

石勝線第1 ニニウトンネル火災の検証

東京理科大学工学部第二部建築学科

辻本研究室

今 和 俊

小 澤 竜 也

目 次

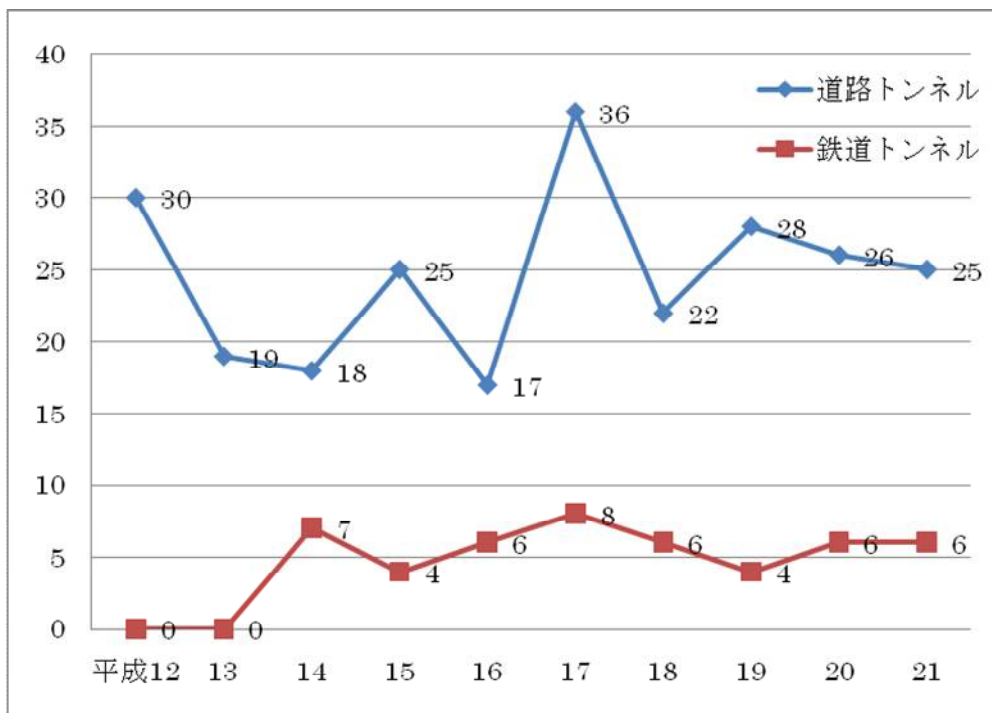
1. 研究背景、目的
 - 1-1. 研究背景
 - 1-2. 鉄道事故に関する統計
 - 1-3. 研究目的
2. 研究対象
 - 2-1. 第1 ニニウトンネル
 - 2-2. 車両概要
3. 本件トンネル火災概要
4. 経過一覧
5. 煙・避難行動
 - 5-1. 煙
 - 5-2. 煙濃度
 - 5-3. 避難行動
 - 5-4. 避難者行動心理
 - 5-5. 煙中での行動
 - 5-6. 車両内での避難状況
 - 5-7. 避難者恕限度
 - 5-8. 爆裂・火害等級
6. 検証結果1
7. FDS について
 - 7-1. FDS とは
 - 7-2. シミュレーション計算条件
 - 7-3. トンネル天井面の温度
 - 7-4. 床面から 1m の温度
 - 7-5. トンネル天井面の推定受熱温度とシミュレーション結果の比較
8. 検証結果2
9. まとめ
10. 参考文献
11. 謝辞

1. 研究背景、目的

1-1. 研究背景

近年、長大化するトンネルや地下鉄、地下街などは出入口が限定された閉塞性の高い空間である。これら閉塞的な空間での避難誘導をより安全確実に行うための対策は喫緊の課題で、平成 21 年中における道路トンネル火災は 25 件、鉄道トンネル火災は 6 件となっている（表 1）。

表 1 トンネル内車両・施設火災推移件数⁸⁾⁹⁾



1-2. 鉄道事故に関する統計

表 2 鉄道事故統計²⁸⁾

年	鉄道							軌道							計	
	列車衝突	列車脱線	列車火災	踏切障害	道路障害	鉄道人身障害	鉄道物損	車両衝突	車両脱線	車両火災	踏切障害	道路障害	人身障害	物損		
2011	0	9	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11
2010	0	6	0	0	0	1	0	0	0	0	0	2	0	0	0	9
2009	0	5	1	2	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11
2008	0	7	2	2	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	13
2007	0	12	2	3	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	19
2006	1	13	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	16
2005	2	20	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	24
2004	0	18	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	20
2003	1	20	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	23
2002	1	14	1	2	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	20
2001	0	4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5
合計	5	128	9	12	0	8	2	1	4	0	0	2	0	0	0	171

本件は 2011 年の列車脱線に含まれる。

1-3. 研究目的

本論では、平成 23 年 5 月 27 日金曜日（21 時 55 分頃）発生した、北海道勇払郡占冠村字ニニウ 2953 番地（図 1、図 2）、JR 石勝線・清風山信号場構内、第 1 ニニウトンネル火災を対象とし、本件トンネル火災が 1 人の死者も出さずに乗員・乗客全員が生還した要因を探るために、本件トンネル火災に関するプレスリリース、新聞記載記事、証言等による検証とともに、アメリカ国立標準技術研究所 NIST (National Institute of Standards and Technology) より配布されているオープンソースな火災解析ソフトである Fire Dynamics Simulator (以下 FDS) による検証を行う事で、閉塞的な空間での避難安全対策を検討する。



図 1 地図 1



図 2 地図 2

2. 研究対象

2-1. 第1ニニウトンネル

第1ニニウトンネル{(長さ: 685m、勾配 4/1000 度) 及びスノーシェルター部(長さ: 約 163m)} を含む。計 848m} 内で発生した火災を対象とし、展開図に示した(図3)。

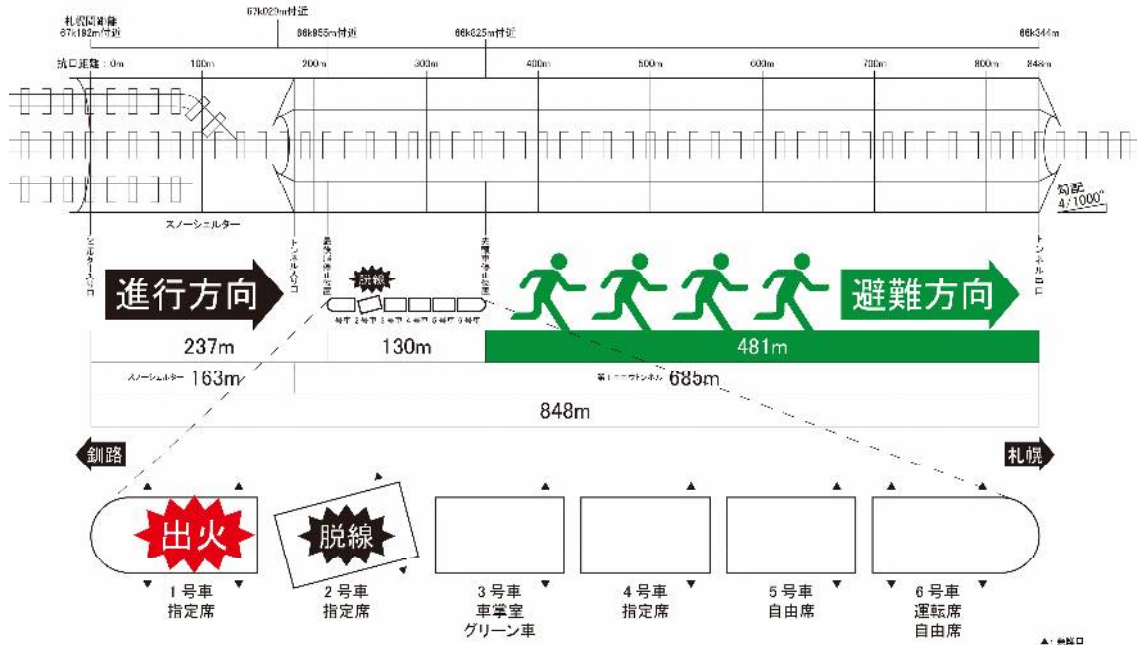


図3 第1ニニウトンネル展開図¹⁷⁾²²⁾



写真1: スノーシェルター {本件火災現場とは無関係 (撮影: 今和俊)}

2-2. 車両概要

- ・キハ 283 系 特急振子気動車 4014D 列車 (図 4)
- ・釧路駅発 札幌駅行き 「スーパーおおぞら」 14 号 6 両編成
- ・形状：全長 127,8m、幅 2.84m、高さ 3.375m
- ・客席総数 291 席、災害時の乗車率は 82.5%。

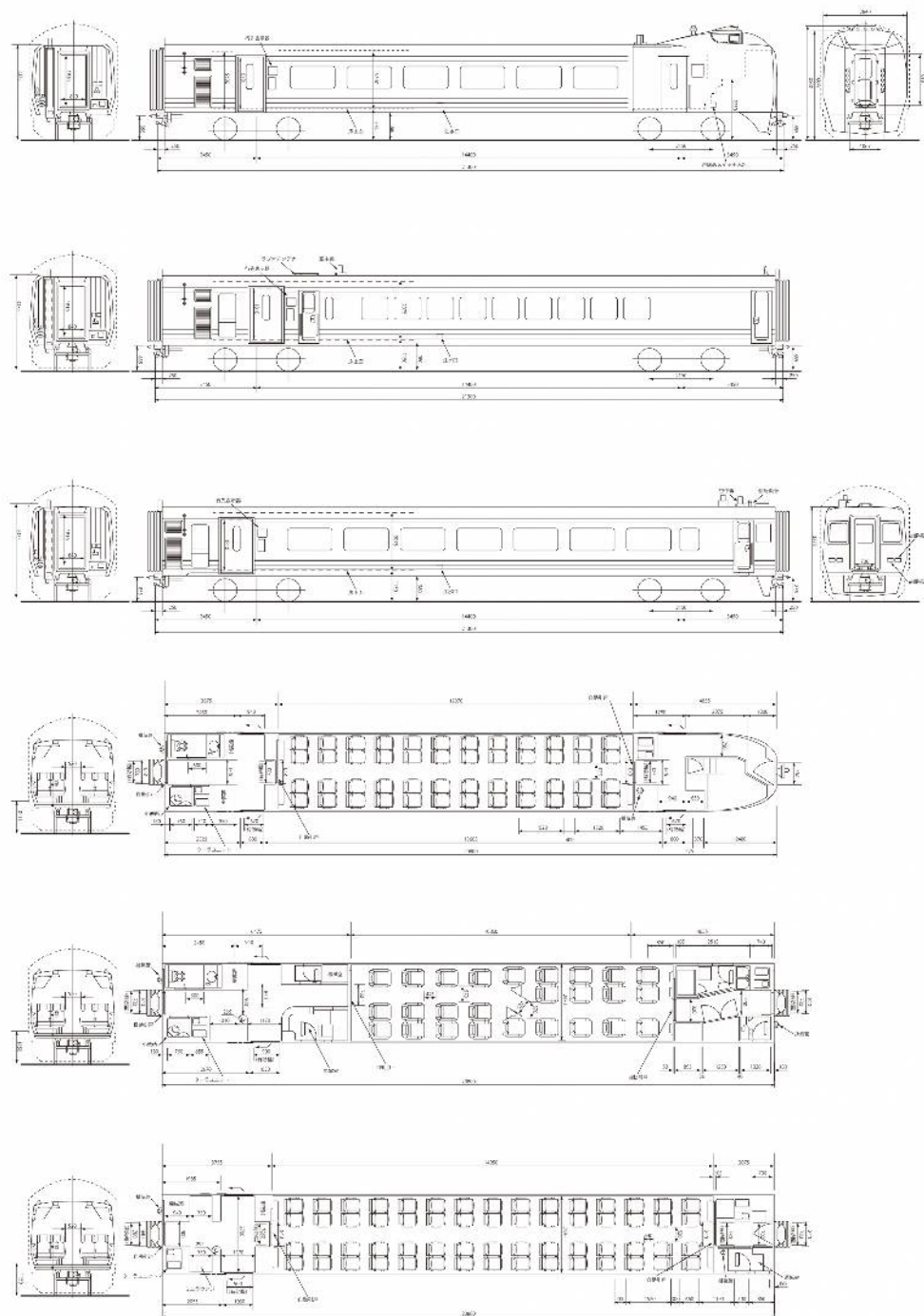


図 4 同型車両⁷⁾

3. 本件トンネル火災概要¹⁶⁾

清風山信号場付近で3号車に乗務していた車掌は、異音を感知するとともに横揺れを感じたため、運転士に連絡、運転士は直ちに非常停止手配を取り、当信号場構内の第1ニニウトンネル内に停止した。停止後、車掌は3～6号車の車内点検を行い、3号車に戻った際、2号車から白煙を認めたため、客室乗務員と協力して1～3号車の乗客を4～6号車に案内した。一方、運転士は指令と打合せを行い、トンネルから脱出するため、力行を試みたが、走行不能であった。その後、車掌は降車し、トンネルの札幌方出口まで徒歩で10分程度であることを確認した後、列車に戻ったところに乗客がドアから降りて避難を始めていた。運転士及び客室乗務員が最後尾となり車両からの避難を完了した。なお、乗客人数は240人（私用で乗車していたJR社員を含む）の他、乗務員4人（運転士1人、車掌1人、客室乗務員2人）となっている。



写真2：本件車両（出典：北海道鉄道株式会社 資料）

4. 経過一覧

北海道鉄道株式会社発表プレスリリース・新聞記載記事・証言等をもとに、緊急停止から火災鎮火までの乗員・乗客の行動を時間経過と共にまとめた(表3)。

表3 経過一覧¹⁰⁾¹¹⁾¹²⁾¹³⁾¹⁴⁾¹⁵⁾³¹⁾

時刻			5月31日発表プレスリリース:乗務員と指令のやりとり	第4回協議会参考資料:消防署への連絡体制等について	第4回協議会参考資料:避難誘導に当たった社員の行動 No. 1, No. 2, No. 3	第4回協議会参考資料:避難誘導に協力されたお客様の行動 No. 1, No. 2	新聞記載証言・記事
	発信者	受信者	打ち合わせた内容				
21:55頃							<p>「ガリガリガリガリという音を聞いて、初めはシカと衝突したと思った」十勝毎日新聞5月28日土曜日(日刊)女性会社員(42) iPadの明かりを頼りに避難</p> <p>「石か木を踏んだのかと思った」北海道新聞5月28日土曜日(夕刊)女性会社員(26)</p> <p>「トンネルに入る直前ぐらいで、地面を引かくようにガタガタと揺れた。窓から外を見ると車両から火が噴き出していた」朝日新聞5月28日土曜日(夕刊)1号車の男性会社員(56)</p> <p>「車両の下でバチバチと部品を引きずるような音がして、物に乗り上げるような感触があった。直後に窓の外で</p>

21:56	運転士	指令	1・2号車の機関停止等車両の異常を認めため、緊急停止した旨の報告	1号車・2号車の機関停止、車両異常を認めためトンネル内に緊急停止した旨の報告	<p>火災には気付いておらず最後まで火災の認識ない。6号車窓側前から5列目車乗車社員A</p> <p>火災には気付いておらず最後まで火災の認識ない。6号車5番A乗車社員B</p> <p>火災には気付いておらず最後まで火災の認識ない。5号車1番A乗車社員C</p>	<p>火柱が一瞬上がった」</p> <p>日本経済新聞 5月28日 土曜日 (夕刊) 最後尾の車両乗車男性公務員(45)</p> <p>列車は下から突き上げるような「ドンッ」という強い衝撃の後、何かを引きずるような感覚とともに次第に減速、やがて停車した。</p> <p>北海道新聞 5月28日 土曜日 (夕刊)</p> <p>1号車の複数の乗客が、進行方向右側に火を見たと話している。</p> <p>朝日新聞 5月31日 火曜日(朝刊)</p> <p>「けがをされた方はいませんか」読売新聞 5月29日 日曜日(夕刊)</p> <p>「お茶をこぼされた人はいませんか」十勝毎日新聞 5月28日 土曜日(日刊)</p>
-------	-----	----	----------------------------------	--	---	--

						<p>火災には気付いておらず最後まで火災の認識ない。6号車進行左中程乗車社員 D</p>	<p>4～6号車のお客様は火災に気づいていない様子・1号車乗車男性 A</p>	<p>「大事故とは認識していなかった」十勝毎日新聞 5月28日土曜日(日刊)女性会社員(42) iPadの明かりを頼りに避難</p>
						<p>火災には気付いていない。5号車4番B乗車社員 E</p>	<p>緊迫した状況はすぐには伝わって来なかった・前方車両乗車男性 D</p>	<p>トンネル内で止まると、一呼吸置いて窓の外に火炎が立ちあがった。十勝毎日新聞 5月29日曜日(日刊)1号車に乗車の北海道議会議長男性(59)</p>
						<p>火災には気付いておらず最後まで火災の認識ない。6号車6番C乗車社員 F</p>		<p>列車の緊急停止直後、最後尾の1号車の後方3列目付近で高さ約2メートルの炎を窓から確認した。北海道新聞 6月9日木曜日(朝刊)女性客室乗務員(25)</p>
						<p>当初は火災には気付いていない。5号車6番A乗車社員 G</p>		<p>「窓越しに火が噴き出し、トンネルの壁に沿って立ち上がった。やばいと思った」朝日新聞 6月2日木曜日(朝刊)1号車の男性会社員(56)</p>
						<p>火災には気付いておらず最後まで火災の認識ない。6号車前列左乗車社員 H</p>		<p>4両目にいた車掌は異常に気付き、運転士に連絡。日本経済新聞 6月2日木曜日(夕刊)</p>
						<p>火災には気付いておらず最後まで</p>		<p>「火花が出ていた」十勝毎日新聞 5月28日土曜日</p>

				<p>で火災の認識ない。5号車12番D乗車社員I</p> <p>6号車8番D乗車社員K</p> <p>6号車1番D乗車社員L</p> <p>運転士を支援するため運転席へ。6号車窓側前から5列目車乗車社員A</p> <p>運転席へ行き、名前を名乗り協力を申し出た。6号車5番A乗車</p>	<p>(日刊)</p> <p>「席の下が熱くなり、窓の下から炎が見えた」北海道新聞5月30日 月曜日(朝刊)1号車の複数の乗客</p> <p>「窓の外に火花が見えて驚いた」北海道新聞5月31日 火曜日(朝刊)2号車の男性会社員(45)</p> <p>「窓の外に炎が上がるのを見て前方へ移動し、3号車のドアから脱出。」北海道新聞6月4日 土曜日(朝刊)1号車の男性医師(30)</p> <p>「列車の両側から炎が見え、列車が止まるとすぐに煙が車内に入ってきた。乗客は前の車両に移動したが、みな比較的冷静に行動していた」読売新聞5月29日 日曜日(夕刊)医師(29)</p> <p>1、2号車など後方の乗客はこの時点で「火災が発生した」と認識していた。北海道新聞5月31日 火曜日(朝刊)2号車の男性会社員(45)</p>
--	--	--	--	---	---

				社員 B		
				最初は車掌室に向かい状況を確認。その後、運転士を支援するために運転席へ。6号車進行左中程乗車社員 D	後方のお客様から「焦げ臭いので前の方に移動したほうがよいのでは」の声・1号車5番B乗車男性 B	「1号車に煙が充満し、2号車に流れた」北海道新聞5月30日月曜日(朝刊)1号車の複数の乗客
				運転士支援のため運転席へ。5号車6番A乗車社員 G		「白い煙が立ちこめてきた。プラスチックを燃やしたような嫌なおいがした」煙は火災によるものと考えていた。北海道新聞5月31日火曜日(朝刊)2号車の女性会社員(26)
				状況確認のため運転席へ。6号車前列左乗車社員 H		車内に煙が入ってきたので「まずいな」と思い、近くの乗客と声を掛けながら、みんなで前方の4号車まで移動した。十勝毎日新聞5月29日日曜日(日刊)1号車の北海道議会議長男性(59)
						煙が充満して来た2号車では、スーツ姿の男性が「若い人、集まって」と声をかけた。読売新聞5月29日日曜日(夕刊)
						「ぐったりした人を運ぶために、洋服をつなぎ合わせて手製の担架を作って運んだ」読売新聞5月29日日曜日(夕刊)男性(27)

22:00	車掌	指令	1～3号車の 方の床下か ら煙が入っ てきている との報告	1～3号車内に 床下から煙が 入ってきてい るとの報告。	
	指令	運転 士	4014Dの停止 位置を確認		<p>「そのまま待機してく ださい」毎日新聞 5月 28 日土曜日 (夕刊)</p> <p>「調べるのでこのまま お待ちください」「車 外には出ないでくださ い」「車内を確認しま すので、そのまま待機 してください」事故発 生から 20分過ぎても 乗務員はこう繰り返 し、乗客の車外への避 難を制止し続けた北海 道新聞 5月 29日 日曜日 (朝刊)</p> <p>「その間、『現状把握 に努めている』という 趣旨アナウンスがあっ ただけで、具体的な指 示はなかった」十勝毎日 新聞 5月 29日 日曜日 (日刊) 男性会社員 (25)</p> <p>2号車に到着、 「1号車から 火が出ている ので移動しま せんか」との 数名の声に 2 号車乗客も移 動・1号車 5 番 B乗車男性</p> <p>「(後方の) 3、2、1 号車の人は前の車両に 移ってください」十勝毎 日新聞 5月 28日 土曜日 (日刊)</p>

22:03	指令	車掌	<p>1～3号車に煙が充満しているようであれば、直ちにお客様を4～6号車に案内するよう指示</p> <p>放送案内をかけて移動してもらっている旨の報告</p>	<p>1～3号車内の煙が充満していれば、4～6号車にお客様を誘導するよう指示。</p>		<p>午後10時3分 指令センターは車掌に「煙が充満しているなら、乗客を（前方の）4～6号車に案内しろ」と指示</p> <p>北海道新聞 5月31日火曜日（朝刊）</p> <p>3号車に到着、誰もハンカチ・タオルを出していないので、カーテンを破り使用するよう周りに促したが、カーテンを破ったのは私一人・1号車5番B乗車男性B</p> <p>「後方車両の乗客が列になって前方車両に向かった。5号車まで行く先が詰まって動かなくなった」北海道新聞5月31日火曜日（朝刊）2号車の男性会社員(45)</p> <p>「6号車は人でいっぱいだった」北海道新聞5月31日火曜日（朝刊）会社員(36)</p> <p>煙は濃くなり気分が悪くなる乗客も。「医療関係者はいませんか」という乗客の悲鳴が響いた。北海道新聞5月28日土曜日（夕刊）</p>
-------	----	----	---	---	--	--

