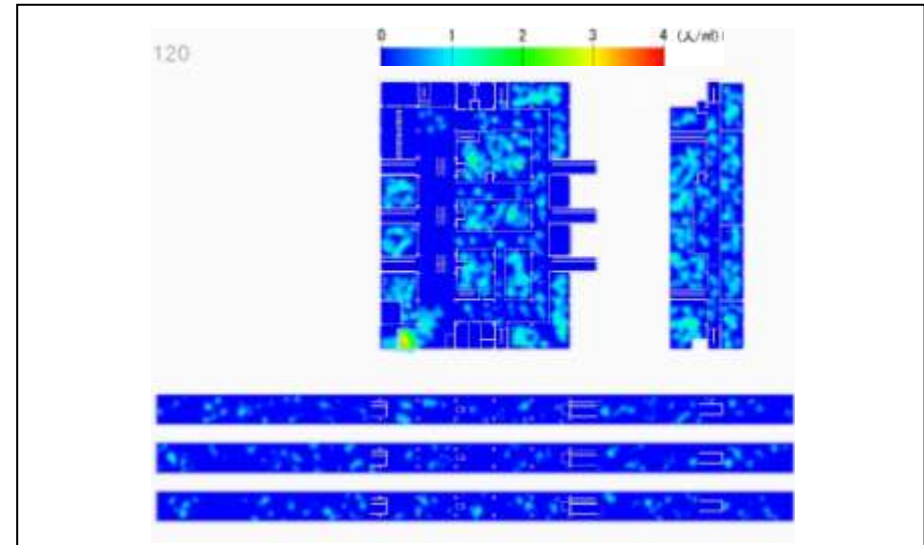
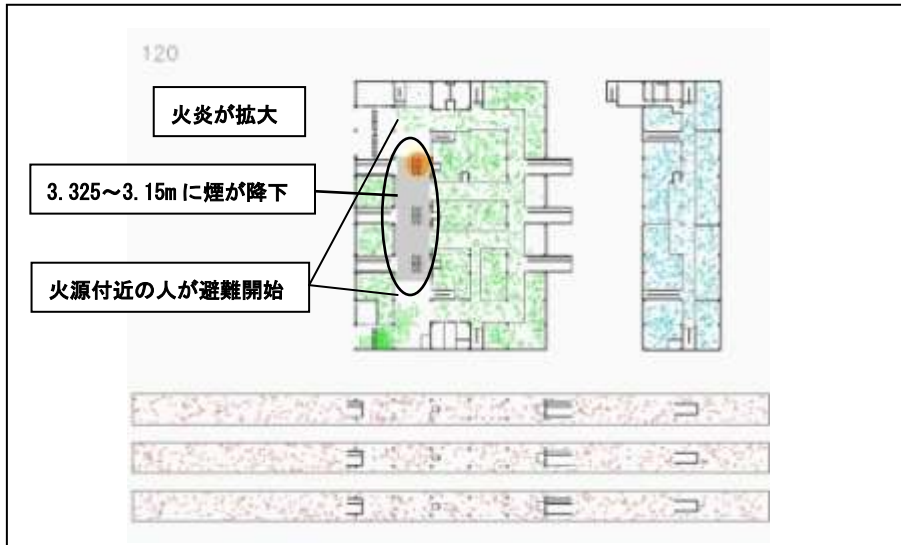


