

トンネル換気の米国技術基準とその火災時の適用

4107008 井上大彰

4107016 大場正直

第一章 研究背景と目的

1.1 研究背景と目的



出典 国土交通省資料

現在国内ではリニアモーターカーの計画が進んでおり、地下鉄道での防火技術が改めて注目され始めている。最近世界でも鉄道整備に動き出しており、その方向性は多種多様である。その中で日本の鉄道技術がトップクラスであると言われているいま、防火技術の比較も必要と判断される。

本論では、高速鉄道の防火における米国基準に使用されている NFPA130 の内容をモデル化し検討を行う。

1.2 他国の鉄道整備への動き

表 1.2 他国の鉄道整備の例

イギリス	<ul style="list-style-type: none"> ・海峡連絡線で日本メーカーの車両 174 両を輸入。 ・老朽化した幹線高速鉄道車両を最大で約 1400 両更新する計画に付き、日本メーカーが優先交渉権を獲得。 ・ロンドン～ウエストミッドランド間の高速鉄道計画。
アメリカ	<ul style="list-style-type: none"> ・全米で 11 の高速鉄道計画。 ・高速鉄道等整備への合計 130 億ドルの予算充当を決定。
中国	<ul style="list-style-type: none"> ・2020 年までに 16000km の高速鉄道網の整備計画。 ・2009～2012 年まで、鉄道分野へ毎年 6000 億元以上の投資を計画。
ロシア	3 路線全長約 1500KM の高速鉄道計画(モスクワ～サンクトペテルブルク、ニジニーノヴゴロド～スモレンスク間)
インド	<ul style="list-style-type: none"> ・西回廊・東回廊全長約 2800km の貨物専用鉄道建設計画。 ・5 路線の高速鉄道計画。
ブラジル	<ul style="list-style-type: none"> ・約 500km の高速鉄道計画(リオデジャネイロ～カンピーナス間) ・現在入札実施の準備中。
アセアン諸国	<ul style="list-style-type: none"> ・ベトナムでの全長約 1600km の高速鉄道計画(ハノイ～ホーチミン間) ・都市鉄道の整備(ジャカルタ MRT、ハノイ都市鉄道等)

出典 国土交通省資料

第二章 研究対象

NFPA130, Standard for Fixed Guideway Transit and Passenger Rail Systems, 2010 Edition.

NFPAとは全米防火協会が定めている防火・安全設備および産業安全防止装置等についての規格で、現在約270規格を制定している。本論で研究対象としたNFPA130とは高速鉄道における防火上の安全に関する規格であり、2004年にはシンガポールの高速輸送システムMRTなどでも採用されている。

第三章 NFPA130 の検討

3.1 NFPA130 のまとめ

表 3.1.1 NFPA130 の換気に関する項目のまとめ

換気方式	縦流換気方式
騒音レベル	火災発生直後の騒音レベルは 115dB、残りの避難中は 92dB
気流速度	駅内や路線内の気流速度は 0.75m/sec 以上である。緊急避難や緊急隊員が使用する駅内や路線内の気流速度は 11.0m/sec 以下でなければならない。
煙による視認レベル	30m 離れた位置の照度が 80lx であり、10m 離れた位置の扉と壁が認識出来るものでなければならない。
排煙	天井の高さが 3m 以上の避難経路においては高さ 2m 以内の煙は除去すべきであり、モデリングメソッドの精度は 25% 以内であり、高さ 2.5m 以内の煙を除去する必要がある。
一酸化炭素含有量	*表-2
放射熱流による影響	放射熱流により体表面が耐える事のできる時間は、放射熱流 q が 2.5kW/m^2 以下であった場合、30 分以上の間耐えることができ、放射熱流 q がそれ以上であった場合 $T_a = 4q^{-1.35}$ (T_a = 時間(min) q = 放射熱流(kW/m^2)) の式によって求めることができる。
気温による限界避難時間	湿度 10% 未満であった場合、次の式を用い限界避難時間を求めることができる。 *十分な着衣量を満たしている場合 $T_b = (4.1 \times 108) \times t^{-3.61}$ *十分な着衣量を満たしていない場合 $T_c = (5.0 \times 107) \times t^{-3.4}$

表 3.1.2 火災発生から各時間における一酸化炭素濃度

火災発生時からの時間	一酸化炭素含有量
最初の数秒間	最大 2000ppm 以下
6 分間の平均	平均 1150ppm 以下
15 分間の平均	平均 450ppm 以下
30 分間の平均	平均 225ppm 以下
熱流にさらされた総時間の平均	平均 50ppm 以下

3.2 換気方式

3.2.1 国内の換気方式について

下の図はトンネル換気方式の種類を示したものである

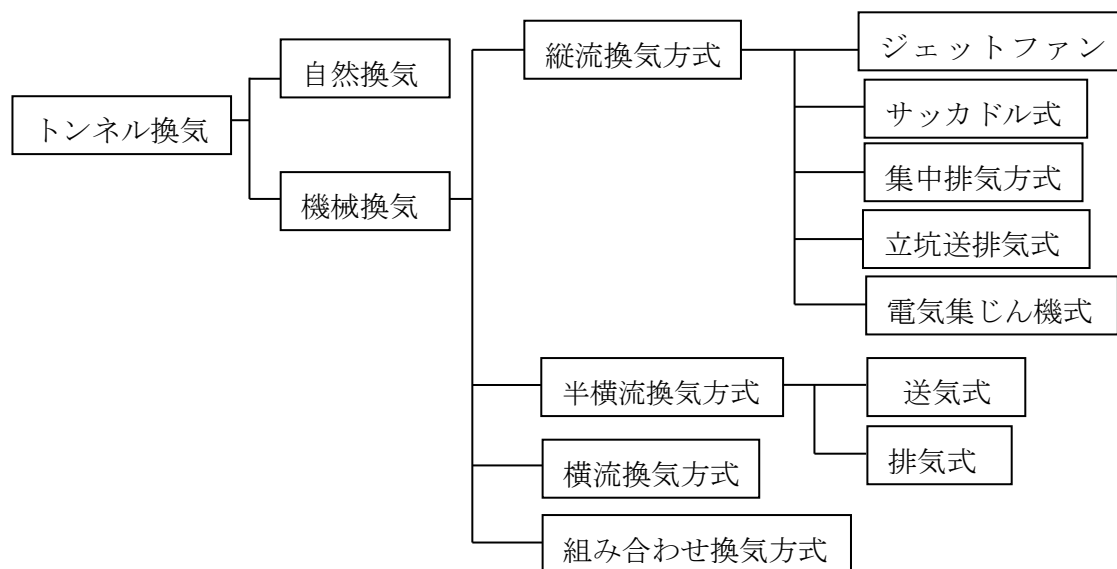


図 3.2.1.1 トンネル換気方式の種類

主な換気方式を以下に示す。

・縦流換気方式

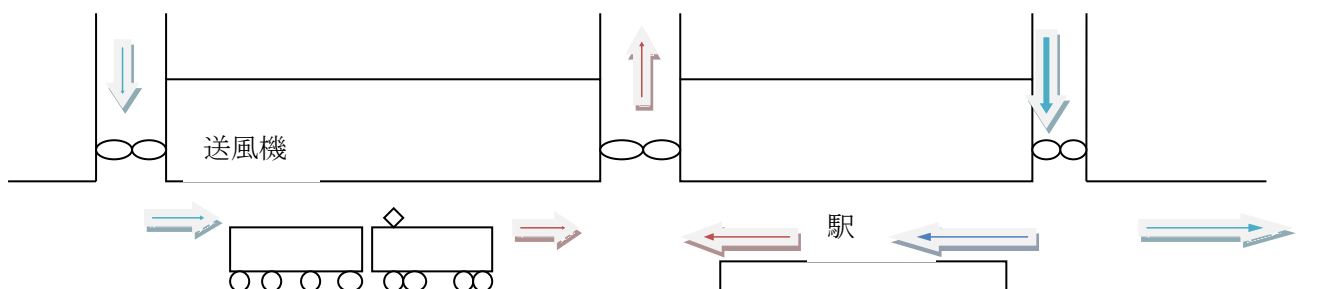


図 3.2.1.2 縦流換気方式の概略図

縦流換気方式はトンネルの出入口や中間の立坑（地下鉄の場合は駅の端）に送風機を置き、トンネル内部の車両の進行方向と同じ方向へ向けて送風して換気を行う方式である。

この方式では送風機を利用して強制的に空気を出し入れすることから内部の車両の動きに関わらず換気を行うことができ、深部のトンネルでも適用が可能である。

しかし、この方式では駅やトンネル中間部に換気口を設ける場合給気用と排気用両方の換気塔や送風機を設置する必要がある（排気した量と同じ量を必ず給気する必要がある）ことから、広大な用地が必要であるなどエネルギーの消費量が多くなるという欠点がある。

また、トンネル内の車両の走行方向が一定しない場合（単線や複線が1つのトンネルに収まる場合）では車両が起こす風により十分な換気量が確保できない場合もある。そのため、この換気方式は大都市の上下線が独立したトンネルで建設された地下鉄で多く採用されている。総武快速線総武トンネル・横須賀線東京トンネルや京葉線新東京トンネルもほとんどの区間でこの換気方式を採用している。また、山岳部を通る道路トンネルでも若干採用例がある。

・ 中間換気方式

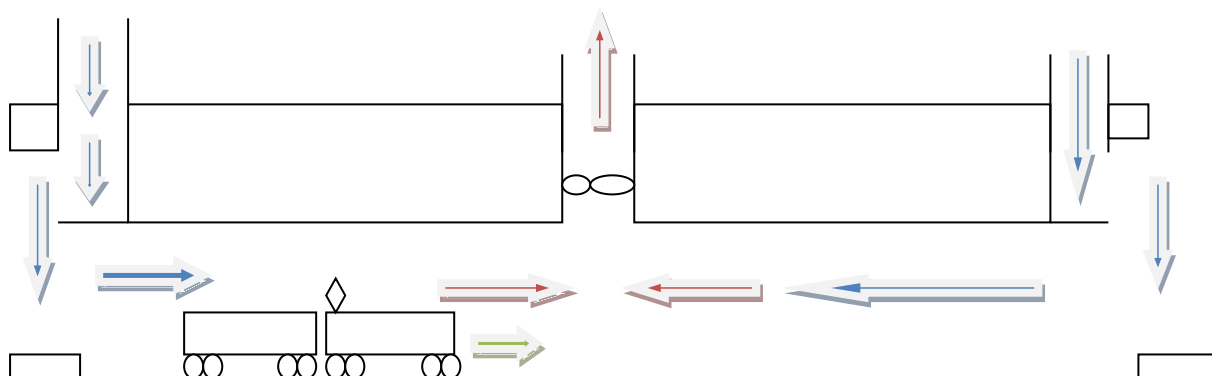


図 3.2.1.3 中間換気方式の概略図

中間換気方式はトンネル両端（駅）と中間部の換気口に設けた送風機で換気を行うことから縦流換気方式の類型といえるが、トンネル中間部の換気口を排気専用、トンネル両端の換気口を給気専用として利用する点が異なる。この方式では中間換気所から出口側で車両の走行方向に逆らって換気を行うため換気量が若干減少する欠点があるが、一方で中間換気所・トンネル両端に設置される換気口はそれぞれ排気と給気いずれか片方の機能だけ持っていれば済むため、換気塔のサイズが小さくできる利点を持つ。また、駅を給気口として利用する場合では地上出入口を換気口代わりに利用することが可能であるため送風機や換気塔が不要となることもある。

このため、中間換気方式は換気塔用地の取得に莫大な費用がかかる大都市部の地下鉄で多く利用されている。JR 東西線では大阪城北詰～加島間の駅間トンネルでこの換気方式を採用している。また、山岳部の道路トンネルではトンネル中間部に煙突状の排気口を設置して両端の坑口から取り込んだ空気をまとめて排気することがよくあるが、これも中間換気方式の1つと見なす事が出来る。

3.2.2 NFPA130 で推奨されている換気方式について

表 3.2.2 NFPA130 で推奨されている換気方式の概要

目的	乗客、従業員、消防隊員を非常時の火災、煙から保護する。
設置条件	・ 地下鉄内の駅 ・ 305m以上のトンネル
非設置条件	・ 地下鉄外の駅 ・ 61m未満の地下鉄路線
ピストン換気が非常用換気として認められる条件	・ 61～305mの長さの地下鉄路線 ・ 工学的な分析によってピストン換気が非常換気として機能する事が明らかになった場合。

また、トンネル換気は駅間のトンネルの長さに沿った坑により行われる。もし必要であるなら、駅の両端に送風口を設け、トンネル中央部に排気坑を設けるものとする。もしくは駅の両端に排気坑を設け、トンネル中央部に送風口を設ける。駅端にあるシャフトの構成は、駅内の列車のピストン換気効果を保護することを考慮し、駅の形と関係付けて設計すべきである。また、この坑はピストン換気、駅の形状などを考慮し、設計されるべきである。

