

大深度地下鉄道に関する

消防防災対策について

防災安全工学講座 辻本研究室

長尾 武

目 次

序章	はじめに	-----	1
第一章	出火頻度と危険について		
1-1	鉄道	-----	3
1-2	自動車道路	-----	11
第二章	想定される火災事故について		
2-1	想定事故について	-----	17
2-2	地下鉄道、トンネルにおける換気方式	-----	20
第三章	大深度地下鉄道に関する消防防災対策		
3-1	大深度地下空間の特徴	-----	25
3-2	消防防災対策の基本的考え方	-----	25
3-3	大深度地下鉄道における 消防防災上の問題点と対策	-----	28
第四章	まとめ	-----	33

序章

はじめに

近年、三大都市圏、特に東京圏における土地の合理的、効率的利用の必要性に対する社会の認識、関心が高まっている。そのような必要性を充足、解決するための手法の一つとして大深度地下空間の開発があげられる。

また、土地の所有権は民法207条で「法令の制限内においてその土地の上下に及ぶ」と規定されているが、建築物の地下室等の利用及び建築物等の基礎構造物の利用は通常30m以内の深度、上下水道、電力、通信施設等としての地下利用の構造物の深さは一般的に40m以内の深度までであり、土地所有者の地表を中心とする土地利用が地下50mより深いところに及ぶことはほとんどない。

このため、臨時行政改革推進審議会の土地対策検討委員会等、大深度地下における私権制限、法的規制緩和の動きもあり、表1に示すように数多くの大深度地下空間利用の構想・計画が持ち上がっている。

この他にも、民間からも数多くの構想が出されている。

以下では、まずその実現化、事業化の時期という観点からみてプライオリティが高いと考えられる大深度地下地下鉄道と大深度地下自動車専用道路について、過去の地下鉄・列車火災事故と自動車火災事故から危険度について検討する。

その後、大深度地下空間の特徴をふまえ大深度地下鉄道の消防防災対策についてまとめる。

なお、大深度地下空間についてはいまだその定義は明確にされていないが、概念的には、「三大都市圏のうち、地下室等の地上工作物が通常存在する深さより下であって、かつ、建築物の基礎の底部が通常到達する良好な地盤（支持層）より下の空間」という考え方が一般的である。

表1.1. 各省庁の主な大深度地下空間利用の構想・計画

省庁名	名 称	概 要
運輸省	「大深度地下鉄」計画	丸の内～新宿約2kmを大深度地下鉄道により結ぶ計画
建設省	「弾丸道路」計画	丸の内～西新宿、約8kmを地下道路（深度20～40m）で直接連絡する平成2年度都市計画決定予定
厚生省	「大深度水道管路」構 想	大深度地下に基幹的な送・配水管等を施設し、併せて耐震性、貯留施設としての機能を付加し、災害時にも対応できるシステムを築く
郵政省	「大深度地下通信網」 構想	大深度地下を利用した電気通信施設、郵便輸送施設等の整備をはかる
科学技術庁	「ジオトピア」構想	深さ100m以浅の地下と100m以深に分け、深度別の開発のイメージ例として（コンピューターセンター、チューブトレイン、研究施設等）をあげている
通産省	「大深度地下開発」構 想	大深度地下に産業エネルギー施設として、直径50m、高さ30m以上のドーム状の地下空洞を建設する

第 1 章

出火頻度と危険について

地下空間の利用形態として鉄道と自動車道路を選定し、そこでの出火頻度と危険について過去の火災事故例より検討するものとする。

1-1 鉄道

まず交通安全白書からの統計によれば列車火災（定義は脚注）は表1.2(1)(2)のようにまとめられる。これら2つの表について走行キロと火災件数の累積を試みると図1.1.のようになり、走行キロと火災件数は、ほぼ線形の関係があり、火災頻度は1962年～1974年で0.00444件/百万走行キロ、1979年～1987年で0.00186件/百万走行キロと近年は半減していることが分かる。しかしごく最近でも年間2件のペースで発生しており、その発生を否定できるレベルではない。

例えば、トンネル内での走行であるかどうかは出火率に影響しないと考えれば、出火率0.00186件/百万走行キロの条件を複線50kmの大深度地下鉄道（1日240往復）に適用すると、車両火災の発生は約60年に1度のレベルとなり、比較の例が適切ではないが一般的な中高層ビルの出火頻度の約2倍である。

次に出火時に停車せずに駅まで走行できるかどうかの判断があるが、大深度地下鉄道の場合に、道傾斜角が通常のものよりも大きくなり、かつ駅間距離が大きくなるのであれば、慣性による走行も困難であり、駅間停止の条件を「無視できるほど小さい」と見積もることはできない。

残る問題としては、駅間施設（例えば変電所、ケーブル類）からの出火と、これによる車両の停止の可能性の検討がある。表1.3～表1.5で判断する限り、タバコの投げ捨てなど人為的な出火原因を除く工夫がなされれば出火頻度が車両火災の約1/10となること、車両の動力に影響がなければ走行可能なことから判断して、この条件の発生は無視できるほど小さいと考えて良いと思われる。

（脚注）列車又は車両の運転により50万円（1987年4月1日以降は500万円）以上の物損を生じたものをいう。このため、消防庁で処理されている車両火災とは定義が異なることに注意。

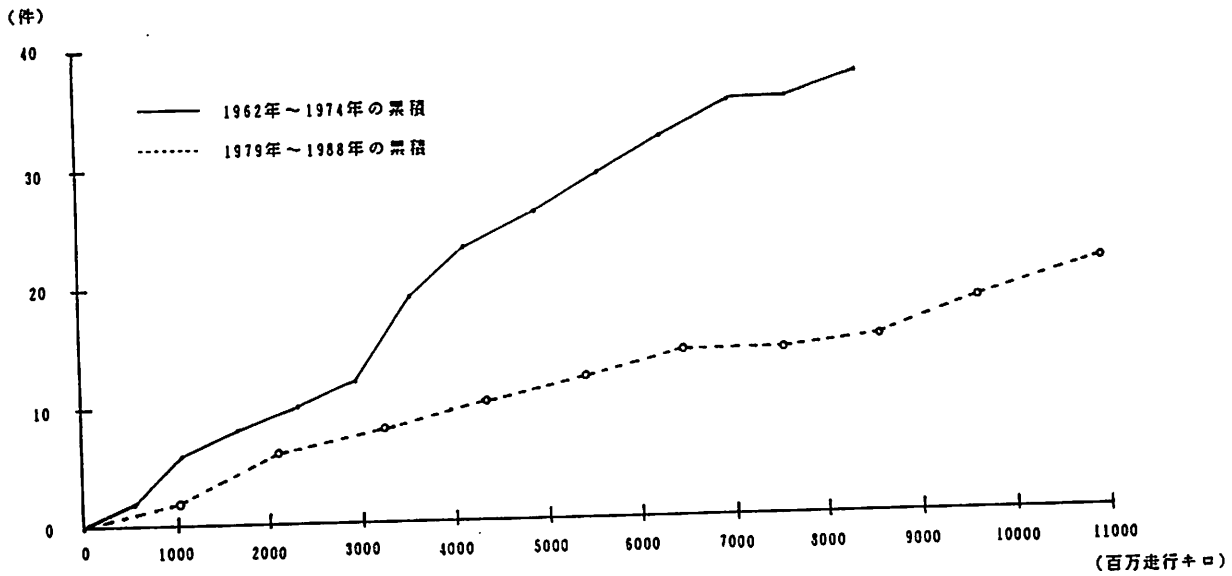


図1.1. 列車火災件数と年間走行キロの推移

表1.2. 列車火災事故の状況(1)

(地下鉄最適排煙方式研究報告書より)

	件数	年間走行キロ		件数	年間走行キロ
1962年	2	539	1969年	3	691
1963年	4	583	1970年	3	700
1964年	2	588	1971年	3	667
1965年	2	588	1972年	3	733
1966年	2	617	1973年	0	682
1967年	7	613	1974年	2	690
1968年	4	638			

※ 年間走行キロの単位は百万キロ

表1.2. 列車火災事故の状況(2)

(交通安全白書より)

	国 鉄			地 方 鉄 道			軌 道			全 体		
	件数	死傷者数	年間走行キロ	件数	死傷者数	年間走行キロ	件数	死傷者数	年間走行キロ	件数	死傷者数	年間走行キロ
1979年	2	1	678	0	0	382	0	0	39	2	1	1099
1980年	2	0	670	2	0	387	0	0	35	4	0	1092
1981年	1	0	649	1	0	391	0	0	34	2	0	1074
1982年	0	0	646	1	1	394	1	0	34	2	1	1074
1983年	1	0	634	1	1	397	0	0	34	2	1	1065
1984年	0	0	620	2	0	400	0	0	33	2	0	1053
1985年	0	0	622	0	0	404	0	0	32	0	0	1058
1986年	0	0	634	1	0	412	0	0	28	1	0	1074
1987年	J R			民 鉄						全 体		
	2	0	649	1	0	447				3	0	1096