図 6-3 2分00秒後の避難性状（左）と群集密度（右）

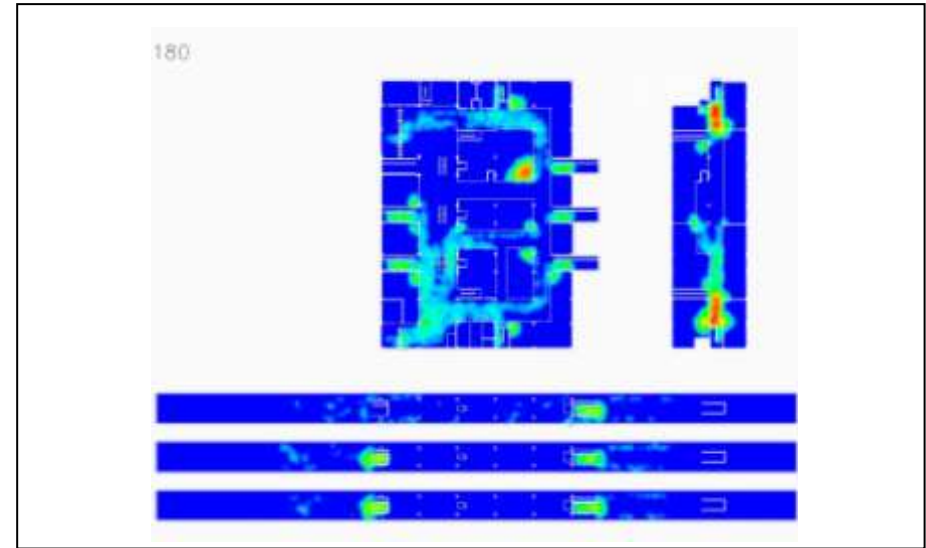
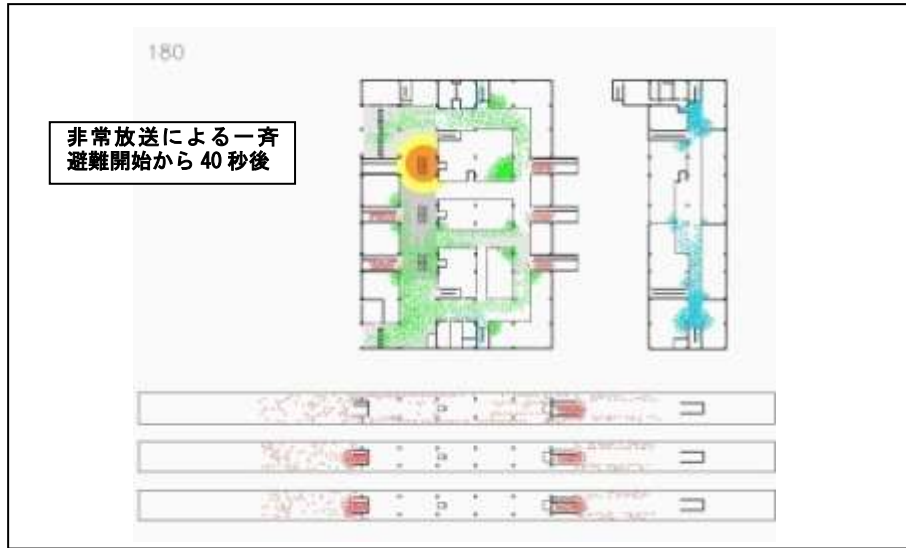


図 6-4 3 分 00 秒後の避難性状（左）と群集密度（右）

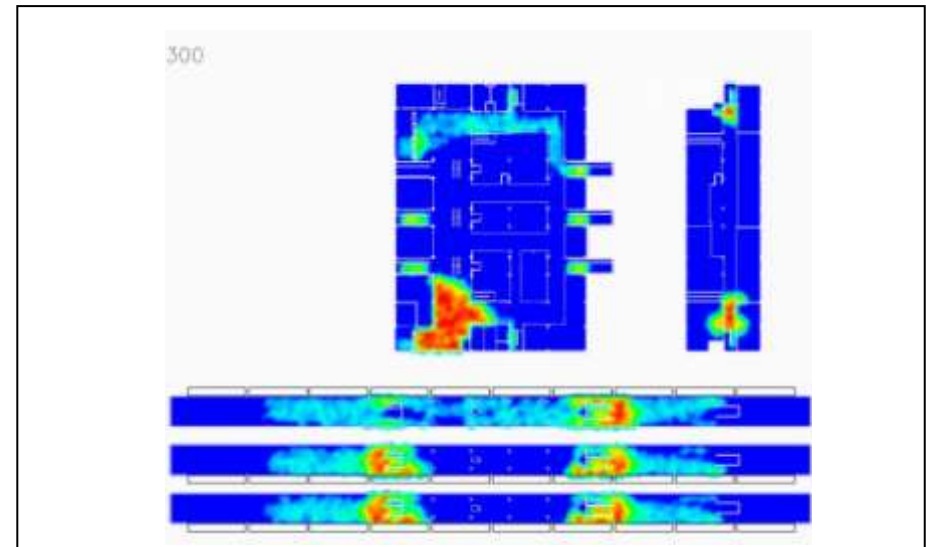
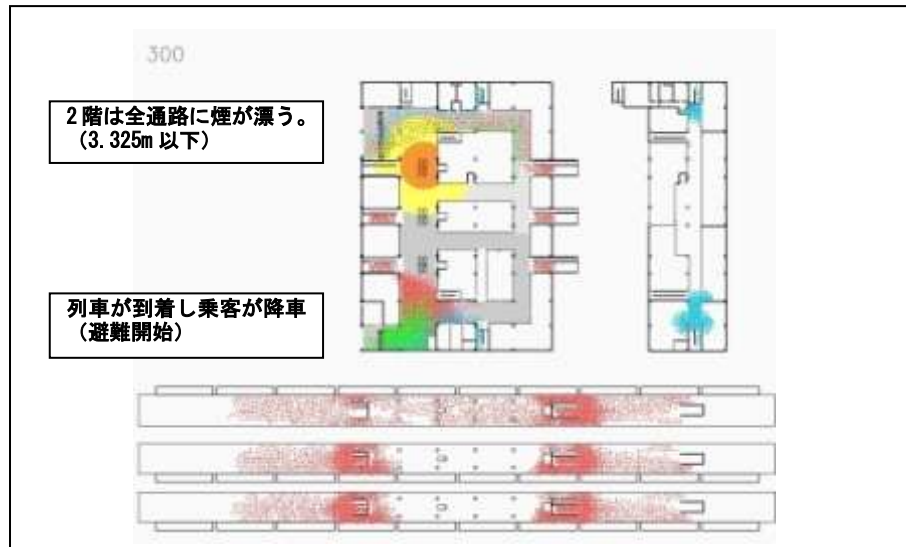