3.3 騒音レベル

NFPA130 に「火災発生時直後の騒音レベルは最高 115dB、残りの避難中は最高 92dB 以下であること。」と記載されている。

表 3.3.1 騒音レベルの例

騒音の程度	騒音レベル	騒音の程度例
会話不可能	120dB	最大可聴値、航空機のエンジン近く、騒音の激しい地下鉄の駅
	110dB	工場サイレンの近く
	100dB	列車が通過する時の高架下、地下鉄車内、電車の駅
	90dB	機械作業場、空調機械室、印刷工場内
会話困難	80dB	交差点、マーケット、国道
会話に少し大きな声が必要	70dB	劇場、百貨店、銀行のロビー、騒がしい事務所
楽に会話ができる	60dB	レストラン、大きな商店、ホテルのロビー

この表から、80dB 以上では会話が困難または不能になることから、NFPA130 の規定の上限値に設定されている場合、避難誘導の声が聞き取れないなどの問題が生じ、避難時間に影響してくると思われる。

3.4 一酸化炭素含有量

一般に一酸化濃度 1% の場合、2～3 分で失神し、10～20 分で死亡するといわれる。

表 3.4.1 NFPA130 に記載された一酸化炭素含有量の基準

期間	一酸化炭素含有量
火災発生時からの数秒間	最大 2000ppm
6 分間の平均	平均 1500ppm
15 分間の平均	平均 1150ppm
30 分間の平均	平均 450ppm
熱流にさらされた総時間の平均	平均 50ppm

表 3.4.2 一酸化炭素含有量と致死量の関係

期間	一酸化炭素含有量
短時間のばく露で致死	13000ppm
30 分のばく露で致死	4000ppm
30 分～1 時間のばく露で危険	1500ppm～2000ppm
1 時間以上ばく露で安全	400ppm～500ppm

参照；東京法令出版 火災と消火の理論と応用 社団法人日本火災学会監修

これにより NFPA130 の規定では最大でも 2000ppm の一酸化炭素含有量になるので最低でも 30 分～1 時間の間に避難する事が出来れば安全であることが分かる。

3.5 放射熱流による影響

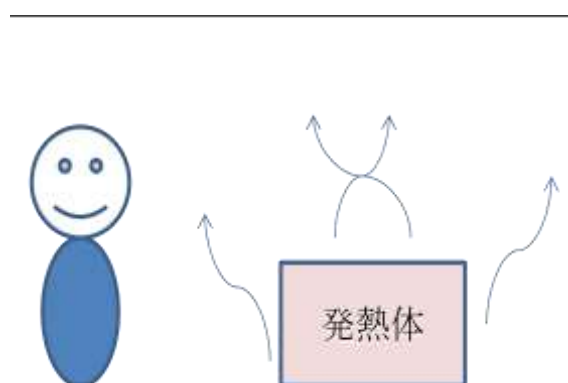


図 3.5.1 発熱体と避難者

放射熱流により体表面が耐える事の出来る時間は、放射熱流 q が 2.5kW/m^2 以下であった場合、30 分以上の間耐えることができ、放射熱流 q がそれ以上であった場合、

$$T_a = 4q^{-1.35}$$

(T_a =時間(min) q =放射熱流(kW/m^2))
の式によって計算することが出来る。

また本論では発熱体の発熱速度を 35MW と仮定し、放射による影響を検討する。

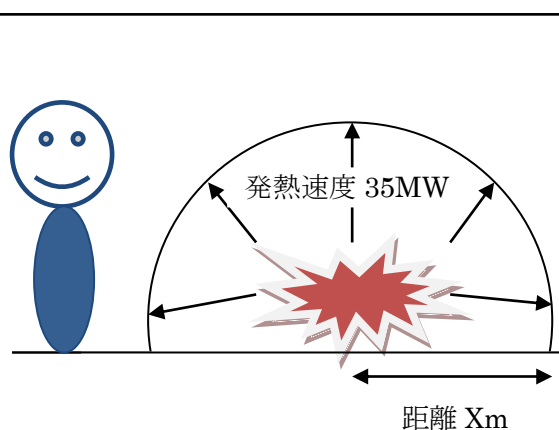


図 3.5.2 放射熱流の広がり方

発熱速度 35MW の放射熱流が半円球状に広がっていくものと仮定し、距離 X_m にいる人が安全であるような値を求める。

また対流:放射:伝導の割合を $7:3:0$ と仮定し計算を行う。

以上のようにして距離 X_m にいる避難者の放射による影響を求めると表 3-6-1 となる。

表 3.5.1 距離 X_m における放射熱流と限界避難時間

距離 X m	10	20	25.8
放射熱流 (kW/m^2)	16.71	4.18	2.5
限界時間 T_a (min)	0.08	0.58	30 分以上

発熱量が 35MW であった場合、 25.8m 以上離れていれば放射熱流による影響は 30 分以上耐える事が出来る。

その一方で 25m 以内での限界避難時間は非常に短く、火源からの速やかな避難が求められる。

3.6 気温による限界避難時間

次に本論では気温による影響を考える。NFPA130 より次の式により気温と避難時間の関係を導く事が出来る。



*十分な着衣量を満たしている場合

$$Tb = (4.1 \times 10^8) \times t^{-3.61}$$

*十分な着衣量を満たしていない場合

$$Tc = (5.0 \times 10^7) \times t^{-3.4}$$

(Tb=時間(min) Tc=時間(min) t=温度(°C))
の式を用いて求めることができ、数分以内でやけどを生じ伴う痛みを考慮し、温度の限界を 120°C としている。

また以上の式を用いて30°C～120°Cまでの気温における限界避難時間を求めると、表3.6.1となる。

表3.6.1 温度と限界時間の関係表

t (°C)	Tb (min)	Tc (min)	t	Tb	Tc
120	12.8	4.2	70	89.5	26.6
110	17.5	5.7	60	156.2	45
100	27.7	7.9	50	301.6	83.7
90	36.1	11.3	40	675.1	178.6
80	55.3	16.9	30	1907.1	475

着衣量を十分に満たしている場合と、満たしていない場合では約3倍以上もの差があり、着衣量の差は避難時間に十分に影響しうる。また温度が低くなる程、限界時間は急激に長くなり高温の空間から速やかに避難することが求められる。

第四章 NFPA130 におけるトンネル火災対策のモデル化

4.1 想定する車両火災

「鉄道車両の実大火災実験調査研究」および、「鉄道車両の火災対策研究」で行われた燃焼実験により、図-1 の発熱速度を想定したモデル火災とする。

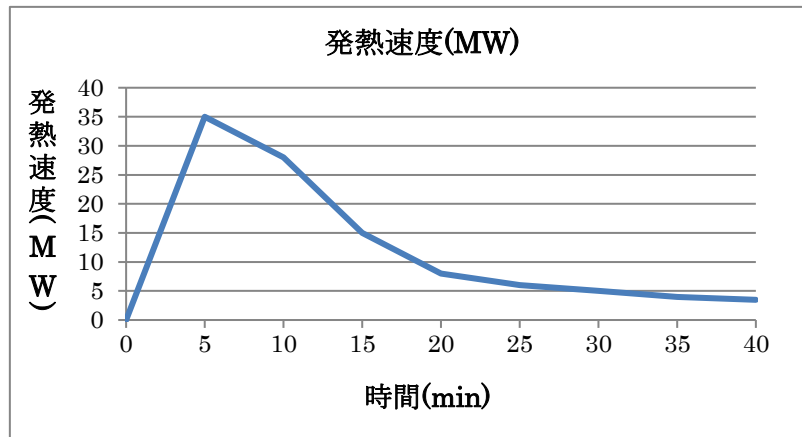


図 4.1 対象とする車両の発熱速度

燃焼実験を行った車両データ、本論で仮定する出火地点や避難方法を以下に記載する。

4.1.1 車両概要

形状…長さ 18m、幅 2.8m、高さ 3m

編成…8 両編成、全長 144m

車両間出入り口幅…1.1m

座席…幅 0.44m、奥行き 0.57m、座席数 40 席

(材質ポリウレタンフォーム、210kg、カバーシート textile)

車両の材質…アルミニウム製車両

4.1.2 トンネル概要

形状…高さ 6.5m、幅 7.9m、断面積 48 m² (北陸トンネルの形状を参考)

4.1.3 出火地点

本論ではまず煙による被害を考える為、避難方向とは逆方向に換気を行う。出火地点は列車の後部車両 8 両目内部の最後尾とし、先頭車両 1 両目から避難するものとする。

本論では乗客者全員が避難するのに一番時間がかかると思われるモデルを考えた。

4.1.4 トンネル火災概要図

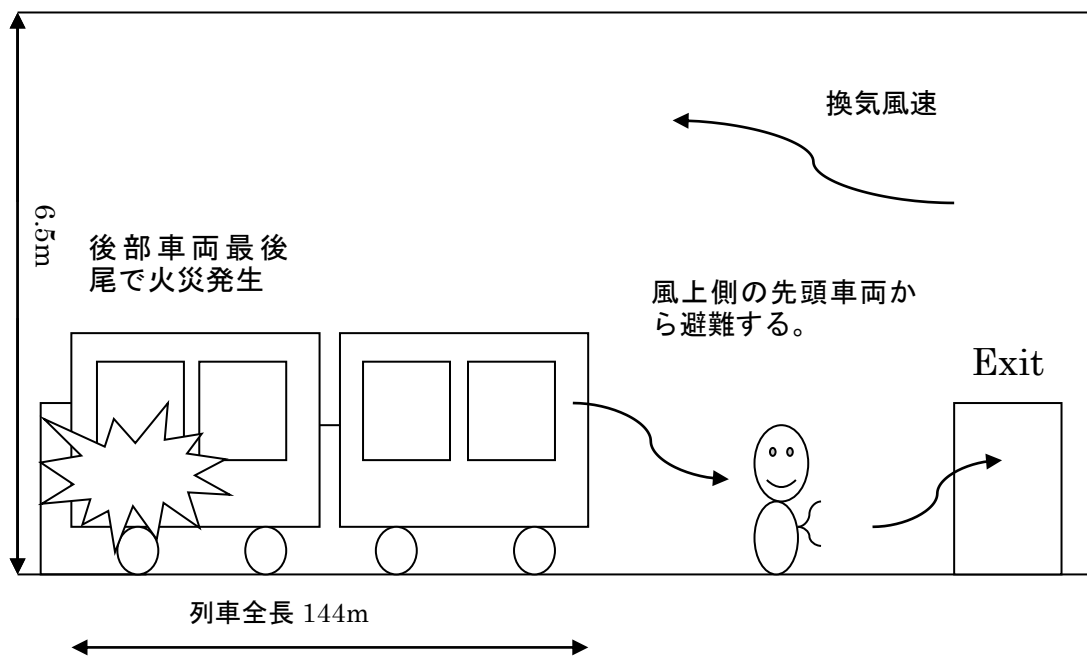


図 4.1.4 火源からの避難図

4-2 煙による影響

4-1 で想定した火災モデルにおいての煙による影響を考える。煙による影響を考えていく為以下式を用いる。

4.2.1 遡上阻止風速

$$V_c = (gHQ / \rho C_p A T_0)^{1/3}$$

g: 重力加速度(m/s²)

H: トンネル高さ(m)

Q: 発熱速度(kW)

ρ : 密度(kg/m³)

C_p: 定圧比熱

A: トンネル断面積(m²)

T₀: 入口付近の温度(K)

遡上阻止風速とは、火災事故発生時にその位置を基準として、風下側に対しては、火災もしくは高温煙層の被害に遭わないように、また風上側に避難経路の確保や消火・救援活動を支援するための空間を作り出すために、煙・ガスを伴った高温熱気流の遡上を阻止のために供給される換気風速で、縦流換気方式を採用していることが前提となる。

4.2.2 煙による影響

4.2.1 の遡上阻止風速の式を用いて、避難側に煙が広がらない状況を考える。

g : 重力加速度(m/s^2) $=9.8 \text{ m/s}^2$

H : トンネル高さ(m) $=6.5 \text{ m}$ (仮定より)

Q : 発熱速度(kW) $=35000 \text{ kW}$ (kJ/s)(発熱量のグラフの最大値)

ρ : 密度(kg/m^3) $=1.293 \text{ kg/m}^3$ (空気密度)

C_p : 定圧比熱 $=1.007 \text{ kJ/kg.K}$ (空気の定圧比熱)

A : トンネル断面積(m^2) $=33.1 \text{ m}^2$ (仮定より)

T_0 : 入口付近の温度(K) $=293\text{K}$ (仮定より)

として計算を行う。

$$V_c = (gHQ / \rho C_p A T_0)^{1/3}$$

$$V_c = (9.8 \times 6.5 \times 35000 / 1.293 \times 1.007 \times 33.1 \times 293)^{1/3}$$

$$\doteq 5.0 \text{ m/s}$$

また NFPA130 より気流速度 $0.75\text{m/s} \sim 11.0\text{m/s}$ に保つ事が推奨され、遡上阻止風速を 11.0m/s と仮定し発熱量を逆算すると、

$$11.0 = (9.8 \times 6.5 \times Q / 1.293 \times 1.007 \times 33.1 \times 293)^{1/3}$$

$$Q \doteq 382.63 \text{ MW}$$

以上より最大の風速で換気をする場合、本論で仮定した 35MW の約 11 倍の発熱量まで煙の遡上を阻止する事ができ、最大発熱速度に達するまでに換気機器を十分に作動させる事が出来れば煙による被害は少ないことが分かる。