22:04	指令	運転士	<p>停止位置が清風山を出た第1ニニウトンネルで良いのか確認</p>			<p>車掌が後方車両の乗客に、前方に移動するように呼び掛ける車内放送を聞き「車掌も火災を知っている」と思い込み乗客の移動を優先。</p> <p>北海道新聞 6月9日 木曜日(朝刊) 女性客室乗務員(25)</p> <p>「火が出ているようだ」と話す乗客の会話を耳にしたが避難してきた乗客で通路が埋まり車掌につたえられなかった。北海道新聞 6月14日 火曜日(朝刊) 6号車の JR 北海道社員</p> <p>「車掌と連絡をとれる状況ではなかった」北海道新聞 6月9日 木曜日(朝刊) 女性客室乗務員(25)</p> <p>JR 北海道では、勤務時間外に列車内で異常事態に遭遇した場合の対応規定はない。北海道新聞 6月14日 火曜日(朝刊)</p>
22:05	車掌	指令	<p>その通りだと思ふと報告</p> <p>運転士が力行出来ないと言っていることと、3号車の車内は煙がひどいとの報告</p>	<p>機関の逆転機が入らないため力行出来ない旨の報告。</p>		<p>午後10時5分 車掌は指令センターに「運転士が運転不能で列車をトンネル外に出すことができないと言っている」と報告北海道新聞 5月31日 火曜日(朝刊)</p> <p>「運転士が力行(運転)できないと言っている。3号車は煙がひど</p>

22:06	指令	車掌	<p>運転できないようなので、大至急車内放送をかけて4～6号車に行く様にするのと1～3号車にお客様がいらないか確認を指示</p>	<p>大至急車内放送をかけて、4～6号車に案内するように指示。</p>		<p>い」日本経済新聞 5月31日 火曜日 (刊)</p> <p>トンネルから脱出を試みたが、装置の不調で走行できなかったという。十勝毎日新聞 5月29日 日曜日 (日刊)</p>
22:07	車掌	指令	<p>前から降りてトンネルを避難した方が良いとの報告</p>			<p>指令「大至急車内放送をかけて前方の車両に誘導し、後方の車両に乗客がいらないか確認」との指示に対して「前から降りてトンネルを(歩いて)避難した方がいい」車掌と返答日本経済新聞 5月31日火曜日 (朝刊)</p>
	指令	車掌	<p>トンネル内なので乗降ドアを開けたとしても煙が入ってくるのでドアを開ける</p>			<p>午後10時7分 車掌は指令センターに「前方車両から乗客を降ろしてトンネルから避難させた方がいい」と報告。指令センターは「扉を開けると煙が入る」と車内で待つよう指示北海道新聞 5月31日火曜日 (朝刊)</p>

22:10 頃	指令	運転士	い旨を報告 全ての期間停止を指示			転士 指令は全エンジン停止を指示。日本経済新聞 5月31日火曜日 (刊) 午後 10 時 10 分 車掌は指令センターに「すごい煙で息ができない状況」と報告北海道新聞 5月31日火曜日 (朝刊) 「かなりすごい煙で息ができない」日本経済新聞 5月31日火曜日 (刊) 車掌 「乗客は携帯電話の明かりで周りを照らしていた。そのうち、車内もだんだんと白い煙がすごくなり、『目が痛い』『のどが痛い』という人がでてきた」+ 勝毎日新聞 5月29日日曜日 (日刊) 男性医師 (29)
	車掌	指令	かなりすごい煙で息が出来ない状況を報告 指令の指示を受け、運転士は機関停止を行った。6号車のエンジンを床下で始動しようと車外に出た。その直前の運転席表示灯は「ATS」と「戸」表示灯	6号車エンジン起動しようとして運転士が降車する際の運転席表示灯は、「ATS」と「戸」表示のみ点灯していた。	運転士と一緒に車外へ行き、車両故障の処置を行う。6号車進行左中程乗車社員 D	「煙がひどくなってせき込む人が出てきた」北海道新聞 5月31日火曜日 (朝刊) 4号車の男性会社員 (47)

22:11	指令	車掌	<p>だけが点灯していた。</p> <p>先頭車の方へ全員避難するよう指示</p> <p>先頭車の方へ避難させている旨を報告</p>	<p>前方(6号車方向)へお客様全員を避難するよう指示。</p>	<p>札方デッキのお客様から「早く降ろせ」と言われたが、「社員が車外を確認しているのでお待ちください」と返答。6号車窓</p>	<p>4号車に移動、誰も騒がず、乗客全員が状況を把握し淡々と移動した。4号車に到着、客室乗務員へ「乗客に飲料水を配り、タオル、ハンカチを濡らすように」と指示した・1号車5番B乗車男性B</p> <p>飲料水が無くなったので、客室乗務員と一緒に3号車に取りに行く。アルコール以外の飲料をバッグに入</p>	<p>「客室乗務員が車内販売用の水を乗客に渡し、乗客はハンカチに水をふくませて口に当てた」北海道新聞5月31日 火曜日(朝刊)2号車の女性会社員(26)</p> <p>破ったカーテンに水を含ませて煙を吸い込むのを防ぎ合ったり、車内販売の水を分け合った。十勝毎日新聞5月29日 日曜日(日刊)1号車の北海道議会議長男性(59)</p> <p>「どうなっているんだ」北海道新聞5月29日 日曜日(朝刊)乗客</p>
-------	----	----	--	----------------------------------	---	---	---

22:13	指令	運転士	先頭車の機関だけで始動するように指示		<p>側前から5列目車乗車社員 A</p> <p>札方デッキのお客様から「降ろせ」「どうするんだ」と言われたが、「お待ちください。確認中です」と返答。</p> <p>6号車5番 A 乗車社員 B</p> <p>6号車札方デッキのお客様から「ドアを開ける、車両を切り離せ、出口まで何 m あるんだ」と言われた。6号車前列左乗車社員 H</p>	<p>れ4号車に戻る・1号車5番 B 乗車男性 B</p> <p>乗客同士が火災時の対応（口に濡れたハンカチで抑える、煙に対して低い体制をとるなど）を伝言していた・1号車9番 D 乗車男性 C</p>	<p>乗務員は「少々お待ちください」と繰り返すばかり 北海道新聞 5月29日 日曜日（朝刊）</p> <p>ある乗務員は動転して「少々お待ちください」「本部の指示がないので絶対に車外に出ないで」と繰り返すばかりだった。北海道新聞 5月28日 土曜日（夕刊）</p> <p>「車内アナウンスは『本部の指示を待っている』という内容。ただ電気が消えたときに『外に出よう』ときめた」 十勝毎日新聞 5月29日 日曜日（日刊）1号車の北海道議会議員長男性（59）</p> <p>「乗客は『イチかバチか、車外に出るしかない』という雰囲気になった」 北海道新聞 5月31日</p>
-------	----	-----	--------------------	--	--	--	---

				<p>22:14～22:29の間、運転士と指令との交信途絶える。</p>		<p>火曜日(朝刊)2号車の病院職員(28)</p>
22:14	指令		無線で乗務員を呼ぶも応答なし			<p>午後10時14分 車掌はトンネル出口を確認に車外へ、運転士は火元を確認に車外へ北海道新聞5月31日火曜日(朝刊)</p> <p>「車掌が外に出たので不安になった」毎日新聞5月28日土曜日(夕刊)3号車の男性</p>
22:15頃			JR 釧路支社員は、運転席付近においてお客様から「何の音だ?」と聞かれ、「運転席のブザーが鳴っている」と答えている。(火災報知が作動したときのブザーと思われる)	JR社員が、運転席付近にいたお客様からブザー音のこゝとを聞かれ、「運転室のブザー」である旨を返答。＝火災発生を知らせるブザーと思われる。		<p>前方の車両を動かそうとしたが、電灯が消え車内は真っ暗に。日本経済新聞5月28日土曜日(夕刊)</p>

<p>22:18 頃</p>			<p>運転士は、運転席で火災表示灯の点滅を認めるとともにブザーの断続音を聞いている。(火災検知が作動したと思われる)</p>	<p>運転士は、運転席で火災表示灯の点滅を認めるとともにブザーの断続音を聞いている。=火災検知が作動したと思われる。</p>	<p>4号車、前方から男性の声 「車両に懐中電灯が設置されているので捜してみてください、再び3号車に戻り非常灯を見つけ出し、客室乗務員に渡す。設置箱が1回で叩き割れなかった・1号車5番B乗車男性B</p> <p>2号車にも非常灯を捜しに行くが見からないため、1号車へ。1本見つけ出し4号車に戻る途中、各号車の扉を1枚1枚閉め切った。さらに運転席へ移動・1号車5番B乗車男性B</p>	<p>突然、電灯が消えると乗客たちは騒然となった。北海道新聞5月28日土曜日(夕刊)</p> <p>車内は停電しアナウンスもなくなった北海道新聞5月31日火曜日(朝刊)</p> <p>「(電灯が消え)さすがに『まずい』と思った」+勝毎日新聞5月29日曜日(日刊)男性医師(29)</p> <p>「真っ暗で生きるか死ぬかの心境だった」+勝毎日新聞5月28日土曜日</p>
--------------------	--	--	--	--	---	--

22:20頃	車掌	運転士	トンネル出口まで確認出来たら無線連絡するのでお客様を避難誘導して欲しいと打合せ		処置不能のため、また無線機も通じないため、トンネル外に脱出し、最初に指令とコンタクトを取る。6号車進行左中程乗車社員D	(日刊) 「このまま車内にいたら死ぬだけだ」十勝毎日新聞5月29日日曜日(日刊)
22:26				輸送指令長が、交信途絶になったことを「危険」と判断し、警察へ110番通報。	運転士から懐中電灯を借りて車外に出て車両点検を行った。5号車6番A乗車社員G	列車停止して約25分後の午後10時20分すぎ、「6号車の同僚から(進行方向を変える)逆転機が入らない」北海道新聞6月14日火曜日(朝刊)5号車のJR北海道社員
22:29	JR社員(運転士)	指令	トンネル内に煙が充満しており、車内にもかなりの煙が入ってきているとの報告		車内では主に指令との無線交信を手伝っていた。6号車窓側前から5列目乗車社員A 2号車付近まで来ると1号車エンジン付近で炎が見えたため、6号車に戻るもすでにお客様は全員避難した後だ	6号車前方のドアから車外に出て1両ずつ車両下部を点検。北海道新聞6月14日火曜日(朝刊)5号車のJR北海道社員 2号車付近で出火元の1号車床下から約40～50センチの炎、トンネル上部のケーブルから約10センチの炎が上がっているのを確認。 北海道新聞6月14日火曜日

22:30 頃	車掌		トンネル出口まで確認し運転士に無線連絡したが、感度が悪く車両に戻った		った。5号車6番A乗車社員G	(朝刊)5号車のJR北海道社員
22:30	指令	JR社員(運転士)	前側の車両にお客様誘導が終了したか確認を指示	お客様を先頭に誘導しているが煙が充満して苦しい旨、火災等の発生が無い旨の報告。		午後10時半ごろ交信が復活日本経済新聞5月31日火曜日(朝刊)車掌 指令は乗客の誘導が終わったかどうか確認を求めたが「前も後ろも煙が充満している。火災は発生していない」との応答日本経済新聞5月31日火曜日(夕刊)
22:31	JR社員(運転士)	指令	前の方に誘導しているが、前も後ろも煙が充満している。火災は発生していないとの報告			午後10時半になっても「前も後ろも煙が充満しているが、火災は発生していない」北海道新聞6月1日水曜日(朝刊)JR北海道 煙の勢いが強まっても「火災ではない」と思っていた。北海道新聞6月1日水曜日(朝刊)JR北海道 緊急停止後、前側3両に誘導されるなどした乗客は約50分間、通路やデッキですし詰めと
	指令	JR社員(運転士)	トンネル内の停止位置を確認			
	JR社員(運転士)	指令	中央部と報告			

						なり、乗務員の指示を まった。十勝毎日新聞 5 月 29 日日曜日 (日刊)
					運転室内の誰 かが、「よし 出るべ」と発 言・1 号車 5 番 B 乗車男性 B	「もう息もできない」 北海道新聞 5 月 29 日日曜日 (朝刊) 乗客
						「もう駄目だ」午後 10 時半ごろ、5 号車では、 立ち込める煙に苦しげ な男性がそう言って自 身の判断でドアを開け た。北海道新聞 5 月 29 日日 曜日 (朝刊)
						「近くの男性が『もう ダメだ』と言ってドア を開けて外に出た。そ の男性の判断に従い、 みなが続いた」北海道新 聞 5 月 31 日火曜日 (朝刊) 2 号車の男性会社員 (58)
						「出ないとだめだ」と 周りの人と声を掛け合 い、非常用ドアロック を操作して外に出た。 朝日新聞 6 月 2 日木曜日 (朝 刊) 2 号車の男性会社員 (56)
						アナウンスが途絶えて 約 10 分「もう行くしか ないと思った」と非常 用ノブを使ってドアを 開けた。読売新聞 5 月 29 日日曜日 (夕刊) 男性 (57)

22:34			<p>お客様が勝手に外に出て歩いている旨の報告</p>		<p>「避難するぞ」毎日新聞 5月28日土曜日（夕刊） 煙に追われるように乗客は荷物を持ち移動を始め、自力で車外へドアを開けた。読売新聞 5月29日日曜日（朝刊）</p>
22:35			<p>お客様の行動を再確認するため、オウム返しに照会。 （照会するも、以降、現地からの交信途絶える。）</p>	<p>他の乗客2人と車両からの脱出について相談「脱出方向は札幌方面、車掌からの情報によるとトンネル出口まで歩いて10分位、出口まで4～500mと判断」・1号車9番D乗車男性C</p>	<p>「煙が立ち込めたので外に出ようとしたら乗務員に『待ってくれ』と言われたが、誰かがドアを開けて自主的に逃げ出した」毎日新聞 5月28日土曜日（夕刊）男性会社員（28） 「危険が迫っているのに『外を歩かないで』と言われた。JRの指示は最悪だった」朝日新聞 6月2日木曜日（朝刊）2号車の男性会社員（56） 近くにいた車掌が「出口まで何百メートルもある」と言ったが、乗客は、次々に車内から脱出を始めた。読売新聞 5月29日日曜日（夕刊）</p>

						<p>お客様の流れに沿って、6号車札方デッキから降車し、その後降車するお客様を地上で介助した。5号車1番A乗車社員C</p>				<p>「最初に飛び出した人がいなければ危なかった」毎日新聞5月28日土曜日(夕刊)男性会社員(62)</p>
						<p>お客様の流れに沿って、5号車札方デッキから降車し、その後降車するお客様を地上で介助した。5号車4番B乗車社員E</p>				<p>煙が収まらないと感じた乗客は独自に下車を始めた。北海道新聞5月31日火曜日(朝刊)</p>
						<p>お客様が6号車札方デッキから降車する際、地上で介助した。6号車前列左乗車社員H</p>				<p>「前の方で車外にしているのが分かった。乗客の男性から『外に歩いて逃げよう』との声が上がった」十勝毎日新聞5月29日日曜日(日刊)男性医師(29)</p>
						<p>お客様の流れに沿って、5号車札方デッキから降車し、その後降車するお客様を地上で介助した。5号車6番B乗車社員J</p>	<p>4号車の前側ドアから降車、ドアは誰かが開けていた。・1～3号車(詳細不明)乗車男性E</p>	<p>降車時は誰一人出口に群が</p>		<p>煙が充満し、車内灯が消え暗闇となるなど、恐怖と不安は極限に達し、乗務員の避難誘導を待たずに自主的な脱出を始めたことが、結果的に1人の犠牲者も出さずに済んだことにつながった。十勝毎日新聞5月29日日曜日(日刊)</p>

					<p>ることなく譲り合いながら降車していた（6号車前方デッキ）・1号車5番B乗車男性B</p>	
				<p>「もう乗客が降りて外を歩いている」との声が上がり、ドアを開放し無線機を持ってトンネル外に脱出。6号車窓側前から5列目車乗車社員A</p>		<p>「車外は煙がひどく、この中をどれだけ歩けるのか、と不安だった。煙のせいで涙がぼろぼろこぼれ、助からないと思った」北海道新聞5月31日火曜日（朝刊）5号車から降りた2号車の男性会社員（45）</p>
				<p>「もう乗客が降りて外を歩いている」との声が上がり、社員Aと「もうお客様を降ろさないと大変なことになる」と判断し、6号車札方デッキ進行右側からお客様を降車させた。6号車5番A乗車社員B</p>		<p>「視界がほとんどきかず、どこまで歩けばいいのか分からなかった」北海道新聞6月5日日曜日（朝刊）乗客</p>
						<p>「真っ白な煙が充満していて、何も見えなかった」日本経済新聞5月28日土曜日（夕刊）女性介護士（20）</p>

<p>時間 不明</p>			<p>客室乗務員は6号車前ドアから降りる際にブザーの断続音を聞いている。(運転席で火災検知が作動したときのブザーが鳴動していたと思われる)</p>		<p>トンネルに出た後は、沿線電話で指令に状況を報告していた。6号車窓側前から5列目車乗車社員A 6号車札方デッキ進行右側だけ開放されていたが、時間がかかると思い、進行左側を開放しお客様を降車させた。6号車6番C乗車社員F</p>	<p>「白い煙で前が見えなかった。右手で車両を、左手でトンネルの壁を触ってすこしづつ移動した」読売新聞5月29日 日曜日 (夕刊) 男性会社員(52)</p> <p>「真っ暗で壁伝いに歩いた」北海道新聞6月5日 日曜日 (朝刊) 乗客</p> <p>四方八方が暗闇の中を、携帯電話のほのかな明かりで足元を照らして、注意深く歩くしかなかった。北海道新聞5月28日 土曜日 (夕刊)</p>
------------------	--	--	---	--	---	---

						<p>車内に残っているお客様がいな いかを確認する ため、後ろに行 き、5号車ドア から降車するよ う誘導した。6 号車5番A乗車 社員B</p>				<p>「地獄のようだった」 毎日新聞5月28日土曜日(夕 刊)</p>	<p>「生きた心地がしなか った」毎日新聞5月28日土 曜日(夕刊)</p>	<p>「右も左も分からず、 本当に怖かった」北海道 新聞5月29日日曜日(朝刊)</p> <p>「死ぬと思った」北海道 新聞5月29日日曜日(朝刊) 北海道新聞釧路支社販売部女 性社員(26)</p> <p>「死ぬんじゃないか。 死にたくないと思っ た。避難指示や誘導を 待っていたら大変な事 になっていた」読売新聞 5月29日日曜日(夕刊)男性 会社員(52)</p> <p>「乗客はみんな死ぬか も思ったと思う。私 もそう思った」十勝毎日 新聞5月29日日曜日(日刊) 男性医師(29)</p>
					<p>トンネル外に出 るも、まだ脱出 途中のお客様が いたので、トン ネル内に戻り、</p>				<p>「妻の顔が目には浮かん だ。二度とJRには乗り たくない」毎日新聞5月 28日土曜日(夕刊)男性社 員(28)</p>			

						<p>女性を背負って外へ。6号車窓側前から5列目車乗車社員A</p> <p>トンネル外に出るも、まだ脱出途中のお客様がいたのでトンネル内に戻り、老婆に手を貸し外へ(2回往復)。</p> <p>5号車6番B乗車社員J</p>						<p>前の人が捨てた荷物につまずく人も多かった。読売新聞5月29日日曜日(夕刊)男性会社員(52)</p> <p>「足元をとられ転んだ乗客や、せき込んでいる人もいた。死ぬかと思った」日本経済新聞5月28日土曜日(夕刊)男性会社員(27)</p> <p>「1メートル先も見えないほど暗く、呼吸も困難になる煙の中、前後の人とぶつかりながらトンネルを歩いた。」日本経済新聞5月28日土曜日(夕刊)会社員(47)</p>
						<p>トンネル内は携帯電話の灯りだけで何とか歩く・1号車5番B乗車男</p>						<p>煙で何も見えない中、励まし合って出口を目指した。毎日新聞5月28日土曜日(夕刊)男性会社員(28)</p>

					性 B	<p>周囲は真っ暗。女性客と肩を抱き合い、トンネルの壁を手で触りながら歩いた。「右も左も分からず、本当に怖かった。」北海道新聞 5月 29 日 日曜日 (朝刊) 北海道新聞 釧路支社販売部女性社員 (26)</p> <p>「持病のある女性を背負い、高齢の女性の手を引いて真っ暗闇のトンネル内を逃げた」北海道新聞 6 月 4 日 土曜日 (朝刊) 6 号車の医師 (47)</p> <p>年配の人をかばったり、互いに「ここを早く出しましょう」「大丈夫だから」と声を掛け合って脱出した。+勝毎日新聞 5 月 28 日 土曜日 (日刊) 女性会社員 (42) iPad の明かりを頼りに避難</p> <p>携帯電話の明かりを使い「もう少しだよ」と声を掛け合いながら歩いた。朝日新聞 5 月 28 日 土曜日 (夕刊) 無職女性 (67)</p> <p>高齢の女性が「(足手まといになるので)置いていって、でも誰一人見捨てずに助け合いながら避難した。危機感と絶望感の中で、名前も知らない人たち</p>
				トンネル内で老夫婦がおぼつかない歩き方をしていたので、自分の肩をつかませ誘導した。6 号車 6 番 C 乗車社員 F	5 号車の出口付近で「降りられない」と泣いている女性と年輩の方がいた。自分を含む 2~3 人	

						<p>で受け止めるからジャンプするように促し、数人を助けた・1～3号車（詳細不明）乗車男性 E</p>	<p>が、それぞれの知見の中で行動した。同士、戦友のようだ」十勝毎日新聞 5月29日 日曜日（日刊）</p> <p>1号車の北海道議会議長男性（59）</p> <p>「周囲と声を掛け合いながら落ち着いて行動した。パニックにはならなかった」十勝毎日新聞 5月29日 日曜日（日刊）1号車の北海道議会議長男性（59）</p>
						<p>乗客はパニックになっておらず、慌てず冷静に行動していた。また見知らぬ人々と協力し合っていた・1号車 9番 D 乗車男性 C</p>	<p>「パニックではなく、整然と励ましあって黙々と歩いた。煙がすぐく 30センチ先も見えないほどだった」十勝毎日新聞 5月29日 日曜日（日刊）男性医師（29）</p> <p>「みんな冷静だった。ただ JR はトンネルには誘導灯を設置するなど対策を取ってほしい」毎日新聞 5月28日 土曜日（夕刊）男性会社員（40）</p> <p>「パニックになって逃げていたら、将棋倒しだけが人が出ていた。ああいう状況でよくみんな冷静に行動していた」北海道新聞 6月4日 土曜日</p>