※ 年間走行キロの単位は百万キロ

表1.3. 地下鉄道（鉄道の地下部分を含む）の火災事故例（1968年1月～1987年12月）についての場
所別集計表

発生年\場所	トンネル内	駅舎	車両	その他	計
1968	1	3	1		5
1969			1		1
1970	2	2			4
1971			2 ②		2
1972			4 ③		4
小計	3	5	8 ⑤	0	16
1973					0
1974		4		2	6
1975		4(1)			4(1)
1976	1	3(1)			4(1)
1977			1		1
小計	1	11(2)	1	2	15(2)
1978	1	2		2	5
1979		4(1)		3	7(1)
1980		1(1)		1	2(1)
1981		8	1(1)	2	11(1)
1982	1(1)	2	2		5(1)
小計	2(1)	17(2)	3(1)	8	30(4)
1983		5	1 ①		6
1984	1	3			4
1985		6	2 ①		8
1986		16(15)	1(1)		17(15)
1987	1	6	1	1	9

小 計	2	36(15)	5(1) ②	1	44(16)
ぼや程度	8(1)	68(19)	16(2)	11	103(22)
拡大火災	0	1	1	0	2
合 計	8(1)	69(19)	17(2) ①	11	105(22)

() 内の数字は、放火による火災（内数）。

（消防庁資料より）

○ 内の数字は、駅に停車中の車両火災（内数）。

表1.4. 地下鉄道の火災事故例（1968年1月～1987年12月）についての場所別集計表（トンネル内）

発生年\場所	トンネル内	
1968	1	換気口へのタバコの投げ捨て 1件
1969		
1970	2	換気口へのタバコの投げ捨て 2件
1971		
1972		
1973		
1974		
1975		
1976	1	たき火による枕木焼損（5 m） 1件
1977		
1978	1	（信号灯回路接触不良による発熱で）配線被覆着火 1件
1979		
1980		
1981		
1982	1(1)	時限発火装置による放火 1件
1983		
1984	1	換気口へのタバコの投げ捨て 1件
1985		
1986		
1987	1	（電力ケーブル漏洩電流により）配線被覆着火 1件
換気設備	4	全て排気口へのタバコの投げ捨て
電気設備	2	（電気系統異常による）配線被覆着火
たき火	1	枕木焼損
放 火	1	
合 計	8(1)	（拡大火災なし）

（ ）内の数字は、放火による火災（内数）

（消防庁資料より）

○ 内の数字は、駅に停車中の車両火災（内数）

表1.5. 地下鉄道の火災事故例（1968年1月～1987年12月）についての場所別集計表（車両）

発生年\場所	車 両	
1968	1	走行中抵抗器過熱で配線被覆着火（車両下部） 1 件
1969	1	連結部の幌にタバコの投げ捨て 1 件
1970		
1971	2 ②	制御回路短絡により配線被覆着火（車両下部） 1 件 車体下部冷却装置空気取入口（ゴミ）にタバコ 1 件
1972	4 ③	トランス絶縁劣化で配線被覆着火（車体下部） 1 件 接触不良で過熱して配線被覆着火（車体下部） 1 件 接触不良で過熱して配線被覆着火（座席下部） 1 件 断流器の火花により配線被覆着火（車体下部） 1 件
1973		
1974		
1975		
1976		
1977	1	ブレーキ火花により車体粉塵着火（車体下部） 1 件
1978		
1979		
1980		
1981	1(1)	学生に灯油をかけライターで放火 1 件
1982	2	絶縁劣化により配線被覆着火（車体下部） 1 件 ヒーター配線接続部配線被覆着火（車体下部） 1 件
1983	1 ①	電動機コイル断線で電動機に着火（車体下部） 1 件
1984		
1985	2 ①	遮断器内スパークで配線被覆着火（車体下部） 1 件 軸受けベアリング破損で過熱しカバー着火（車体下部） 1 件
1986	1(1)	時限発火装置で座席シートに放火 1 件
1987	1	断流器緩みで発熱し配線被覆着火（車体下部） 1 件
連結部	1	連結部の幌（ごみ）にタバコの投げ捨て
冷却装置	1	車体下部冷却装置空気取り入れ口（ごみ）にタバコの投げ捨て
電気系統	11	電気系統異常による配線被覆着火（車体下部） 9 件

軸受部	1	電気系統異常による配線被覆着火（座席下部）1件 電気系統（その他、車体下部）1件
ブレーキ	1	軸受けベアリング破損で過熱しカバー着火（車体下部）
放 火	2	ブレーキ火花により車体粉塵着火（車体下部）
合 計	17(2)⑦	（拡大火災は、1968年のもの1件）

（ ）内の数字は、放火による火災（内数） （消防庁資料より）

○ 内の数字は、駅に停車中の車両火災（内数）

1 - 2 自動車道路

鉄道と同じ方法で車両火災の発生頻度を計算する。走行台キロの値は運輸白書にあるものの消防白書の車両火災件数は図1.2に示すように走行中以外の値も含むものとなっている。そこで、表1.7の統計値と照らし合わせ、走行中にはほとんど起こらない放火と放火の疑いの値を除いた件数を走行中の車両火災件数とみなすと表1.6の数値になる。走行キロと火災件数の累積は図1.3のように鉄道と同様線形の関係があり、百万走行台キロ当たりの車両火災件数は1979年～1987年で0.00781件/百万走行台キロである。(この数字はA. 鉄道で求めた値とオーダーは同じだが、火災の定義が異なることに注意) この値を2車線10kmの道路トンネル(通行車両台数24000台/日)に適用すると車両火災の発生は約1年に1.4回と極めて高いレベルで車両火災が発生するといえる。

また、車両火災以外のトンネル内での出火頻度は表1.8に示すようにきわめて少なく、無視できるほど小さいと考えてよいと思われる。

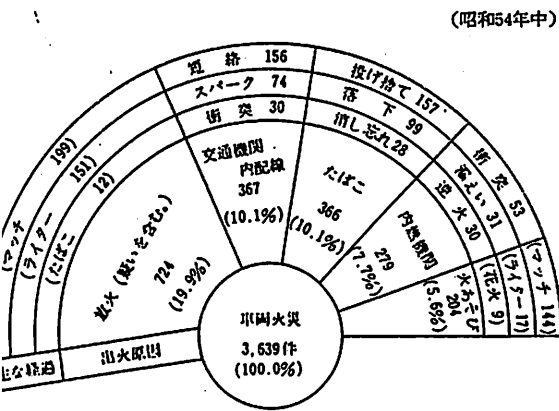


図1.2. 車両火災の主な出火原因と経過

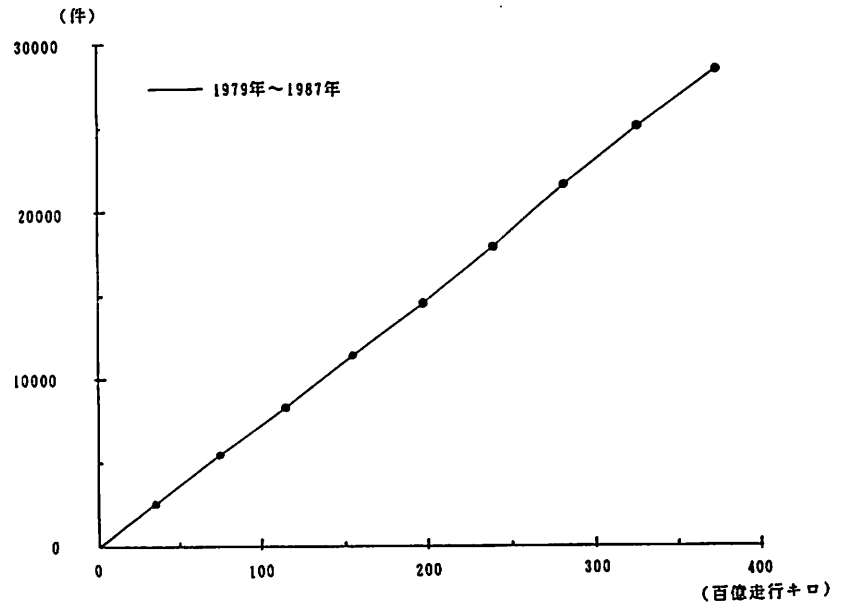


図1.3. 自動車走行台キロと走行中の車両火災件数の推移

表1.6. 自動車走行台キロの推移と走行中の車両火災件数

	自動車走行台キロの推移（運輸白書より） 単位：百万台キロ						合計	放火・火遊びを除く車両火災件数 （消防白書より*）
	乗用			貨物				
	乗用車	バス	計	営業用	自家用	計		
1979年	235007	5960	240967	26622	114362	140984	381951	2713
1980年	241459	6046	247505	26883	114664	141547	389052	2764
1981年	247156	6091	253247	27416	113994	141410	394657	2847
1982年	255967	6077	262044	28555	112502	141057	403101	3004
1983年	259744	6164	265908	30060	112960	143020	408928	3126
1984年	265096	6313	271409	32617	111475	144092	415501	3504
1985年	275556	6352	281908	34682	111851	146533	428441	3548
1986年	285294	6455	291749	37242	112622	149864	441613	3688
1987年	295082	6628	301710	39966	116181	156147	457857	3868
合計							3721101	29062