しかし、実際 11.0m/s の気流速度内では歩くことすら厳しく、乗客の避難を考慮した風速にするべきであり、NFPA130 の許容範囲が広めに設定されているように見えた。

4.3 放射による影響

4.3.1 天井面付近の温度

本論では温められた天井面からの放射による影響を考える。発熱体から直接受ける放射については3.5で検討している。

天井面の温度は文献“Propagation and Development of Temperature from Tests with Railway and Road Vehicles –Comparison between Test Data and Temperature Time Curves of Regulations.”に記載されたトンネル天井近傍の最高到達温度のグラフ(図4.3.1)の発熱量を逆算し、図4.1の発熱速度を発した場合に変換したものを扱う。

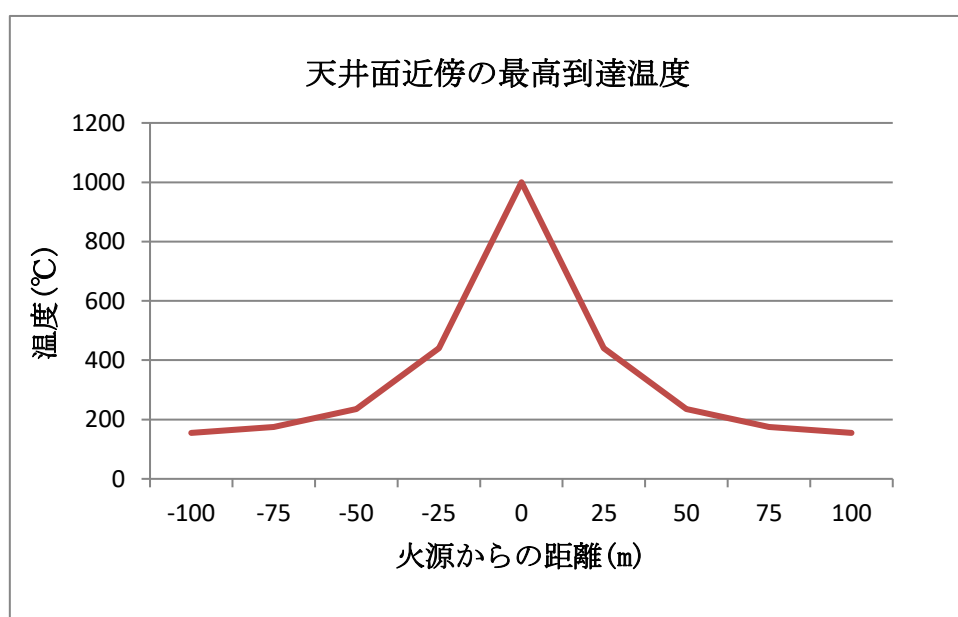


図 4.3.1 天井面の最高到達温度

また以下の式を用いて、“Propagation and Development of Temperature from Tests with Railway and Road Vehicles –Comparison between Test Data and Temperature Time Curves of Regulations.”で行われた燃焼実験で発した発熱量を予測する。

天井下の気流最高温度の予測式

$r > 0.18H$ のとき

$$T_{\max} - T_0 = 5.38 (Q/r)^{2/3} / H$$

$r \leq 0.18H$ のとき

$$T_{\max} - T_0 = 16.9 Q^{2/3} / H^{5/3}$$

T_{\max} = 気流最高温度(K)

T_0 = 周囲空気温度(K)

Q = 発熱速度(kW)

r = 気流軸からの水平距離(m)

H = 天井高さ(m)

の式を用いて発熱量を予測する。

また、

T_{\max} = 気流最高温度(K) = 1273(K)

T_0 = 周囲空気温度(K) = 293(K)

H = 天井高さ(m) = 6.5m

として計算を行う。

$$T_{\max} - T_0 = 16.9 Q^{2/3} / H^{5/3}$$

$$1273 - 293 = 16.9 \times Q^{2/3} / (6.5)^{5/3}$$

$$Q = 31.33 \text{ MW}$$

となり、文献“Propagation and Development of Temperature from Tests with Railway and Road Vehicles –Comparison between Test Data and Temperature Time Curves of Regulations.の燃焼実験では 31.11MW の発熱速度を発生していたと予測できる。

また図 4.3.1 天井面の最高到達温度のグラフを図 4.1 の発熱速度を発生した場合に変換し、本論の条件下での天井面近傍の最高到達温度を求める(図 4.3.2)。また 35MW を発生した時に、天井面近傍の温度が最大となるものと仮定する。

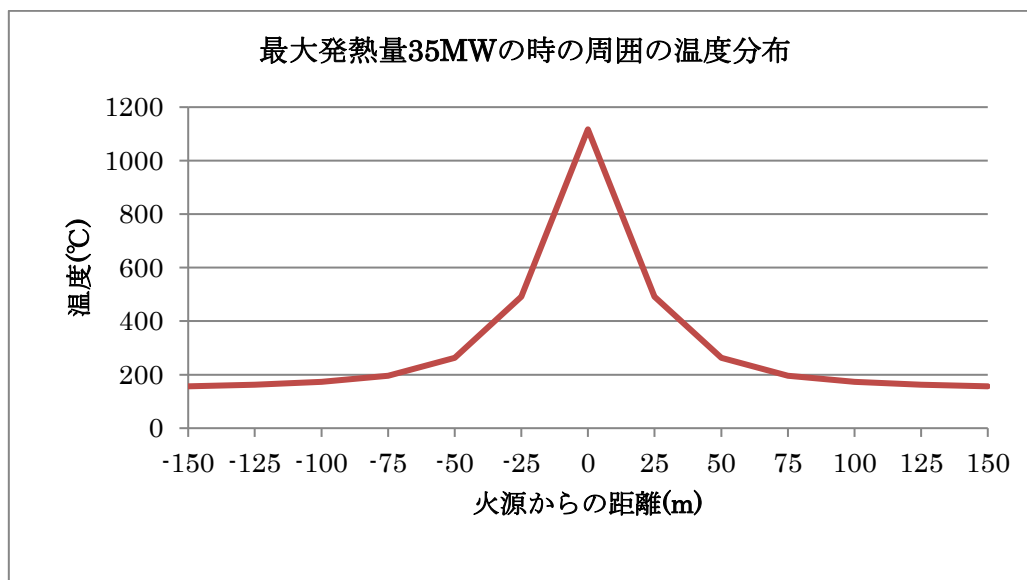


図 4.3.2 本論での条件下での天井面近傍の最高到達温度

また火災発生時から最大発熱速度 35MW に達するまで 5 分間 1 分ごとの温度分布を求めると図 4.3.3 となる。

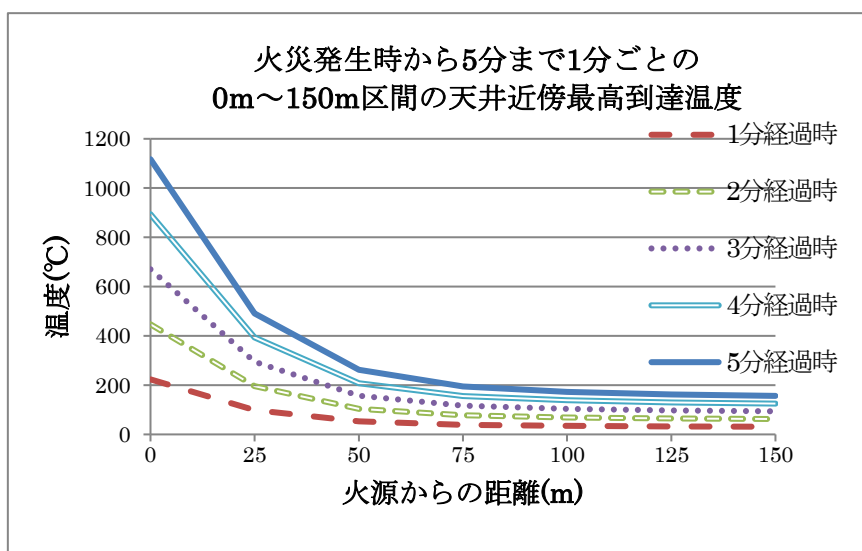


図 4.3.3 火災発生時から 5 分まで 1 分ごとの天井面近傍最高到達温度

本論では図 4.3.3 のグラフを用いて、放射熱流による影響を考える。

4.3.2 列車外部での影響

まず列車外部における放射による影響を考える。図 4.3.3 の天井面の温度からの放射熱流を以下の式を用いて求める。

ステファン・ボルツマンの式

$$E = \varepsilon \sigma_b (T/100)^4 \quad \text{kcal/m}^2\text{h}$$

E: 放射熱 (kcal/m²h)

ε: 物体の放射率 = 今回は安全側を考慮し 1 と仮定する。

σ_b: 黒対放射常数 = 4.876 kcal/m²h

T: 絶対温度 (K)

以上の式により 1 分、2 分、3 分、4 分、5 分の 1m~150m 区間における放射熱流を求める(表 4.3.1)。

表 4.3.1 図 4.3.3 の天井面から放出される放射熱流 (kW/m²)

火源からの距離(m)	0m	25m	50m	75m	100m	125m	150m
1 分後	3.46	1.08	0.64	0.54	0.51	0.5	0.49
2 分後	15.29	2.77	1.15	0.87	0.78	0.74	0.72
3 分後	45.06	5.91	1.96	1.32	1.15	1.07	1.03
4 分後	105.45	11.22	3.05	1.94	1.63	1.5	1.43
5 分後	212.5	19.45	4.68	2.74	2.26	2.04	1.94

また NFPA130 に

「放射熱流により体表面が耐える事のできる時間は、放射熱流 q が 2.5kW/m² 以下であった場合、30 分以上の間耐えることができ、放射熱流 q がそれ以上であった場合

$$T_a = 4q^{-1.35} \quad (T_a = \text{時間(min)} \quad q = \text{放射熱流(kW/m}^2))$$

の式によって求めることができる。」

と記載されており、放射熱流が 2.5kW/m² 以上になる時間を求めると、

- 1 分後 放射熱流 2.5kW/m^2 以上にはならない。
- 2 分後 出火地点から 27.8m 以内の範囲で放射熱流 2.5kW/m^2 以上。
- 3 分後 出火地点から 46.6m 以内の範囲で放射熱流 2.5kW/m^2 以上。
- 4 分後 出火地点から 62.4m 以内の範囲で放射熱流 2.5kW/m^2 以上。
- 5 分後 出火地点から 87.5m 以内の範囲で放射熱流 2.5kW/m^2 以上。

となる。また 3-6 より放射熱流 2.5kW/m^2 以上の範囲では放射に耐えられる時間は非常に短く、歩行者の避難速度を 1.0m/s と仮定しても列車最後尾の乗客者が 2 分後に最後尾から 27.8m の位置に避難することは不可能である。

以上より列車外に出て避難する事は非常に危険であり、また放射熱流が時間と共に急激に増える事から、火源からの速やかな避難が求められる。

4.3.3 列車内部での放射による影響

次に本論では列車内部での放射による影響を考える。4.1.3 の出火地点で仮定したが、8両目の最後尾から出火し、乗客者は列車内を移動し先頭車両の1番前からの出口から列車外に避難するものとする。また表 4.3.1 の列車外部での放射による影響より、先頭車両を出てからの放射熱流は非常に小さく、安全であるものとし、列車天井面を通過して乗客に届く放射熱流は微量な為無視するものとする。

4.3.3.1 列車接合部ホロへの着火

列車天井面を通過する放射は微量だと考えられる為無視するが、列車接合部ホロは放射による影響を受けると考えられるので、本論では列車接合部ホロへの着火に着目して乗客の避難を考える。

今回接続部ホロの素材をクロロプレングムと仮定し、限界放射量を $5.8(\text{kW}/\text{m}^2)$ とする。
(膜材料の防火性能に関する研究 建築省建築研究所 1985 年)

表 4.3.1 より放射熱流が接合部ホロの限界放射量 $5.8 \text{ W}/\text{m}^2$ に達する火源からの距離と、ホロの着火をまとめると表 4.3.3.1 となる。

表 4.3.3.1 火災発生時から 5 分まで 1 分毎の時間と接合部ホロの着火の関係

火災発生時からの経過時間	放射熱流が $5.8 \text{ W}/\text{m}^2$ となる地点	着火する接合部ホロ。
1 分後	放射熱流が $5.8 \text{ W}/\text{m}^2$ には達しない。	着火する接合部なし。
2 分後	18.95m	8 両目と 7 両目間の接合部が着火
3 分後	25.7m	8 両目と 7 両目間の接合部が着火
4 分後	41.58m	8 両目から 6 両目間の接合部が着火
5 分後	48.1m	8 両目から 6 両目間の接合部が着火

