平成 **26** 年度 卒業論文

新幹線の座席燃焼実験による車両内の避難安全検証

2015 年 3 月

東京理科大学 工学部第二部建築学科 辻本研究室

清水 滉平 (学籍番号:5110036)

第	11	氠			序論	j	1
	1.		1	研	究背	'景と目的	2
	1.	4	2	論	文の	時,	2
	1.		3	近	年の	鉄道火災	3
	1.		4	鉄	道車	『両の火災対策基準とその変遷	3
14	参え	考	文献	ŧ			12
第	21	彰			既往	の鉄道車両の燃焼実験	13
	2.	•	1	日	本に	於ける鉄道車両の燃焼実験	14
	2.		2	*	国に	たける鉄道車両の燃焼実験	28
	2	2.	2		1	Phase I	28
	2	2.	2		2	Phase II	44
	2	2.	2		3	Phase III	62
	参え	考了	文献	t			68
第	31	軰			実験	t	69
	3.		1	0 3	系及	び E4 系新幹線座席のコーンカロリーメーター試験	70
		З.	. 1	•	1	実験目的	70
		3.	. 1		2	実験日及び実験場所	70
	:	3.	. 1	•	3	コーンカロリーメーター試験装置の概要	70
		3.	. 1	•	4	実験手順	71
		3.	. 1		5	測定項目	72
		3.	. 1		6	試験体	72
		3.	. 1		7	実験条件	73
		3.	. 1		8	実験結果	74
	N.	参表	考文	て献	•••••		94
	3.		2	0 3	系及	び E4 系新幹線座席の燃焼実験	95
	i	3.	. 2	2.	1	実験目的	95
		3.	. 2	2.	2	実験日及び実験場所	95
		3.	. 2	2.	3	試験体	96
		3.	. 2	2.	4	着火方法	97
		3.	. 2	2.	5	測定項目	98
	i	3.	. 2	2.	6	試験体及び計測機器の設置状況1	.06

目 次

3.	•	2.	7	実験結果1	L10
3.	•	2.	8	総括1	L43
参	考	文献			L44
第4章			検証	E 1	L45
4.	1	検	証目	的1	L46
4.	2	検	証根	接要1	L46
4.	3	検	証力	7法1	L46
4.	4	惁	定步	六况1	L46
4.	5	避	難時	剤の計算1	L49
4.	6	煙	降下	「時間の計算1	L54
4.		6.	1	計算方法1	L54
4.		6.	2	BRI2002 の概要1	L54
4.	•	6.	3	計算条件1	L55
4.		6.	4	火災成長モデルの概要1	L55
4.		6.	5	火災成長率γの導出1	L56
4.	•	6.	6	計算に用いる発熱速度の比較1	L59
4.		6.	7	計算結果1	L61
4.	7	検	証結	行果1	L64
4.	8	3	号車	『への避難検証1	L64
4.		8.	1	検証目的1	L64
4.	•	8.	2	想定状況1	L64
4.	•	8.	3	避難時間の計算1	L64
4.	•	8.	4	煙降下時間の計算1	L66
4.	•	8.	5	検証結果1	L71
4.	9	検	証紀	5果の考察1	L71
参考	文ī	歉		1	L72
第5章			結論	j1	L73
謝辞	••••	•••••		1	L75
付録		梗	臧		177

第1章

序論

1. 序論

1.1 研究背景と目的

鉄道車両の各部位に使用される材料は、過去の列車火災事故等を踏まえて幾度となく改 正および強化がなされてきた火災対策基準によって規制されている。にもかかわらず、2011 年 JR 北海道石勝線においてディーゼル列車が脱線し、トンネル内で全焼する鉄道火災が発 生した。この火災では、車内の座席などの火災対策基準の燃焼性に該当する部材が跡形も なく焼失した。現行の火災対策基準では、部材の材料をそれぞれ個別に試験を行い燃焼性 の評価を行っている。そのため、一定の評価を受けた材料でも、車内のように空間の制限 や各種材料が複合的に存在し、材料試験とは異なる空間においては、出火の後に急速な発 熱が起こり、大規模な燃焼を引き起こす可能性が考えられる。その代表が、前述の JR 北海 道石勝線の列車火災である。