*）車両火災件数については本文参照

表1.7. 道路トンネル内自動車火災事例（1976年1月～1988年12月）についての出火経過別集計表

発生年	(消防庁資料より)
1976	原動機過熱により木屑に着火（部分焼）
1977	荷台で電気配線が短絡し荷台シートに着火（全焼）
1978	原動機室での燃料漏れ（半焼）
1978	計器板で電気配線が短絡し車両部品に着火（部分焼）
1978	原動機室で電気配線が短絡し配線被覆に着火（部分焼）
1978	作業灯が毛布に接触し着火（部分焼）
1978	排気管が積み荷に接触し着火（部分焼）
1978	（不明、全焼）
1978	（不明、荷台から出火、全焼）
1979	部品脱落により原動機室で電気配線が短絡し配線被覆に着火（部分焼）
1979	計器板で電気配線が短絡し吸音材に着火（部分焼）
1979	車軸発熱によりタイヤに着火
1979	衝突（全焼、延焼）
1979	電気配線が発熱し配線被覆に着火（部分焼）
1979	排気管での燃料漏れ（半焼）
1980	荷台へのタバコの投げ捨てにより積み荷に着火（部分焼）
1980	衝突（全焼、延焼）
1980	衝突（全焼、延焼）
1980	排気管が積み荷に接触し着火（半焼）
1981	排気管が自己改造により車両部品に接触し着火（部分焼）
1981	衝突（半焼）
1981	衝突（部分焼）
1981	衝突（全焼）
1981	排気管での燃料漏れ（全焼、延焼）
1981	排気管が積み荷に接触し着火（全焼、延焼）
1981	排気管が荷台幌に接触し着火（部分焼）
1982	荷台へのタバコの投げ捨てにより荷台シートに着火（部分焼）
1982	衝突（全焼）
1982	衝突（全焼）
1982	制動機過熱によりタイヤに着火（部分焼）

- 原動機室での燃料漏れ（全焼）
- 排気管が荷台シートに接触し着火（部分焼）
- （不明、原動機室から出火、全焼）
- 1983 原動機室で電気配線が短絡し配線被覆に着火（半焼）
- 衝突（全焼、延焼）
- 衝突（半焼）
- 衝突（全焼）
- 制動機過熱によりタイヤに着火（部分焼）
- 電気配線が劣化し配線被覆に着火（部分焼）
- 排気管が毛布に接触し着火（部分焼）
- 排気管が荷台シートに接触し着火（部分焼）
- 1984 燃料パイプ部分で電気配線が短絡しガソリンに着火（全焼）
- 荷台で電気配線が短絡し配線被覆に着火（部分焼）
- 制動機過熱によりタイヤに着火（部分焼）
- 排気管が付着物に接触し着火（部分焼）
- 1985 荷台へのタバコの投げ捨てにより毛布に着火（全焼）
- 荷台へのタバコの投げ捨てにより布団に着火（部分焼）
- 衝突（全焼）
- 触媒過熱により車両部品に着火（半焼）
- 排気管が荷台にシートに接触し着火（全焼）
- 排気管が毛布に接触し着火（部分焼）
- 排気管が破損し板に着火（全焼）
- （不明、原動機室から出火、部分焼）
- 1986 排気管が毛布に接触し着火（部分焼）
- 衝突（部分焼）
- 原動機に落下した布に着火（部分焼）
- 待避所に停車し車両内でガソリンを着衣にかけ放火（自殺、全焼）
- 荷台へのタバコの投げ捨てにより積み荷に着火（部分焼） 2 件
- 原動機室の電気配線が短絡し配線被覆に着火（半焼）
- 衝突（全焼）
- 原動機過熱によりラバーホース等に着火（半焼）
- 1987 衝突（部分焼） 2 件
- 荷台へのタバコの投げ捨てによりシートに着火（部分焼）
- 排気管が破損し木製工具箱に着火（全焼）

1988

原動機室の電気配線が短絡し配線被覆に着火（半焼）
 排気管が破損し排気ガスが荷台にあたり着火（部分焼）
 車両内でガソリンを着衣にかけ放火（自殺、全焼）
 衝突（全焼）
 荷台へのタバコの投げ捨てにより積み荷に着火（部分焼）
 排気管がスキーキャリアに接触しスキー袋に着火（全焼）
 運転席の電気配線が短絡し配線被覆に着火（部分焼）
 衝突（全焼）
 衝突（全焼、延焼）
 排気管が落ちたダンボールに接触し着火（部分焼）
 排気管がシートに接触し着火（全焼）
 発電機過熱により配線被覆に着火（全焼）
 衝突（部分焼）

経過\程度	部分焼	半 焼	全 焼	全焼（延焼）	計
衝 突	5	2	8	5	20
燃料漏れ		2	1	1	4
排気管接触	10	1	3	1	15
排気管破損	1		2		3
電気配線	9	2	2		13
原動機過熱	1		1		2
発電機過熱			1		1
触媒過熱		1			1
制動機過熱	3				3
車軸発熱	1				1
作業灯接触	1				1
荷台へ煙草	7		1		8
放 火			2		2
その他	1				1
不 明	1		3		4
合 計	40	8	24	7	79

※表1.7における「全焼」、「半焼」、「部分焼」は、出火車両の焼損程度を示す。
「延焼」は、他の車両への延焼があったことを示す。

表1.8. 道路トンネル内火災事例－車両火災以外－（1976年1月～1988年12月）

発生年	
1984	浸水により照明灯の配線被覆に着火
1988	車両から落下した木屑に煙草が投げ捨てられたため木屑に着火

（消防庁資料より）

第二章

想定される火災事故について

現在、大深度地下空間を利用する鉄道、道路がないことから、過去の地下鉄道、道路トンネル等の事故の調査あるいは現在発表されている利用状況から理論上考えられる事故を検討するとともに、トンネル換気の現状について述べる。そして消防防災対策を考える際の基盤とした。

2-1. 想定事故について

現行のシステムの中で、想定事故の考え方を取り入れているものには①「地下鉄最適排煙方式研究報告書」（1978，日本火災報知器工業会）に基づく地下鉄の排煙方式の検査、②「道路トンネル内自動車火災における水噴霧設備の調査研究」（1983，高速道路調査会）、③「関越トンネル換気運用に関する研究報告書」（1987，高速道路調査会）に基づく道路トンネルの水噴霧設備の検査がある。

①「地下鉄最適排煙方式研究報告書」では、発熱量ではなく発煙量を規定しており、車両火災規模の推定に昭和45年に自治省、運輸省で行った車両火災実験の結果を採用している。これによると目視により発煙が覚知される時間から最大3分後に列車が駅に到着するとし、図2.1に示されるようにこの時期から7分間は定常で $21\text{m}^3/\text{m}\cdot\text{分}$ の発煙があり、以後 $21+66\times(t-7)\text{m}^3/\text{m}\cdot\text{分}$ （ t :停車からの時間(分)）で発煙量が増大するとしている。上式に従えば発煙量は時間に従い無限に増大するが、ここでの目的は避難完了までの排煙方式の検討であり、消火活動は考慮されていない。また、コンコース部火災としては、ゴミ集積所からの発煙を定常で $20\text{m}^3/\text{m}\cdot\text{分}$ としている。なお、この報告書では駅間距離が短いこともあり、列車火災発生時はトンネル間で停車しないこと、駅間施設等からの出火は小火で収まるものとしている。