<p>22:36 頃</p>	<p>運転士</p>	<p>車掌からのお客様を避難させて欲しいとの連絡を受け、JR社員と共にお客様の避難誘導を開始</p>	<p>輸送指令長が、消防（富良野消防署占冠支署）に通報。乗務員等との連絡が途絶えたこと及び煙が充満しているとの連</p>	<p>携帯電話のライトをレールに照らしながら直進。トンネル出口の警報音が近づき出口が近いことがわかる・1号車9番D乗車男性C</p>	<p>日（朝刊）6号車の医師（47）</p> <p>「JR側の避難誘導がない中、暗闇のトンネル内に煙が立ち込め、涙と鼻水を流しながら壁伝いに歩いた。トンネルが果てしなく続くような気がした」北海道新聞5月31日（夕刊）女性会社員（41）</p> <p>携帯電話の明かりを頼りにトンネルの壁を手で触りながら砂利道を約10分。朝日新聞6月2日木曜日（朝刊）2号車の男性会社員（56）</p>
<p>22:42</p>					

22:45頃	車掌	運転士	車両に戻って運転士と会い、運転士が最後の避難者であることを確認	絡を受けていることから、負傷者の発生を危惧したため。	トンネル脱出後、トンネルの中に向かって「あともう少し、頑張って」と叫んだ。5号車12番D乗車社員I	トンネル出口付近で「頑張れ！」「ここが出口だぞ」と叫び、その声似勇気付けられ逃れることが出来た・前方車両乗車男性D そのときトンネル出口が見えた。出口で数人が非常灯で照らし「頑張れ！」「あと少し」と叫んでいた・1号車5番B乗車男性B 暗くて苦しくてもうダメかと思ったとき「もうすぐ出口だ！頑張れ」と叫んでくれて勇気付けられた・1～3号車(詳細不明)乗車男性E	10分ほど歩くと出口の方から「もう少しだ。頑張れ」と声が聞こえた北海道新聞5月29日曜日(朝刊)北海道新聞釧路支社販売部女性社員(26) 「(方向がわかるよう)線路に靴をこすりつけて歩いた。煙で『もうだめかな』と思ったが、『頑張れ』という声从前から響き、必死で歩いた」読売新聞5月29日曜日(夕刊)男性自衛隊員(42) 「暗闇の中を携帯電話で足元を照らし、『出口はこっちだ』という方向に歩いた」北海道新聞5月31日(朝刊)2号車の女性会社員(26)
--------	----	-----	---------------------------------	----------------------------	---	---	--

									<p>トンネル脱出後、出口が近いことを大声で叫んでいたが、次々と乗客が脱出してきた・1号車9番D乗車男性C</p>	<p>「もう少しで出口だぞ」と声もかかった。 読売新聞 5月29日 日曜日 (夕刊) 男性自衛隊員 (42)</p> <p>「車掌らによる誘導はなかったが、携帯電話のライトで足元を照らし『ここが出口だ』と乗客同士で声を掛け合った」 日本経済新聞 5月28日 土曜日 (夕刊) 会社員 (47)</p> <p>「声だけが頼りだった」 北海道新聞 6月5日 (朝刊) 避難した乗客</p> <p>「1キロぐらい歩いたように感じた」 十勝毎日新聞 5月28日 土曜日 (日刊) 女性会社員 (42) iPadの明かりを頼りに避難</p> <p>携帯電話や車両に備え付けられていた懐中電灯で足元を照らしながら、約15分かけて札幌方面の出口にたどり着いたという。読売新聞 5月28日 土曜日 (夕刊)</p> <p>トンネルを出たところで携帯電話を確認したら、時刻は午後11時10分。緊急停止から1</p>
--	--	--	--	--	--	--	--	--	---	--

時間 15 分余りが経過
していた。十勝毎日新聞 5
月 29 日 日曜日 (日刊) 男性会
社員 (25)

せき込みながらトンネ
ルを出ると、乗客から
安堵の声が漏れた「生
きてて良かった」毎日新
聞 5 月 28 日 土曜日 (夕刊)

「死ぬかと思った」北
海道新聞 5 月 28 日 土曜日 (夕
刊)

「死ぬかと思った」日
本経済新聞 5 月 28 日 土曜日
(夕刊)

「たぶん逃げ遅れた人
もいただろう」振り返
って合掌した。北海道新
聞 5 月 28 日 土曜日 (夕刊) 男
性会社員

「指示に従っていた
ら、みんな死んでいた」
北海道新聞 5 月 29 日 日曜日
(朝刊)

「よく生きて出てこら
れた。乗務員の指示に
従っていたら全員が死
んでいたと思う」北海道
新聞 5 月 31 日 火曜日 (朝刊)
女性会社員 (41)

「どこまで歩けば出口
に着くのか分からない。
星明りが見えてト
ンネルを抜けたと実感
できるまで、とてつも
なく長く感じた。息苦

23:27 頃	運転士	お客様に付き添って、最後にトンネル出口から出た			<p>開6月4日土曜日（朝刊）</p> <p>「この人は症状が重い。最初に乗せて」などと緊急を要する患者約10人が順番に救急車で病院へ搬送された。北海道新聞6月4日土曜日（朝刊）</p>
23:35 頃			警察官2名が現地到着	救急車2台が現地到着	<p>「現場に近づくと、砂利道の両脇に顔を真っ黒にした多くの乗客が放心状態で立ちつくしていた」十勝毎日新聞5月28日土曜日（日刊）富良野消防署山部出張所の救急隊員</p> <p>「搬送した女性の1人はぜーぜーと息をし、吐いたたんも真っ黒だったので、相当の煙を吸ったはず。犠牲者が出なかったのは奇跡」十勝毎日新聞5月28日土曜日（日刊）富良野消防署山部出張所の救急隊員</p>
					<p>「もっと距離の長いトンネルだったら、煙に巻かれ一酸化炭素中毒の患者が続出していた。ギリギリの脱出だった」北海道新聞6月4日土曜日（朝刊）医師(58)</p> <p>「金曜の夜と言うことで、車内はサラリーマンや札幌に遊びに行く</p>

「犠牲者が出なかったのは、トンネルが短く、短時間で逃げられたことに尽きる。ラッキーだった」朝日新聞 6月2日 木曜日（朝刊）トンネル火災に詳しい専門家

血液中の一酸化炭素ヘモグロビン濃度が「事故現場での血中濃度は20～30%程度と推測される。その後、救急隊員が搬送する際に酸素マスクを着けるなどの処置が行われ、症状が改善したのではないか」北海道新聞 6月5日 日曜日（朝刊）搬送先の医師(32)

「頭痛、めまい、吐き気などがあり、明らかに一酸化炭素中毒の症状だった。化学物質を吸ったことによる気管支炎の症状もあった」北海道新聞 6月5日 日曜日（朝刊）搬送先の医師(44)

60代女性は白血球が平常値の2倍近くを示し「煙を吸って気管にある繊毛の動きが鈍り、細菌やウイルスに感染したためではないか」北海道新聞 6月5日 日曜日（朝刊）搬送先の医師(44)

「一酸化炭素中毒は数分で死に至ることもある。夜間、トンネル、火災、寒さと悪条件が重なった中、死者が出なかったのは奇跡としか言いようがない」北海道新聞 6月5日 日曜日(朝刊) 搬送先の医師(44)

「緊急停止直後に炎と煙を見た乗客がいて火災と分かっていたのに、避難誘導は全くなかった。列車と本社との連携はどうなっていたのか」北海道新聞 5月31日 日曜日(夕刊) 女性会社員(41)

「乗務員は炎を目視できなかったというが、それは出火地点に近づけないほど煙の勢いが強かったため。結果的に、JR側は車内に待機するのが危険か、脱出するのが危険か、という判断力に欠けていたと言わざるを得ない」北海道新聞 6月1日 水曜日(朝刊) 男性会社員(36)

「JR 北海道の組織内の連携系統や危機管理がどうなっていたのかを解明してほしい。事故対応の不備について

<p>0:02</p> <p>28日 00:不明</p>	<p>道警</p>	<p>JR</p>	<p>輸送指令長が、現地到着の警察官から「トンネルから火が見える」旨の連絡を受けて、再度消防署に消防車の手配をするも、既に向かっている旨の返答。</p>		<p>は、外部の目で徹底調査する必要がある。その上で再発防止にきちんと生かしてほしい」</p> <p>北海道新聞 5月31日火曜日 (夕刊) 運輸業の安全管理に関するコンサルタント(53)</p> <p>「しっかり調査して、トンネル脱線時の対応など危機管理マニュアルを見直してほしい」</p> <p>十勝毎日新聞 5月29日日曜日 (日刊) 1号車の北海道議会議長男性 (59)</p> <p>北海道警から「火が見える」と連絡を受けた読売新聞 5月29日日曜日(朝刊)</p> <p>28日午前0時ごろ 道警から JRに「車両が燃えている」と連絡があり、JRが正式に火災を確認北海道新聞 5月31日火曜日(朝刊)</p> <p>JR 北海道が火災を認知したのは緊急停止の2時間後で、運転士の対応が乗客の避難誘導の遅れにつながった可</p>
----------------------------------	-----------	-----------	--	--	---

00:16 頃				消防車が現地 到着		<p>能性もある。北海道新聞 5 月 30 日月曜日 (夕刊) 運転士全員がトンネルの外に避難したのは 28 日午前 0 時ごろだった。北海道新聞 5 月 29 日日曜日 (朝刊)</p> <p>トンネル内は煙が充満し、消防隊員が中に入れず消火作業は難航。読売新聞 5 月 28 日土曜日 (夕刊)</p>
07:35 頃 7:36						<p>鎮火北海道新聞 5 月 29 日日曜日 (朝刊)</p> <p>鎮火。読売新聞 5 月 28 日土曜日 (夕刊)</p>
						<p>「列車が爆発したら死ぬと思った。生きてて良かった」北海道新聞 5 月 29 日日曜日 (朝刊)</p> <p>「横転して大惨事につながった可能性がある」日本経済新聞 6 月 2 日木曜日 (夕刊) 専門家</p> <p>「安全なところに早く誘導すべきだった」朝日新聞 5 月 31 日火曜日 (夕刊)</p> <p>JR 北海道</p> <p>「何本もトンネルを抜けてきたけど、もし自分が乗り合わせて、こんな真っ暗な所で止まったらと思うと怖い」</p>

※JR 社員は運転士と同席



写真 3：第 1 ニニウトンネル（撮影：今 和俊）

5. 煙・避難行動

本件火災の特徴ともいえる夜間、トンネル構内、避難誘導設備等がない、いわば「闇の中での避難行動」という特殊性を考慮しながら煙および避難行動について検証した。

5-1. 煙

火災の主たる危険は火災時に発生する煙が流動し、汚染しながら被災者の見通し距離の低下をもたらすことと、その煙に含まれる有毒ガスと濃度である。煙内に含まれる人体に影響を及ぼす有毒ガスは主に中枢神経や心臓血管系に影響を与え、濃度と暴露されている時間で人体への影響度合いが変わる。煙による害は、視覚的害、生理的害、心理的害があり、見通しの低下、煙・ガスによる呼吸困難や目の痛み、煙にまかれることによる不安やパニックの発生など、これらは被災者の避難安全上重要な危険要因となる。火災による主な死因は「一酸化炭素中毒・窒息」や「火傷」である。とりわけ一酸化炭素中毒・窒息は、火災時に発生する煙の吸引によるところが大きい（表4）。

表4 急性一酸化炭素中毒症状²³⁾

血中 CO-Hb 濃度 (%)	影響
10～20	比較的強度の筋肉労働時に呼吸促迫、時に軽い頭痛
20～30	頭痛、耳鳴り、眼失閃発
30～40	激しい頭痛、悪心、嘔吐、外表の鮮紅色、やがて運動能力を失う
40～50	頻脈、呼吸数増加、やがて意識障害
50～60	チェーンストーク呼吸、間代性痙攣を伴い昏睡、意識消失、失禁
60～70	呼吸微弱、心機能低下、血圧低下、時に死亡
70～80	反射低下、呼吸障害、死亡

- ・証言：「白い煙が立ちこめてきた。プラスチックを燃やしたような嫌なにおいがした」
煙は火災によるものと考えていた。北海道新聞 5 月 31 日火曜日（朝刊）2 号車の女性会社員(26)
- ・証言：「かなりすごい煙で息ができない」 日本経済新聞 5 月 31 日火曜日（刊）車掌
- ・証言：「乗客は携帯電話の明かりで周りを照らしていた。そのうち、車内もだんだんと白い煙がすごくなり、『目が痛い』『のどが痛い』という人がでてきた」 十勝毎日新聞 5 月 29 日日曜日（日刊）男性医師（29）
- ・証言：「車外は煙がひどく、この中をどれだけ歩けるのか、と不安だった。煙のせいで涙がぼろぼろこぼれ、助からないと思った」北海道新聞 5 月 31 日火曜日（朝刊）5 号車から降りた 2 号車の男性会社員(45)
- ・証言：「JR 側の避難誘導がない中、暗闇のトンネル内に煙が立ち込め、涙と鼻水を流しながら壁伝いに歩いた。トンネルが果てしなく続くような気がした」北海道新聞 5 月 31 日（夕刊）女性会社員(41)
- ・証言：トンネルの出口付近では、何人もの乗客がせき込み、へたり込んでいた。横たわり動けない人もいた。北海道新聞 5 月 28 日土曜日（夕刊）
- ・証言：トンネルを出たところには、嘔吐やぜんそくの発作で倒れ込む人や、寒けや頭痛を訴える人が大勢いて、医師を呼んでいた。北海道新聞 6 月 4 日土曜日（朝刊）
- ・証言：血液中の一酸化炭素ヘモグロビン濃度が「事故現場での血中濃度は 20～30%程度と推測される。その後、救急隊員が搬送する際に酸素マスクを着けるなどの処置が行われ、症状が改善したのではないか」北海道新聞 6 月 5 日日曜日（朝刊）搬送先の医師(32)
- ・証言：「頭痛、めまい、吐き気などがあり、明らかに一酸化炭素中毒の症状だった。化学物質を吸ったことによる気管支炎の症状もあった」北海道新聞 6 月 5 日日曜日（朝刊）搬送先の医師(44)
- ・証言：60 代女性は白血球が平常値の 2 倍近くを示し「煙を吸って気管にある繊毛の動きが鈍り、細菌やウイルスに感染したためではないか」北海道新聞 6 月 5 日日曜日（朝刊）搬送先の医師(44)
- ・証言：「一酸化炭素中毒は数分で死に至ることもある。夜間、トンネル、火災、寒さと悪条件が重なった中、死者が出なかったのは奇跡としか言いようがない」北海道新聞 6 月 5 日日曜日（朝刊）搬送先の医師(44)

5-2. 煙濃度

煙濃度の表わしかたには次の3つがある。

- ・煙重量濃度：単位容積中の煙重量
- ・煙粒子濃度：単位容積中の煙粒子数
- ・煙の減光係数：煙の中の見通し量から求まる光学的濃度

これらはそれぞれの目的に応じて使い分けられる。災害時の被災者の避難行動は、見通し距離によって大きく影響される。被災者が誘導標識等によって避難の方向を見通せない場合は、避難行動がとれなくなる。したがって、避難経路の見通しがきくうちに、避難が終了しなければならない。なお、避難限界見通し距離は、その建物内を熟知している者といない者によって異なり、一般に前者については5.0m、後者については30.0mといわれている。(表5)

表5 見通し距離と煙の状況²⁴⁾

見通し距離	状況説明
20～30m	うっすらと煙がただよふときの濃度、煙感和器はこの程度の濃度で作動する。また、建物に不慣れな人はこれ以上濃くすると避難に支障が出る
5m	建物をよく知っている人が避難するときに支障を感じる濃度
3m	薄暗い感じがするときの濃度、この濃度ではやや手さぐりのな避難となる
1～2m	この濃度ではほとんど前方が見えなくなる
数十 cm	最盛期の火災階の煙の濃度、暗闇状態でほとんど何も見えない。誘導灯も見えない

- ・証言：「真っ白な煙が充満していて、何も見えなかった」 日本経済新聞 5月28日土曜日（夕刊）女性介護士（20）
- ・証言：「白い煙で前が見えなかった。右手で車両を、左手でトンネルの壁を触ってすこしづつ移動した」 読売新聞 5月29日日曜日（夕刊）男性会社員（52）
- ・証言：「真っ暗で壁伝いに歩いた」 北海道新聞 6月5日日曜日（朝刊）乗客
- ・証言：四方八方が暗闇の中を、携帯電話のほのかな明かりで足元を照らして、注意深く歩くしかなかった。 北海道新聞 5月28日土曜日（夕刊）
- ・証言：「1メートル先も見えないほど暗く、呼吸も困難になる煙の中、前後の人とぶつかりながらトンネルを歩いた。」 日本経済新聞 5月28日土曜日（夕刊）会社員（47）
- ・証言：煙で何も見えない中、励まし合って出口を目指した。 毎日新聞 5月28日土曜日（夕刊）男性会社員（28）
- ・証言：「パニックではなく、整然と励ましあって黙々と歩いた。煙がすごく30センチ先も見えないほどだった」 十勝毎日新聞 5月29日日曜日（日刊）男性医師（29）
- ・証言：周囲は真っ暗。女性客と肩を抱き合い、トンネルの壁を手で触りながら歩いた。「右も左も分からず、本当に怖かった。」 北海道新聞 5月29日日曜日（朝刊）北海道新聞釧路支社販売部女性社員（26）

5-3. 避難行動

被災者の避難行動は、行動能力、周囲の群衆密度、心理的影響という人的要因や避難経路の明快性や明るさや、煙の拡散、停電などによる視認性の低下など、環境要因に影響される。被災者は煙の濃度が増加すると緊張や動揺により避難行動を選択する際の判断力が低下する。人が動揺する煙濃度は実験的に調べられており、煙濃度を減光係数で表せば、一般人の多くは減光係数が 0.1(1/m)以下になると動揺しはじめる。

一方、歩行速度は煙濃度および明るさ、刺激性が影響し、刺激性が弱い場合は減光係数の増加とともに徐々に歩行速度は低下する。また、刺激性が強い場合は裸眼による視野の確保が難しくなり、減光係数の増加に対し歩行速度は急激に落ち込む傾向が見られる。すなわち、煙の刺激性の影響で歩行時に目を開けていることが困難となることなどに起因する。なお、濃い煙の中での歩行速度は停電時などの暗中歩行速度（0.3m/秒程度）とほぼ等しくなる。

- ・証言：「車掌が外に出たので不安になった」 毎日新聞 5月28日土曜日（夕刊）3号車の男性
- ・証言：突然、電灯が消えると乗客たちは騒然となった。 北海道新聞 5月28日土曜日（夕刊）
- ・証言：「(電灯が消え) さすがに『まずい』と思った」 十勝毎日新聞 5月29日日曜日（日刊）男性医師 (29)
- ・証言：「火が出ているようだ」と話す乗客の会話を耳にしたが避難してきた乗客で通路が埋まり車掌につたえられなかった。 北海道新聞 6月14日火曜日（朝刊）6号車の JR 北海道社員
- ・証言：車掌が後方車両の乗客に、前方に移動するよう呼び掛ける車内放送を聞き「車掌も火災を知っている」と思い込み乗客の移動を優先。 北海道新聞 6月9日木曜日（朝刊）女性客室乗務員(25)
- ・証言：「乗客は携帯電話の明かりで周りを照らしていた。そのうち、車内もだんだんと白い煙がすごくなり、『目が痛い』『のどが痛い』という人がでてきた」 十勝毎日新聞 5月29日日曜日（日刊）男性医師 (29)
- ・証言：「視界がほとんどきかず、どこまで歩けばいいのか分からなかった」 北海道新聞 6月5日日曜日（朝刊）乗客
- ・証言：「真っ白な煙が充満していて、何も見えなかった」 日本経済新聞 5月28日土曜日（夕刊）女性介護士 (20)
- ・証言：「白い煙で前が見えなかった。右手で車両を、左手でトンネルの壁を触ってすこしづつ移動した」 読売新聞 5月29日日曜日（夕刊）男性会社員(52)
- ・証言：「真っ暗で壁伝いに歩いた」 北海道新聞 6月5日日曜日（朝刊）乗客
- ・証言：四方八方が暗闇の中を、携帯電話のほのかな明かりで足元を照らして、注意深く歩くしかなかった。 北海道新聞 5月28日土曜日（夕刊）
- ・証言：「右も左も分からず、本当に怖かった」 北海道新聞 5月29日日曜日（朝刊）
- ・証言：「車外は煙がひどく、この中をどれだけ歩けるのか、と不安だった。煙のせいで涙がぼろぼろこぼれ、助からないと思った」 北海道新聞 5月31日火曜日（朝刊）5号車から降りた2号車の男性会社員(45)

5-4. 避難者行動心理

火災に遭遇し、火煙が人命を脅かす不安や恐怖などを誘発するような状況下では、被災者は理性的な判断に基づく行動をとることが困難となり、興奮状態に陥る。結果的には本能的あるいは感情的な対応行動を起こしやすく、火災が継続する中、精神的・肉体的な疲労が蓄積すると、それが生理的疲労につながり、興奮状態に陥ることもある。さらに、被災者が群集となりその密度が高くなると、身体自由度が拘束されることにより不快感や恐怖心が生じ、興奮状態となり理性の伴わない行動をとることもあるとされている。こうした被災者の避難心理・行動パターンを示すことは過去の火災事例より明らかになっており、特に、建物への慣れや、空間の特徴に対応した行動がいくつかの傾向に分類されている。(表6)