図 6-5 5 分 00 秒後の避難性状（左）と群集密度（右）

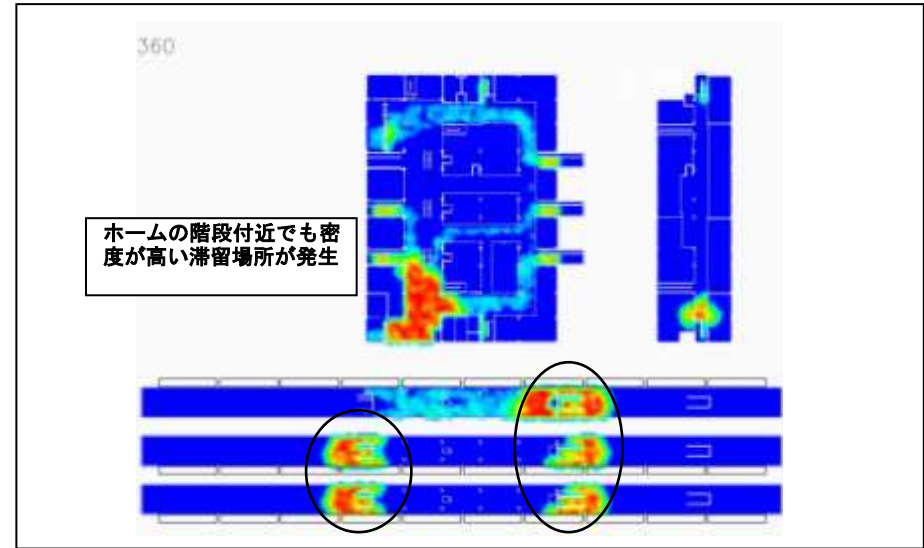
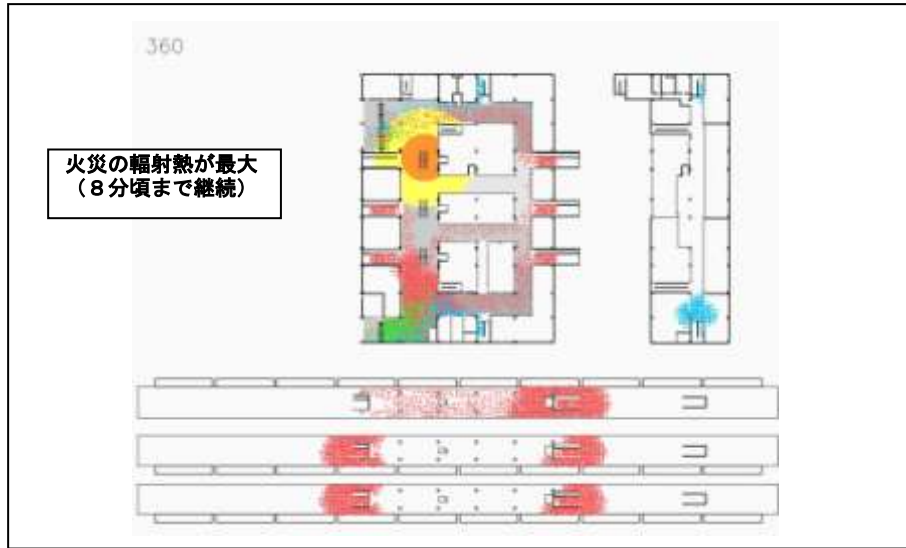


図 6-6 6分00秒後の避難性状(左)と群集密度(右)