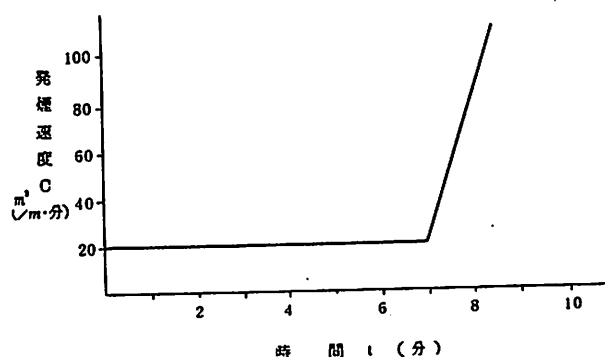


図2.1. 発煙速度

②「関越トンネル換気運用に関する研究報告書」では、図2.2に示される各種自動車の実大燃焼実験結果から図2.3の発煙速度曲線と図2.4の発熱速度曲線を得ている。

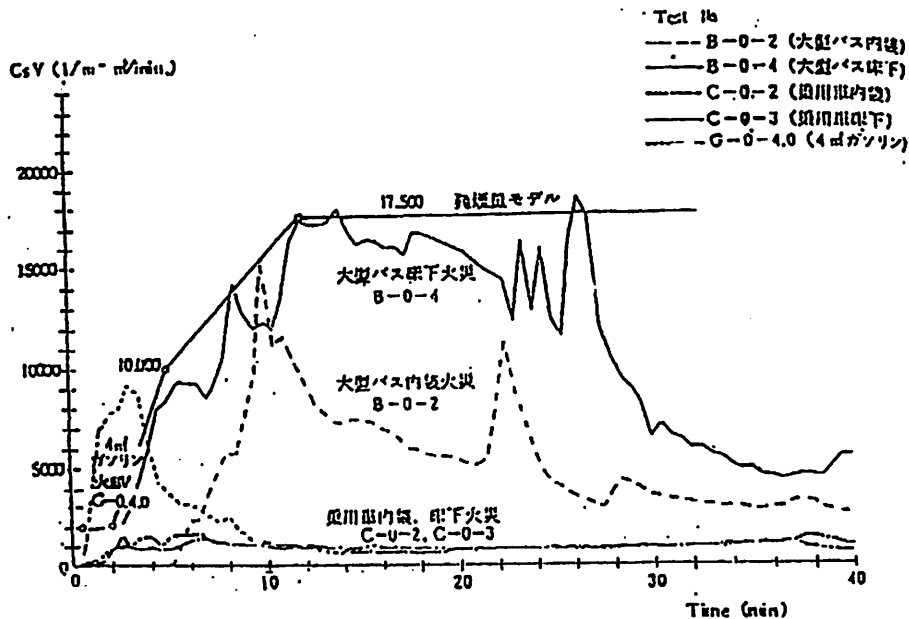


図2.2. 発煙速度と発煙量モデル

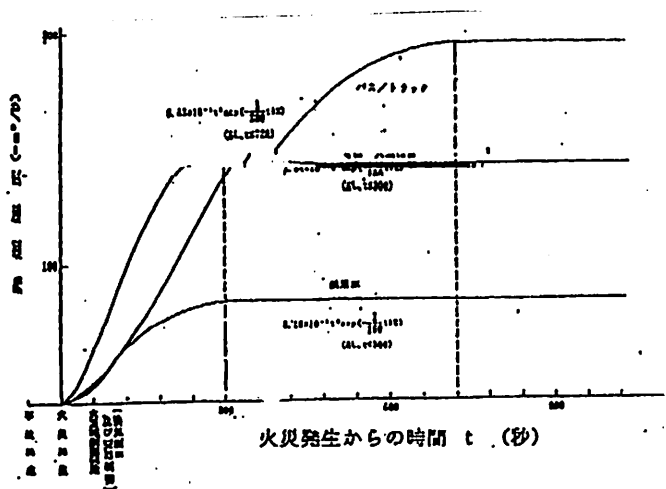


図2.3. 発煙速度曲線

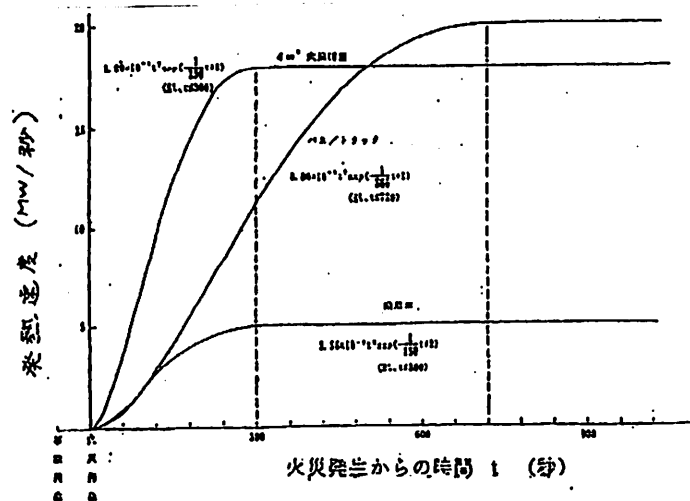


図2.4. 発熱速度曲線

③「道路トンネル内自動車火災における水噴霧設備の調査研究」では、トンネル火災における水噴霧と換気風の煙流動・温度上昇に対する影響を実験している。これによると4m²のガソリン火皿を火源とした場合、換気風がない状態では煙の成層化は点火後4～6分間火源から500m程度までの区間において認められ（路面付近はクリアーな状態）、煙は約1.5m/secの速度で進む。これに対して換気風が2m/secで、水噴霧を行わない場合には点火後10分程度火源から500m付近までの路面付近の視界は良好であるが、点火3分後に水噴霧を行うと同時に火源から150m付近までの区間において路面付近まで煙が降下し視界が閉ざされる。換気風5m/secの場合、水噴霧前にすでに煙がトンネル全断面に拡がってしまっており、水噴霧の有無による有意差は見られないとしている。

また、水噴霧による冷却効果は著しいものがあることが図2.5の火源付近の温度の経時変化によってみうけられる。

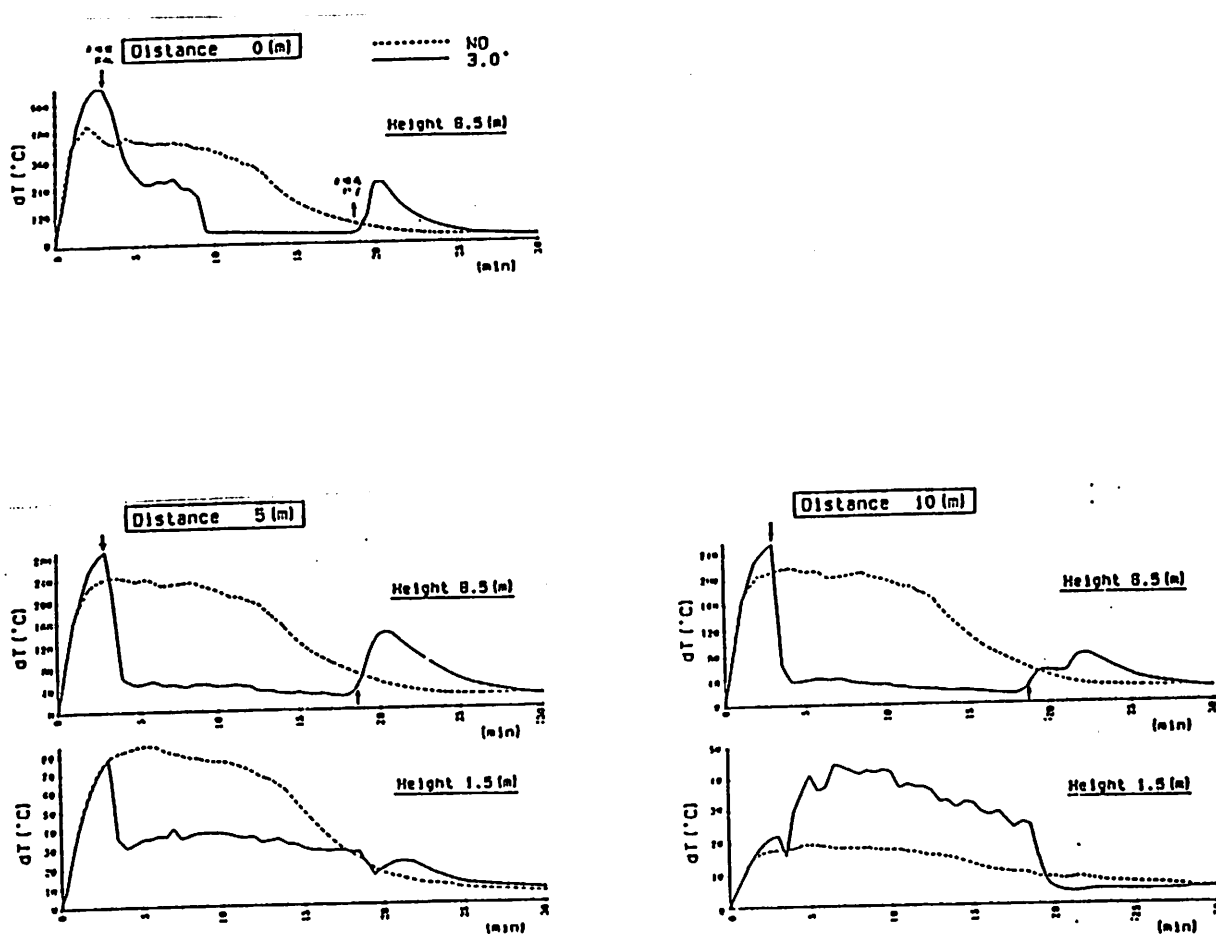


図2.5. 温度の経時変化

2-2. 地下鉄道、トンネルにおける換気方式

①地下鉄道の換気

我満^{*1)}によると地下鉄の換気方式について図2.6に示すように自然換気、機械換気（駅部給気、トンネル部排気）、機械換気（駅部給気・排気、トンネル部給気・排気）の3つをあげている。