乗客が安全に避難する為には接合部ホロが着火する前に次の車両に避難する必要がある為、次に乗客の避難速度を考慮し接合部の着火と乗客の位置関係を求めていく。

4.3.3.2 乗客者の避難速度

乗客の避難時間を求める上での仮定を以下に示す。

1m²に存在できる最大の人数 8人/m²

貫通扉の幅 1100mm

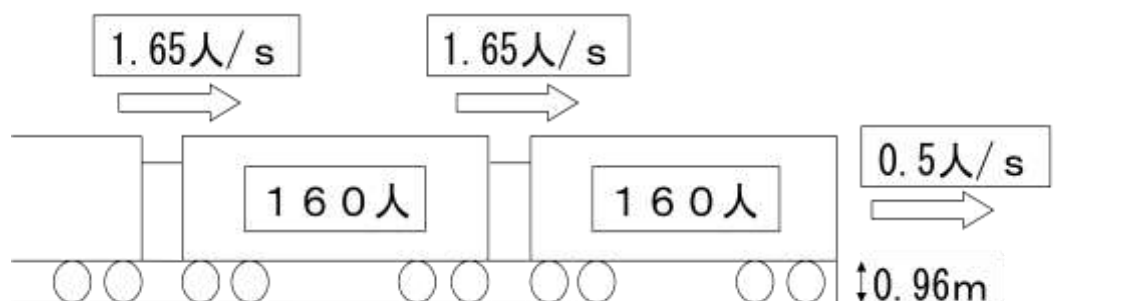
避難梯子の長さ 0.96m

梯子上での移動速度 0.48m/s

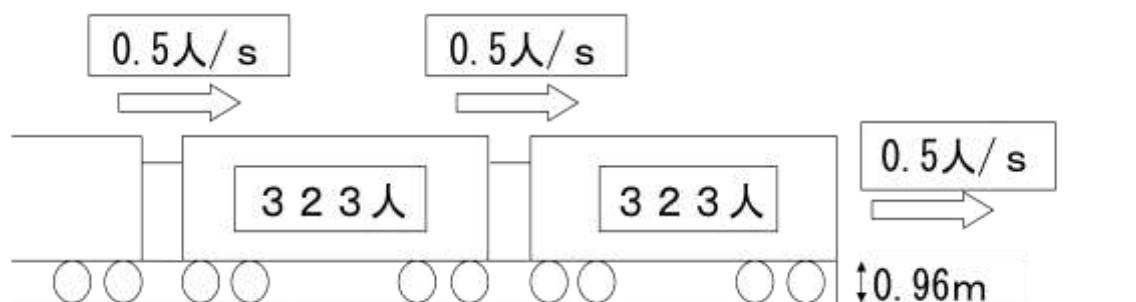
$8 \text{ 人/m}^2 \times 40.37 \text{ m}^2 \div 323 \text{ 人}$ (車両床面積: 40.37m²) 一車両に最大 323 人乗れるものとする。
 $0.96\text{m} \div 0.48\text{m/s} = 2\text{s}$ よって、先頭車両からの排出人数は 0.5 人/s とする。

避難は全員、最後尾の車両の一番後ろのドアからはしごで一人ずつ降りるものとする。
各時間における避難者最後尾位置は、以下の図に示す通り列車間の流動よりも列車最後尾での流動が遅いので、ある時から各車両飽和状態になり、ところてん方式で各車両最大 323 人存在でき最後尾から 0.5 人/s で排出される状態になるとして計算を行った。

初期状態



飽和状態



定員の決定方法

『JIS E 7103 通勤用電車—車体設計通則』を以下に示し、これを用いて定員を決定する。

乗客定員＝座席定員と立席定員の和

座席定員＝車両内の腰掛幅を乗客一人当りの占める幅で割った値を採用。メーカー、事業者間等で幅を定めない場合は幅の数字は430mmを使用することとしている。

立席定員＝腰掛用座席の面積と腰掛前の一定幅(250mm)を除いた客室内の床面積のうち、幅が550mm以上、高さが1900mm以上の部分を人の立つ空間として計算の対象とし、それを乗客一人当りの占める床面積で割った際の整数値を採用。メーカー、事業者間等で一人あたりが占める広さを定めていない場合は0.3平方メートルを使用することとしている。
参照 加藤浩徳「都市鉄道の混雑率の測定法」『第3回 鉄道整備等基礎調査報告シンポジウム』 運輸政策研究機構 2005年3月14日

これに従い定員と混雑時の人数を決定する。

車両；長さ18000mm×幅2800mm＝50400000mm²

座席；幅440mm×(奥行き570mm+250mm)×40席＝14432000mm²

50400000mm²－14432000mm²＝35968000mm²

35968000mm²÷300000mm²/人＝120人

座席定員＋立席定員＝乗客定員

120人＋40人＝160人を定員とする。

この定員について、定員時と混雑率171%時で計算を行う。

定員時 160人

混雑時 274人

避難時間の計算

歩行速度 ; $v = 1.5 / \rho$

v ; 群衆歩行速度 (m/s)

ρ ; 群衆密度 (人/ m²)

$$T = N / 1.5B$$

T ; 避難時間 (sec)

N ; 居室の避難対象人数 (人)

B ; 出入り口 (m)

この式の両方の式で避難時間を計算し、大きいほうの値を各車両からの避難時間とする。

混雑時

各車両 274 人存在している場合

$$\rho = 274 \text{ 人} \div 40.368 \text{ m}^2 = 6.79 \text{ 人/ m}^2$$

$$v = 1.5 / 6.79 = 0.221 \text{ m/s}$$

歩行速度による避難時間 ; $s = 18 \text{ m} \div 0.221 \text{ m/s} = 81.45 \text{ s} = 1.36 \text{ min}$

$$\begin{aligned} \text{滞留による避難時間 ; } T &= 274 \text{ 人} / (1.5 \cdot 1.1 \text{ m}) \\ &= 166.01 \text{ s} = 2.77 \text{ min} > 1.36 \text{ min} \end{aligned}$$

出火列車からの避難完了時間

2.77min

列車からの避難時間

$$274 \text{ 人} \div 166.01 \text{ s} = 1.65 \text{ 人/s}$$

x を未知数として一車両が 323 人に達するまでの時間を算出

$$323 = 274 + 1.65x - 0.5x$$

$$1.15x = 49$$

$$x = 42.61 \text{ sec}$$

42.61s 時点で 8 両目が満員

列車からの避難者数 21.31 人

85.22s 時点で 7 両目が満員

列車からの避難者数 42.61 人

127.83s 時点で 6 両目が満員

列車からの避難者数 63.92 人

170.44s 時点で 5 両目が満員

列車からの避難者数 85.22 人

213.05s 時点で 4 両目が満員

列車からの避難者数 106.53 人

255.66s 時点で 3 両目が満員

列車からの避難者数 127.83 人

この時点で二両目に 126.17 人存在し、ここからの排出は最後尾の梯子からのみを考慮する。

$274 \text{ 人} \times 8 \text{ 両} = 2192 \text{ 人}$

$2192 - 127.83 = 2064.17 \text{ 人}$

$2064.17 \text{ 人} \div 0.5 \text{ 人/s} = 4128.34 \text{ s}$

$255.66 + 4128.34 = 4384 \text{ s} = 73.07 \text{ min}$

列車からの避難完了時間

73.07min

ここからは 5 分まで 1 分毎の避難者最後尾位置を求める。

一分後

$0.221 \times 60 = 13.26 \text{ m}$ の位置

二分後

$274 - 1.65 \times 60 = 175$

18m 位置で 175 人滞留

三分後

$0.221 \times (180 - 166.01) = 3.09 \text{ m}$

$18 + 3.09 = 21.09 \text{ m}$

四分後

$0.221 \times (240 - 166.01) = 16.35 \text{ m}$

$18 + 16.35 = 34.35$

五分後

255.66 s の時点で全部が詰まる状態になるので

二両目と三両目の位置

$300 - 255.66 = 44.34$

$0.5 \times 44.34 = 22.17$

$126.17 - 22.17 = 104$

36m 地点で 104 人滞留

定員時

各車両 160 人

$$\rho = 160 \text{ 人} \div 40.368 \text{ m}^2 = 3.964 \text{ 人/ m}^2$$

$$v = 1.5/3.964 = 0.378 \text{ m/s}$$

歩行速度による避難時間 ; $s = 18 \text{ m} \div 0.378 \text{ m/s} = 47.62 \text{ s}$

$$\begin{aligned} \text{滞留による避難時間 ; } T &= 160 \text{ 人} / (1.5 \cdot 1.1) \text{ m} \\ &= 96.97 \text{ s} = 1.62 \text{ min} > 47.62 \text{ s} \end{aligned}$$

出火列車からの避難完了時間

1.62min

列車からの避難時間

$$160 \text{ 人} \div 96.97 \text{ s} = 1.65 \text{ 人/ s}$$

x を未知数として一車両が 323 人に達するまでの時間を算出

$$323 = 160 + 1.65x - 0.5x$$

$$1.15x = 163$$

$$x = 141.74 \text{ sec}$$

141.74 s 時点で 8 両目が満員

列車からの避難者数 70.87 人

283.48 s 時点で 7 両目が満員

列車からの避難者数 141.74 人

425.22 s 時点で 6 両目が満員

列車からの避難者数 212.61 人

この時点で 5 両目に 98.39 人存在し、ここからの排出は最後尾の梯子からのみを考慮する。

$$160 \text{ 人} \times 8 \text{ 両} = 1280 \text{ 人}$$

$$1280 - 212.61 = 1067.39 \text{ 人}$$

$$1067.39 \text{ 人} \div 0.5 \text{ 人/ s} = 2134.78 \text{ s}$$

$$425.22 + 2134.78 = 2560 \text{ s} = 42.67 \text{ min}$$

ここからは5分まで1分毎の避難者最後尾位置を求めていく

一分後

$$0.378 \times 60 = 22.68\text{m} > 18\text{m}$$

$$160 - (1.65 \times 60) = 61$$

よって 18m 地点で 61 人滞留中

二分後

$$0.378 \times (120 - 96.97) = 8.71\text{m}$$

$$18 + 8.71 = 26.71\text{m}$$

三分後

$$0.378 \times (180 - 96.97) = 31.39\text{m} > 18\text{m}$$

$$160 - 1.65 \times (180 - 96.97) = 23$$

よって 36m 地点で 23 人滞留中

四分後

$$0.378 \times (240 - 96.97 \cdot 2) = 17.41\text{m}$$

$$36 + 17.41 = 53.41\text{m}$$

五分後

$$0.378 \times (300 - 96.97 \cdot 3) = 3.44\text{m}$$

$$54 + 3.44 = 57.44\text{m}$$

ここまでの結果を以下の表に示す。

表 3.3.2 5分まで1分毎の最後尾にいる乗客者の避難距離

経過時間	混雑時の避難者の最後尾位置	定員時の避難者の最後尾位置
1分後	火源から 13.3m の位置まで避難 (8両目)	8両目と7両目の接続部で滞留。 (8両目)
2分後	8両目から7両目の移動で滞留。 (8両目)	火源から 26.7m の位置まで避難。 (7両目)
3分後	火源から 21.0m の位置まで避難。 (7両目)	7両目と6両目の接続部で滞留。 (7両目)
4分後	火源から 34.4m の位置まで避難。 (7両目)	火源から 53.4m の位置まで避難。 (6両目)
5分後	7両目と6両目の接続部で滞留。 (7両目)	火源から 57.4m の位置まで避難。 (5両目)

4.3.3.3 列車内部での乗客避難

乗客の避難速度と接合部ホロの着火する位置関係をまとめると表 4.3.3.3、図 4.3.3.3 となる。

表 4.3.3.3 乗客の避難速度と着火するホロとの位置関係

火災発生時からの経過時間	定員時の乗客の最後尾位置	混雑時の定員の最後尾位置	着火する接合部
1分後	8両目と7両目の接続部で滞留。	火源から13.3mの位置まで避難。	着火する接合部なし。
2分後	火源から26.7mの位置まで避難。	8両目から7両目の移動で滞留。	8両目と7両目間の接合部が着火
3分後	7両目と6両目の接続部で滞留。	火源から21.0mの位置まで避難。	8両目と7両目間の接合部が着火
4分後	火源から53.4mの位置まで避難。	火源から34.4mの位置まで避難。	8両目から6両目間の接合部が着火
5分後	火源から57.4mの位置まで避難。	7両目と6両目の接続部で滞留。	8両目から6両目間の接合部が着火