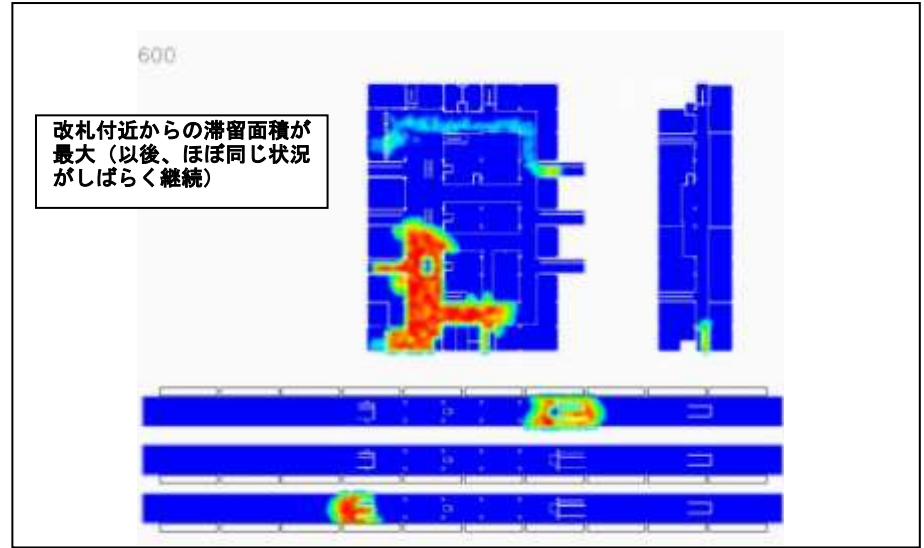
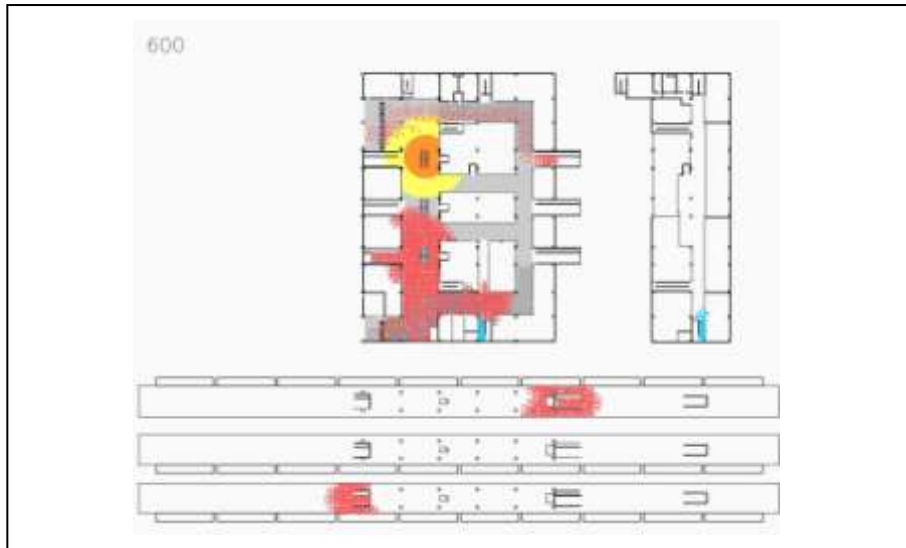


図 6-7 10分00秒後の避難性状(左)と群集密度(右)

第3節 対策シミュレーションの実施結果

第2節の基本シミュレーションの実施結果を踏まえ、火災避難上の危険要因に対する各種の対策が行われた場合のシミュレーションを実施した。

1 対策シミュレーションの設定条件

表 6-5 対策シミュレーションの設定条件

番号	変更する設定条件	想定概要
対策1	改札扉の全開放 (ボトルネックの改善)	火災の情報伝達及び駅長等による指示が早期に実施され、全ての改札扉が退場用として開放される。(非常放送開始から1分後に、入場用の改札機からも退場できるものとする。)
対策2	段階的な避難誘導 (一斉避難の抑制)	1階ホーム上の旅客(乗車客)と到着列車内の旅客(降車客)を一時的にその場に待機させ、改札口の滞留状況に応じて各ホームから避難を開始させる。(改札口付近の滞留解消に合わせて、火源に近いホームから順次避難させる。)
対策3	ホーム利用者の待機 (安全場所での待機)	1階ホーム上の旅客(乗車客)と到着列車内の旅客(降車客)をその場に待機させる。(安全な場所に待機させ、火災が鎮火した後に避難させることを想定する。)
対策4	列車の運行制御 (改札内駅利用者の抑制)	駅と運行指令所間の情報伝達が早期に行われたことにより、列車の運行制御が実施される。(火源に近いホームに到着する列車のみを通過させることができたものとする。)
対策5	複数の想定 の組み合わせ	対策1、2及び4が合わせて実施されたことを想定する。

2 対策シミュレーションの実施結果

表 6-6 基本ケースと対策シミュレーションの実施結果一覧

	基本ケース	対策1	対策2	対策3	対策4	対策5
駅利用者数	8,011人			6,511人		
避難者数	8,011人	8,011人	8,011人	2,353人	6,511人	6,511人
避難完了 時間	26分25秒	15分40秒	26分20秒	10分50秒	26分25秒	16分30秒
		-10分45秒	-5秒	-15分35秒	0秒	-9分55秒
煙暴露者数	4,040人	3,410人	3,450人	410人	2,530人	1,930人
		-630人	-590人	-3,630人	-1,510人	-2,110人
天井熱気流下 歩行者数	1,800人	1,150人	1,710人	560人	1,170人	830人
		-650人	-90人	-1,240人	-630人	-970人
最大滞留 継続時間	約23分間	約11分間	約23分間	約5分間	約23分間	約2分間
		-12分	0分	-18分	0分	-21分

対策ケース 1 (改札扉の全開放)

■条件設定の概要 (基本ケースとの相違点)

基本ケースでは、駅員による改札扉の開放がないものとして改札機の約半数 (出口に向かって右側の改札口については 7/14 台、左側の改札口については 4/7 台) を避難に使用した。

対策ケース 1 では、駅長等の指示により改札扉が開放されたことを想定し、非常放送開始時刻 (火災断定を行った時刻と想定) の 1 分後に、全ての改札機を避難に使用できるものとした。