表6 避難行動特性²⁵⁾

特性が顕著となる場合	避難行動特性	行動内容
建物に慣れていない人	回帰性(帰巢性)	入ってきた経路に逆に戻ろうとする傾向で、特にはじめて入った建物で内部の状況をよく知らない場合に多く現れる
	追従(付和雷同)性	避難先頭者や人の多く逃げる方向を追っていく
建物に慣れている人	日常動線志向性	日頃から使い慣れた経路や階段を使って逃げようとする
	安全志向性(理性的)	自分が安全と思い込んでいる空間や経路に向かう
建築空間の特徴に応じて	至近距離選択性	自分のおかれている位置から最も近い階段を選択する(近道しようとする)
	易視経路選択性	最初に目に入った経路や目につきやすい経路へ逃げようとする
	直進性	見通しのきく真っ直ぐな経路を逃げる(突き当たるまで経路を真っ直ぐ進む)
危険が迫った場合	危険回避性(本能的)	危険現象(煙や火炎)からできるだけ遠ざかろう(視界に入らない所まで逃げよう)とする
	付和雷同性	多くの人々が逃げる方向を追いかけ、人の声や指示に従う
	向光性	一般に暗闇に対しては不安感を抱くことから、明るい方向を目指して逃げる
	向開放性	向光性と類似した特性だが、開かれた感じのする方向へ逃げようとする

- ・証言：車内に煙が入ってきたので「まずいな」と思い、近くの乗客と声を掛けながら、みんなで前方の4号車まで移動した。 十勝毎日新聞 5月29日 日曜日（日刊）1号車の北海道議会議長男性（59）
- ・証言：「後ろ3両は危険なので前の車両に行ってください」 読売新聞 5月29日 日曜日（夕刊）
- ・証言：「停車後、1号車の乗客が『車両の下の方で火を噴いている』と声を上げながら2号車に押し寄せてきた」 北海道新聞 5月31日 火曜日（朝刊）2号車の男性会社員（58）
- ・証言：「もう駄目だ」午後10時半ごろ、5号車では、立ち込める煙に苦しげな男性がそう言って自身の判断でドアを開けた。 北海道新聞 5月29日 日曜日（朝刊）
- ・証言：「近くの男性が『もうダメだ』と言ってドアを開けて外に出た。その男性の判断に従い、みなが続いた」 北海道新聞 5月31日 火曜日（朝刊）2号車の男性会社員（58）
- ・証言：「出ないとダメだ」と周りの人と声を掛け合い、非常用ドアコックを操作して外に出た。 朝日新聞 6月2日 木曜日（朝刊）2号車の男性会社員（56）
- ・証言：「最初に飛び出した人がいなければ危なかった」 毎日新聞 5月28日 土曜日（夕刊）男性会社員（62）
- ・証言：「前の方で車外に出ているのが分かった。乗客の男性から『外に歩いて逃げよう』との声が上がった」 十勝毎日新聞 5月29日 日曜日（日刊）男性医師（29）
- ・証言：煙が充満し、車内灯が消え暗闇となるなど、恐怖と不安は極限に達し、乗務員の避難誘導を待たずに自主的な脱出を始めたことが、結果的に1人の犠牲者も出さずに済んだことにつながった。 十勝毎日新聞 5月29日 日曜日（日刊）
- ・証言：10分ほど歩くと出口の方から「もう少しだ。頑張れ」と声が聞こえた 北海道新聞 5月29日 日曜日（朝刊）北海道新聞釧路支社販売部女性社員（26）
- ・証言：「(方向がわかるよう)線路に靴をこすりつけて歩いた。煙で『もうダメかな』と思ったが、『頑張れ』という声が前から響き、必死で歩いた」 読売新聞 5月29日 日曜日（夕刊）男性自衛隊員（42）
- ・証言：「暗闇の中を携帯電話で足元を照らし、『出口はこっちだ』という方向に歩いた」 北海道新聞 5月31日（朝刊）2号車の女性会社員（26）
- ・証言：「車掌らによる誘導はなかったが、携帯電話のライトで足元を照らし『ここが出口だ』と乗客同士で声を掛け合った」 日本経済新聞 5月28日 土曜日（夕刊）会社員（47）
- ・証言：「声だけが頼りだった」 北海道新聞 6月5日（朝刊）避難した乗客

5-5. 煙中での行動

見通し距離だけでなく、目に対する刺激の有無・大小は歩行速度に大きく影響する。高温である煙は天井下に滞留・成層し証明光を遮るので、通常時よりも光量低下をもたらす避難者に心理的な圧迫を与える。刺激性の高い濃煙が流動してくれば歩行速度は急激に低下し、4～8m先に見える状況下でも暗中歩行速度（歩幅で進む程度）の約0.3m/秒に低下してしまう。薄い煙でも、目だけでなく喉や鼻の粘膜に強い刺激を与え生理的な負荷をもたらすので、判断や行動を著しく低下させ、煙は視覚情報や生理機能の同時低下をもたらす。煙中を避難しなければならない避難者が、適切な音声による避難誘導を受けられない、避難経路が不案内であるなど、必要な空間や行動のための情報が欠如するときわめて強い不安感・心理的ストレスとなり、これも判断力や行動力を低下させ避難困難に陥る。多くの場合、避難者は自分の居る場所で火災を知り、火災の進展状態などについて客観的な情報が得難いので、他の避難者との情報交換、あるいは救助を待つ同じ境遇者として集合する傾向を示す。また、災害時の行動や判断などの避難能力が十分でない人々は、逃げ遅れる可能性がある。運動能力が劣る避難者の場合、特に階段を使用する垂直方向への避難が問題となる(表7)。援護者がいなければ階段などの移動が困難であり、群衆とともに階段を避難することが可能な場合でもその避難の流れを遅延させる原因となりうる。

表7 行動能力の比較²⁶⁾

種類	例示	群集の行動能力			
		平均歩行速度 (m/s)	流動係数 (人/m)		
		水平 (v)	階段 (v')	水平 (N)	階段 (N')
自力のみで行動できにくい人	重病人、老衰者、乳幼児、精薄者、身体障害者など	0.8	0.4	1.3	1.1
その建物内の位置、経路などに慣れていない一般人	旅館などの宿泊客、商店・事務所などの来客・通行人など	1	0.5	1.5	1.3
その建物内の位置、経路などに慣れている心身強健な人	建物内の勤務者、従業員、警備員など	1.2	0.6	1.6	1.4

- ・証言：「前の人から伝言ゲームのように状況が伝えられた」読売新聞 5 月 29 日 日曜日（夕刊）2 号車の男性(26)
- ・証言：後方車両から移動してきた乗客が「窓から火らしきものを見た」と話しているのを聞いた。北海道新聞 6 月 14 日 火曜日（朝刊）5 号車の JR 北海道社員
- ・証言：煙が充満し、車内灯が消え暗闇となるなど、恐怖と不安は極限に達し、乗務員の避難誘導を待たずに自主的な脱出を始めたことが、結果的に 1 人の犠牲者も出さずに済んだことにつながった。十勝毎日新聞 5 月 29 日 日曜日（日刊）
- ・証言：煙で何も見えない中、励まし合って出口を目指した。毎日新聞 5 月 28 日 土曜日（夕刊）男性会社員(28)
- ・証言：年配の人をかばったり、互いに「ここを早く出ましょう」「大丈夫だから」と声を掛け合って脱出した。十勝毎日新聞 5 月 28 日 土曜日（日刊）女性会社員(42) iPad の明かりを頼りに避難
- ・証言：携帯電話の明かりを使い「もう少しだよ」と声を掛け合いながら歩いた。朝日新聞 5 月 28 日 土曜日（夕刊）無職女性(67)
- ・証言：高齢の女性が「(足手まといになるので)置いていって、でも誰一人見捨てずに助け合いながら避難した。危機感と絶望感の中で、名前も知らない人たちが、それぞれの知見の中で行動した。同士、戦友のようだ」十勝毎日新聞 5 月 29 日 日曜日（日刊）1 号車の北海道議会議長男性(59)
- ・証言：「周囲と声を掛け合いながら落ち着いて行動した。パニックにはならなかった」十勝毎日新聞 5 月 29 日 日曜日（日刊）1 号車の北海道議会議長男性(59)
- ・証言：「パニックではなく、整然と励ましあって黙々と歩いた。煙がすごく 30 センチ先も見えないほどだった」十勝毎日新聞 5 月 29 日 日曜日（日刊）男性医師(29)
- ・証言：「みんな冷静だった。ただ JR はトンネルには誘導灯を設置するなど対策を取ってほしい」毎日新聞 5 月 28 日 土曜日（夕刊）男性会社員(40)
- ・証言：「パニックになって逃げていたら、将棋倒しで人が出ていた。ああいう状況でよくみんな冷静に行動していた」北海道新聞 6 月 4 日 土曜日（朝刊）6 号車の医師(47)
- ・証言：携帯電話の明かりを頼りにトンネルの壁を手で触りながら砂利道を約 10 分。朝日新聞 6 月 2 日 木曜日（朝刊）2 号車の男性会社員(56)
- ・証言：携帯電話や車両に備え付けられていた懐中電灯で足元を照らしながら、約 15 分かけて札幌方面の出口にたどり着いたという。読売新聞 5 月 28 日 土曜日（夕刊）

5-6. 車両内での避難状況

22:10の時点で座席数から推定される1~4号車の乗客は132人であり、この際、5、6号車にこれだけの人数が待機できるかどうかを、図5より5号車、6号車それぞれの有効面積を求め検証した(表8)。

表8 収容人数算出方法

	算定式	凡例
収容人数	$N = \Sigma 5A_{\text{area}}$	N : 収容人数 (人)
		5: 1 m ² あたりの人数 (人)
		A_{area} : 有効面積 (m ²)

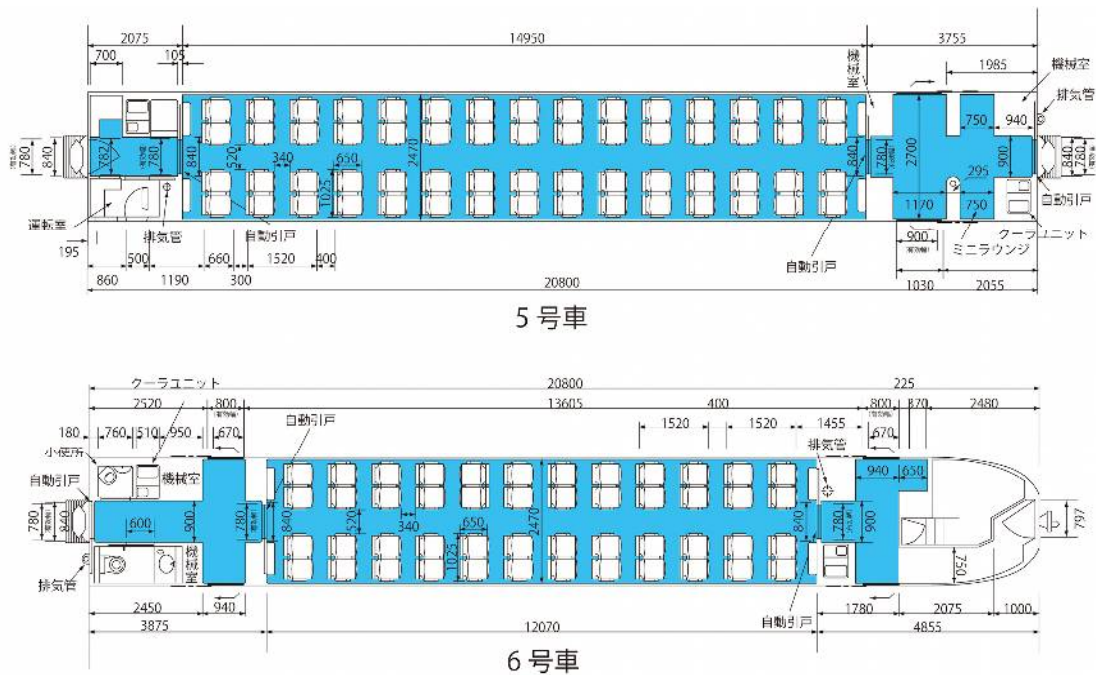


図5 5号車、6号車平面図⁷⁾

条件

- ・ 1 m² あたり 5 人
- ・ 5号車有効床面積 ⇒ 25.618 m²
- ・ 6号車有効床面積 ⇒ 21.409 m²
- ・ 5号車6号車間の車両間連結部および6号車先頭部通路は床面積としていない。

収容人数

- ・ 5号車収容人数: 25.618x5=128.09 ⇒128人
- ・ 6号車収容人数: 21.409x5=107.045 ⇒107人
- ・ 乗員・乗客 244人 (乗員4人、乗客240人) ⇒ 244-(128+107)=9

運転席に同席した乗客数(社員)5人³¹⁾および乗員4人で定員244人となるが、乗客の荷物等を考慮すると5号車および6号車に全員収容できないことが推測される。

5-7. 避難者忍限度

火災から煙や熱に対して人間がどの程度耐えられるかを忍限度という。火炎や煙から人間が受ける輻射熱について、輻射熱の強さが $2\text{kW}/\text{m}^2$ を超えるあたりから人間の我慢できる時間が急速に落ち始める傾向にある。空気湿度でみると、無風および低湿度の条件では空気温度と限界時間の関係は表 9 のようになる。ただし、高湿度の条件などでは発汗作用が抑制されるため、表 9 に比べて限界時間はきわめて短くなる。¹⁶⁾

表 9 避難者の限界温度¹⁶⁾

空気温度(°C)	限界時間(分)
50	60 以上
70	60
130	15
200~250	5

5-8. 爆裂・火害等級

鉄筋コンクリート造建物で火災が発生すると、火災室内のコンクリート表面は 1000°C 程度の加熱を受けることとなる。コンクリートは急な火災加熱を受けると、コンクリート部材の表面が音を伴い急激に剥離する現象を爆裂といい、コンクリート表面が剥離して鉄筋が直接火災にさらされると、鉄筋コンクリート部材の荷重支持能力は急減することとなる。以下、既往の耐火実験によりいくつかの爆裂発生要因が明らかにされている。

- ・耐火実験の初期段階で急激な温度上昇が生じる場合
- ・含水率(コンクリート中に含まれる水分量)が大きい場合
- ・セメント量の多い緻密な高強度コンクリートである場合
- ・プレストレスト(コンクリート内部に埋め込んだ高張力鋼棒の緊張による圧縮力)を導入した場合
- ・部材の厚さが小さい場合
- ・梁および柱の隅各部
- ・I型梁の薄いウェブ

なお、爆裂の原因については、コンクリート中の自由水が蒸発する際に、逃げ場のない水蒸気がコンクリートを破壊する水蒸気説と、急加熱を受けるコンクリート表面には大きな熱膨張歪みが発生し、この歪が拘束されると大きな熱応力が発生する。この熱応力の程度が大きいと、コンクリートを破壊する熱応力説とがあるが、複合的な現象とも考えられている²⁾。

また、鉄筋コンクリートは、コンクリート部分の熱容量が大きく、また内部に熱が伝わりにくく、火災時でも中心部の温度が上がらないため、一般には耐火被覆を施す必要がないが、鉄筋が高温にならないように、コンクリートのかぶり厚さを確保する必要がある。なお、耐久性と耐火性の観点から最低かぶり厚さが規定されており、柱幅が 400mm でコンクリートのかぶり厚さが 40mm（施工最低基準）程度ある場合、鉄筋の温度は 1 時間で約 200℃、2 時間で約 400℃、3 時間で約 600℃に達する²⁹⁾。第 1 ニニウトネルの火害状況とかぶり厚さを展開図に（図 6）、および覆工コンクリート示方配合を示した（表 10）。

さらに、火害診断においては目視により外観を観察し、コンクリート表面に黒いすすが残っているような状況であれば、コンクリートの温度履歴が 500℃以下であると判断でき、コンクリート表面がピンク色に変色しているような状況であれば詳細な調査を実施する必要がある。これら日本建築学会で提示されている火害等級を表 11 に示した。

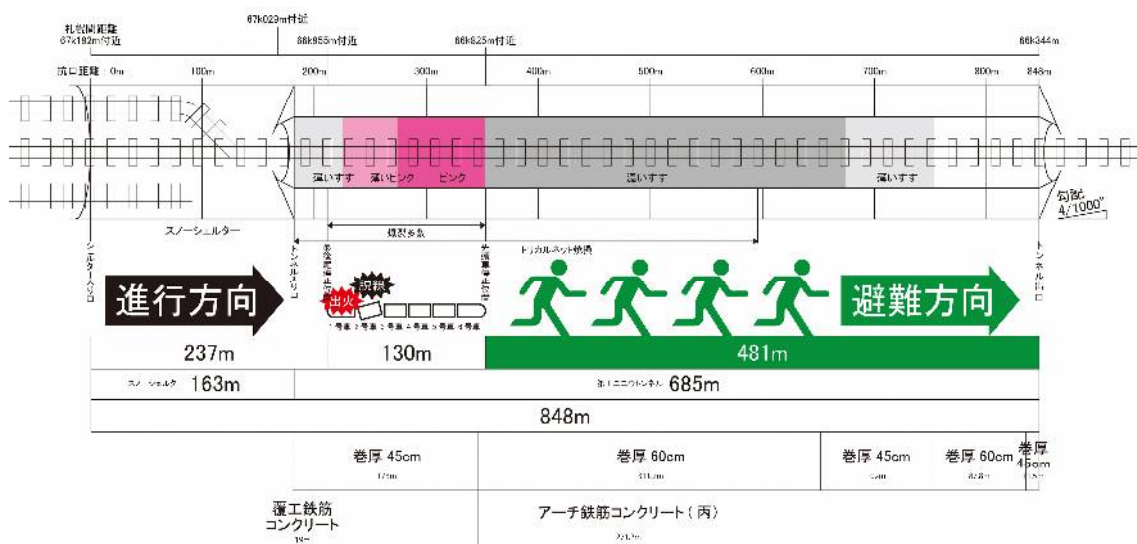


図 6 第 1 ニニウトネル火害状況とかぶり厚さ¹⁾¹⁷⁾²²⁾

表 10 覆工コンクリート示方配合（1 m³当り）¹⁾

骨材最大寸法 (mm)	水セメント比 W/C (%)	単位セメント量 C (kg)	単位水量 W (kg)	絶対細骨材率 S/A	細骨材量 S (kg)	粗骨材量 G (kg)	スランプ (cm)	空気量 (%)	混合材
40	46.7	330	155	33	655	1.323	13 ± 1	4 ± 1	ポゾリス No. 5

表 11 鉄筋コンクリート構造物の火害等級³⁰⁾

火害等級	火害の状況
Ⅰ級	仕上げ材料が残っており、無被害の状態
Ⅱ級	躯体にすす・油煙が付着している状態
Ⅲ級	ピンク色に変色したコンクリートに微細なひび割れが見られるが、鉄筋位置までは損傷していない状態
Ⅳ級	コンクリート表面に数 mm 程度のひび割れが発生し、鉄筋の一部が露出しているような状態
Ⅴ級	広範囲な爆裂・主筋の座屈・大たわみの発生など、構造的な損傷が大きい状態

6. 検証結果 1

緊急停止後、火元から一時的に身を守るために 1 号車から 3 号車の乗客が 4 号車から 6 号車へ避難するまでに 8 分間要し、さらに乗客が車外へ避難するまでに 24 分間要していた。また、車外へ避難開始してからトンネル外へ避難完了するまでに 53 分間要していたことが推定され、トンネル内での緊急停止から乗員・乗客全員がトンネル外へ避難完了するまでに要した時間は 1 時間 32 分であったことが推定された。さらに、火元の推定、車両内の避難状況なども推測された。

本件火災は推測された火元が車両最後尾ということもあり、被災者全員が一方向に避難することとなったのはトンネルという構造上によるところが大きい。ひとたびトンネル構内で火災が発生すると二方向避難が困難となるのは、火災初期の段階で車両内を避難経路に利用する以外には、もはや燃え盛る車両内、もしくは燃え盛る車両を横にトンネル構内を避難することはどうてい困難であるからだ。しかし、火元の場所いかんでは避難経路を分断され別々の方向に避難を余儀なくされ、避難・誘導に種々の制約や困難を伴うこととなるだろう。また、緊急停止後に被災者が車両間を避難移動したことは、避難安全対策として火災が発生した区画から、火煙の伝播から守られた区画へ水平移動し、避難可能な時間を延ばしたとも考えられる。よって車両間の避難移動がより安全確実に火煙の伝播から守られた区画とするためにも、車両間連結部の貫通扉の防火扉としての機能性を再検討する必要がある。

一方、火災状況からトンネル構内の火災等級は場所により I 級から V 級にわたるが、燃焼物は車両のみに限られており、火災等級が IV 級から V 級と推測される箇所は局所的である。さらに、爆裂箇所が多数発生したわけだが、トンネル内の湧水や漏水による高い含水率および火災による急加熱は、まさに爆裂原因とされる水蒸気説および熱応力説の複合的な現象条件を満たすものといえるだろう。なお、トンネル勾配が大きいほど 2 つの出入口間で気圧差が生じ、どちらかの出入口に気流が流れることが多く、ひとたびトンネル構内で火災が生じるとトンネル自体が煙突と化し、いわゆる“トンネル効果”を発生しかねないのだが、本件第 1 ニニウトンネルの勾配は 4/1000 度となっており、災害当時トンネル効果が発生したかは定かではないが、避難方向となったトンネル勾配の高い方向に、約 300m にわたって濃いすすが付着しており、推測される煙濃度は非常に高く、煙中視界も極端に低いなかでも煙にまかれずに方向感覚を失うことなく避難できたのは、むしろトンネルという構造上単純明快な場所であったことに加えて、煙を吸引したことによる急性一酸化炭素中毒症状からくる運動能力の低下から、推測される煙中歩行速度が暗中歩行速度以下であっても、避難可能な歩行距離であったこと、そして携帯電話や iPad 等が安全装置として活用できたことなどが推測され、安全装置として今後のさらなる機能・性能の向上が期待される所である。しかし、火災状況に対する認識の相違による避難開始の遅れが、逃げ遅れなどの大災害を招きかねなかった点においては留意しなければならない。



写真4：第1ニニウトンネル内（撮影：今和俊）

7. FDS について

7-1. FDS とは

FDS とはアメリカ国立標準技術研究所 NIST (National Institute of Standards and Technology) より配布されているオープンソースな火災解析ソフトである。これを用いて検証を行う。

7-2. シミュレーション計算条件

シミュレーションを行う際に条件を指定する必要がある。本論では以下のように条件を設定し算出した。

算出条件

トンネル

全長 850m 高さ 6m 幅 4m

コンクリート

熱伝導率 1.1W/mK

比熱 880 J/kg°C

密度 2.1 g/cm³

コンクリート厚さ 10m (算出を行う際の設定条件として)

車両

1 両当たり 長さ 7m 幅 3m 高さ 4m

(実際の車両は、長さ 21.3m 幅 2.84m 高さ 3.8m である。)

窓の長さ 1.5m 窓の高さ 0.7m

一車両の窓の総数 16 個

最大発熱量の計算

最大発熱量 ; $Q_{\max}=1500A\sqrt{H}$

A ; 開口面積(m²)