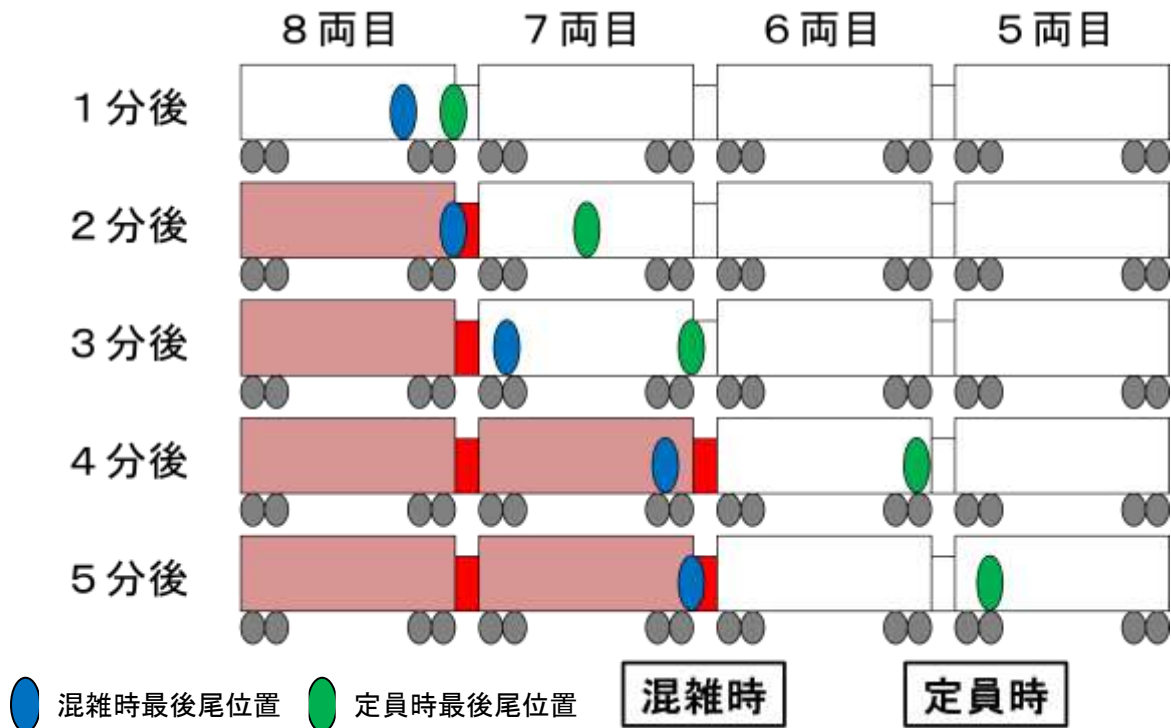


図 4.3.3.3 乗客の避難速度と着火するホロとの位置関係

以上より、定員時では乗客全員が安全に避難する事が出来るが、混雑時では2分後以降でホロが着火してしまい、最後尾の乗客が安全に避難する事が出来ない。

また本論では接合部ホロが着火する限界を求めたが、着火をし始める前に溶けるなどの問題を考えるとさらに速やかに避難する事や、車両の発熱量を抑える事などが求められる。

第五章 まとめ

NFPA130 を検討した結果をまとめると以下の三点となる。

1. 換気の重要性の再確認
2. 速やかな避難の重要性
3. NFPA130 の許容範囲の広さ

本論での天井面からの放射による影響を考えた場合には、換気がないものと仮定した為、混雑時に乗客者全員を安全に避難させる事は難しいという結果になった。安全に避難させるには換気の担う役割は大きく、煙の遡上を阻止する為にも、一定の換気は行うべきである。

また最大の発熱速度に達する前に火源からできるだけ早く離れることが重要となり、火災発生直後の速やかな避難が求められる。

また、今回の研究対象である NFPA130 の規定は気流速度の例からも分かるように幅を持たせてあり、設計者に考えて設計させるようなものであることが解った。

参考文献

- (1) NFPA130、Standard for Fixed Guideway Transit and Passenger Rail Systems、2010年
- (2) 鉄道車両の実大火災実験調査研究、東京消防庁、1994年
- (3) 鉄道車両の火災対策研究、(社)日本鉄道技術協会、1991年
- (4) 膜材料の防火性能に関する研究、建築省建築研究所、1984年
- (5) Control of Smoke Flow in Tunnel Fires、Fire Safty Journal、1995年
- (6) Propagation and Development of Temperature from Tests with Railway and Road Vehicles –Comparison between Test Data and Temperature Time Curves of Regulations、Proceedings of the International Conference on Fires in Tunnels、1994年 10月
- (7) 加藤浩徳:都市鉄道の混雑率の測定方法、運輸政策研究機構、2005年
- (8) 田中哮義:建築火災安全工学入門、日本建築センター、1993年
- (9) 斎藤平蔵:建築気候、共立出版株式会社、1974年
- (10) 火災と建築、共立出版株式会社、2002年

謝辞

本研究において、辻本誠教授及び西田幸夫先生に大変お世話になりました。

辻本誠教授には、研究を進めるにあたり、一からご指導いただきました。作業が遅れ、また思うように進まない僕達を根気強く指導して頂きました事に深く感謝いたします。

最後に研究をまとめる上でアドバイスや協力をして頂いた辻本研究室の皆さまに深く御礼申しあげます。

4107008 井上大彰

4107016 大場正直

付録 NFPA130 Chapter 7 と Annex B の和約

Chapter 7 Emergency Ventilation System

第7章 非常時の換気装置

7.1 General.

一般定義

7.1.1* This chapter defines the requirements for the environmental conditions and the mechanical and nonmechanical ventilation systems used to meet those requirements for a fire emergency in a system station or trainway as required by Section 5.3 and 6.3.2.

本章では5.3と6.3.2に沿って、駅や路線内での緊急火災時に必要とされる環境状況や、機械換気、または自然換気システムの必要性について定義する。

7.1.2 The requirement for a mechanical or nonmechanical system intended for the purpose of emergency ventilation shall be determined in accordance with 7.1.2.1 through 7.1.2.4.

非常時の換気システムとして作動すること目的とする機械換気システム、または非機械換気システムに求められる要件は、7.1.2.4 から7.1.2.1 に沿って決定される。

7.1.2.1 For length determination, all contiguous enclosed trainway and underground system station segments between portals shall be included.

トンネルの長さを決定するに当たり、トンネル内すべての路線と出入口間における地下鉄システム部分が含まれている。

7.1.2.2 A mechanical emergency ventilation system shall be provided in the following locations:

機械的な緊急換気システムは次のような場所に設置される。

(1) In an enclosed system station

地下鉄内にある駅

(2) In a system underground or enclosed trainway that is greater in length than 305 m (1000 ft)

トンネル長さ305 m (1000 ft)を超える路線周辺や地下鉄システム

7.1.2.3 A mechanical emergency ventilation system shall not be required in the following locations:

緊急用機械換気システムは次のような場所へは設置する必要がない。

(1) In an open system station

地下外にある駅

(2) Where the length of an underground trainway is less than or equal to 61 m (200 ft)

トンネルの61 m (200 ft)に満たないか、または同じ地下鉄路線。

7.1.2.4 Where supported by engineering analysis, a nonmechanical emergency ventilation system shall be permitted to be provided in lieu of a mechanical emergency ventilation system in the following locations:

工学的な分析がなされた場所では、次のような場所で非機械換気システムは緊急換気システムの代用として認められる。

(1) Where the length of the underground or enclosed trainway is less than or equal to 305m(1000 ft) and greater than 61m(200 ft)

地下鉄や路線の長さは305m(1000 フィート)と同じか、それよりも短い場所。また61m(200 フィート)を超える場所。

(2) In an enclosed station where engineering analysis indicates that a nonmechanical emergency ventilation system supports the tenability criteria of the project

非機械換気システムが工学的な分析で、機械換気システムの代用として機能すると確かめられた地下鉄内。

7.1.2.5 In the event that an engineering analysis is not conducted, or does not support the use of a nonmechanical emergency ventilation system for the configurations described in 7.1.2.4, a mechanical emergency ventilation system shall be provided.

工学的な分析が行われていない場所、また非機械緊急換気システムが定められた構成を満たしていない場所では、機械緊急換気システムは配置されるべきである。

7.1.3 The engineering analysis of the ventilation system shall include a validated subway analytical simulation program augmented as appropriate by a quantitative analysis of airflow dynamics produced in the fire scenario, such as would result from the application of validated computational fluid dynamics (CFD) techniques.

換気システムの工学的な解析とは、火災中に発生する気流を定量的に分析する事によって、必要に応じて確認された地下鉄内のシミュレーション(CFD)を考慮するべきである。

The results of the analysis shall include the no-fire (or cold) air velocities that can be measured during commissioning to confirm that a mechanical ventilation system as built meets the requirements determined by the analysis.

その分析結果は、機械換気システムが分析する事によって求められる要件を満たす事を確認しつつ、測定された適度な温度の気流速度を満たしている。

7.1.4 Where required by 7.1.2, the mechanical emergency ventilation system shall make provisions for the protection of passengers, employees, and emergency personnel from fire and smoke during a fire emergency.

7.1.2で必要に応じて、機械換気システムは乗客、従業員、緊急隊員を非常時中火災や煙から保護する規約を定めるべきである。

7.2 Design.

設計基準

7.2.1 The emergency ventilation system shall be designed to do the following:

緊急時の換気システムは次のように設計される。

(1) Provide a tenable environment along the path of egress from a fire incident in enclosed stations and enclosed trainways

地下鉄や地下路線を含む火災事故からの避難経路が安全である環境を提供すること。

(2) Produce sufficient airflow rates within enclosed trainways to meet critical velocity.

トンネル内での基準速度を満たす十分な風量の設定をすること。

(3) Be capable of reaching full operational mode within 180 seconds

180秒以内に十分な作業状態に達すること。

(4) Accommodate the maximum number of trains that could be between ventilation shafts during an emergency

緊急時の換気坑間にある列車の最大数を考慮すること。

(5) Maintain the required airflow rates for a minimum of 1 hour but not less than the required time of tenability

避難に必要とされる時間はもちろんであるが、最低でも1時間の間、求められる風量を維持しなければならない。

7.2.1.1 Where the airflow rates required to accomplish 7.2.1(1), 7.2.1(2), or approved alternative performance criteria are dependent upon the unimpaired function of the air distribution system, that system shall be designed to continue operation when exposed to the conditions generated during the design incident for the duration determined as per 7.2.1(5).

風量が7.2.1(1), 7.2.1(2)を満たす事を必要とする場所で、代わりとなる作動基準を達成することは、正常に作動する給気システムに依存する。給気システムは7.2.1(5)の期間中にさらされる状況でも常に作動するように設計されなければならない。

Although rating is not required, materials or systems that are fire rated for the required duration shall be permitted to be used.

これらのことを検討をする事は必須という訳ではないが、必要であれば火災評価のデータやシステムの使用は認められる。

7.2.2 Point-extract ventilation systems shall be permitted subject to an engineering analysis that demonstrates the system will confine the spread of smoke in the tunnel to a length of 150 m (500 ft) or less.

150 m (500 ft)よりも短い長さのトンネル内での、局所的な部分における換気システムは、トンネル内で広がる煙幕を制御するシステムの工学的な解析を受けるものとする。

7.2.3 The design shall encompass the following:

設計は次のように決められる。

(1) The fire heat release rate and fire smoke release rate produced by the combustible load of a vehicle and any combustible materials that could contribute to the fire load at the incident site

火災時の熱放出率や発煙率は、列車の可燃性 貨物や他の可燃物質によって決められる。

(2) The fire growth rate

火災増加率

(3) Station and trainway geometries

駅や路線の形状

(4) The effects of elevation, elevation differences, ambient temperature differences, and ambient wind

高さ、高さの違い、周囲温度の違い、周囲の風量からの影響

(5) A system of fans, shafts, and devices for directing airflow in stations and trainways

駅や路線内のファン、抗、また気流を操作するシステム。

(6) A program of predetermined emergency response procedures capable of initiating prompt response from the operations control center in the event of a fire emergency

緊急火災時にコントロールセンターからの迅速な対応ができる非常時の対応手順

(7) A ventilation system reliability analysis that, as a minimum, considers the following subsystems:

少なくとも次の要件を正確に分析した換気システムであること

(a) Electrical

電気的な分析

(b) Mechanical

機械的な分析

(c) Supervisory control

監視制御

7.2.4 Criteria for the system reliability analysis in 7.2.3(6) shall be established and approved.

7.2.3(6)に沿って信頼性のある分析を行ったシステムの基準は、認められ承認されるべきである。

7.2.4.1 The analysis shall consider as a minimum the following events:

分析を行う上で次のことに考慮しなければならない。

(1) Fire in trainway or station

路線や駅での火災

(2) Local incident within the electrical utility that interrupts power to the emergency ventilation system

非常時の換気システムを停止する電気回路内での事故。

(3) Derailment

脱線。

7.2.5* The design and operation of the signaling system, traction power blocks, and ventilation system shall be coordinated to match the total number of trains that could be between ventilation shafts during an emergency.

信号システムや摩擦力、換気システムの設計や影響は、緊急時の換気坑の間にある列車の総数を考慮しなければならない。

7.2.6* The time-of-tenability criteria for stations and tunnels shall be established and approved.

駅やトンネル内では限界時間の基準を確立され、認められなくてはならない。

For stations, the time shall be greater than the calculated egress time used to establish egress capacity in 5.5.6.

駅では、5.5.6での乗客者の避難能力を考慮した避難時間を計算し、それよりも長く避難時間を設定しなければならない。

7.3 Emergency Ventilation Fans.

非常換気ファン

7.3.1 The ventilation system fans that are designated for use in fire emergencies shall be capable of satisfying the emergency ventilation requirements to move tunnel air in either direction as required to provide the needed ventilation response.