■シミュレーション結果

表 6-7 改札扉を全開放した際の火災避難シミュレーション結果

評価項目	シミュレーション結果	基本ケースとの比較	(参考) 基本ケース時
避難完了時間	15 分 40 秒	約 11 分短縮	26 分 25 秒
煙暴露者数	3,410 人	630 人 (約 17%) 減少	4,040 人
天井熱気流下歩行者数	1,150 人	650 人 (約 36%) 減少	1,800 人
滞留継続時間・滞留面積	約 11 分間継続 (約 3 分後～14 分後) 面積は 9 分後に最大	滞留継続時間は、 12 分短縮	約 23 分間継続

【結果概要・考察】

「避難完了時間」及び「滞留継続時間」減少に大きな効果が見られた。また、「煙暴露者数」と「天井熱気流下歩行者数」も減少した。

避難に利用できる改札機が増えたことにより、通路の煙層が 1.8m 以下に降下する前に、より多くの避難者が当該通路を通過することができ、煙暴露者が減少したものと推察される。

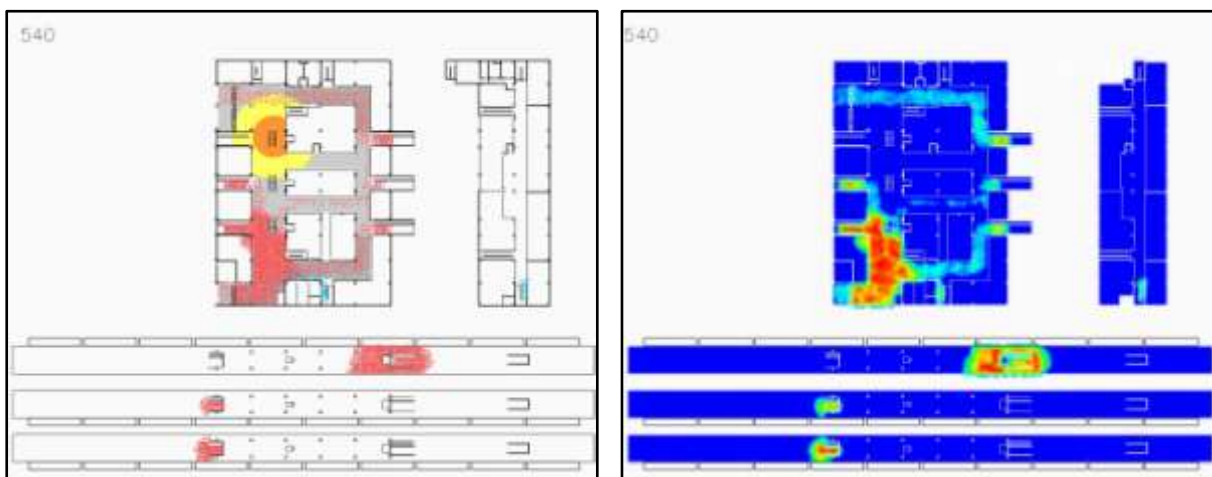


図 6-8 改札扉を全開放した際の避難性状 (左) と群集密度 (右) (9 分後)

対策ケース2 (段階的な避難誘導)

■条件設定の概要 (基本ケースとの相違点)

基本ケースでは、ホーム階の旅客の避難開始時刻を、以下のとおり設定した。

乗車客：非常放送開始時刻 (2分20秒後)、降車客：列車到着時刻 (4分20秒後)

対策ケース2では、改札口にいる駅員とホームにいる駅員とが連携し、改札口前の滞留を緩和するための措置として、ホーム階からの避難者を段階的に避難させることを想定した。

それぞれのホームからの避難開始時刻は、火源に近い方から、2分20秒後、6分00秒後、15分00秒後とした。

■シミュレーション結果

表 6-8 段階的な避難誘導を実施した際の火災避難シミュレーション結果

評価項目	シミュレーション結果	基本ケースとの比較	(参考) 基本ケース時
避難完了時間	26分20秒	ほぼ同じ	26分25秒
煙暴露者数	3,450人	590人(約15%)減少	4,040人
天井熱気流下歩行者数	1,710人	90人(5%)減少	1,800人
滞留継続時間・滞留面積	約23分間継続 (約3分後～26分後) 面積は13分後に最大	滞留継続時間は、 ほぼ同じ	約23分間継続

【結果概要・考察】

「最大滞留面積の減少」に大きな効果が見られた。

「滞留継続時間」に変化が見られなかったが、これは『滞留者が減少しはじめた時点で次の避難を開始する』という設定が影響しているものである。避難開始のタイミングを変更することにより、「滞留継続時間」、「煙暴露者数」、「天井熱気流下歩行者数」を減少させることも可能と考えられる。