H ; 開口高さ(m)

$A=0.7 \times 1.5 \times 8 \times 2=16.8$

$H=0.7$

$Q_{\max}=21168 \text{ kW}=21.2\text{MW}$ (1 車両分の最大発熱量)

ウレタンの燃焼時間

ウレタンの発熱量 36MJ/kg (ポリウレタンフォームの燃焼熱)

一車両のウレタン 12.7kg (座席に含まれているウレタンの合計)

$36000 \times 12.7 \div 21168 = 21.59 \text{ min}$ (本シミュレーションでは 22 分で計算)

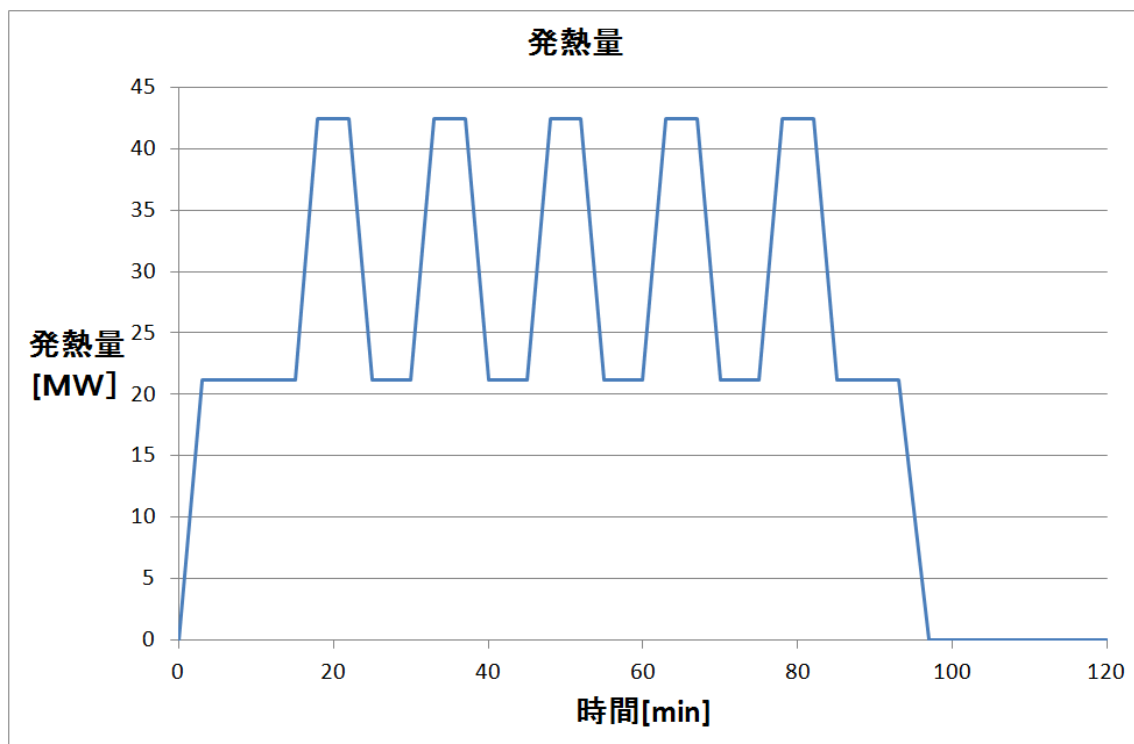
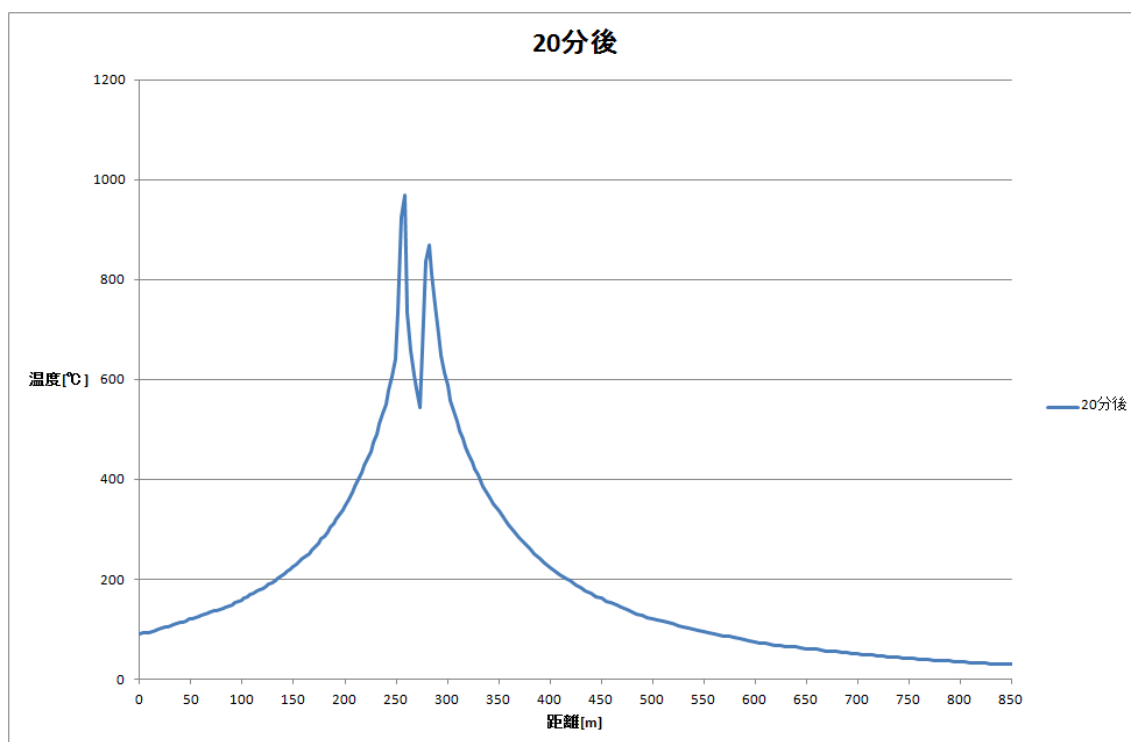
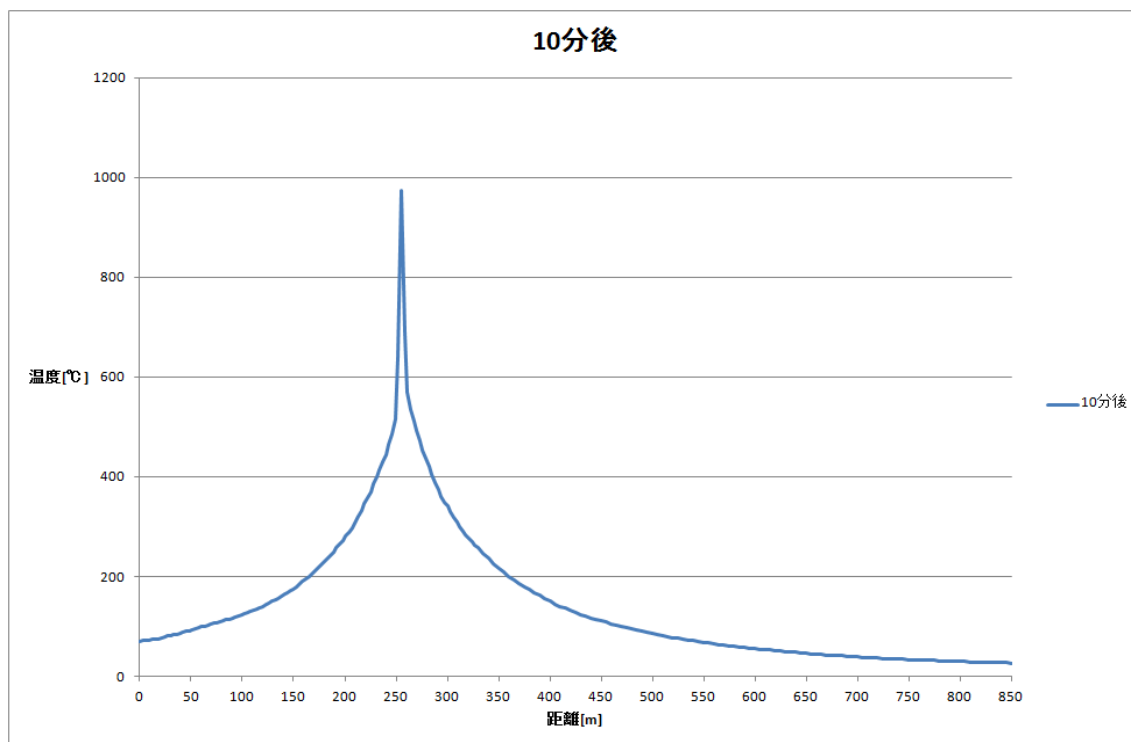


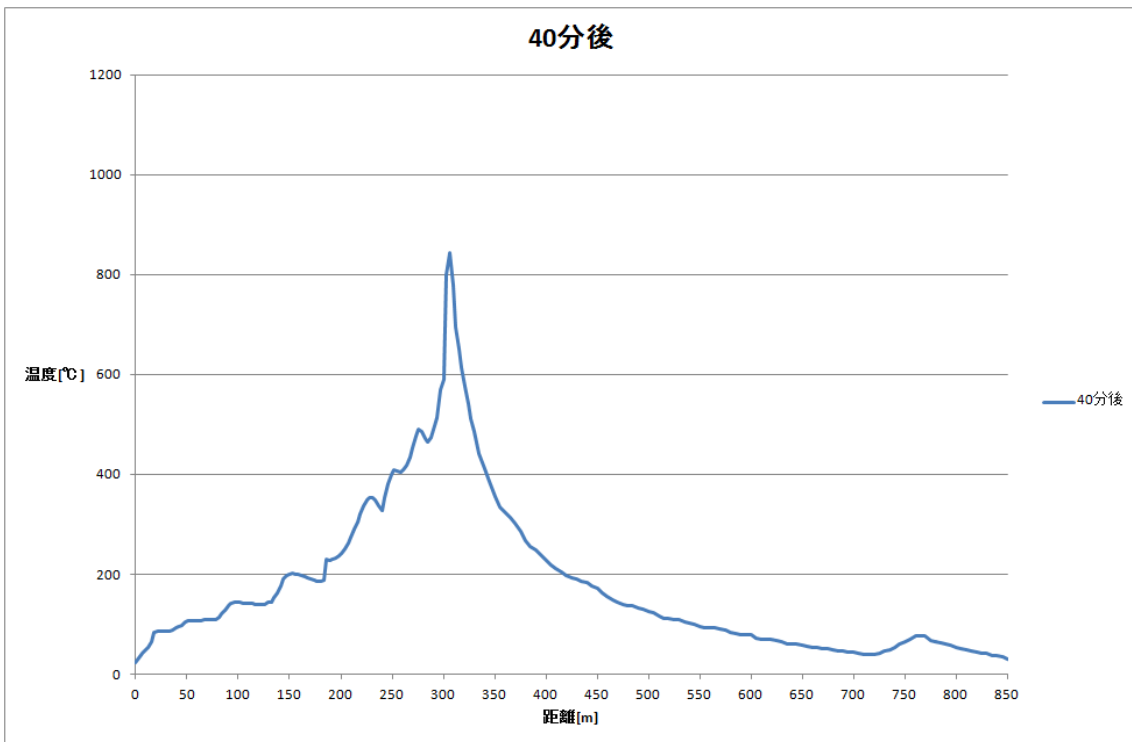
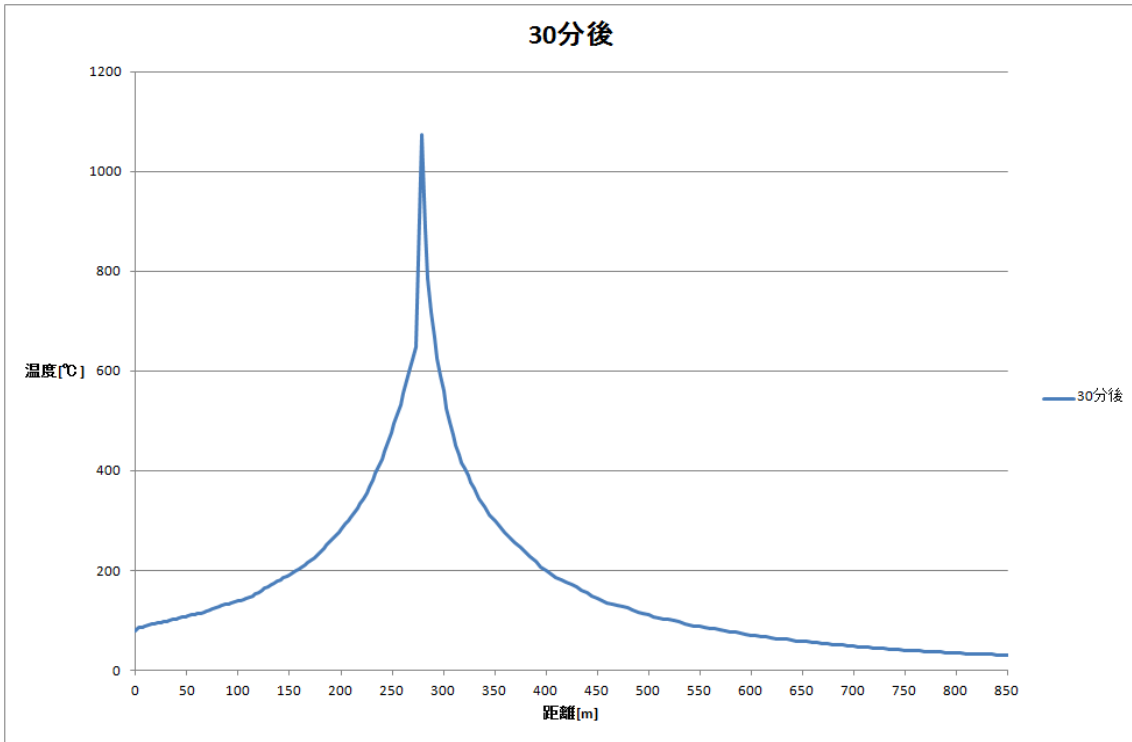
図 7 シミュレーション下での発熱量

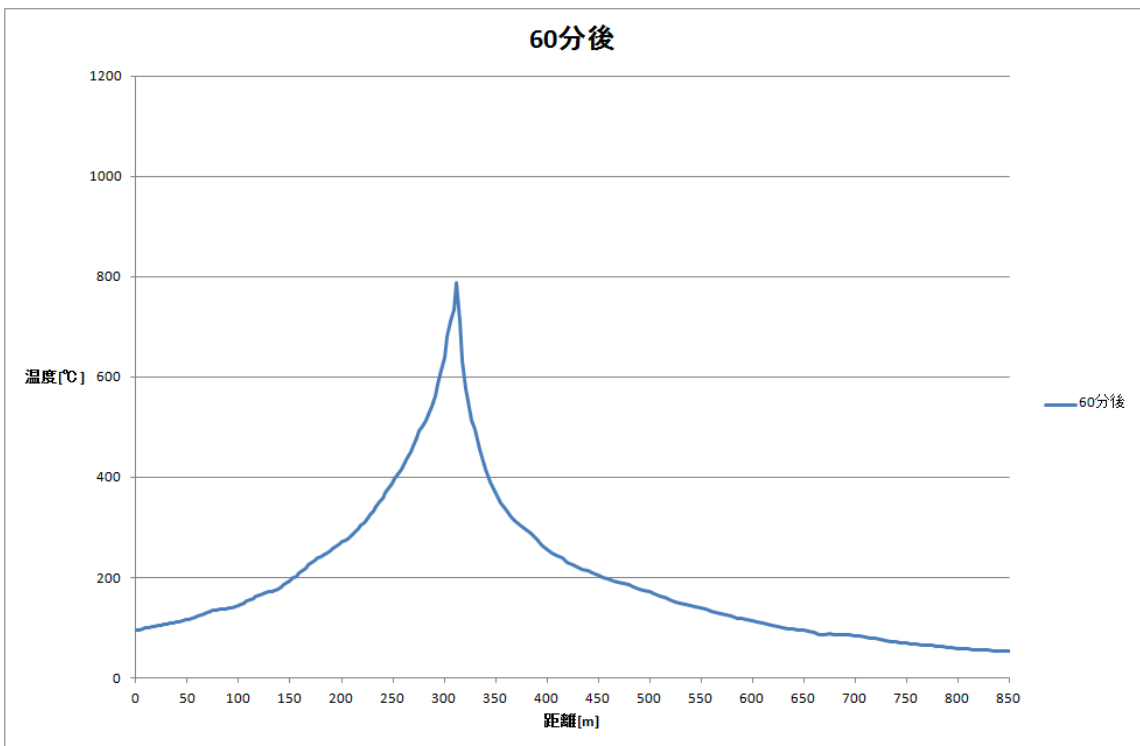
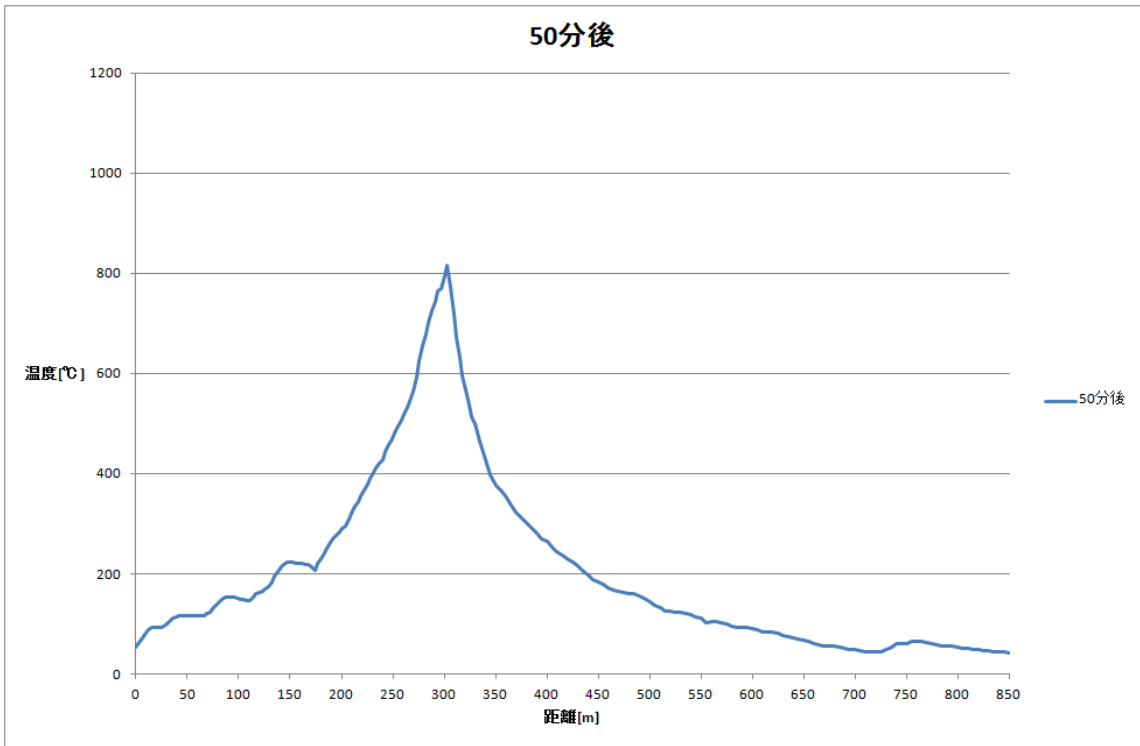
火元の推定により 1 号車が出火元であり、事故後の調査により全車両が全焼したことから、計算時刻と出火時刻は同一とし、1 号車から順番に 6 号車まで延焼するとした。次の車両が延焼するまでの時間を 15 分毎とし、火災発生から 120 分後まで計算を行う。