自然換気は、100m前後の間隔で通気口を設け、列車のピストン作用によって換気を行うもので、列車長、運転間隔に換気量は左右される。列車長さ96m、運転間隔2分15秒で1時間5回程度と推定される。

機械換気（駅部給気、トンネル部排気）は、現在最も広く行われている方式である。トンネル内の排熱には換気量が大きいほど良いが、経済的理由により、営団では1時間10回を標準としている。

機械換気（駅部給気・排気、トンネル部給気・排気）は、上下線のトンネルが分離されている場合に用いられるもので、駅部は駅部で給排気を行い、トンネル部は列車進行方向に合わせて一方の駅から給気し、他方の駅端でこれを吸い上げて排気する方式である。

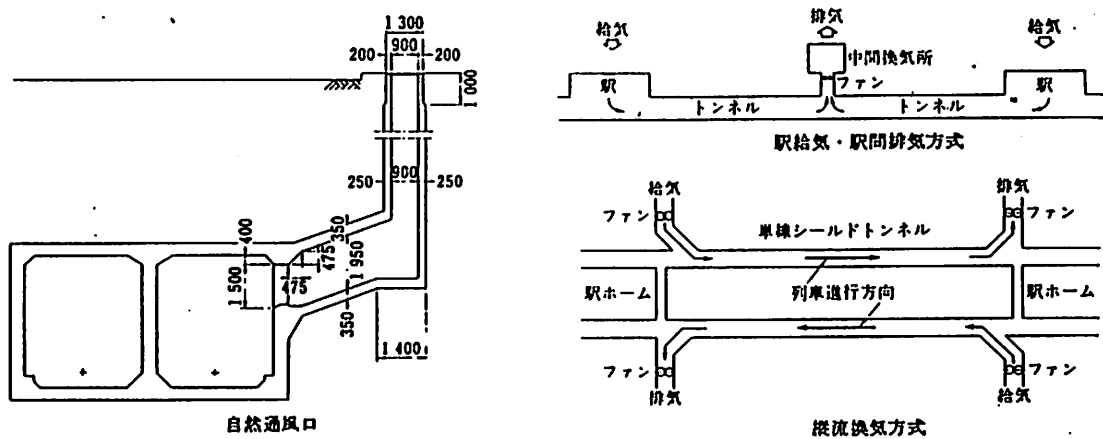


図2.6. 地下鉄の換気方式

また、火災学会消防戦術専門委員会報告*2)によると、機械換気方式には図2.7に示されるように縦流式、横流式、半横（縦）流式の3つに区分できるとしている。

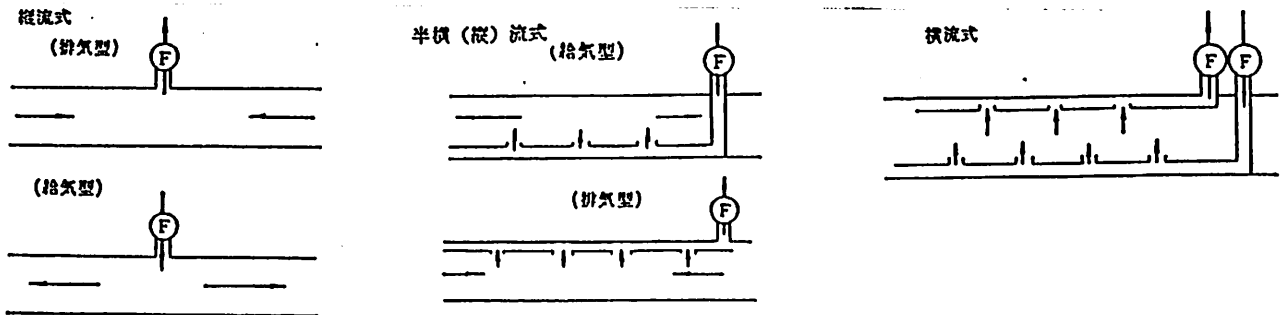


図2.7. 機械換気方式

大深度地下鉄道のずい道部での換気は自然換気では行えないと判断されるので、機械による図2.7の縦流換気方式のようなものになると考えられる。この時換気回数10回を設計目標、給・排気口間の距離をL(m)とすると、ずい道内の面風速は $10 \cdot L / 3600$ (m/sec)となり、給・排気口が360m間隔であれば1(m/sec)、720m間隔であれば2(m/sec)となり、火災初期の煙流動にかなり影響を及ぼすと判断される。

「ASSESSMENT OF THE IMPACT OF DIPPED GUIDEWAYS ON URBAN RAIL TRANSIT SYSTEMS」*3)では通常の換気と列車火災時の換気における、水平と傾斜したトンネル、単線と複線トンネルについてシミュレーションを行っている。これによると通常時のトンネル内の気温は単線トンネル、複線トンネル両方について、水平なトンネルより傾斜したトンネルの方が低く、単線で水平なトンネルの方が複線で傾斜したトンネルより低い。理由としては傾斜したトンネルの方が水平なトンネルよりブレーキによる発熱が少ない事、単線トンネルでは一定する気流の向きが複線トンネルでは一定しない事があげられる。

大深度地下鉄道では、傾斜したトンネルとなる事が予想されるが、傾斜したトンネルは水平なトンネルに比べ機械冷房を10%軽減できるものの、駅間での火災発生時には浮力の影響で気流の制御が難しくなるとしている。

②道路トンネルの換気

山田^{*)}によれば、換気の対象となる汚染物質に対する設計濃度は、一酸化炭素濃度が100ppm、ばい煙については、滞在時間を考慮して生理的な許容値よりも通行上の安全を確保するため視環境が重視されており、表2.1のように100mあたりの透過率 ($\tau = I / I_0$ 。 I ; 清浄空気を通して測定される光の強度、 I_0 ; ばい煙を通して測定される光の強度) で50%程度を採用している。

また、現在利用されている換気方式としては表2.2, 2.3に示すものが一般的であり、都市間高速道路で延長2000m以上の場合、縦流式が主体であり、延長5000mを超えると、横流式・集塵機付き送・排気式となっている。

表2.1 設計速度とばい煙透過率の限界

設計速度 [km/h]	視 距 [m]	ばい煙濃度(100 m あたり透過率) [%]
100	160	50 以上
80	110	50 以上
60	75	40 以上
40	40	(30 以上)

表2.2. 換気方式の特徴 (対面交通トンネル)


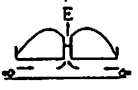
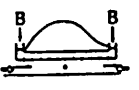
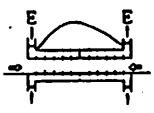
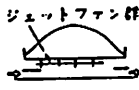
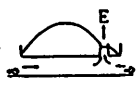
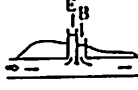
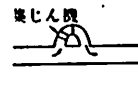
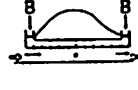
換気方式	縦 流 式		半 横 流 式	横 流 式
基本的特徴	換気風は車道を縦方向に流れる		トンネルダクトによって送気され、車道を縦流して坑口から排気される	送・排気両方のトンネルダクトを有し、換気風は車道を横流する
代表的形式	ジェットファン式	集中排気式	送気半横流式	
形式の特徴	ジェットファン群の昇圧による	両坑口吸込み、中央部集中排気式	トンネル内送気ダクトによる一様送気	
換気系略図				
適用延長 [m]	1000 m 程度以下標準	3000 m 程度以下標準	3000 m 程度以下標準	2000 m 程度以下標準

表2.3. 換気方式の特徴 (一方交通トンネル)