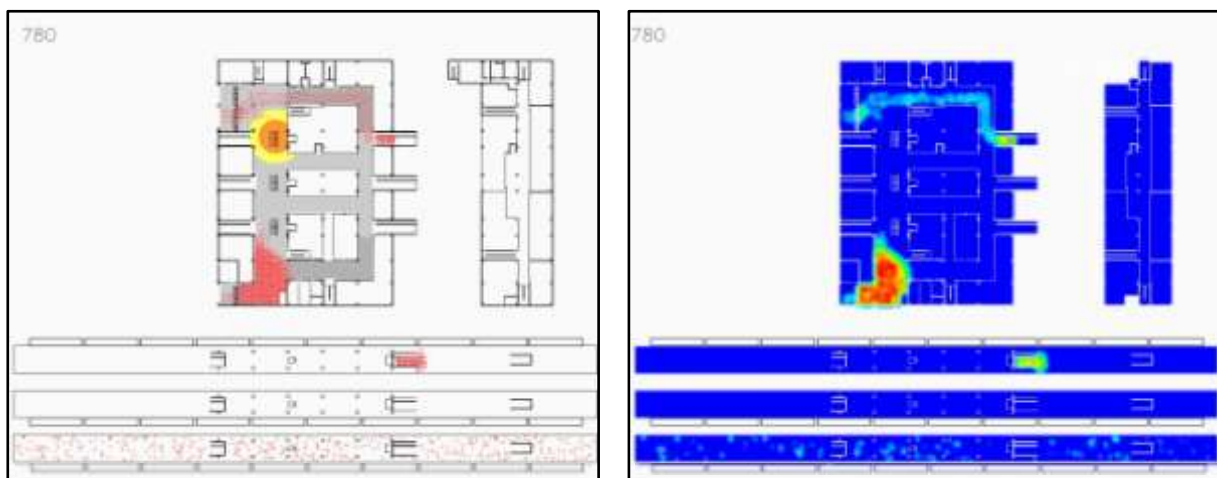


図 6-9 段階的な避難誘導を実施した際の避難性状 (左) と群集密度 (右) (13分後)

対策ケース3 (ホーム利用者の待機)

■条件設定の概要 (基本ケースとの相違点)

基本ケースでは、ホーム階の旅客も改札口に避難を行った。

対策ケース3では、ホーム階の旅客はその場に待機し、避難を行わないこととした。

これにより、ホーム階の避難者数及び全体の避難者数が、次のように変更となる。

1階の避難者：(基本) 5,658人 → (ケース3) 0人

全体の避難者：(基本) 8,011人 → (ケース3) 2,353人

■シミュレーション結果

表6-9 ホーム利用者を待機させた際の火災避難シミュレーション結果

評価項目	シミュレーション結果	基本ケースとの比較	(参考) 基本ケース時
避難完了時間	10分50秒	約16分短縮	26分25秒
煙暴露者数	410人	3,630人(約90%)減少	4,040人
天井熱気流下歩行者数	560人	1,240人(約69%)減少	1,800人
滞留継続時間・滞留面積	約5分間継続 (約3分後～8分後) 面積は4分後に最大	滞留継続時間は、 18分短縮	約23分間継続
【結果概要・考察】 「避難完了時間」、「滞留継続時間」、「煙暴露者数」、「天井熱気流下歩行者数」のすべての評価基準において、大きな効果が見られた。			

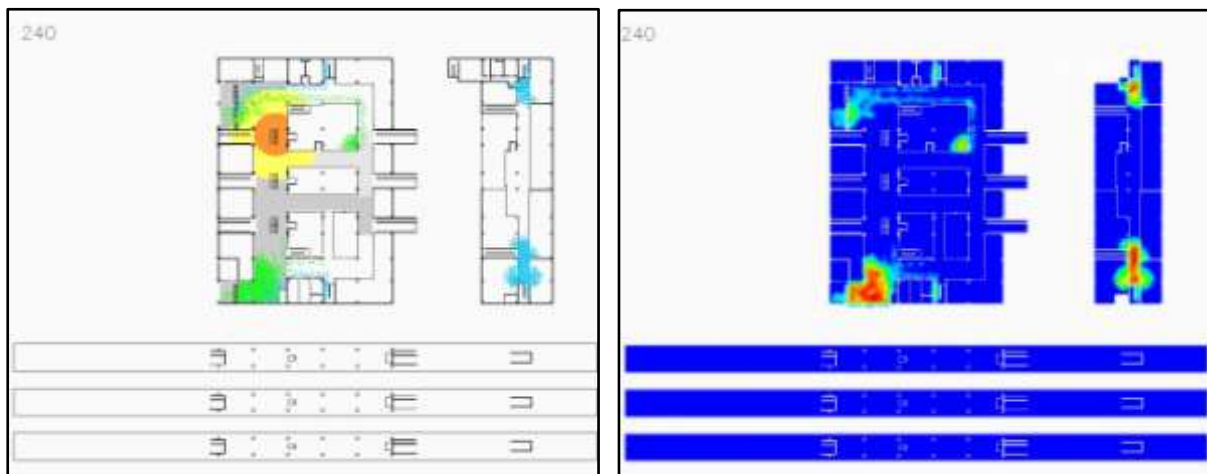


図6-10 ホーム利用者を待機させた際の避難性状(左)と群集密度(右) (4分後)