そもそも車内の座席が、香港の地下鉄車両のように不燃物(アルミ製)を採用しない限 り、一定の燃焼を想定せざるを得ない。高速度で走行中の列車の車両内において火災が発 生した場合、車両を安全に停止させた上で乗客全員が安全に避難することができるかを検 証することが火災安全性を確認するうえで必要となる。

本論文は、実際の新幹線に設置されていた座席を用いた各種実験を行い、走行中の車内での火災を想定し、安全に避難できるかの検証を行う。

1.2 論文の構成

本論文は、実際の新幹線に設置されていた座席を用いた各種実験を行い、走行中の車両 内において火災が発生した場合に安全に避難することができるかの検証をすることを目的 とする。

第一章では、鉄道火災の研究に必要な基礎的知識を習得するため、近年の鉄道車両の火 災件数や火災対策基準をまとめた。第二章では、過去の燃焼実験をまとめ、第三章で実施 する各種実験への足がかりとした。第三章では、避難検証の計算にあたり、居室内の煙降 下時間を算定する為に必要となる座席の発熱速度を測定すべく、コーンカロリーメーター 試験、自由空間における燃焼実験およびルームコーナー試験装置における燃焼実験をまと めた。第四章では、避難安全検証法を参考に算出した避難時間と、第三章で得られた実験 値を用いて、二層ゾーンモデルによるシミュレーションソフト BRI2002 により算出した煙降 下時間を比較することで、走行中の車内で火災が発生した場合の安全性を評価した。第五 章では、第四章の結果から、今後の鉄道車両の火災安全対策について検討し、結論とした。

 $\mathbf{2}$

3 近年の鉄道火災



図 1.3.1 近年の鉄道車両の火災件数

表 1.3.1 は火災報告より作成した、2004 年から 2012 年までの鉄道車両の火災件数を示したものである。火災報告取扱要項によれば、鉄道車両には「普通鉄道」、「地下鉄」、「モノレール」、「案内軌条式鉄道」、「ケーブルカー」、「ロープウェー」、「トロリーバス」が例示されており、本稿で扱う一般的な鉄道車両以外の火災も火災件数に含まれていることに留意しなければならない。この表からは火災の規模は見てとれないが、決して火災件数が僅かであるとは言い難い。特に、JR 北海道石勝線の列車火災があった 2011 年は 23 件と突出して多い。

1.4 鉄道車両の火災対策基準とその変遷

現行の鉄道車両の火災対策基準は、「鉄道に関する技術上の基準を定める省令(平成 13 年国交省令 151 号)」によって規定されている。その内容は次の通りである。

鉄道に関する技術上の基準を定める省令(鉄道車両の火災対策に関わる部分を抜粋)

第五節 車両の火災対策等

(車両の火災対策)

第八十三条 車両の電線は、混触、機器の発熱等による火災発生を防ぐことができるもの でなければならない。

2 アーク又は熱を発生するおそれのある機器は、適切な保護措置が取られたものでなけ ればならない。

3 旅客車の車体は、予想される火災の発生及び延焼を防ぐことができる構造及び材質で

なければならない。

4 機関車(蒸気機関車を除く。)、旅客車及び乗務員が執務する車室を有する貨物車には、 火災が発生した場合に初期消火ができる設備を設けなければならない。

上記のように、「鉄道に関する技術上の基準を定める省令」には火災対策基準の概要が規 定されている。その具体的な基準は「鉄道に関する技術上の基準を定める解釈基準(平成 14 年国鉄技 157 号)」に規定されている。ちなみに、駅およびトンネルの火災対策基準につい ては、「地下鉄道の火災対策の基準について(昭和 50 年鉄総 49 号の 2)」および「地下鉄道 の火災対策の基準の取り扱いについて(昭和 50 年鉄土 9 号)」、「地下鉄道の火災対策の基準 の取り扱いの改正について(昭和 57 年鉄土 70 号)」を運用することとされている。次に、鉄 道に関する技術上の基準を定める省令等の解釈基準の鉄道車両の火災対策に関わる部分 " を示す。