換気方式	縦 流 式			半 横 流 式	横 流 式
基本的特徴	換気風は車道を縦方向に流れる			トンネルダクトによって送気され、車道を縦流して坑口から排気される	送・排気両方のトンネルダクトを有し、換気風は車道を横流する
代表的形式	ジェットファン式	集中排気式	立て坑送・排気式	電気集じん式	送気半横流式
形式の特徴	ジェットファン群の昇圧による	両坑口からの吸込みによる	噴流送気の昇圧による	集じん浄化と噴流送気の昇圧による	トンネル内送気ダクトによる一様送気
換気系略図					
適用延長 [m]	2000 m 程度以下標準	1500 m 程度以下標準	適用延長上の制限なし	適用延長はディーゼル車混入率に関係するが、3500 m 程度以下標準	2000 m 程度以下標準

縦流式換気は、車道をダクトとして使用し、自動車の走行エネルギーを利用することも考慮する必要があるため、車道内の風速は走行の安全・経済性を考慮し、一方交通で10~12m/sec以下、対面交通で7m/sec程度以下としており、地下鉄の場合と同様、火災初期の煙流動にかなりの影響を与えると判断できる。

日本道路公団設計要領第三集*5)によると自動車トンネルの換気量を計画する場合、一般に交通量は時間交通量を考えるが、原則としてトンネルを含む道路の設計区間の設計交通容量*6)を用いる。ただし、20年後における推定時間交通量が設計交通容量を大幅に下回る場合は、20年後における推定時間交通量*7)を用いるとしている。

*)設計交通量は媒煙とCOに対してそれぞれ求め、設計大型車混入率

(=年平均混入率×修正率 α 、 β (表2.4))を用いて図2.8より求める。

*2)推定時間交通量=20年後の推定交通量 (台/日) ×K/100×D/100

K: 年平均日交通量に対するn番目時間交通量 (通常30番目) の割合。

D: 往復合計の交通量 (1時間単位) に対する重方向交通量の割合。

また換気量算定流れ図を図2.9に示す。

表2.4. 大型車混入率の地形区分による修正率 α 、 β

道路の地形区分	媒煙に対する α	COに対する β
山地部	0.8	0.1
平地部	0.9	0.2
市街部	1.0	0.3

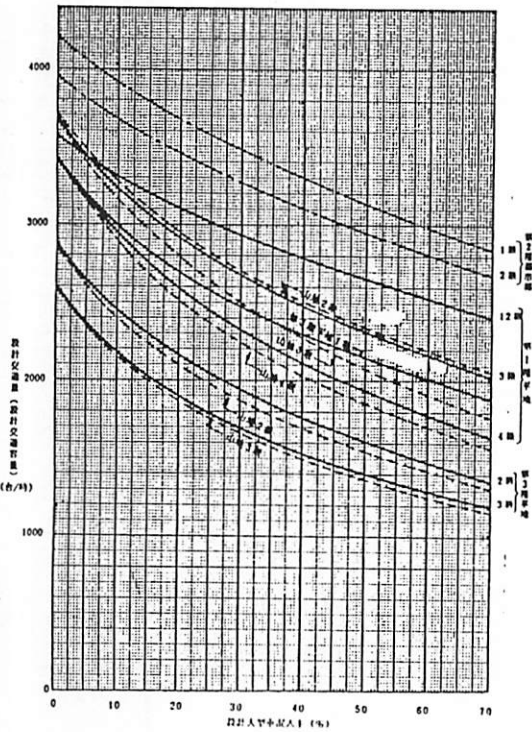


図2.8. 大型車混入率と設計交通量 (2車線一方交通トンネル)

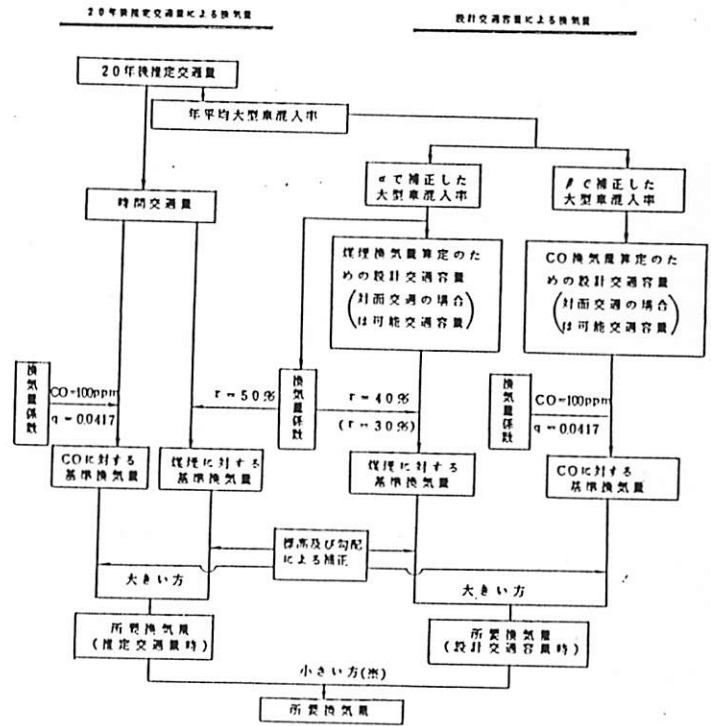


図2.9. 換気算定流れ図

換気量算定式については次式で表される。

$$Q \geq \{ (3\sigma + (9\sigma^2 + 8\mu KA)^{1/2}) / 60 (8A \cdot K)^{1/2} \}^2 \cdot N$$

Q : 所要換気量 (m³/sec·km)

μ : トンネル1km当たりの自動車群の有害成分発生量の平均値

σ : " " " " の標準偏差

K : 許容濃度

A : トンネル1km当たりの内容量 (m³)

Tt : 自動車群の平均車頭時間間隔 3600/N (sec)

N : 交通量 (台/時)

ここで勾配0%、標高400m以下、走行速度40~60km/hにおけるσ, μを用いればQは標準状態の1km当たりの換気量Q₀/Lとなる。(Q₀:勾配0%、標高400m以下、走行速度40~60km/hの定常走行状態とした場合の必要換気量、L:トンネル延長(km))

$$Q_0 = q \cdot N \cdot L \quad q = \{ (3\sigma + (9\sigma^2 + 8\mu KA)^{1/2}) / 60 (8A \cdot K)^{1/2} \}^2 \text{ と表される。}$$

これにトンネル勾配、標高、設計速度に対する補正を行ってトンネルの所要換気量を定める。

$$Q = k \cdot Q_0 \quad (k = k_1 \cdot k_2) \quad k : \text{勾配及び標高に対する補正係数}$$

k₁ : 勾配補正係数

k₂ : 標高補正係数

表2.5. 許容濃度

また許容濃度は表2.5の通りである。

計画内容	煤煙に対して(100m透過率)		Coガスに対して
	ナトリウム灯路面照度 60lx	蛍光灯路面照度 60lx	
最終計画：推定交通量を用いた場合	τ = 50%	τ = 70%	K = 100ppm
最終計画：設計交通量を用いた場合	τ = 40%	τ = 60%	
段階施行	τ = 30%	τ = 50%	

ここで以下の条件のトンネルについて所用換気量を計算する。

- ・道路の構造基準 : 第1種第3級、平地
- ・車線数・交通方向 : 4車線2方向(1方向トンネル)
- ・設計速度 : 80km/h
- ・トンネル延長 : 10km
- ・大型車混入率 : 30% (年平均)
- ・勾配条件 : +5.0%(1000m) -5.0%(1000m)
- ・車道断面積 : 58m²
- ・許容濃度 : ばい煙透過率: τ=40% (τ=50%推定交通量時)