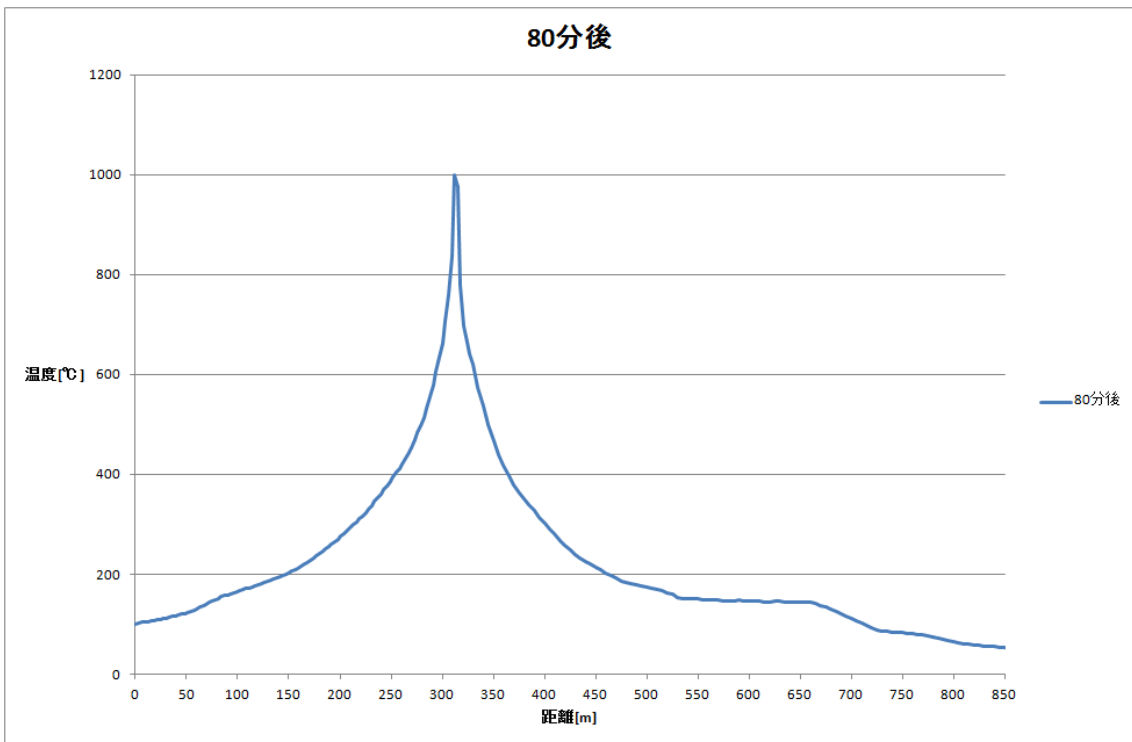
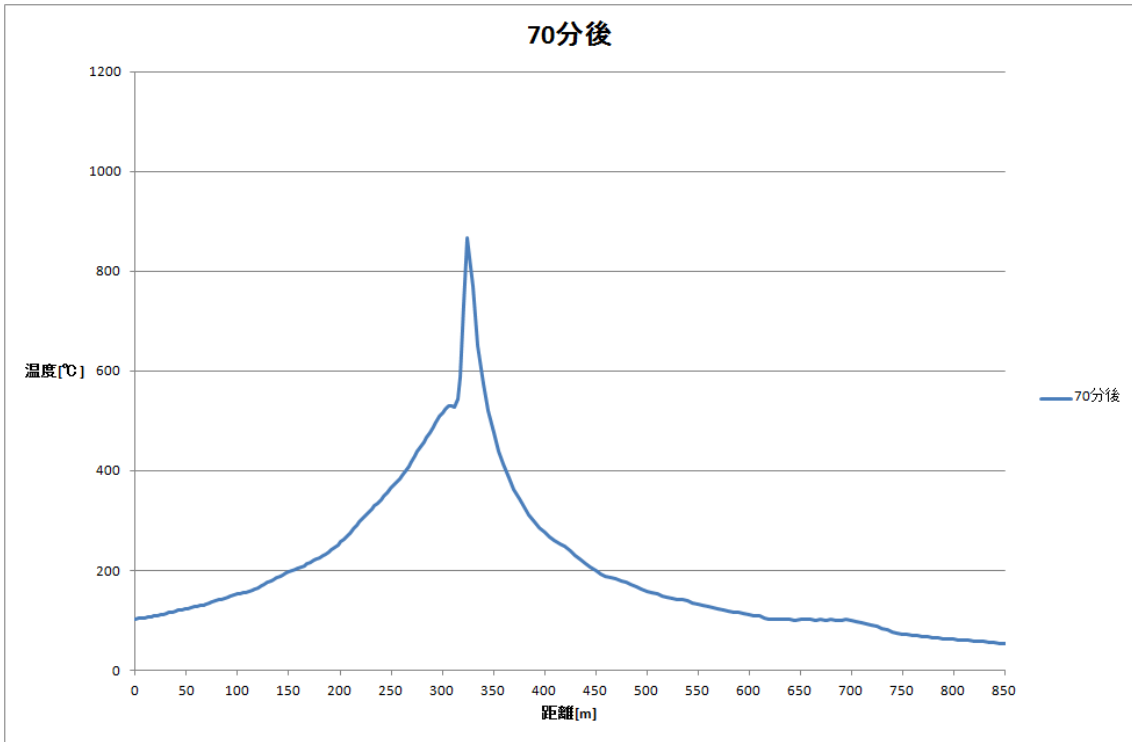
7-3. トンネル天井面の温度

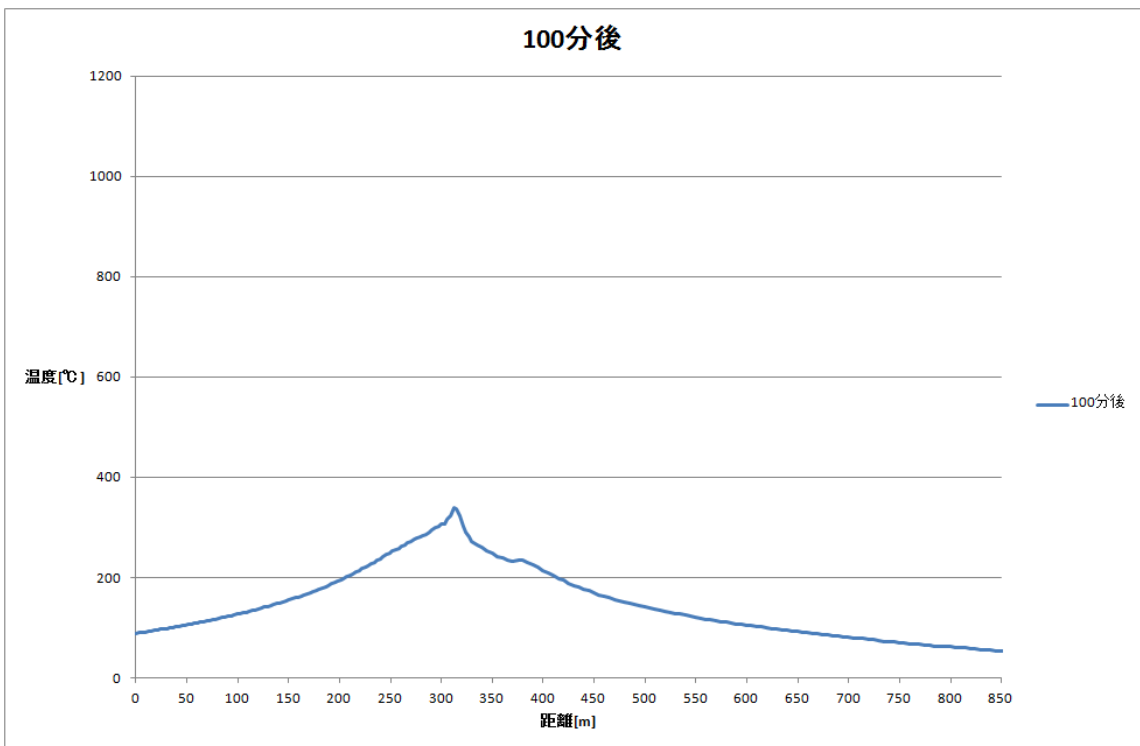
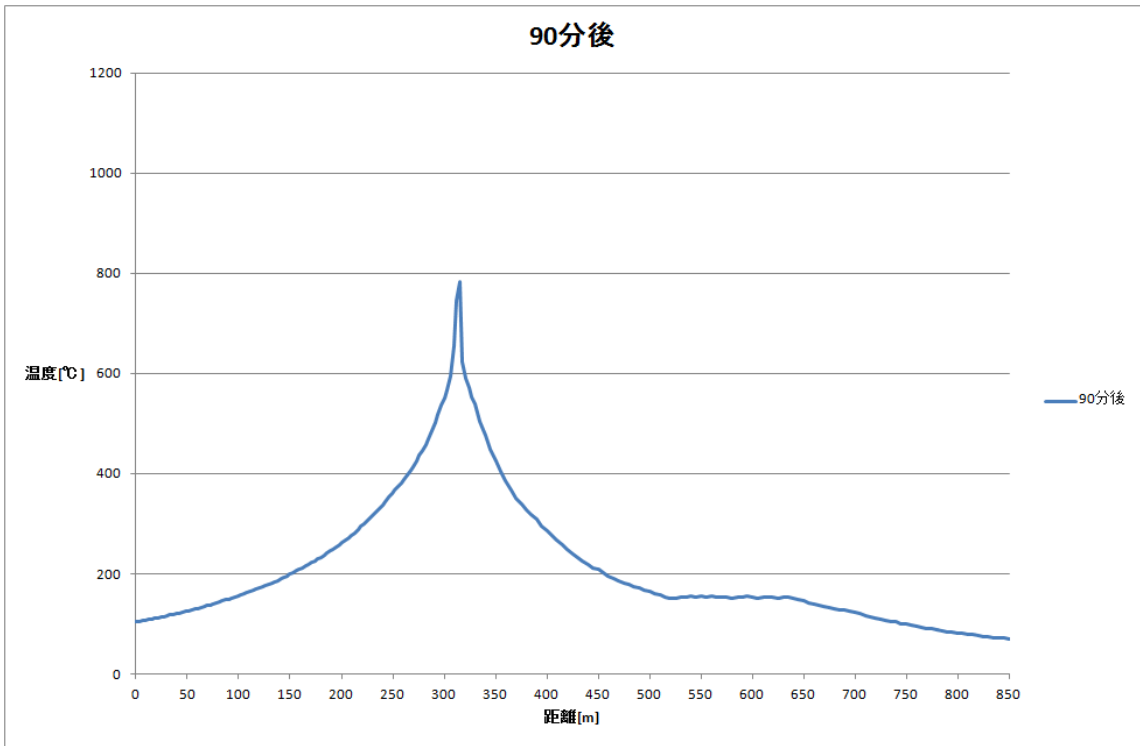
トンネル天井面の温度を 10 分毎にみていく。

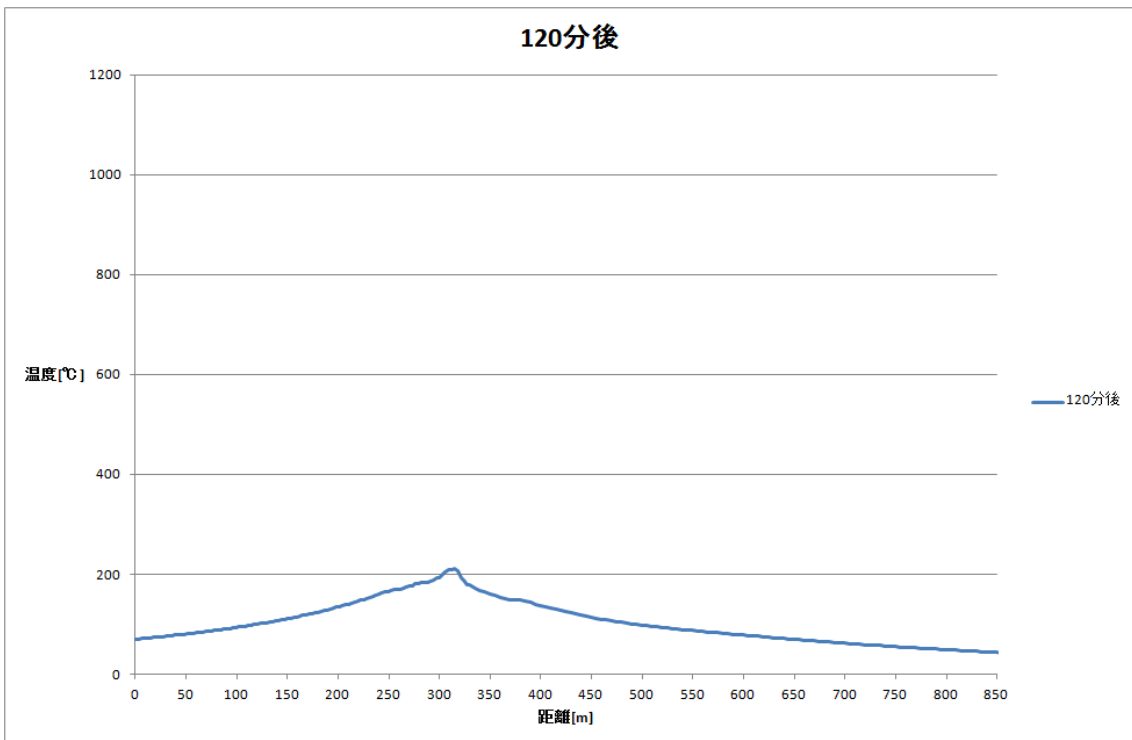
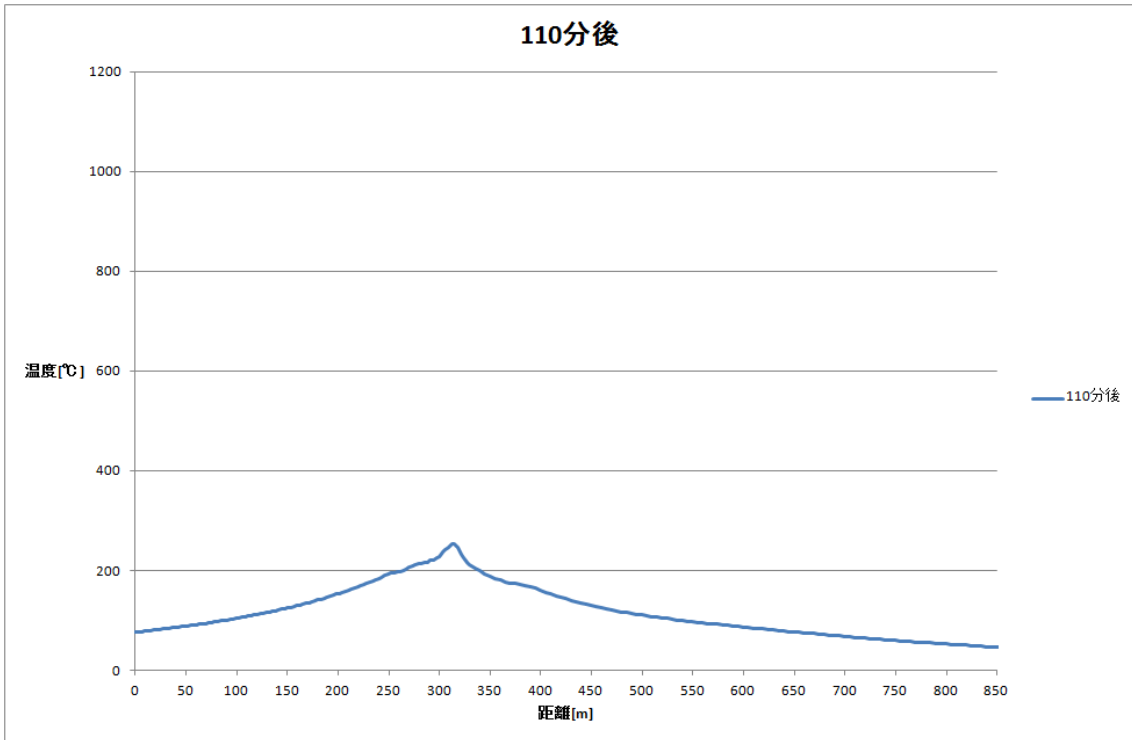








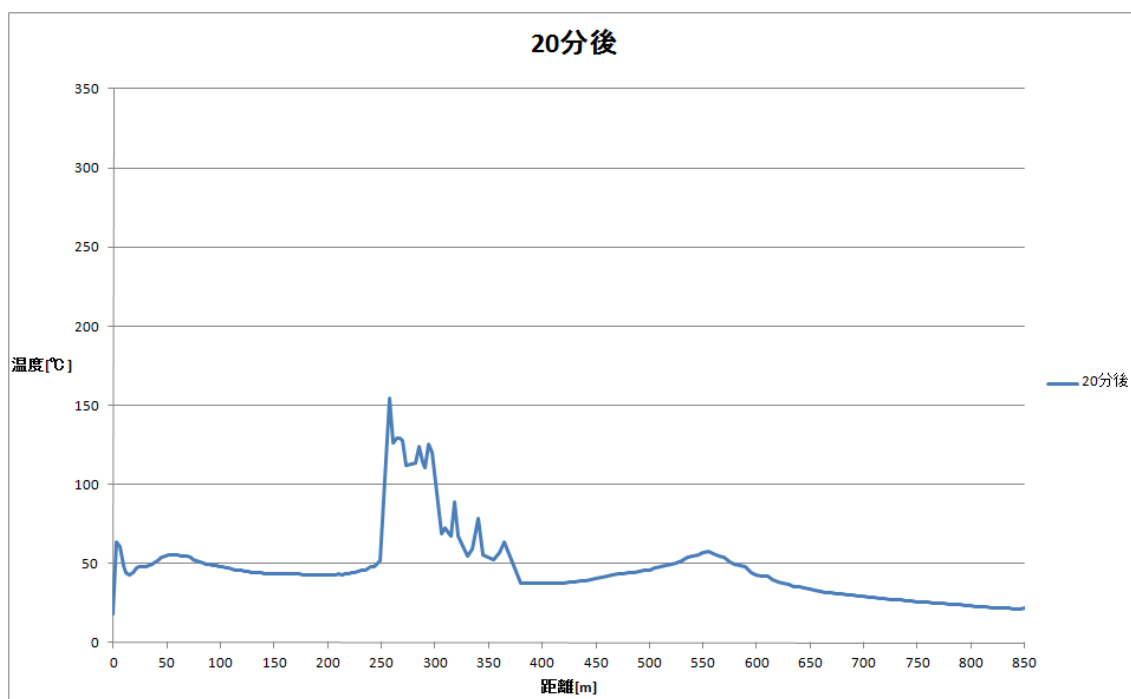
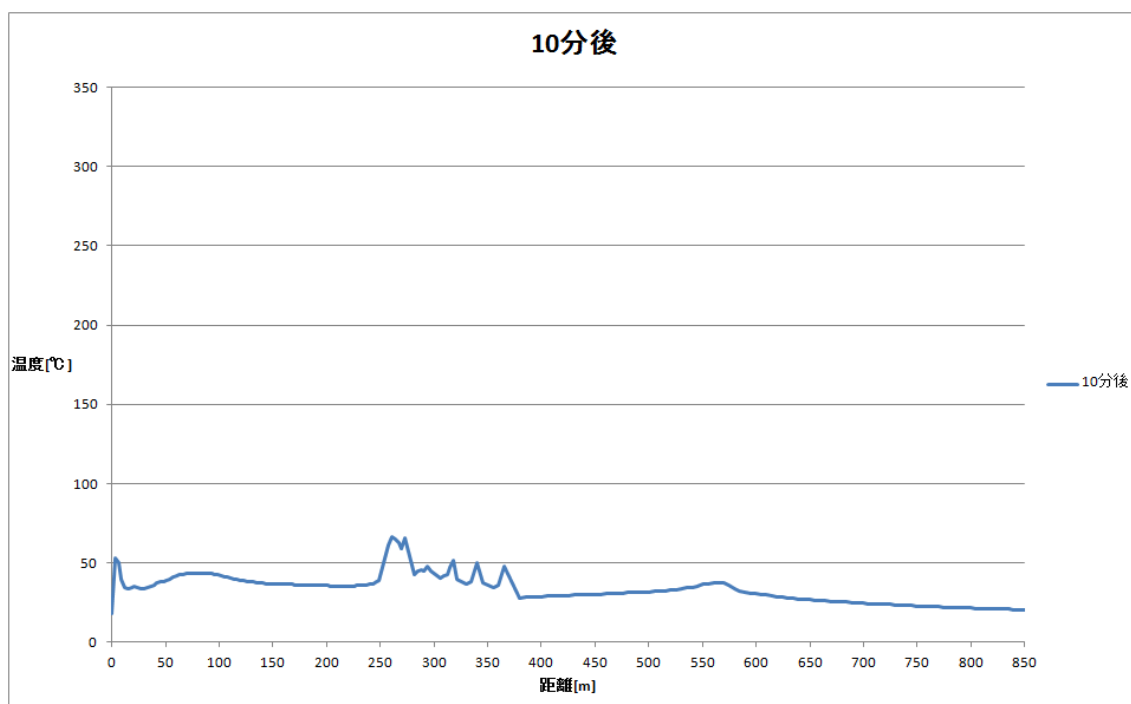


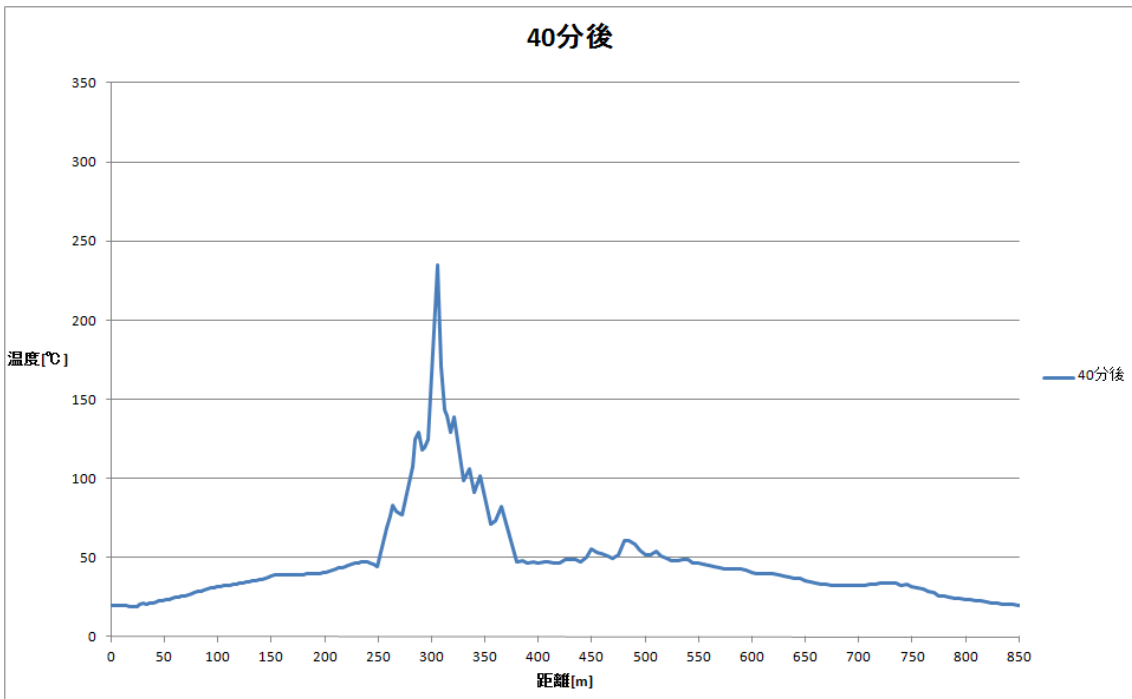
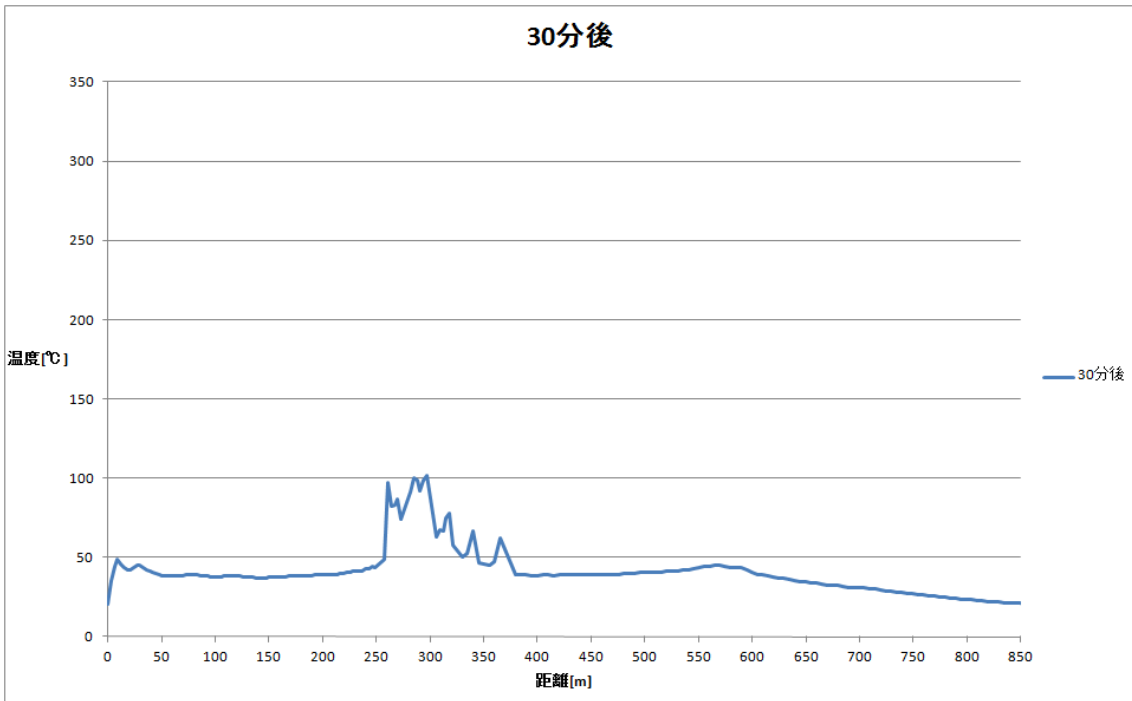