鉄道に関する技術上の基準を定める解釈基準(鉄道車両の火災対策に関わる部分を抜粋) [基本項目]

- 1 車両の火災対策は、以下のとおりとする。
 - (1) 車両の電線及び機器等の火災対策は、次の表によるものとする。

電線	アークを発生または発熱する	極難燃性(不燃性を含む。以下に同じ。)の材料で覆わ
	おそれのある機器に近接また	れていること。
	は接続するもの	
上記以外のもの		難燃性(極難燃性及び不燃性を含む。以下に同じ。)の
		材料で覆われていること。ただし、混触又は短絡のおそ
		れのないものあっては、この限りでない。
電気機	アークを発生または発熱する	床壁等から隔離し、必要に応じその間に絶縁性かつ不燃
器	おそれのある機器	性の防熱板を設けること。
内燃機関		機関は床壁等から隔離し、必要に応じてその間に不燃性
		の防熱板を設けること。
		排気管の煙突部分と車体の断熱強化を図ること。(排気
		管の煙突部分等の損耗等により漏火した場合において
		も車体への類焼を防止する構造とすることをいい、例え
		ば不燃性の防熱板を設けた構造をいう。)

(2) 旅客車の火災対策は、次の表によるものとする。

部 位		一般旅客	地下鉄等	特殊鉄道(備考 10)						
		車	旅客車及			モ	P	Д	サ	フ
			び新幹線							
			旅客車							
屋根	屋根(備	金属製又は、	金属と同等	不燃性			モ			モ
	考 1)	以上の不燃性	±(備考 2)			0	準			準
				金属製又は金	属と同等以上			0		
				の不燃性						
	屋根上	難燃性の絶縁	彖材料で覆われ	いていること (み	R空電車線(特		0	0		
	面	高圧の電車線を除く)区間を走行する旅客電車に限る)								
	屋根上	取付部が車体に対して絶縁され、又は表面が難燃性の絶					0	0		
	面に取	縁材料により覆われていること(架空電車線(特高圧の								
	り付け	電車線を除く)区間を走行する旅客電車に限る)								
	られた									
	機器及									
び金具										
	類									
外板	妻部	難燃性	表面の塗	不燃性 表詞	面の塗装 (備考	0	モ			モ
		装(備考6)に	は不燃性の	6)には不燃性	Eの材料を使用		準			準
		材料を使用す	トること。	すること。						
	妻部以	不燃性又は	表面が不燃	不燃性 表記	面の塗装 (備考	0	モ			モ
	外	性の材料で	覆われたも	6)には不燃性	Eの材料を使用		準			準
		の(備考3)で	備考3)であり、表面すること。							
			6)には不燃							
		性の材料を	性の材料を使用するこ							
		と。								
	天井	不燃性又は	表面が不燃	不燃性 放	不燃性 表	地	0			地
		性の材料で	覆われたも	射熱に対す	面の塗装 (備	準	(備			準
		の(備考3)で	あり、表面	る耐燃焼性	考6)には不		考			
		の塗装(備考	7)には不燃	を有し、か	燃性の材料		4)			
		性の材料を	使用するこ	つ、耐溶融滴	を使用する					