CO : K=100ppm

- ・20年後推定交通量 ; 30,000台/日

推定交通量 $N = 2160$ 台/時
 設計交通量 (ばい煙) $N = 2750$ 台/時 (大型車混入率0.27)
 (CO) $N = 3400$ 台/時 (大型車混入率0.06)
 換気量係数 $q = 0.0417$ (CO)
 $q = 0.098$ (ばい煙; 推定交通量時 $\tau = 50\%$)
 $q = 0.072$ (ばい煙; 設計交通量時 $\tau = 40\%$)
 基準換気量 推定交通量時 $Q_0 = 0.0417 \times 2160 \times 10 = 900 \text{ m}^3/\text{s}$ (CO)
 $Q_0 = 0.098 \times 2160 \times 10 = 2117 \text{ m}^3/\text{s}$ (ばい煙)
 設計交通量時 $Q_0 = 0.0417 \times 3400 \times 10 = 1418 \text{ m}^3/\text{s}$ (CO)
 $Q_0 = 0.072 \times 2750 \times 10 = 1980 \text{ m}^3/\text{s}$ (ばい煙)
 勾配補正係数 $k_1 = 3.3 \times 1000 \times 2 / 10000 = 0.66$ (ばい煙)
 $k_1 = 2.0 \times 1000 \times 2 / 10000 = 0.40$ (CO)
 標高補正係数 $k_2 = 1.0$
 所要換気量 推定交通量時 $Q = 0.66 \times 2117 = \text{約}1397 \text{ m}^3/\text{s}$ (ばい煙)
 $Q = 0.40 \times 900 = \text{約}360 \text{ m}^3/\text{s}$ (CO)
 設計交通量時 $Q = 0.66 \times 1980 = \text{約}1307 \text{ m}^3/\text{s}$ (ばい煙)
 $Q = 0.40 \times 1418 = \text{約}567 \text{ m}^3/\text{s}$ (CO)
 従って所要換気量としては推定交通量時のばい煙濃度できまり
 $Q = 0.66 \times 2117 = \text{約}1397 \text{ m}^3/\text{s}$

となる。

ここで中央に換気口を設けトンネル内を2つに区分して換気すると仮定すると換気風の風速は約12m/sとなる。

-
- *1) 我満勝輝 地下鉄の換気・冷房の現状と問題点、空気調和・衛生工学vol. 55、1981. 3.
 *2) 火災学会消防戦術専門委員会：地下鉄火災対応の問題点(3)、火災、vol. 55、no. 4(109)、
 1977
 *3) 「ASSESSMENT OF THE IMPACT OF DIPPED GUIDEWAYS ON URBAN RAIL TRANSIT SYSTEMS」,
 KAISER ENGINEERS, INC., 1982. 1.
 *4) 山田真久 長大トンネルの換気計画、空気調和・衛生工学vol. 63、1982. 4.
 *5) 日本道路公団 設計要項 第三集 第9編トンネル、1986. 10.

第三章

大深度地下鉄道に関する消防防災対策について

3-1 大深度地下空間の特徴

- ア. 地上までの垂直方向の距離が従来経験の無いほど長くなる。
- イ. 地上への出入口が少なく限定される。
- ウ. 地上から内部の状況が把握しずらく、逆に、地下空間内部から地上の状況が把握しづらい。
- エ. 自分の位置、方向がわかりにくい。
- オ. 煙が充満しやすい。
- カ. 換気のための設備がより大規模になる。

○火災発生時の特徴

- ア. 煙、熱気が急速に充満し（ケーブル火災等）、利用者の避難、消火活動等の大きな障害となるおそれがある。
- イ. 避難路が制約され、地上までの距離が長い。
- ウ. 無窓空間・密室空間であるため、停電等により方向感覚を失ったりすると、孤立感も手伝って、心理的動揺からパニックに陥る危険が高い。
- エ. 火災の状況、火災発生場所の特定が困難となりやすい。
- オ. 消防隊の進入路が制約され、火災現場への到着の遅れ、隊員の体力消耗、消防用資機材等の搬入に大きな困難を伴うおそれがある。
- カ. 利用者、管理者、消防隊相互の情報伝達に困難を伴うおそれがある。

3-2 消防防災対策の基本的考え方

大深度地下鉄道は、技術面、運用面と共に防災面においても既存の地下鉄道と大きく異なるものではないが、形態上の基本特性として、既存の地下鉄道より駅間（トンネル部）が深くなること、駅間距離が長くなること、及び駅部が深くなる場合があることがあげられる。そのため火災が発生した場合、利用者の避難、管理者による避難誘導等の初期対応、消防隊による消火・救助活動が一般の建築物はもとより、従来ある地下鉄道に比べて著しく困難となることが予想される。

ここでは、出火・拡大防止、火災発見・情報伝達等の消防防災対策を検討する上での基本的考え方をまとめる。

①出火拡大防止対策

地下鉄車両用のA-A基準の鉄、アルミ、ガラス等不燃性の材料は、昭和45年で1778kg、昭和63年で726kgとなり、可燃物量は削減されてきているが、大深度地下空間では、比較的小規模の火災であっても、煙が急速に充満するおそれがあるため、本体策には十分留意する必要がある。

しかし、出火・拡大防止対策は、大深度地下空間の使用目的から自ずと制限がある。例えば、店舗の販売等の不燃化、列車の侵入路上の防火区画等は極めて困難である。

このことから、火気制限、設置される電気機器の出火防止対策、天井・壁等の構造物の不燃化、出火危険場所の防火区画、避難経路確保のための防火区画等を行う。

②火災発見・情報伝達

本対策は、発生した火災を適確かつ早期に発見すると共に、火災の状況、施設の状況等の情報の収集・整理し、利用者、管理者、消防隊にスムーズに情報提供が行われるために実施するものであり、火災の早期発見、火煙の拡大状況の把握のためのセンサー等の設置、管理者、利用者及び消防隊相互の情報伝達をスムーズに行うための装置の設置等がある。

大深度地下では、火災の早期発見、火煙の拡大状況の把握が一般の建物と比べ特に困難になると考えられるためセンサーの設置を行うと共にシステムのインテリジェント化等を図ること、避難中の利用者への的確な情報が与えられるように十分配慮することが必要と考えられる。

③初期消火

本対策としては、消火器、屋内消火栓設備等の火災現場に人が駆けつけて消火活動を行うための設備の設置、スプリンクラー設備、泡消火設備当の火災現場に人が駆けつけることなく自動または手動で消火する設備の設置がある。

大深度地下空間では比較的小規模の火災であっても消火活動を行う人が危険にさらされる可能性が高いと考えられる。

このことから、初期消火は、火災の種別に対応した消火設備と共に、出火危険度の高い場所にはスプリンクラー設備、泡消火設備等を設置する必要がある。

④避難

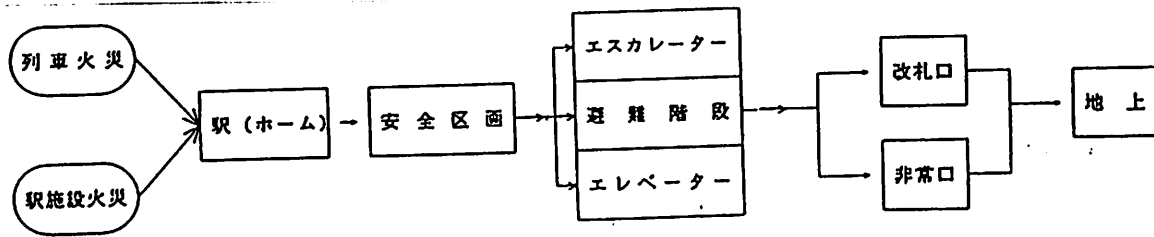
本対策としては、利用者への情報提供、避難経路の確保、避難経路の環境の確保等がある。このうち、情報提供については②と同様である。

大深度地下空間では煙が急速に充満するおそれがあるうえ、避難経路が長く、閉鎖空間である

ためパニック状態になりやすいと言える。

このため、避難対策は、利用者数、施設形態、出火。拡大防止対策、火災発見・情報伝達、初期消火等をふまえ、火災発生時に管理者から利用者への的確に情報伝達できるようにすると共に、利用者に応じた避難路の確保、避難経路の明かさ、防煙措置を行う必要があると考えられる。

また、従来とは異なり、下図のようにまず地下部における安全区画へ誘導し、一時的な避難を確保する必要がある。



大深度地下鉄道における避難の考え方

⑤防火管理

本対策は、①から④までの対策、消防隊への引継ぎ等が的確に行われるように実施するものであり、防火管理者の選任、消防計画の作成、消火・避難等の訓練、消防防災用の施設・設備の管理、火気管理等がある。

大深度地下空間の消防防災対策のソフト面を支える対策であることから、消防計画の作成は消防機関との調整を十分おこない、防災施設・設備の的確な維持管理に十分配慮する必要がある。

⑥消防活動

本対策には、進入路の確保、消火救助のための資機材の配置、消火・救助活動の環境の確保等がある。

大深度地下空間における火災現場は、到達距離が通常より長いうえ、進入路も制約され、なおかつ活動環境が極めて悪くなる可能性が高い。そのため、現場到着の遅れ、体力の消耗、消防用資機材の搬入困難等が起こるおそれがある。

このことから、確保した進入経路、活動拠点は火煙が侵入しないようにし、火災現場状況の把握のための手段の確保、消火・救助活動の負担をできるだけ少なくするような資機材、施設の確保を行う必要がある。

⑦警防計画

本対策は、⑥の消防計画を円滑に行うために、消防隊の活動計画をあらかじめ消防機関が定めるものである。

⑥で述べた理由から、大深度地下空間の消防活動は極めて困難となる可能性があるため、個々の施設の実態を十分把握して、火災の発生・拡大形態を予測し、的確な警防計画を作成する必要があると考えられる。