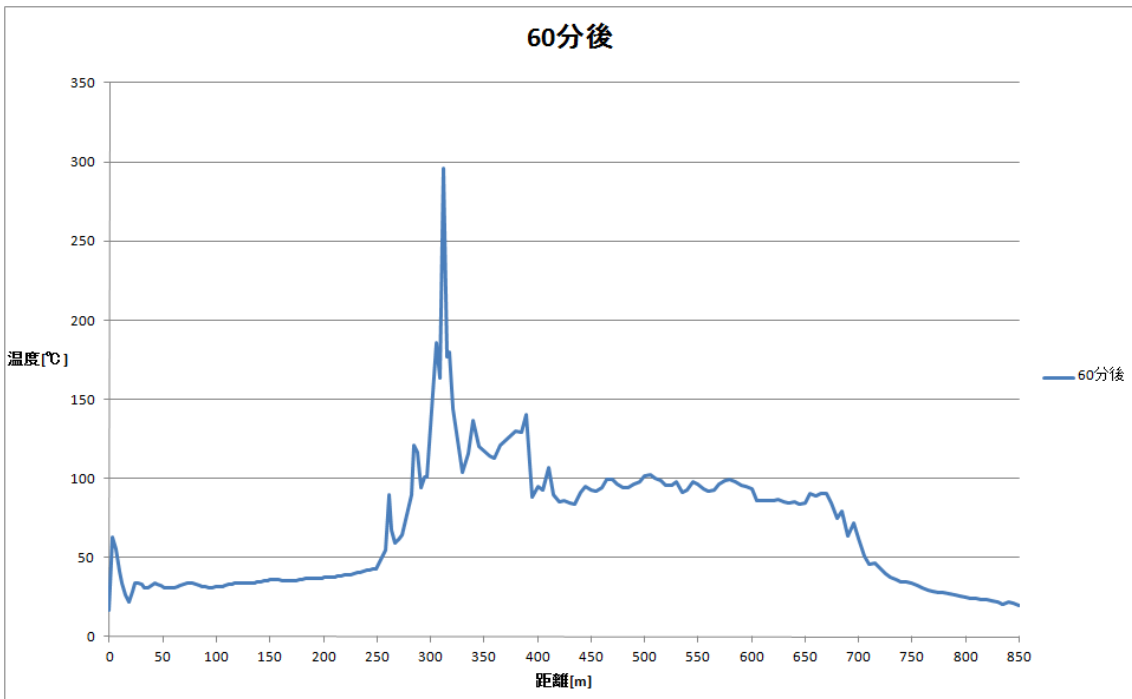
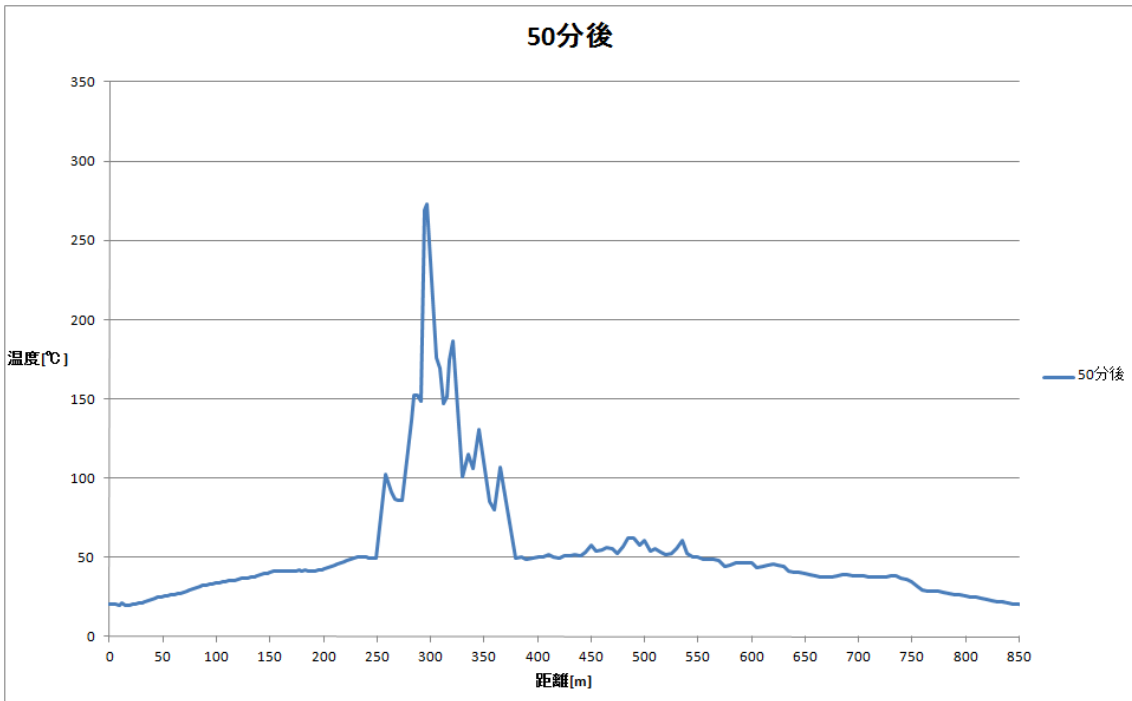
出火地点から左右に熱が流れていることがわかる。煙は両端のトンネル出口に向かっていった。火災発生から30分後には最高到達温度が1074°Cに達しており、火災の激しさがわかる。

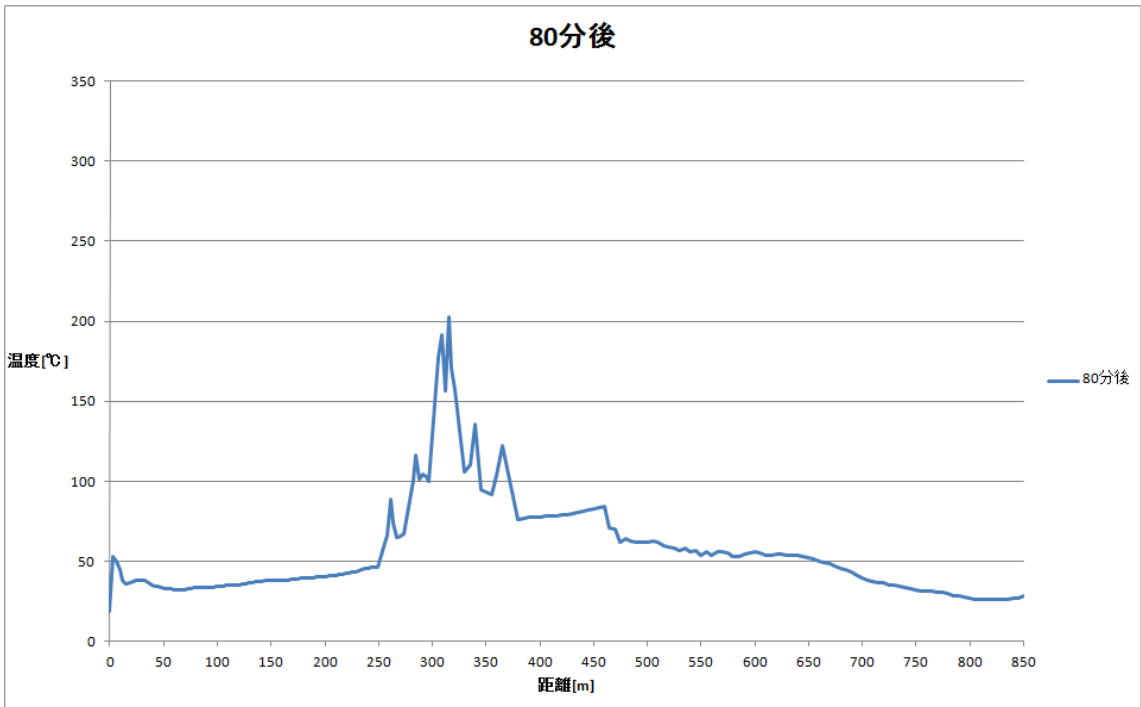
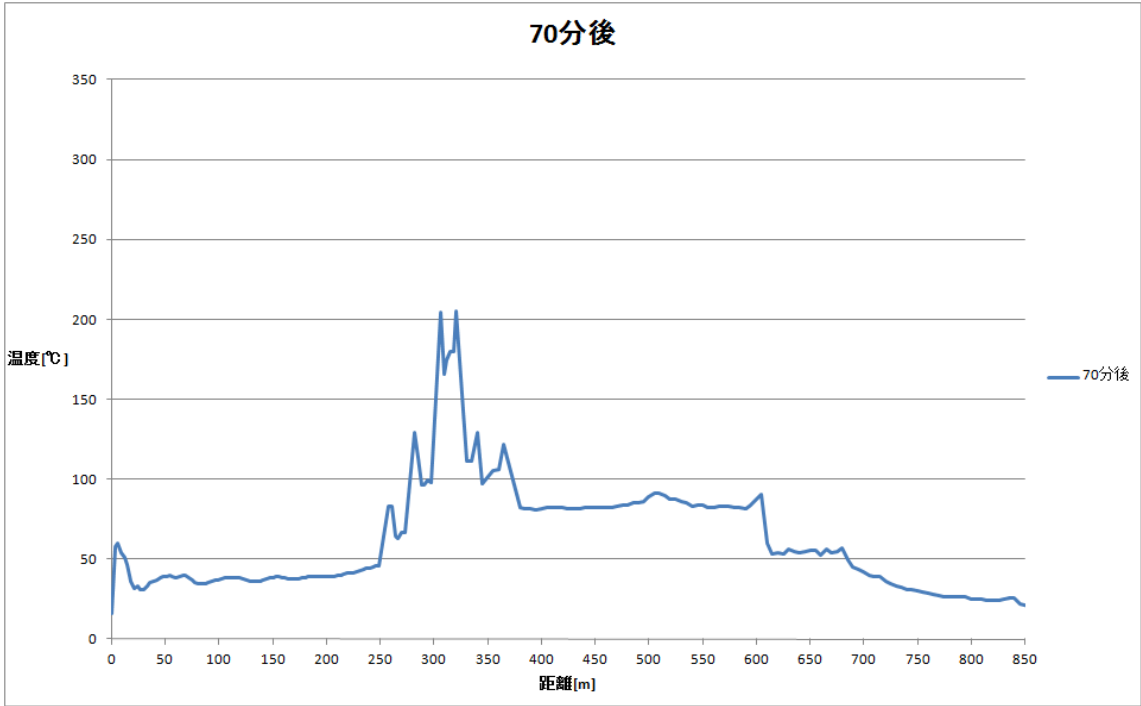
7-4. 床面から1mの温度

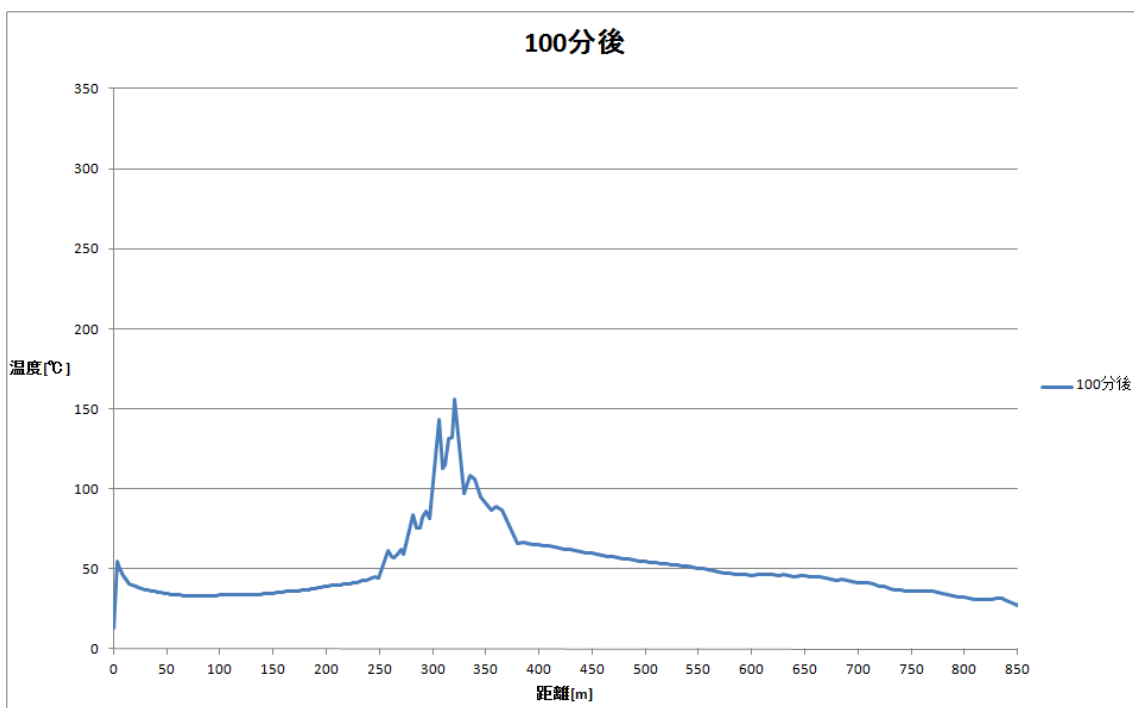
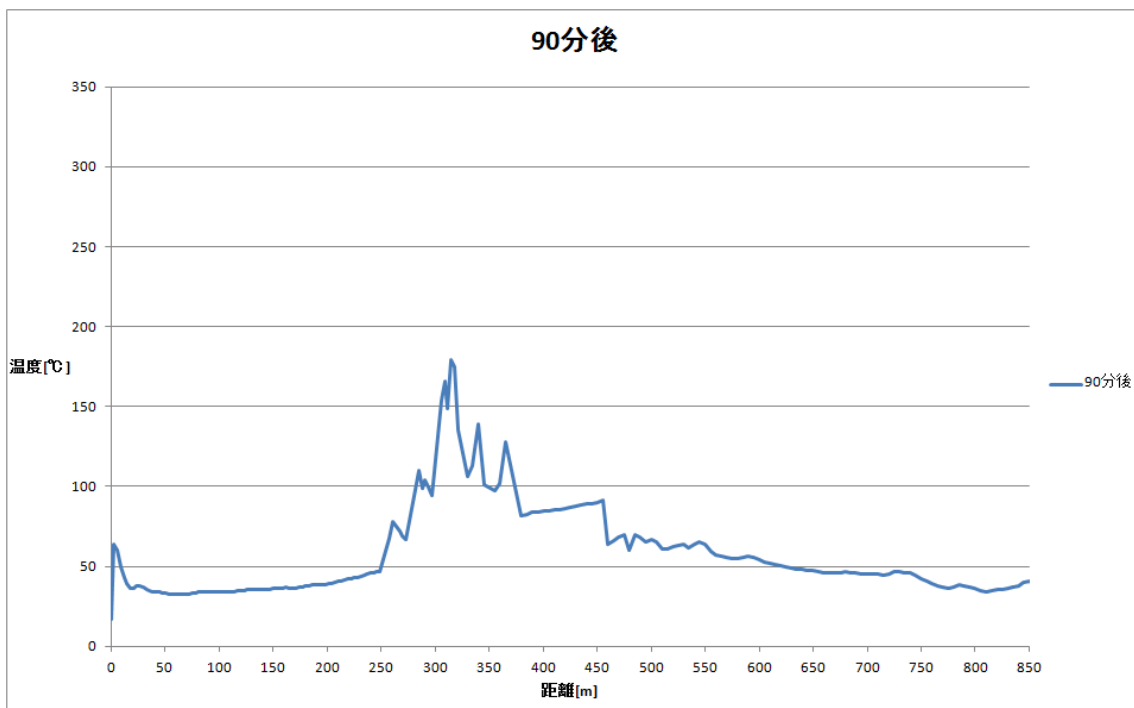
避難者の通る高さの状況を知るため、床面から1mの温度を10分毎にみていく。

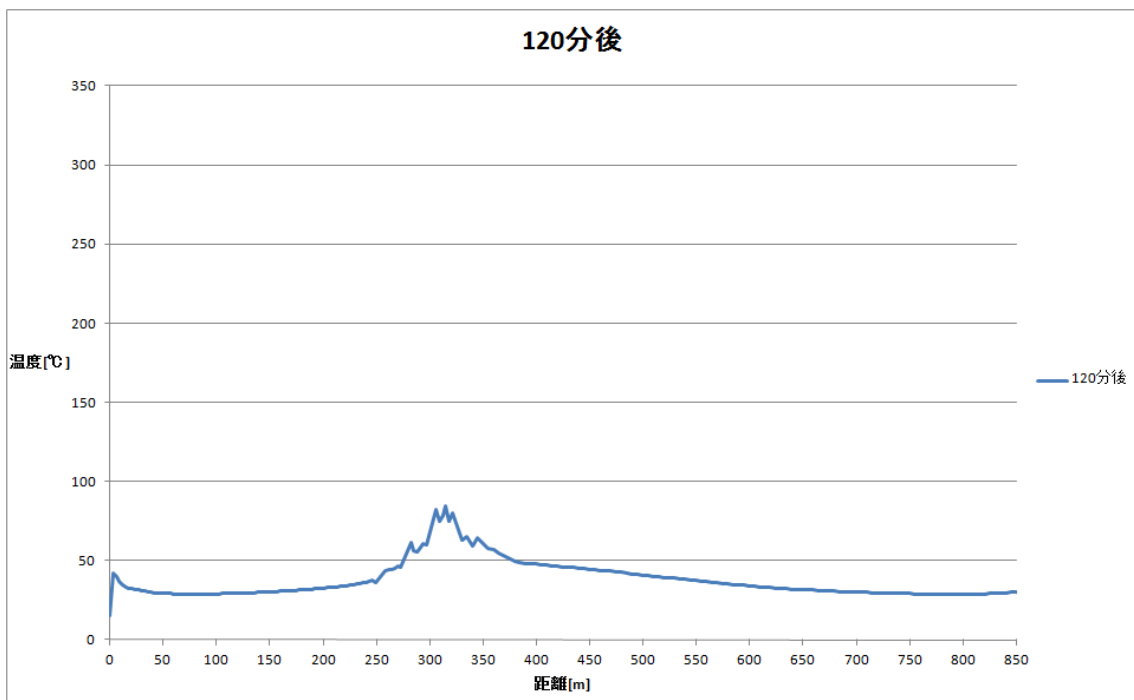
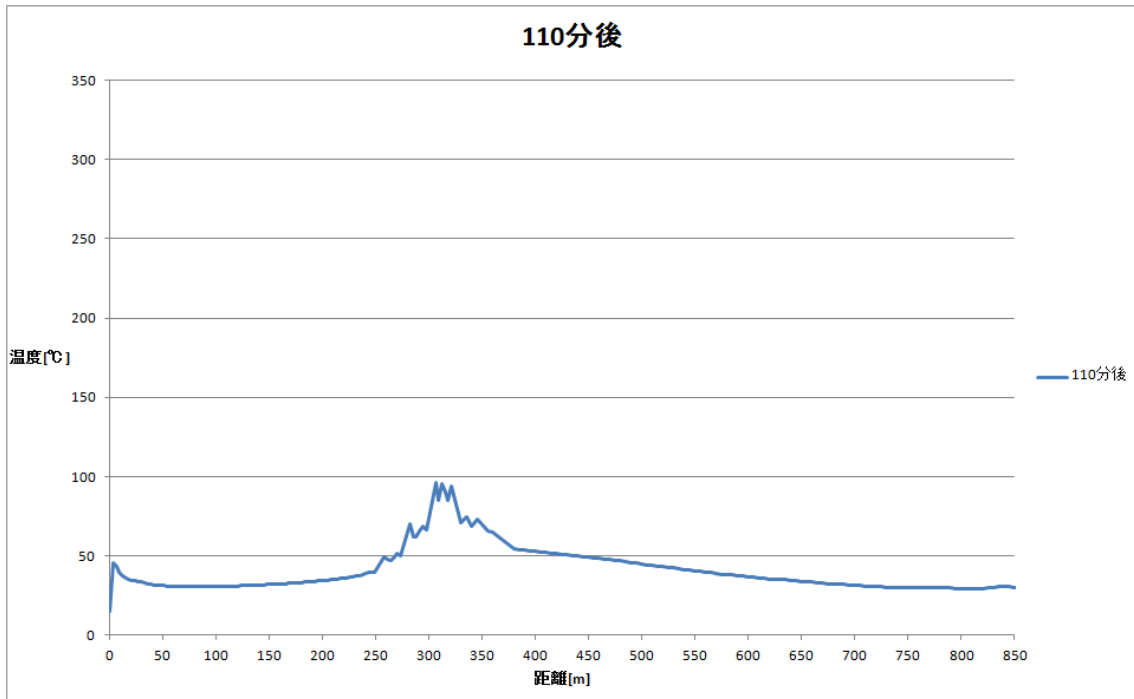












出火地点から左右に熱が流れていることがわかる。出火地点付近において、火災開始から50分後に273°Cに達し、60分後には296°Cに達していた。

7-4 に示した高さ 1m の温度は、X 軸 400～700m の付近で、50 分→60 分において急激に上がるのに対して、70 分→80 分では下がっている。このことを全体の温度分布図(図 8-図 10)で分析すると、煙がトンネル出口(X=850m)から戻るような動きが確認でき、図 7 の発熱量の時間変動の影響もしくはシミュレーション仮定の不備によるものと考えられる。