と。 下性がある こと。 二と。 二と。 二日、二、二、二、二、二、二、二、二、二、二、二、二、二、二、二、二、二、二、
本 二と。(備考) 二次(信考) 二次(信) 二次(信)
第二
第二 東小田 第二
客室 内張 不燃性又は表面が不燃 不燃性 表面の塗装(備考 〇 モ 2 2 客室 内張 不燃性又は表面が不燃 不燃性 表面の塗装(備考 〇 モ 2 2 方案 内張 不燃性又は表面が不燃 不燃性 表面の塗装(備考 〇 モ 2 2 2 方案 内張 不燃性の材料で覆われたも 6)には不燃性の材料を使用 すること。 2 2 2 2 断熱材及び防音材 住の材料を使用すること。 不燃性 〇 モ 2 2 2 「軟熱材及び防音材 一 ア 不燃性 〇 モ 2 2 2 「 床 煙び炎が通過するおそれの少ない構造 〇 モ 2 2 2 「床の上 難燃性 2 2 2 2 2 「床の上 難燃性 2 <
の材料を使用すること。 の材料を使用すること。 に </td
加快 用すること。 1 <th1< td=""></th1<>
客室 内張 不燃性又は表面が不燃 不燃性 表面の塗装 (備考 6)には不燃性の材料を使用 の(備考3)であり、表面 の塗装(備考6)には不燃 性の材料を使用するこ と。 6)には不燃性の材料を使用 すること。 0 モ 準 単 断熱材及び防音材 座及び炎が通過するおそれの少ない構造 0 モ 準 単 床の上 難燃性 0 モ 準 単 床の上 難燃性 0 モ 準 単 床上敷 極難燃性 0 モ 準 単
性の材料で覆われたもの(備考3)であり、表面の塗装(備考6)には不燃性の材料を使用すること。 すること。 第 第 第 第 第 第 8 9
の(備考3)であり、表面 の塗装(備考6)には不然 性の材料を使用するこ と。 すること。 - </td
の塗装(備考6)には不燃 性の材料を使用するこ と。 -
性の材料を使用すること。
加加 と。 「加加 「加 「加 「加 「加 「加 「加 「加
断熱材及び防音材 不燃性 〇 モ 車 床 床 煙及び炎が通過するおそれの少ない構造 〇 モ 車 床の上 難燃性 〇 モ 車 敷物 「 極難燃性 〇 モ 車 床上敷 極難燃性 〇 モ 車
床 床 煙及び炎が通過するおそれの少ない構造 ○ モ 車 床の上 難燃性 ○ モ 準 2 敷物 極難燃性 ○ モ 準 2
床 煙及び炎が通過するおそれの少ない構造 〇 モ 車 床の上 難燃性 〇 モ 車 敷物 広上敷 極難燃性 〇 モ 車
床の上 難燃性 準 準 準 敷物 〇 モ 準 2 床上敷 極難燃性 〇 モ 2
床の上 難燃性 〇 モ モ 敷物 本 準 準 準 床上敷 極難燃性 〇 モ モ
敷物 準 準 準 床上敷 極難燃性 〇 モ モ
床上敷 極難燃性 〇 モ モ
物下の 準 弾
詰め物
(備考
7)
床板 金属製又は金属と同等以上 〇 モ モ
の不燃性(備考2) 準 準
床下面 不燃性又は表面が金属 不燃性又は 表面の塗装 〇 モ モ
(備考 で覆われたもの 表面が金属 (備考6)は 準 準
8) で 覆われた 不 燃 性
もの、かつ表

			性						
床下の機器	器箱(備考		不燃性、たた	し、絶縁の必	0	モ			モ
9)			要がありやむ	を得ない理由		準			準
			がある場合は難	離燃性					
座席	表地	難燃性						0	
	詰め物		難燃性		0	モ			モ
						準			準
	下方に		発熱体と座席	の間に不燃性	0	モ			モ
	電熱器		の防護板を設け	ける		準			準
	を設け								
	ている								
	場合								
日よけ	日よけ	難燃性			普	普	普	普	普
					準	準	準	準	準
ほろ	ほろ		難燃性		0	0			モ
									準