火災緊急時に使用される換気システムのファンは、必要に応じていずれかの方向に空気を流動させ、緊急時の換気システムの要件を十分に満たすべきである。

7.3.1.1 Individual emergency ventilation fan motors shall be designed to achieve their full operating speed in no more than 30 seconds from a stopped position when started across the line and in no more than 60 seconds for variable-speed motors.

個々の緊急時の換気モーターは止まった状態から30秒以内で、また可変速モーターは60秒以内で十分な作業スピードに達するように設計される。

7.3.1.2 The ventilation system designated for use in emergencies shall be capable of operating at full capacity in either the supply mode or exhaust mode to provide the needed ventilation response where dilution of noxious products is to be maximized.

緊急時に使われる換気システムは、分散された有害物質が集約する場所で換気に求められる条件に達するよう、給気、または排気し、完全な作業効率に達するべきである。

7.3.1.3 The ventilation system designated for use in emergencies shall be capable of being turned off and dampers closed to provide the needed ventilation response where dispersion of noxious products is to be minimized.

緊急時に使用される換気システムは、薄められた有害物質を最小とする場所で、電源を切りダンパーを閉じる能力が必要である。

7.3.2 Emergency ventilation fans, their motors, and all related components exposed to the exhaust airflow shall be designed to operate in an ambient atmosphere of 250°C (482°F) for a minimum of 1 hour but not less than the required time of tenability.

排気気流にさらされた、非常時の換気扇、そのモーター、およびすべての関連する部品が、最低1時間の250°C(482°F)の環境下でも、少なくとも必要とされる時間、持続可能で作動するように設計されるものとする。

7.3.2.1 An engineering design analysis shall be permitted to be used to reduce this temperature; however, the temperature shall not be less than 150°C (302°F).

温度を低下させるのに技術設計分析が使用されることが許可されるものとする。しかし温度は150°C(302°F)未満ではない。

7.3.3 Fans shall be rated in accordance with the ANSI/AMCA 210, AMCA 300, AMCA 250, ASHRAE *Handbook—Fundamentals*, and ASHRAE 149.

ファンについてはANSI/AMCA 210, AMCA 300, AMCA 250, ASHRAE *Handbook—Fundamentals*, and ASHRAE 149を参考としています。

7.3.4 Local fan motor starters and related operating control devices shall be located away from the direct airstream of the fans to the greatest extent practical.

ファンの起動スイッチや換気制御に関係する装置は、直接の気流から実用的な範囲でファンの気流から離れた場所に位置するものとする。

7.3.4.1 Thermal overload protective devices on motor controls of fans used for emergency ventilation shall not be permitted.

非常時の換気に使用されるファンのモーター制御での過度の熱負荷を受入れないものとする。

7.3.5 Fans that are associated only with passenger or employee comfort and that are not designed to function as a part of the emergency ventilation system shall shut down automatically on identification and initiation of a fire emergency ventilation program so as not to jeopardize or conflict with emergency airflows.

ファンは乗客や従業員が快適に過ごせるように設計され、また非常時の煙幕に危険にさらされたり、また煙幕と出くわしたりしないように設計された非常時の換気システムの一部が、緊急火災時に自動的に停止するように設計しないものとする。

7.3.5.1 Nonemergency ventilation airflows that do not impact the emergency ventilation airflows shall be permitted to be left operational where identified in the engineering analysis.

技術解析で特定できる範囲で、非常時の換気気流に影響を与えないように、通常時の換気気流を操作することが認められています。

7.3.6 Critical fans required in battery rooms or similar spaces where hydrogen gases or other hazardous gases might be released shall be designed to meet the ventilation requirements

主要なファンが換気が電源室、または水素ガスや他の有害物質を発生させる可能性がある部屋は、換気用件を満たすように設計されるものとする。

of NFPA 91.

7.3.6.1 These fans and other critical fans in automatic train control rooms, communications rooms, and so forth, shall be identified in the engineering analysis and shall remain operational as required during the fire emergency.

自動列車制御装置のある部屋のファンや、その他の重要なファン(通信室などの)は、火災緊急時に必要に応じて機能するものとする。

7.4 Devices.

装置

7.4.1 Devices that are interrelated with the emergency ventilation system and that are required to meet the emergency ventilation system airflows shall be structurally capable of withstanding

非常時の換気システムと関係がある装置は、非常時の換気気流に内であっても構造的に耐えるように設計されるものとする。

7.4.2 Devices in the emergency ventilation system that are exposed to the exhaust airflow and are critical to its effective functioning in the event of an emergency shall be constructed of noncombustible, fire-resistant materials and shall be designed to operate in an ambient atmosphere of 250°C (482°F) for a minimum of 1 hour but not less than the required time of tenability.

非常時の排気気流にさらされた換気システム装置は、非常時に有効な機能、例えば不燃性の防火資材、また最低1時間の間、250°C(482°F)の環境にあっても作動し続けるように設計されるものとする。

7.4.2.1 A design analysis shall be permitted to be used to reduce this temperature; however, the temperature shall not be less than 150°C (302°F).

この温度を低下させるために、分析し設計する事が推奨され、しかしながらその温度は150度未満にはならない。

7.4.2.2 Finishes applied to noncombustible devices shall not be required to meet the provisions of 7.4.2.

最後に、不燃性の適応がされている装置は、7.4.2に関する条項を満たす必要はない。

7.4.3 Other devices shall be designed to operate throughout the anticipated temperature range.

他の装置は予想される温度の範囲内で作動するように設計されるものとする。

7.4.4 Ventilation plenums shall be permitted to serve more than one trainway. Dampers compliant with 7.4.1 through 7.4.3 shall be permitted to serve each trainway from a common plenum or duct system

Dampers compliant with 7.4.1 through 7.4.3 and that serve each trainway from a common plenum or duct system shall not be required to have a fire rating.

ダンパーは7.4.3を基に7.4.1に従い、一般的な換気空間やダクトシステムに設置される各ダンパーは火災評価を受ける必要はない。

7.5 Shafts.

シャフト

7.5.1 Shafts that penetrate the surface and that are used for intake and discharge in fire or smoke emergencies shall be positioned or protected to prevent recirculation of smoke into the system through surface openings.

表面に入り込んでくる、炎の出入り口にある、非常時に使用されるシャフトは、表面にある入口を通し煙の再循環を防ぐように、または保護されるように設計されるものとする。

7.5.2 If the configuration required by 7.5.1 is not possible, surface openings shall be protected by other means to prevent smoke from re-entering the system.

7.5.1で必要とされる構成が不可能なら、他の方法で煙が再入することを防ぐように保護されるものとする。

7.5.3 Adjacent structures and property uses also shall be considered.

近隣の建物や所有物のことも考慮しなくてはならない。

7.6 Emergency Ventilation System Control/Operation.

非常時の換気装置コントロール/操作。

7.6.1 Operation of the emergency ventilation system components shall be initiated from the operations control center.

非常時の換気システムを構成する機器の操作は、コントロールセンターで操作されるものとする。

7.6.1.1 The operations control center shall receive verification of proper response by emergency ventilation fan(s) and an interrelated device(s).

コントロールセンターは非常時の換気ファンと関係がある装置が正しく作動するか確認するものとする。

7.6.1.2 Local controls shall be permitted to override the operations control center in all modes in the event the operations control center becomes inoperative or where the operation of the emergency ventilation system components is specifically redirected to another site.

現場での制御は、すべての状況で予測を超え、コントロールセンターで操作出来なくなった場合、非常時の換気システムを構成する機器の操作を、他の場所に移動させるために使われる。

7.6.2 Operation of the emergency ventilation system shall not be discontinued until directed by the incident commander.

非常時の換気システムの操作は、指揮部長の指示があるまで停止をしないものとする。

7.7 Power and Wiring.

電力と配線

7.7.1 The design of the power for the emergency ventilation system shall comply with the requirements of Article 700 of *NFPA 70*.

非常時の換気装置の電力設計は *NFPA70* の Article700 の要件に従うものとする。

7.7.1.1 Alternatively, the design of the power for the emergency ventilation system shall be permitted to be based upon the results of the electrical reliability analysis as per 7.2.3(6), as approved.

あるいはまた、7.2.3(6)に従って非常時の換気装置の電力設計が、電氣的に信頼性のある分析が承認され、その結果によって決められるものとする。

7.7.2 All wiring materials and installations shall conform to the requirements of *NFPA 70* and, in addition, shall satisfy the requirements of 7.7.3 through 7.7.8.

すべての配線材料と機材は *NFPA70* の要件に従い、7.7.8 から7.7.3の要件を満たすものとする。

7.7.3 Conduits, raceways, ducts, boxes, cabinets, and equipment enclosures shall be constructed of noncombustible materials in accordance with the requirements of ASTM E 136.

ASTM E 136 の要件に従い、電線、配線管、ダクト、入れ物、保管庫などの周辺機器は不燃材料によって作られるものとする。

7.7.4 All conductors shall be insulated.

すべての導体は絶縁されていないといけない。

7.7.4.1 Ground wire installed in a metallic raceway shall be insulated.

金属製の配線管にあるアース線は絶縁されるものとする。

7.7.4.2 Other ground wires shall be permitted to be bare.

他のアース線はむき出しである事が認められている。

7.7.4.3 All thicknesses of jackets shall conform to *NFPA 70*.

被服物のすべての厚さは *NFPA 70* に従う。

7.7.5 All insulations shall conform to *NFPA 70* and shall be moisture- and heat-resistant types carrying temperature ratings corresponding to either of the following conditions:

すべての絶縁物が *NFPA 70* に従い、次の湿気と耐熱のどちらか一方の温度規約に当てはめなければならない。

(1) 75°C (167°F) for listed fire-resistive cables

記載された耐火性のケーブルの温度が75°C (167°F)

(2) 90°C (194°F) for all other applications

他のすべてのものの温度が 90°C (194°F)

7.7.5.1 All insulated conductors and cables shall be listed for wet locations.

濡れている場所にはすべて絶縁体の電線やケーブルを配置する。

7.7.6 All wires and cables used in emergency ventilation circuits shall be listed as being resistant to the spread of fire and shall have reduced smoke emissions, by complying with 7.7.6.1 or 7.7.6.2.

7.7.6.1 もしくは7.7.6.2に従い、非常時の換気配線は、すべての電線やケーブルの延焼を抑える力があり、煙の発生を抑えるものとする。

7.7.6.1 All wires and cables shall comply with the FT4/IEEE 1202 exposure requirements for cable char height, total smoke released, and peak smoke release rate of ANSI/UL 1685.

すべてのワイヤーとケーブルは FT4/IEEE 1202 に沿った、ケーブルの高さ、排煙量の合計、ANSI/UL 1685.による排煙率の最大値に従うものとする。

7.7.6.2 Wires and cables listed as having adequate fire-resistant and low-smoke-producing characteristics, by having a flame travel distance that does not exceed 1.5 m (5 ft) and generating a maximum peak optical density of smoke of 0.50 and a maximum average optical density of smoke of 0.15 when tested in accordance with NFPA262, shall be permitted for use instead of the wires and cables specified in 7.7.6.1.

NFPA262 に沿って調べた結果、ワイヤーとケーブルは十分な耐火性がある事や、発煙量が少ないこと、延焼距離が1.5 m (5 ft)を超えないこと、最大ピーク時の煙の光学密度が0.5であり、煙の光学密度の最大値の平均 0.15であれば、7.7.6.1で指定されたワイヤーやケーブルの代わりに使用することが認められる。

7.7.7* The emergency ventilation circuits routed through the station public areas and trainway shall be protected from physical damage by fixed guideway transit or passenger rail vehicles or other normal operations and from fires in the system for a period of not less than 1 hour.

駅や路線を通る非常換気回路は少なくとも1時間以上の間、固定軌道輸送や旅客車両、またはその他の一般的な動作や火災からの物理的な衝撃に耐えられるようにするべきである。

7.7.7.1 The circuits shall be protected from ASTM E 119 fire conditions by any of the following:

その回路は次に記載されている ASTM E 119による火災状況によって保護される。

(1) Suitable embedment or encasement

適切な設置とスペース

(2) Routing of such conductors external to the interior underground portion of the system facility

そのような導体回路外の建物内部に配置されるシステム設備

(3) Diversity in system routing (such as separate redundant or multiple circuits separated by a 1-hour fire barrier so that a single fire or emergency event will not lead to a failure of the system

そのような上下に配線が分かれる、または多くの回路に分かれているなどの配線方法が、1時間の間火災や非常時の出来事によってシステムに不具合を招くことはない。

(4) Be a listed fire-resistive cable system with a minimum 1-hour rating in accordance with 7.7.10

7.7.10に沿って最小1時間の耐火性のケーブルシステムを記載すること。

7.7.7.2 Except in ancillary areas or other nonpublic areas, encased conductors shall be enclosed in their entirety in armor sheaths, conduits, or enclosed raceway boxes and cabinets.

付加的な場所や他の公でない場所を除いて、導体は周囲を覆う鉄類や入れ物、配管など全体的に隠すべきである。

7.7.7.3 Conductors in conduits or raceways shall be permitted to be embedded in concrete or to run in concrete electrical duct banks.