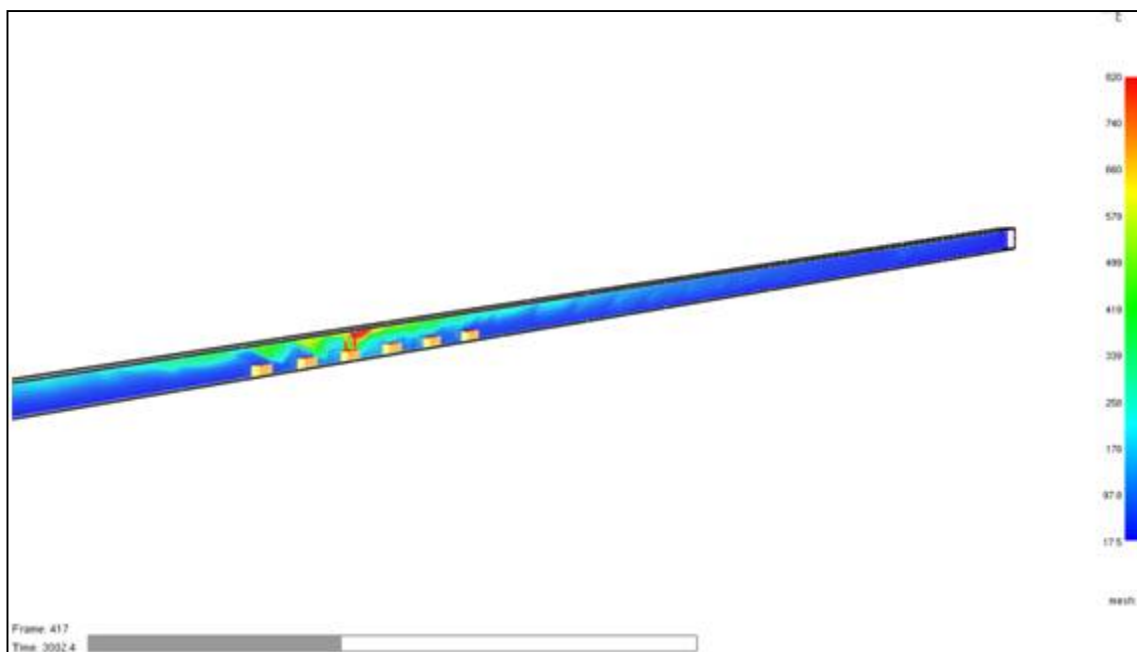


図 8 50 分後のトンネル内の様子

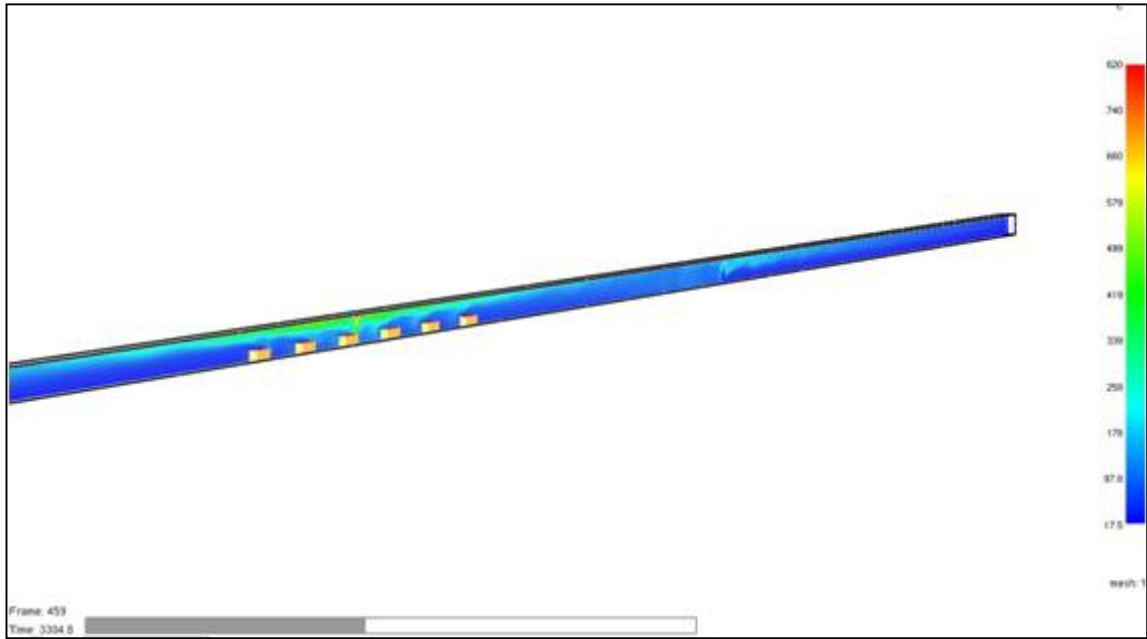


図 9 55 分後のトンネル内の様子

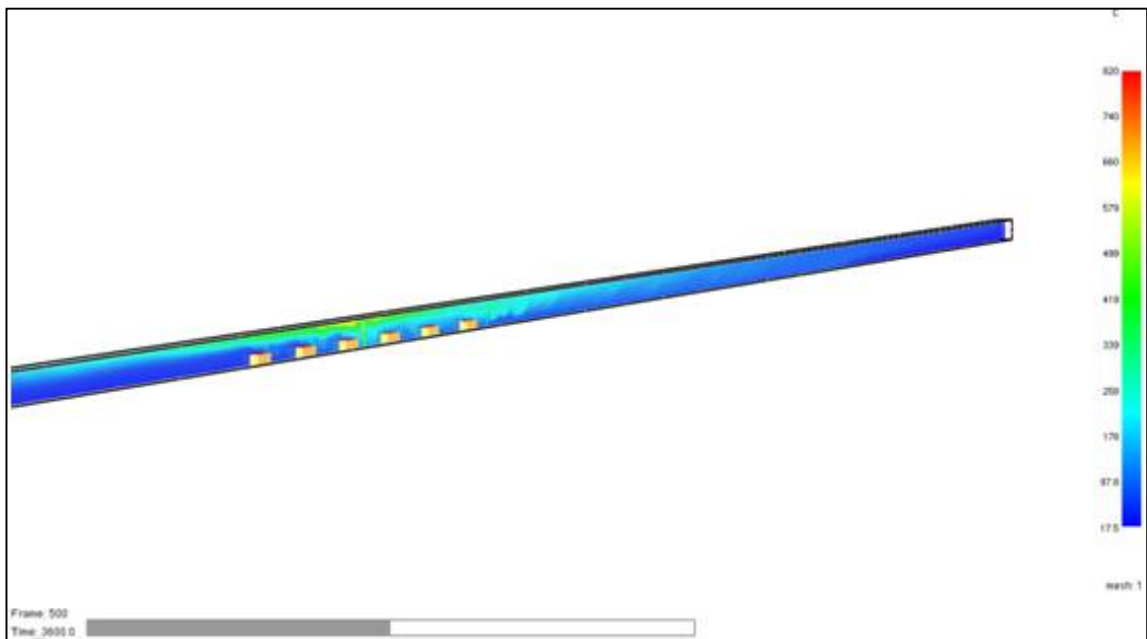


図 10 60 分後のトンネル内の様子

7-5. トンネル天井面の推定受熱温度とシミュレーション結果の比較

トンネル天井面の火害状況から受熱温度を推定しシミュレーション結果と比較する。²²⁾

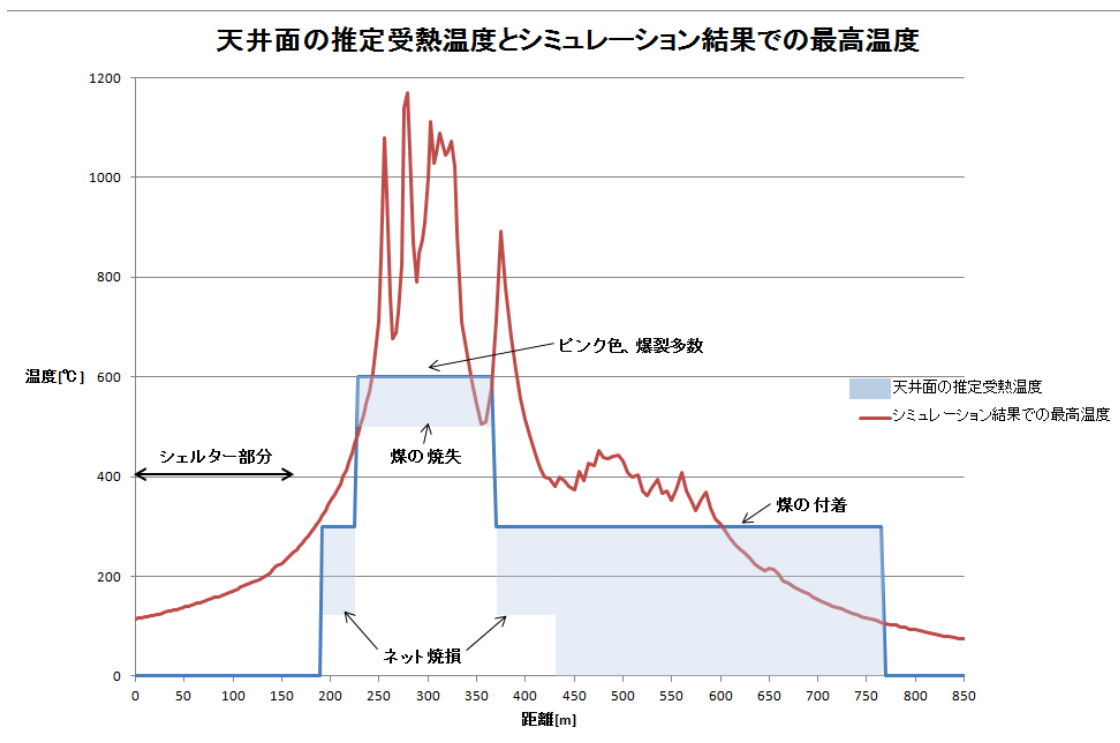


図 11 トンネル天井面の推定受熱温度（範囲）とシミュレーション結果での最高温度

スノーシェルター(163m)の火害状況は把握していないため推定受熱温度は 0°Cとしている。

グラフの挙動は似ているが最高温度において、推定受熱温度は 600°C、シミュレーション結果では 1171°Cと 500°C程度の差異があった。車両が停車していた地点は 237m から 365m の地点であり、その付近での被害状況が最悪であり爆裂箇所が多数発見されコンクリートの変色状況は淡黄色と推定されるのだが、実状ではピンク色であった。

表 12 コンクリートの変色状況と受熱温度の関係

変色状況	温度範囲 (°C)
表面にすす等が付着している状態	300 未満
ピンク色	300～600
灰白色	600～950
淡黄色	950～1200
溶融する	1200 以上

8. 検証結果 2

事故後の調査、証言により時間経過と避難行動が推定されたことから、各時間に焦点をしぼり、シミュレーションの結果から得られたトンネル内の状況と避難行動の関連を検証する。

表 13 時間経過と避難行動¹⁷⁾

22:03	4～6号車内に避難開始
22:10	4～6号車内へ避難完了
22:34	乗客自主避難開始
23:27	トンネル出口へ避難完了

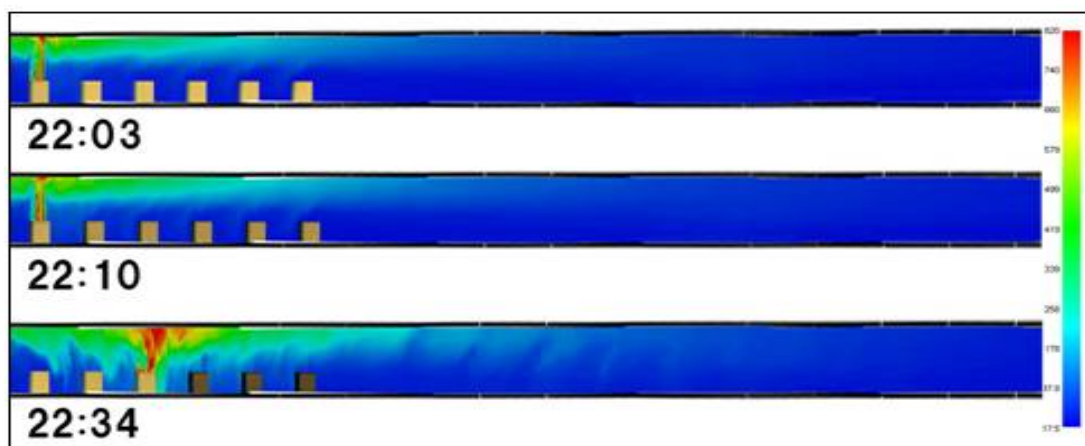


図 12 トンネル内の温度分布

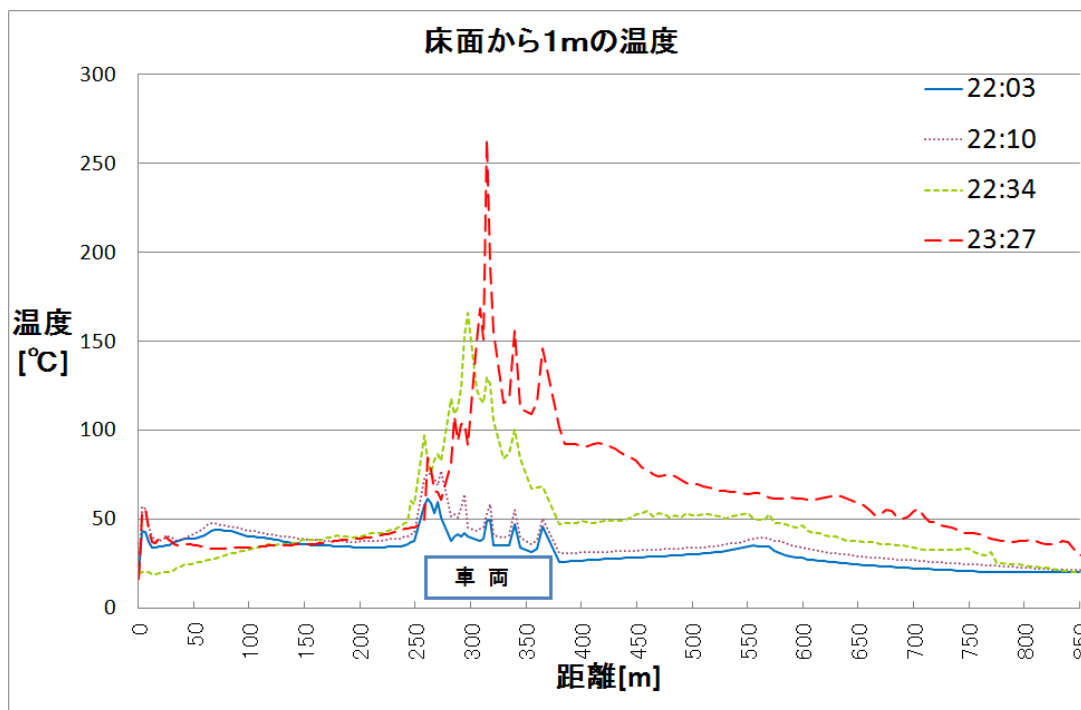


図 13 床面から 1m の温度

22:03に1号車から3号車の乗客が4号車から6号車に避難を開始する。このときトンネル天井部での最高到達温度は790℃となっている。22:10に最初の避難が完了するが、この段階ではまだ1号車が燃えている状態であった。このとき天井部での最高到達温度は906℃となっている。

そして22:34に4号車から6号車に避難していた乗客が車外から出てトンネル外への避難を開始するが、このとき天井部での最高到達温度は894℃となっている。シミュレーション仮定では3号車が燃えていて危険な状態であったことがうかがえるが、5号車で煙が立ち込めていたこと、車外で煙がひどかったことということが新聞記載、証言で推定され、乗客が危険にさらされていたことがわかる。

表10より人間が避難可能である限界の温度を50℃と仮定した場合、23:27の避難完了時のとき710mまでの地点で限界に達している。避難にこれ以上の時間を要したとした場合、危険であったと推定される。しかし実際の火災ではマニュアルに則った確認作業や消火作業、避難者の動きなど種々の制約、困難を伴うこととなり、不確定要素を考慮しなければならないが、燃焼開始からまもなく煙がトンネル内に充満していることから、早急に避難を開始しなければならない状況であったといえる。

9. まとめ

鉄道営業法に基づく 2001 年の国交省令は、「長大なトンネル」に限って換気や消火・避難設備などの火災対策設備を必要に応じて設置するよう求めている。鉄道各社は乗客が徒歩で脱出でき、火災が起きても列車が走り抜けられる長さとして「5km 以上」を目安としているケースが多いようだが、本件災害の被災者全員が生還できたのは、推定される避難した距離が 481m であったことが幸いしたといえる。しかし、夜間、トンネル構内、火災対策設備が不十分と、いわば「闇の中での避難行動」であったことを単に避難した距離が短かったから生還出来たなどといえないのは本件トンネル火災検証からも明らかだ。ましてや乗客が徒歩で脱出できる目安とされてきた 5km では、本件第 1 ニニウトンネルの次の新登川トンネルが北海道内で最長の 5,825m (図 2) であることを考慮すると、ほぼ北海道内最長トンネルを徒歩で避難しなければならないことになるのだ。5km にもおよぶ闇の中での避難行動では煙に暴露されている時間が長くなるだけでなく、長距離の避難行動からくる不安やパニック、逃げ遅れの発生など被災者の避難安全上重要な危険要因が増えることとなりうるだろう。ましてや、本件災害のように脱線および火災という複合的な災害時には、もはや列車がトンネルを走り抜けられるものではないことも実証されることとなったのだ。さらには、災害後の本件車両写真(写真 2)から、列車が停止した状況がトンネル構内か駅構内かの空間的な違いはあるが、2003 年の韓国テグ地下鉄火災とおなじか、それ以上の車両の焼損状況であることも推察され、駅構内やトンネル長にかかわらず閉塞性の高い空間での換気や消火、避難誘導設備などの災害対策設備の充実だけでなく、鉄道車両がより安全確実に火煙の伝播から守られた区画とするためにも、鉄道車両の防火性能および鉄道材料規格・基準の見直しも再検討していく必要があるだろう。しかし、鉄道車両の防火性能や災害対策設備の充実というハードの面だけをいっているのではなく、ソフトの面。つまり災害発生直後の迅速かつ的確な判断と行動も同様に求められており、常日頃からの防災意識の重要性はシミュレーションの結果からも浮き彫りになってくる。災害とは常に何か教訓をもたらすものであるのかもしれないが、とはいえいつまでも災害の度に想定外の範囲外であったなどとはいってられないのだ。

10. 参考文献

- 1) 日本鉄道建設公団札幌支社『石勝線建設工事誌』(昭和 57 年 3 月)
- 2) (社)日本火災学会 編『はじめて学ぶ建物と火災』共立出版株式会社 (2007)
- 3) 日本火災学会 編『火災と建築』共立出版株式会社 (2008)
- 4) 日本火災学会『新版 建築防火教材』株式会社工業調査会 (1984)
- 5) 中尾政之 著『失敗百選-41 の原因から未来の失敗を予測する』森北出版 (2005)
- 6) 『No. 340 鉄道ジャーナル 1995 年 2 月号』株式会社鉄道ジャーナル社
- 7) 『No. 433 鉄道ファン 1997 年 5 月号』株式会社交友社
- 8) 消防庁編『消防白書 平成 16 年版』株式会社ぎょうせい (2004)
- 9) 消防庁編『消防白書 平成 22 年版』佐伯印刷 (2010)
- 10) 朝日新聞『縮刷版 No. 1079・No. 1080』(2011. 5) (2011. 6)
- 11) 読売新聞『縮刷版 No. 633・No. 634』(2011. 5) (2011. 6)
- 12) 毎日新聞『縮刷版 No. 737・No. 738』(2011. 5) (2011. 6)
- 13) 日本経済新聞『縮刷版 5 月号・6 月号』(2011. 6. 25) (2011. 7. 25)
- 14) 北海道新聞『縮刷版 5 月号・6 月号』(2011. 5) (2011. 6)
- 15) 十勝毎日新聞 平成 23 年 5 月 28 日土曜日(日刊), 平成 23 年 5 月 29 日日曜日(日刊)
- 16) 東京消防庁『消防科学研究所報 第 31 号 pp. 131-136』東京消防庁(1994)
- 17) 石勝線 清風山信号場構内で発生した列車脱線事故について 北海道旅客鉄道株式会社 2011 年
- 18) トンネル内における列車火災時の処置手順 北海道旅客鉄道株式会社 2011 年
- 19) 緊急時のお客様避難誘導マニュアル(抜粋) 北海道旅客鉄道株式会社 2011 年
- 20) 安全性向上のための行動計画 北海道旅客鉄道株式会社 2011 年
- 21) 事業改善命令・改善指示に対する報告について 北海道旅客鉄道株式会社 2011 年
- 22) 石勝線 第一ニウトンネル 変状展開図 国土交通省 2011 年
- 23) 日本火災学会編『火災便覧 第 3 版』共立出版(1997)
- 24) 神忠久『煙中の見通し距離について(I~IV)』日本火災学会論文集(1969~1973)
- 25) 室崎益輝『建築防災・安全』鹿島出版会(1993)
- 26) 堀内三郎『建築防火』朝倉書房(1972)
- 27) 日本建築学会編『図解 火災安全と建築設計』朝倉書房(2009. 3)
- 28) 国土交通省運輸安全委員会『鉄道事故に関する統計』(2011)
- 29) 松戸正士・吉野茂・若松高志・近藤悟・佐々木仁・平島岳夫・吉田正友・上杉英樹・齋藤光『超高強度材料を用いた鉄筋コンクリート柱の耐火性に関する研究』日本建築学会大会学術講演梗概集 A-2 pp. 22-24 (2002)
- 30) 日本建築学会『建物の火害診断及び補修・補強方法』(2004)
- 31) 第 4 回協議会 資料 北海道旅客鉄道株式会社 2011 年

11. 謝辞

本論文の作成にあたり、終始適切な助言を賜り、また丁寧に指導して下さいました辻本誠先生に感謝します。

東京理科大学修士課程の大場正直さんにシミュレーションをお願いしました。また調査のあり方や考察の方法など、細部にわたるご指導をいただきました。ここに感謝します。

また辻本研究室の先輩・同期の皆様には常に刺激的な議論を頂き、精神的にも支えられました。本当にありがとうございました。