備考1 「屋根」とは、車体の上部構造のうち雨樋又は雨切りよりも上の部分をいうが、雨樋又は雨切りが 車体中心線から車体最大幅の三分の一の距離より内側にある場合は、車体中心線からそれぞれ車体最大幅 の三分の一の距離までの部分をいう。ただし、屋根の一部が妻部の外板と一体となっているものは、当該 部分は(2)の表中「外板」中の「妻部」とする。

備考2 「屋根」及び「床」中の「同等以上の不燃性」とは、現在屋根及び床板に使用している金属と同等 又はそれ以上の不燃性の性能を意味しており、鉄道車両用材料の燃焼性規格で規定する不燃性とは異なる。 備考3 「表面が不燃性の材料により覆われたもの」には、不燃性でない材料を金属等不燃性の材料により だき合わせたものを含む。

備考4 案内軌条式鉄道のうち、地下式構造の鉄道及び長大なトンネルを有する鉄道に使用する車両の「天井」は、地下鉄旅客車等の規定によること。

備考5 「放射熱に対する耐燃焼性を有し、かつ、耐溶融滴下性があること」とする材料には、天井材のほ か客室上部に設備されている空調吹き出し口等の主要な設備を含む。ただし、材料が小さい等の理由によ り延焼拡大に影響を及ぼさないものを除く。

備考6 「表面の塗装」とは、多重塗装の場合には最外層の塗装をいう。

備考7 「床上敷物下の詰め物」とは、キーストン構造の床に詰めるものをいうが、金属と金属の間又は金属と床敷物の間に挟まれたハードボード、耐水ベニヤ等もこの規定の詰め物に含まれる。

備考8 床下に設置した機器から発生する熱風が床下面に影響を与えないよう、床下面の下に金属板を取り 付けた場合には、当該金属板を「床下面」とみなす。

備考9 「床下の機器箱」には、リレー等のカバーは含まない。

備考10(2)の表中、特殊鉄道欄の種類の略称は、次のとおりとする。

- モ:懸垂式鉄道及び跨座式鉄道
- ア:案内軌条式鉄道
- ム:無軌条電車
- サ:鋼索鉄道
- フ:浮上式鉄道

(3) (1)及び(2)の表中の不燃性、極難燃性及び難燃性とは、以下の鉄道車両用非金属材料

の試験法」により、次表の規格による

区公	アルコ・	ール燃焼	中		アルコール燃焼後			
	着火	着炎	煙	火勢	残炎	残じん	炭化	変形
不燃性	なしなし		僅少	-	-	-	100mm 以下の変色	100mm 以下の表 面的変形
極難燃性	なし	なし	少ない	-	-	-	試験片の上端に達し ない	150mm 以下の変 形
	あり	あり	少ない	弱い	なし	なし	30mm 以下	
難燃性	あり	あり	普通	炎が試験片の 上端を超えな い	なし	なし	試験片の上端に達す る	縁に達する変形、 局部的貫通孔

鉄道車両用材料の燃焼性規格

備考・炭化、変形の寸法は、直径で表す。

・異常発炎するものは、区分を1段下げる。

・判定に付いては、次の試験処方による。

試験方法I

鉄道車両用非金属材料の試験方法1は、図に示すとおり B5 判の供試材(182mm×257mm) を 45°傾斜に保持し、燃料容器の底の中心が、供試材の下面中心の垂直下方 25.4mm(1イ ンチ)のところにくるように、コルクのような熱伝導率の低い材質の台にのせ、純エチル アルコール 0.5cc を入れて着火し、燃料が燃え尽きるまで放置する。

燃料判定は、アルコールの燃焼中と燃焼後に分けて、燃焼中は供試材への着火、着炎、 発煙状態、炎の状態等を観察し、燃焼後は、残炎、残じん、炭化、変形状態を調査する。

供試体の試験前処理は、吸湿性の材料の場合、所定寸法に仕上げたものを通気性のある 室内で直射日光を避け床面から 1m 以上離し、5 日以上経過させる。試験室内の条件は