配管内部などにある導体はコンクリート内に埋め込むなどするべきである。

7.7.8 Overcurrent elements that are designed to protect conductors serving motors for both emergency fans and related emergency devices that are located in spaces other than the main electrical distribution system equipment rooms shall not depend on thermal properties for operation.

緊急時のファンや緊急装置を作動させる役割を持つ導体を保護するように設計された過電流の要素は、作動するための熱特性に依存する。

7.7.9 For electrical substations and distribution rooms serving emergency ventilation systems where the local environmental conditions require the use of mechanical ventilation or cooling to maintain the space temperature below the electrical equipment operating limits, such mechanical ventilation or cooling systems shall be designed so that failure of any single air moving or cooling unit does not result in the loss of the electrical supply to the tunnel ventilation fans during the specified period of operation.

機械換気や電気装置が作動する限界温度を、冷却し維持する事が必要とされる環境状況での緊急換気は電気変電所や配電室で行い、そのような機械換気や冷却システムは、空気が単一で移動することによる事故や、冷却設備が指定した時間中トンネル内の換気ファンに電力を十分に提供出来ない事のないように設計される。

7.7.10 Fire-resistive cables shall be listed and have a minimum 1-hour fire-resistive rating in accordance with ANSI/UL2196 and shall be installed per the listing requirements.

耐火性のケーブルは表記され、最小でも ANSI/UL2196に沿った一時間の耐火率を持つようにし、必要に応じて更新されなければならない。

Annex B Ventilation

付録B 換気

This annex is not a part of the requirements of this NFPA document but is included for informational purposes only.
この付録は、NFPAの一部に記録されているものではなく、他の情報に含まれているものである。

B.1 General.

The purpose of this annex is to provide guidelines for the potential compatibility of the emergency ventilation system with the system employed with normal ventilation of trainways and stations.

この付録の目的は路線と駅の一般的な換気システムと、非常時の換気装置の関係性のガイドラインを示すものである。

This annex does not present all factors to be considered in the normal ventilation criteria.

この付録は正常時の換気基準を基に考えられているため、すべての要因を示しているわけではない。

For normal ventilation, refer to the *Subway Environmental Design Handbook* (SEDH) and the ASHRAE Handbook series (*Fundamentals, Applications, Systems and Equipment*).

正常時の換気については、路線環境設計ハンドブック(SEDH)、また ASHRAE Handbook シリーズ(基礎、使用、システム、装置)を参照してください。

Current technology is capable of analyzing and evaluating all unique conditions of each property to provide proper ventilation for normal operating conditions and for preidentified emergency conditions.

正常時の動作条件と非常時の動作状況で適した換気方法が供給され、近年の技術はすべての固有の状況を分析し、評価することが出来る。

The same ventilating devices might or might not serve both normal operating conditions and pre-identified emergency requirements.

同じ換気装置は正常時の動作条件と、あらかじめ予想される非常時の条件と両方では作動しない可能性がある。

The goals of the subway ventilation system, in addition to addressing fire and smoke emergencies, are to assist in the containment and purging of hazardous gases and aerosols such as those that could result from a chemical/biological release.

地下鉄の換気システムの目標は火災や煙の問題に取り組むことに加えて、化学的または生物学的に発生した有毒ガスやエアロゾルを取り除く手助けをすることである。

B.2 Tenable Environments.

耐えられる環境

B.2.1 Environmental Conditions.

環境条件

Some factors that should be considered in maintaining a tenable environment for periods of short duration are defined in B.2.1.1 through B.2.1.5.

短期間に火災に耐えられる環境を維持する際に考慮されるいくつかの要因は B.2.1.5から B.2.1.1に沿って定義される。

B.2.1.1 Heat Effects. (See also G.1.2.11.)

加熱効果(また G.1.2.11.を参照してください)

Exposure to heat can lead to life threat in three basic ways:

生活を脅かす加熱には三つの基本的な原因が存在する。

(1) Hyperthermia

異常高温

(2) Body surface burns

体表面のやけど

(3) Respiratory tract burns

呼吸器系のやけど

For use in the modeling of life threat due to heat exposure in fires, it is necessary to consider only two criteria: the threshold of burning of the skin and the exposure at which hyperthermia is sufficient to cause mental deterioration and thereby threaten survival.

火災により熱にさらされる事による脅威は、二つの評価基準を考慮する事が必要である。皮膚をやけど起こす事と高温状態にさらされる事は、精神状態の悪化や生存を脅かすのに十分な危険性がある。

Note that thermal burns to the respiratory tract from inhalation of air containing less than 10 percent by volume of water vapor do not occur in the absence of burns to the skin or the face; thus, tenability limits with regard to skin burns normally are lower than for burns to the respiratory tract.

肌や顔にやけどがない場合、飽和水蒸気量10%以下の空気でも吸い込むことにより起こる、気管支のやけどに気をつけなければならない。したがって、一般的に皮膚のやけどに耐えられる時間は気管支のやけどよりも低い。However, thermal burns to the respiratory tract can occur upon inhalation of air above 60°C (140°F) that is saturated with water vapor.

しかし、飽和されている60°C以上の空気を吸い込む場合、気管支のやけどは起こる可能性がある。

The tenability limit for exposure of skin to radiant heat is approximately 2.5 kW/m². Below this incident heat flux level, exposure can be tolerated for 30 minutes or longer without significantly affecting the time available for escape.

放射熱による皮膚の露出に耐えられる限界は約2.5 kW/m²であり、この熱流レベル下での露出は、非難時間に影響せず、30分以上の時間耐えることが出来る。

Above this threshold value, the time to burning of skin due to radiant heat decreases rapidly according to Equation B.2.1.1a.

計算式 B.2.1.1a.によると、この基準値を超える場合、放射熱による皮膚をやけどする時間は急激に少なくなる。

$$t = 4q^{-1.35} \quad (\text{B.2.1.1a})$$

where:

t = time in minutes

t = 時間

q = radiant heat flux (kW/m²)

q = 放射熱流(kW/m²)

The fraction equivalent dose (FED) of radiant heat accumulated per minute is the reciprocal of t_{rad} .

1分間で蓄積された放射熱による等価断面量(FED)は t_{rad} の逆数である。

Radiant heat tends to be directional, producing localized heating of particular areas of skin even though the air temperature in contact with other parts of the body might be relatively low.

体の他の部分が比較的低い温度の空気に触れている可能性があっても、放射熱は局所的に皮膚を温める性質がある傾向にある。

Skin temperature depends on the balance between the rate of heat applied to the skin surface and the removal of heat subcutaneously by the blood.

皮膚の温度は皮膚表面の熱と皮膚下を流れる血液がどれだけ熱を取り除くかという二つのバランスに依存している。

Thus, there is a threshold radiant flux below which significant heating of the skin is prevented but above which rapid heating occurs.

したがって、皮膚を極度に加熱することを阻み、急激なやけどが起こる放射熱の基準点がある。

Based on the preceding information, it is estimated that the uncertainty associated with the use of Equation B.2.1.1a is ±25 percent.

これまでの情報を基準とし、計算式 B.2.1.1a は±25%の不確実性を見積もっている。

Moreover, an irradiance of 2.5 kW/m² would correspond to a source surface temperature of approximately 200°C, which is most likely to be exceeded near the fire, where conditions are changing rapidly.

さらに、急激に状況が変わる中でも、2.5 kW/m²の放射照度は200°Cの表面温度に対応することが出来る。

Calculation of the time to incapacitation under conditions of exposure to convected heat from air containing less than 10 percent by volume of water vapor can be made using either Equation B.2.1.1.b or Equation B.2.1.1.c.

10%以下の水蒸気を含む空気の対流熱にさらされている状況下での限界時間は、計算式 B.2.1.1.b、または計算式 B.2.1.1.c.で求めることが出来る。

As with toxic gases, an exposed occupant can be considered to accumulate a dose of convected heat over a period of time.

有毒ガスは、人々が対流熱にさらされている総時間を考慮する必要がある。

The fraction equivalent dose (FED) of convected heat accumulated per minute is the reciprocal of t_{conv} .

1分間で蓄積された対流熱による等価断面量(FED)は t_{conv} の逆数である。

Convected heat accumulated per minute depends on the extent to which an exposed occupant is clothed and the nature of the clothing.

1分間の対流熱は、さらされる人々の着衣量と nature of the clothing の程度に依存する。

For fully clothed subjects, Equation B.2.1.1b is suggested:

十分に服を着用している人に対する計算式 B.2.1.1b を挙げる、

$$Tb = (4.1 \times 108) \times t^{-3.61} \quad (\text{B.2.1.1b})$$

Tb = time in minutes

Tb = 時間

t = temperature (°C)

t = 温度 (°C)

For unclothed or lightly clothed subjects, it might be more appropriate to use Equation B.2.1.1c:
裸体である、または衣服を十分に着用していない人には計算式 B.2.1.1c が適切である可能性がある。

$$T_c = (5.0 \times 10^7) \times t^{-3.4} \quad (\text{B.2.1.1c})$$

T_c = time in minutes

T_c = 時間

t = temperature (°C)

t = 温度 (°C)

Equations B.2.1.1b and B.2.1.1c are empirical fits to human data.

計算式 B.2.1.1b と B.2.1.1c は実験的な人間のデータを基にしている。

It is estimated that the uncertainty is ± 25 percent.

その計算式は ± 25 の不確定要素も考慮に入れている。

Thermal tolerance data for unprotected human skin suggest a limit of about 120°C (248°F) for convected heat, above which there is, within minutes, onset of considerable pain along with the production of burns.

保護されていない人間の肌の熱耐性の限界は、数分以内でのやけどを生じ伴う痛みを考慮し、対流熱が120°C (248°F)としている。

Depending on the length of exposure, convective heat below this temperature can also cause hyperthermia.

この温度以下では、熱流にさらされた時間に依存し、対流熱は温熱治療を行うことが出来る。

The body of an exposed occupant can be regarded as acquiring a “dose” of heat over a period of time.

熱流にさらされている人の体は、その時間の間、熱量を溜め込んでいるとみなすことが出来る。

A short exposure to a high radiant heat flux or temperature generally is less tolerable than a longer exposure to a lower temperature or heat flux.

短い時間でも放射熱流や一般的な温度にさらされることは、長い期間さらに低い温度や熱流にさらされる事よりも耐えることが出来ない。

A methodology based on additive FEDs similar to that used with toxic gases can be applied.

付加的な FEDs を基準とする方法論は、有毒ガスに使用するものと似ており適応する事が出来る。

Provided that the temperature in the fire is stable or increasing, the total fractional effective dose of heat acquired during an exposure can be calculated using Equation B.2.1.1d: FED

炎の温度が一定であるか、または上昇していることが分かれば、熱流にさらされている時間の取得熱量の断片的で効果的な量を方程式 B.2.1.1d:FED により計算する事が出来る。

$$\text{FED} = \sum (1/T_a + 1/T_b \text{ or } T_c) \Delta t \quad (\text{B.2.1.1d})$$

Note 1: In areas within an occupancy where the radiant flux to the skin is under 2.5 kW · m⁻², the first term in Equation B.2.1.1d is to be set at zero.

注意1: 皮膚への放射熱流が2.5 kW·m²以下の状況下では、計算式 B.2.1.1d の最初の項は0とする。

Note 2: The uncertainty associated with the use of this last equation would be dependent on the uncertainties with the use of the three earlier equations.

注意2: この最後の方程式を使用することによる不確実性は、その前の三つの方程式を使用した時の不確実性に依存する。

The time at which the FED accumulated sum exceeds an incapacitating threshold value of 0.3 represents the time available for escape for the chosen radiant and convective heat exposures.

FED によって、0.3の基準値を超え機能しなくなる点を集めた時間と、放射熱と対流熱からの避難時間は同じような働きをする。

As an example, consider the following:

たとえば、次のようなことを考慮しなくてはならない

(1) Evacuees lightly clothed

着衣量の低い人々

(2) Zero radiant heat flux

放射熱流がない場合

(3) Time to FED reduced by 25 percent to allow for uncertainty

in Equations B.2.1.1b and B.2.1.1c.

計算式 B.2.1.1b と B.2.1.1c の不確実性を考慮し FED が25%まで減少するまでの時間

(4) Exposure temperature constant

熱流にさらされる温度定数

- (5) FED not to exceed 0.3 Equations B.2.1.1c and B.2.1.1d can be manipulated to provide:
FED が0.3の値を超えない為に、計算式 B.2.1.1c と B.2.1.1d は使用することが出来る。

$$T_{exp} = (1.125 \times 10^7) t^{-3.4}$$

T_{exp} = time of exposure (min.) to reach a FED of 0.3
 T_{exp} = 熱流にさらされている時間が FED0.3に達するまでの時間
 t = temperature (°C)
 t = 温度 (°C)

B.2.1.2 Air Carbon Monoxide Content. Air carbon monoxide 一酸化炭素含有量. 一酸化炭素

(CO) content is as follows:
一酸化炭素の含有量は次のようなものである:

- (1) Maximum of 2000 ppm for a few seconds
数秒間で最大2000ppm
- (2) Averaging 1150 ppm or less for the first 6 minutes of the exposure
熱流にさらされてからの最初の6分間は平均1150ppmとする。
- (3) Averaging 450 ppm or less for the first 15 minutes of the exposure
熱流にさらされてからの最初の15分間は平均450ppmとする。
- (4) Averaging 225 ppm or less for the first 30 minutes of the exposure
熱流にさらされてからの最初の30分間は平均225ppmとする。
- (5) Averaging 50 ppm or less for the remainder of the exposure

These values should be adjusted for altitudes above 1000 m (3000 ft).