対策ケース4 (列車の運行制御)

■条件設定の概要 (基本ケースとの相違点)

基本ケースでは、非常放送開始後の2分後(火災発生から4分20秒後)に、3路線の列車が各ホームに到着し、乗客が全員降車して避難することを想定した。

対策ケース4では、3路線のうちの1路線については運行指令所からの運行制御が間に合い、当該駅の手前で停止あるいは当該駅を通過させることができたことを想定した。

これにより、ホーム階の避難者数及び全体の避難者数が、次のように変更となる。

1階の避難者：(基本) 5,658人 → (ケース4) 4,158人

全体の避難者：(基本) 8,011人 → (ケース4) 6,511人

■シミュレーション結果

表 6-10 列車の運行制御を行った際の火災避難シミュレーション結果

評価項目	シミュレーション結果	基本ケースとの比較	(参考) 基本ケース時
避難完了時間	26分25秒	ほぼ同じ	26分25秒
煙暴露者数	2,530人	1,510人(約37%)減少	4,040人
天井熱気流下歩行者数	1,170人	630人(35%)減少	1,800人
滞留継続時間・滞留面積	約23分間継続 (約3分後～26分後) 面積は10分後に最大	ほぼ同じ	約23分間継続

【結果概要・考察】

「煙暴露者数」、「天井熱気流下歩行者数」の項目について、効果が見られた。

「避難完了時間」、「滞留継続時間」については、変化がなかった。

変化がなかった理由は、運行制御に成功した路線を火点に最も近いホームに設定したが、このホームからの避難者は、元々滞留が発生する側の改札口を使用していなかったためである。

運行制御に成功した路線(ホーム)を変更した場合には、これらの値も変化すると予想される。

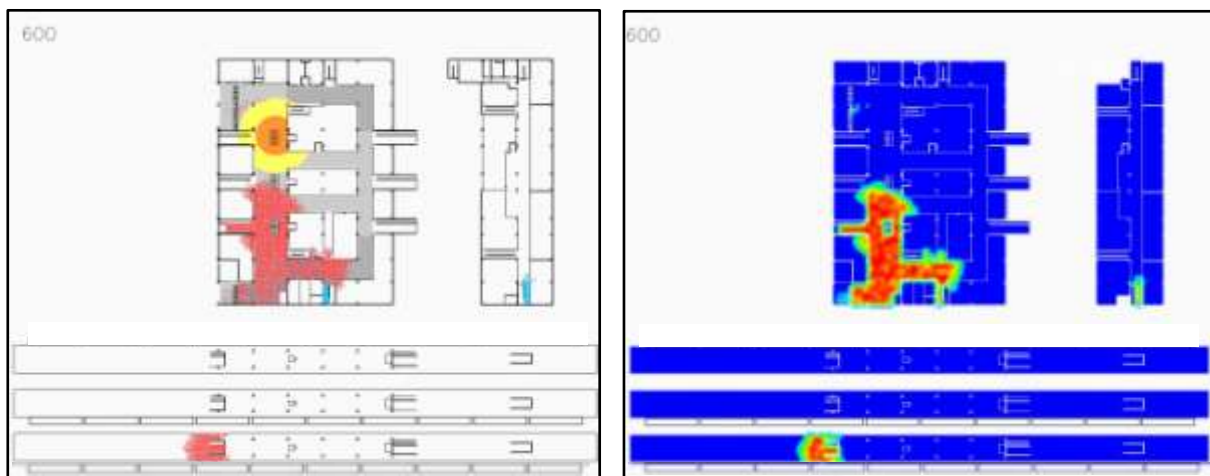


図 6-11 列車の運行制御を行った際の避難性状(左)と群集密度(右) (10分後)

対策ケース5 (複数の対策の組み合わせ)

■条件設定の概要

対策ケース1、2、4の対策を組み合わせると同時に実施した場合の効果についてシミュレーションを行った。

(ア) 改札口の開放：ケース1と同様に3分20秒後に全開放した。

(イ) 列車の運行制御：ケース4と同様とした。ホーム階の避難者数の設定もケース4と同様とした。

(ウ) 時間差避難：ケース2と同様に改札口前の滞留緩和を目的として、ホーム階からの避難開始に時間差を設定した。本ケースでは、改札扉を全開放することから、改札口の滞留状況が、ケース2と異なる。本ケースでのホーム階の避難開始時刻は火源に近い方から、2分20秒後、4分20秒後、9分00秒後とした。

■シミュレーション結果

表 6-11 複数の対策を組み合わせた場合の火災避難シミュレーション結果

評価項目	シミュレーション結果	基本ケースとの比較	(参考)基本ケース時
避難完了時間	16分30秒	約10分短縮	26分25秒
煙暴露者数	1,930人	2,110人(約52%)減少	4,040人
天井熱気流下歩行者数	830人	970人(約54%)減少	1,800人
滞留継続時間・滞留面積	約2分間継続 (約3分後～5分後) 面積は4分後に最大	21分短縮	約23分間継続