3-3 大深度地下鉄道における消防防災上の問題点と対策

項目	消防防災上の問題点	消防防災対策
①出火・拡大防止	<p>ア. トンネル部</p> <p>(7)車両の電気系統の絶縁不良、ブレーキによる過熱等により火災になる可能性があり、発熱量が少なくてもトンネル内に熱がたまりやすく、煙も充満する可能性が高い。</p> <p>(イ)電気室、機械室において使用しているケーブル類の火災、電気機器のオイル火災等が考えられ、このような火災では、大量に煙が発生するおそれがある。</p> <p>(ウ)建築物のような防火区画ができないため、トンネル内で発生する煙の制御が難しい。</p>	<p>(7)車両自体の出火防止・延焼防止対策が第一であり、不燃化および電気系統の出火防止対策に努めること。</p> <p>(イ)電気機器等のオイルレス化、ケーブル類の難燃化に努めること。また、電気室等出火危険の高い室は防火区画とする事。</p> <p>(ウ)火災車両が停止した場合、避難・消防活動のため、排煙または送風により少なくとも煙が拡大しないゾーンをつくれるようにすること。また、反対車線を避難等に使用する場合は、反対車線への通路に常閉の</p>

	<p>イ. 駅舎部</p> <p>(7)コンコース部は、売店、ごみ箱等に火災発生のおそれがある。</p> <p>(イ)電気室・機械室についてはア.(イ)と同様。</p> <p>(ウ)たて穴部分の火煙の拡大は、急速となる可能性が高い。</p>	<p>防火戸を設けること。</p> <p>(7)内装のより一層の不燃化をはかること。</p> <p>また、売店、ごみ箱の周辺には可燃物を置かないように努めること。</p> <p>(イ)コンコース部とその他の部分の間は防火区画をする事。</p> <p>(ウ)コンコース部およびたて穴部の防火戸の閉鎖機能は、避難および火煙拡大防止に留意したものとすること。</p>
<p>②火災発見・情報伝達</p>	<p>(7)火災の発見はそこにいる者か火災感知器等の機器類しか無く、第三者の発見通報は期待できない。また火災の状況・発生場所も把握しにくい。</p> <p>(イ)火災発生の情報を受けてその場所に確認のために到着するまでの時間が長くなる可能性がある。</p> <p>(ウ)利用者・管理者・消防隊相互の情報伝達に困難を伴うおそれがある。特にトンネル部ではその可能性が高い。</p>	<p>(7)自動火災報知器は、駅舎部にあつては地下街の設置基準に準ずることとし、トンネル部にあつては作動感知器を個々に識別できるものとする事。また、継続的に火災の情報を表示できる機能を有するものとする。</p> <p>(イ)車両に防災センターに対して非常通報できる装置を搭載すること。</p> <p>(ウ)次の機能を有する防災センターを設置すること。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・火災発生時は運転指令・電力指令等全ての管理を移管する。 ・車両との相互通信（無線）を行う

		<ul style="list-style-type: none"> ・ 消防機関への通報を行う。 ・ 駅間の相互通信を行う。 ・ 自衛消防隊に初期対応の指示を行う。 ・ 放送設備・消火設備等の操作を行う。 ・ 災害時に現場指揮本部を設置する。
③初期消火	<p>(7)煙が充満しやすい場所では、早期に人による消火が困難になる可能性が高い。</p> <p>(4)火災の発生場所が特定できない場合は、消火栓の放射位置、または消火設備の放射区画の選択が困難となる。</p>	<p>(7)駅舎部の事務室およびコンコース部分にはスプリンクラー設備を設置すること。</p> <p>また、高圧の電気室には自動消火設備を設置すること。</p> <p>(4)駅舎部の(7)以外の場所には屋内消火設備を設置する。</p> <p>また、必要と判断されるなら、トンネル部にも水噴霧設備等を設置すること。</p>
④避難	<p>ア. 共通（トンネル・駅舎）</p> <p>(7)避難路が制約される。</p> <p>(4)閉鎖空間であり、かつ、避難に時間がかかることよりパニックに陥りやすい。</p> <p>(7)煙が避難方向に急速に拡大するおそれがある。</p> <p>(4)現場の把握が難しく、避難誘導が困難になる。</p> <p>イ. トンネル部</p>	

	<p>(7)車両から避難する場合、線路と車両間のレベル差により、身障者には移動が難しい。</p> <p>また、避難経路が平面でなく、距離も長くなるため、避難行動に要する時間が長くなるおそれがある。</p> <p>(4)避難者へ情報提供が遅れるか、困難となるおそれがある。</p> <p>ウ. 駅舎部</p> <p>(7)地上までの垂直距離が数十メートルにもなる。</p>	<p>(7)車両出口と同じ高さのステップを設けた停止位置を設ける。</p> <p>そこに安全区画への防火戸付きの避難路を設置し、煙の侵入を防ぐように加圧等の措置をする。</p> <p>(4)走行中に常に乗客に車両の位置が分かるシステムを採用するか、車内放送で対応する。</p> <p>(7)コンコース部に利用者を収容するのに十分な広さの安全区画を設け、非常用のエレベーターおよび避難階段を設ける。</p> <p>(4)プラットホーム・コンコースには、非常用照明装置・誘導灯を設置する。</p>
<p>⑤防火管理</p>	<p>ア. 共通</p> <p>(7)大深度地下駅舎・トンネル内への消防隊の進入や活動開始までの時間は長くなり、それまでの間の施設関係者による消火等の初期対応の重要性が増す。</p> <p>イ. トンネル部</p>	<p>(7)自衛消防組織の活動範囲を拡大し、消防隊への支援体制を強化すると共に、利用者に対するPR、教育等の強化・徹底をはかる。</p>

	<p>(7) 駅間距離が従来のものに比べて長大になり、トンネル内での火災車両からの避難誘導（避難方向・開始時期・方法）が困難となる可能性が高い。</p> <p>(4) 車両火災の場合、管理所（指令センター）、防災センター、駅・車両相互の連絡体制・連携活動の重要性が従来より増す。</p>	<p>(7) 安全・迅速な避難のシステム化をはかり、施設関係者による避難誘導体制を確立しておく。</p> <p>(4) 初期対応の有効性の確保のため、一元的情報管理体制を確立しておくこと。</p>
⑥ 消防活動	<p>(7) 大深度地下空間における火災現場は到達距離が従来よりも長いこと、迅速に到達することが困難となる可能性が高い。</p> <p>(4) 前線および指揮本部において火災実態・避難状況・消防活動状況等を把握するのが困難となる可能性が高い。</p> <p>また、高層ビルとは異なり閉鎖空間であるため、開口部を開放する等濃煙・熱気の排除が困難である。</p>	<p>(7) 駅および駅間の一定間隔ごとに消防隊進入のための階段またはエレベーターを設置する。</p> <p>(4) 散水設備、排煙設備、無線通信補助設備を設置する。</p>
⑦ 警防計画	<p>(7) 消防部隊に対して教育を行う場合には、単純で実行性のある警防計画でなければならないが、様々なパターンでの警防計画となる。</p> <p>(4) ⑥(ウ)、(カ)等により、事前に作成</p>	<p>(7) 事業者の組織、駅舎及びトンネルの構造、防災設備、駅務員及び乗務員の災活動体制、運行指令、電力指令の状況、進入口及び活動拠点の位置、活動資機材の設置状況等の実態を把握した上で、警防計画を作成すること。</p> <p>(4) 警防計画が複雑なものとなるお</p>

した警防計画が円滑に行われぬおそれがある。

それがあることから、十分な訓練が必要となる。

第四章

まとめ

大深度地下空間利用形態のうち地下鉄道と自動車道路について、火災が発生した場合に生命を脅かされる人数は鉄道の方が多いため、鉄道の列車火災と自動車の車両火災の出火頻度について、火災の定義が異なるものの同じ1979年～1987年で鉄道が0.00186件/百万走行キロ、自動車が0.00781件/百万走行台キロである事、火源の大きさは自動車道路の方が大きく出火区画の大きさは等しいといえるため避難対象者が安全を脅かされるまでの時間（限界時間）は鉄道の方が長い事から自動車道路の方が危険といえる。

また、大深度地下鉄道における消防防災対策については、A-A基準で不燃化された車両でも現在でも年に2件ほど車両火災は発生しており、リスクの予想としては現在程度の出火頻度を考えるべきであろう。

さらに、システムの高度化によってその運用が複雑になることが予想されるがシステムの複雑さを抑えることが課題となろう。