残りの熱流にさらされている時間は平均50ppmとし、それらの値は高度1000 m(3000 ft)以上では調整されるべきである。

B.2.1.3 Smoke Obscuration Levels. 煙による視認レベル

Smoke obscuration levels should be continuously maintained below the point at which a sign internally illuminated at 80 lx (7.5 ft-candles) is discernible at 30 m (100 ft) and doors and walls are discernible at 10 m (33 ft).

30m離れた位置の照度が80lxであり、10m離れた位置の扉と壁が認識出来るものでなければならない。

B.2.1.4 Air Velocities. 気流速度

B.2.1.4.1 Air velocities in enclosed stations and trainways should be greater than or equal to 0.75 m/sec (150 fpm).
駅や路線を取り囲む気流速度は0.75m/sec (150 fpm)以上あるべきである。

B.2.1.4.2 Air velocities in enclosed stations and trainways that are being used for emergency evacuation or by emergency personnel should not be greater than 11.0 m/sec (2200 fpm).
緊急避難や緊急隊員が使用する地下鉄内の駅や路線での気流速度は11.0 m/sec (2200 fpm).以上あるべきではない。

B.2.1.5 Noise Levels. 騒音レベル

Noise levels should be a maximum of 115 dBa for a few seconds and a maximum of 92 dBa for the remainder of the exposure.

騒音レベルは火災発生直後は最大115 dBa で、残りの避難中の時間は最大92 dBa にするべきである。

B.2.2 Geometric Considerations. 幾何学的な配慮

Some factors that should be considered in establishing a tenable environment in stations are as follows:
駅の火災から耐えられる環境を確立する際に考慮するいくつかの要因は次の通りである。

- (1) The evacuation path requires a height clear of smoke of at least 2 m (6.6 ft).
避難経路では、少なくとも2 m (6.6 ft)の高さにある煙幕を除去することが求められる。

The current precision of modeling methods is within 25 percent.
モデリング手法の現在の精度は25%以内である。

Therefore, in evaluating the results of modeling methods, a height of at least 2.5 m (8.2 ft) should be maintained above any point along the surface of the evacuation pathway.

したがってその結果を考慮すると、避難経路の表面に沿ったいくつかの点上で、少なくとも2.5 m (8.2 ft)の高さは維持されなくてはならない。

For low ceiling areas, selection of the modeling method and the criteria to be achieved should address the limitations imposed by ceiling heights below 3m (9.84 ft).

天井面が低い場合には、モデリング手法を選択したり、達成されている基準値を使用するなどし、3m (9.84 ft)以下の天井面に課せられた制限に対処する。

At low ceiling areas in an evacuation path, beyond the immediate vicinity of a fire, smoke should be excluded to the greatest extent practicable.

天井面が低い避難経路や火災から非常に近い場所では、可能な限り煙を排除する必要がある。

(2) The application of tenability criteria at the perimeter of a fire is impractical.

火災周囲の限界値の適応は実用的ではない。

The zone of tenability should be defined to apply outside a boundary away from the perimeter of the fire.

火災に耐えうる限界の領域は火災周囲から離れた境界の外側に適応されるように定義されるべきである。

This distance will be dependent on the fire heat release rate, fire smoke release rate, local geometry, and ventilation, and could be as much as 30 m (100 ft).

この距離は、火災発生率、発煙率、建物の形や換気などに依存し、出来る限り30 m (100 ft)は設けるべきである。

(3) The beneficial effects of an emergency ventilation system during a fire incident will not become completely available until the system is operated and reaches full capacity.

緊急時の換気システムの利点は火災中そのシステムが完全に作動する前に、作動し役割を果たすことである。

During the time between initiation of a fire incident and the desired ventilation response achieving its full capacity, the smoke can spread into the intended zone of tenability.

火災発生時と換気システムが役割を十分に果たしきる間に、煙は限界領域内に広がる可能性がある。

The ventilation system should have sufficient capacity to counter this pre-ventilation smoke spread.

換気システムはシステムが十分に作動する前に起こる、煙の拡散を防ぐ為の十分な能力を持つべきである。

Whenever possible, the design of the space geometry should consider arrangements to minimize the pre-ventilation smoke spread.

可能な限り常に、各スペースの設計は換気システムが十分に作動する前に広がる煙を最小限に収めるように考慮されるべきである。

The overall extent of pre-ventilation smoke spread should also be considered with respect to its potential effect on egress.

換気システムが十分に作動する前に、煙幕の拡散することによって非難出口に与える影響についても考慮されるべきである。

(4) During the emergency ventilation response, short-term transient events due to step-like changes in geometry can momentarily provide a significant boost to the fire heat and smoke release rates.

非常時の換気システムが作動している間、短時間でどのように状況が変わったかと言う事が、火災や排煙率に大きな影響を与える。

Examples include vehicle doors opening or the failure of vehicle windows.

例えば車両の扉を開ける事や、窓の不具合などである。

The ventilation system should have sufficient capacity to counter such short-term transients affecting smoke spread.

換気システムにはそのような小さな問題による排煙率にたいしても十分に対応できる能力が求められる。

B.2.3 Time Considerations.

B.2.3 時間への配慮

Some factors that should be considered in establishing the time of tenability are as follows:

火災に耐えることが出来る時間を決定する為のいくつかの要因は次の通りである。

(1) The time for fire to ignite and become established

火災が発生し落ち着くまでの時間。

(2) The time for fire to be noticed and reported

火災に気付き報告するまでの時間。

(3) The time for the entity receiving the fire report to confirm existence of fire and initiate response

火災を確認したという報告を受け対応し始めるまでの時間。

(4) The time for all people who can self-rescue to evacuate to a point of safety

すべての人々が各自を安全な場所へと避難させるまでの時間。

(5) The time for emergency personnel to arrive at the station platform

緊急隊員が駅のホームに到着するまでの時間。

(6) The time for emergency personnel to search for, locate, and evacuate all those who cannot self-rescue
緊急隊員が逃げ遅れた人を探し、見つけ、救助するまでの時間。

(7) The time for fire fighters to begin to suppress the fire
消防士が火を消し始めるまでの時間。

B.3 Configurations. Configurations can vary among properties, but engineering principles remain constant.

B.3 形状 形状はその場所によって異なるが、工学的な原理は変わらない。

The application of those principles should reflect the unique geometries and characteristics of each property.
それらの原理を適応する事で特有の形状や各土地の特性に沿うことが出来る。

Enclosed stations and trainways might be configured with the following characteristics:

駅や路線の周辺は次の特長によって構成される。

- (1) High or low ceilings
高いか、または低い天井。
- (2) Open or doored entrances
元々開いているか、扉のある入り口。
- (3) Open or screened platform edges
仕切りがあるか、または仕切りのないプラットホームの縁
- (4) End-of-station or midtunnel fan shafts
駅の両端かトンネル中間部分の換気坑
- (5) End-of-station or midtunnel vent shafts
駅の両端かトンネル中間部分の排気坑
- (6) Single, double, or varying combinations of tracks in tunnels
トンネル内の路線が単線か複線かという組み合わせ
- (7) Intersecting tunnels
交差トンネル
- (8) Multilevel stations
平坦な駅
- (9) Multilevel tunnels
平坦なトンネル
- (10) Varying depths below the surface
地上からの深さ
- (11) Varying grades and curvatures of tracks and tunnels
異なる勾配や路線やトンネルの曲率
- (12) Varying blockage ratios of vehicles to tunnel crosssection
トンネル断面積に対する車両の閉鎖率の種類
- (13) Varying surface ambient conditions
地上表面の周辺状況の種類
- (14) Varying exit points to surface or points of safety
駅外や安全な場所への出口の種類

B.4 Draft Control.

B.4 通気制御

B.4.1 For patron comfort in stations, the air velocities induced by train motion should be evaluated carefully by designers.

駅内を快適に保つために、列車が動くことによる気流速度は設計者によって慎重に評価されるべきである。Infrequent exposure to higher velocities can be tolerated briefly but are to be avoided wherever possible. [Refer to the *Subway Environmental Design Handbook (SEDH); the ASHRAE Handbook — Fundamentals; and the Beaufort Scale.*]

不定期に起こる高速度の気流は少しならば認められるが、可能な限り避ける努力はしなければならない

B.4.2 Draft control can be achieved by the placement of shafts along the tunnel length between stations.

通気制御は駅間のトンネルの長さに沿った坑の位置により行われる。

Shafts can be arranged with the fan shafts at the ends of stations, with vent shafts midtunnel if required or with vent shafts at the ends of stations and fan shafts midtunnel.

トンネル内での換気は、駅間の両端に送風坑を設け、必要に応じてトンネル中央に排気坑を設けるものとする。もしくは駅の両端排気坑を設け、トンネル中央部に送風坑を設ける。

End-of-station shaft configurations should be related to the station geometries in the consideration of patron comfort in the station relative to train piston draft effects.

駅の両端にある坑の構成は、駅内の列車のピストン換気効果を保護することを考慮し、駅の形と関係付けて設計するべきである。

B.5 Temperature Control.

温度調整

B.5.1 Temperature control for patron comfort in the station can be achieved by circulating ambient air in moderate climates or by providing heating and/or cooling in more extreme regions.

駅構内を快適に保つための温度調整は、通常時の気候で周囲の空気の対流や、多くの場所で過熱や冷却を行い、満たすものとする。

Preferred temperature goals should be defined in the criteria developed for the design of an individual property relative to the local climate and the length of station occupancy, such as train headways specific to the property during which the patron would be exposed to the station temperatures.

求められる温度目標はその地域の気候や、駅全体の長さに対して個々の設計をすることで決定される。例えば列車間隔などである。

B.5.2 Temperature control and ventilation for ancillary areas housing special equipment should reflect the optimum operating conditions for the specific equipment to ensure the availability of critical equipment and should also give consideration for intermittent occupancy by maintenance personnel.

温度調整や個々の場所に位置する特別な機器は、特定の重要な機器が最適に作動する状況である事を確認することを、管理者は常に注意を払うべきである。

These systems should be separate from the emergency ventilation system for stations and tunnels and should be considered in the design of the emergency ventilation system.

これらのシステムは駅やトンネル内の緊急時の換気システムから分離され、緊急時の換気システムとして設計されるべきである。

B.6 Under-Platform Ventilation System.

B.6 プラットホーム下での換気システム

B.6.1 An under-platform ventilation system should be considered for the extraction of heat from traction and braking devices.

プラットホーム下での換気システムは摩擦や制御装置から放出される熱を排出する事を考慮するべきである。

Intakes should be provided below the platform level and should be situated relative to the heat-producing devices on a train berthed in a station.

熱の取り入れはプラットホーム下と同じ高さにし、列車の停車位置にある発熱装置を考慮した位置に設置されるべきである。

B.6.2 Ceiling ventilation, by powered or gravity design, to aid in the removal of smoke and/or heat should be considered.

電気や重力を考慮した天井換気は排煙や廃熱の為に設計されるべきである。

B.7 Platform Screen and Edge Doors.

B.7 プラットホームの仕切りと列車の扉

B.7.1 The inclusion of platform edge screens is a design option that is effective for comfort control in stations as well as for smoke control in tunnels.

プラットホームの端に仕切りを作ることは、駅内を効率的に快適に保つだけでなく、トンネル内の煙制御になる設計方法である。

When used, the screens should meet both fire resistivity and structural strengths relative to the train and ventilation system drafts and the operational efficiency requirements.

仕切りを使用する場合、仕切りは列車や通気換気システムや業務効率の要件に合った、火災耐久や構造耐性が求められる。

B.7.2 In a tunnel-to-station evacuation scenario, access to the platform level from the trainway should be considered.

トンネル内での避難経路は、路線とプラットホームへの避難経路を考慮するべきである。

B.8 Nonfire Tunnel Ventilation.

B.8 非火災時のトンネル換気

Where trains might be stopped or delayed in a tunnel for a period of time, the vehicle ventilation system should be capable of maintaining an acceptable level of patron comfort.

列車はトンネル内で停止する、または少しの間遅れが発生する可能性があり、車両用の換気システムは常に快適な状態を維持するべきである。

If not operating in a fire emergency scenario, the tunnel ventilation fans can be used to augment the vehicle system capability.

もし緊急時に車両用の換気システムが作動しない場合、トンネル換気ファンは車両換気システムを強化する為に使われるべきである。

Velocities should consider the comfort levels of employees required to be in the tunnels.

速度はトンネル内で従業員に必要とされる快適性を考慮するべきである。