【結果概要・考察】

「避難完了時間」、「滞留継続時間」、「煙暴露者数」、「天井熱気流下歩行者数」のすべての評価基準において効果が見られた。

また、各対策ケース(対策ケース1,2,4)と比べても、それぞれが独立した対策を行うよりも高い効果が見られた。

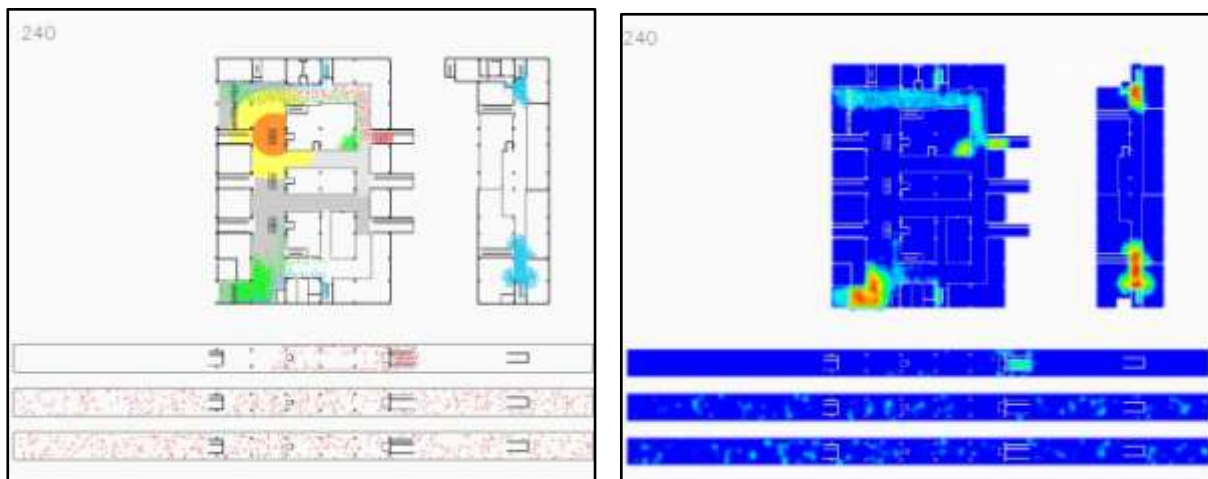


図 6-12 複数の対策を組み合わせた際の避難性状(左)と群集密度(右) (4分後)

第4節 シミュレーション結果の考察

シミュレーションは、一定の条件の下で得られる一つの結果という側面がある。出火危険の増大や駅関係者の人的対応の確立などの課題は第3章から第5章でも分析されているが、本シミュレーションでは火災後の避難上の課題抽出という側面から各種の評価結果が得られたほか、視覚的に把握することもできた。

シミュレーション結果から見た「改札内に大規模な店舗を有するターミナル駅」における火災避難上の主要な課題と安全確保のための検討事項は次のとおりである。

1 避難安全面に関する課題等

【課題】

- (1) 多数の人が一斉に避難した場合には、階段や改札口がボトルネックとなり、駅利用者は、密集度が高い状況の中で、長い時間の滞留とともに避難に時間を要する。
- (2) 火災発生後に到着した列車からの降車客が、改札口に向けて一斉に避難することにより、多数の煙暴露者や天井熱気流下歩行者が発生する。

【検討事項】

以上の課題を踏まえると、火災時には駅員等による適切な避難誘導方策が行われることが不可欠である。そのためには、次に示す事項についての検討を行う必要がある。

- (1) 危険な場所にいる人を優先した段階的避難（一斉避難の抑制）
- (2) 安全な場所での一時待機
- (3) 列車の運行制御による新たな改札内への流入者の抑止
- (4) ボトルネック箇所の安全化

2 二次災害に関する課題等

【課題】

- (1) 滞留の発生等により、駅利用者が整然と避難できない状況が発生した場合には、火災や煙等の状況によってはパニックが発生し、二次災害が発生する可能性がある。
- (2) 火災の延焼拡大の状況によっては、駅構内に充満した煙に暴露される避難者が多数発生する可能性がある。

【検討事項】

二次災害による被害規模を考えると、まず第一に火災の発生そのものを確実に抑えることが重要である。出火防止、延焼拡大防止を念頭に置き、次に示す事項について検討を行う必要がある。

- (1) 可燃物の適正管理、火気設備の維持管理
- (2) コンコースでの仮設店舗設置を抑制

- (3) 初期消火対策の充実
- (4) 煙を排除するための排煙設備の設置

3 その他

今回のシミュレーションにおいては表現をしていない項目であるが、以下の項目についてもシミュレーション結果から推察して、避難対策上、検討すべきであると考えられる。

- (1) 改札口における新たな入場者の制止
- (2) 異なる歩行速度の者（高齢者、車いす利用者等）の存在による、滞留継続時間・滞留面積の変化
- (3) 避難客の流れに逆らっての行動を余儀なくされる、消防隊の活動障害