温度 15℃~30℃

湿度 60%~75%

で空気の流動はない状態とする。



(4) (2)の表中、「耐溶融滴下性があること」とは、鉄道車両用非金属材料の試験方法」において、アルコール燃焼後の材料表面が平滑性を保っているものをいう。

(5) (2)の表中、「耐燃焼性」とは、以下の鉄道車両用非金属材料の試験方法 II により、次 表の規格による。

総発熱量[MJ/㎡]	着火時間[sec]	最大発熱速度[kW/m]
8以下	_	300 以下
8 を超え 30 以下	60 以上	

試験方法Ⅱ

鉄道車両用非金属材料の試験方法 II は、図に示すとおり ISO5660-1:2002 に準じた方法により、縦横約 100mm の正方形で厚さ 50mm までの大きさで表面が平坦な供試材とし、放射熱 50kW/m2 で 10 分間行う。

試験は、供試材 3 枚の最大発熱速度の平均値と各供試材の最大発熱速度の差が 10%未満 であることを確認し、10%未満の場合は当該 3 枚の供試材のデータを採用する。10%以上 となる場合には更に供試材 3 枚の試験を行い、これらの供試材 6 枚のうち、最大発熱速度 の最大値と最小値を除く 4 枚の供試材のデータを採用する。燃焼判定は、試験時間中に計 測された総発熱量(MJ/m2)及び最大発熱速度(kW/m2)並びに着火時間(秒)で行う。

着火時間(秒)は、試験片から炎が確認されてから 10 秒以上炎が存在した場合を着火とみ なし、試験開始から最初に着火が確認されるまでの時間とする。

(6) 機関車(蒸気機関車を除く。)、旅客車及び貨物車(乗務員が乗務するものに限る。)に は、車両の用途に適した消火器を備えること。また、消火器の所在場所を乗客の見えやす いように表示すること。ただし、消火器本体が乗客から見えやすい所へ備えられている場

9

合は、この限りでない。

2 地下鉄等旅客車、新幹線旅客車、懸垂式鉄道旅客車、跨座式鉄道旅客車、案内軌条式鉄 道旅客車(地下式構造の鉄道及び長大なトンネルを有する鉄道に使用する車両に限る。)及び 浮上式鉄道旅客車の連結する車両客室間には、通常時閉じる構造の機能を有する貫通扉等 を設けること。ただし、連結部が乗務員室となる場合の貫通口の扉は、容易に閉じること ができる構造でよい。

赤字は平成 15 年 2 月 18 日に発生した韓国大邱市の地下鉄火災を受けて、平成 16 年 12 月 27 日に国土交通省から通達された火災対策基準の改正部分である。

この現行の火災対策基準に至るまでは、昭和 31 年 5 月の南海電鉄高野線で発生した列車 火災を契機として鉄道車両の不燃化の検討が進められたのを皮切りに、幾度となく基準の 改正および強化がなされてきた。さらに、その過程には実車による燃焼実験が行われてい る。下表に鉄道火災および火災対策基準、燃焼実験の変遷を示す。表中の鉄道火災は 1940 年以降に死者を出した鉄道火災および火災対策基準の契機となった鉄道火災である。

年月日	鉄道水災/ 水災対策基進/燃煙実驗	概要
1 23 11		ML女
1940/01/29	国鉄西成線安治川口駅	転覆。死者 191 名,負傷者 92 名
1945	福知山線	たばこ。死者8名,負傷者65名
1947	近鉄奈良線生駒山トンネル	過熱。死者 28 名,負傷者 64 名
1949	名古屋鉄道線	たばこ。死者 55 名
	近鉄山田線	死者9名
1951/04/24	国鉄京浜東北線桜木町駅	地絡。死者 106 名,負傷者 92 名
1953	知覧線	車掌室。死者6名,負傷者1名
1956/05/07	南海電鉄高野線	過熱。死者1名,負傷者42名
	紀伊神谷駅-紀伊畑川駅	
06/15	電車の火災事故対策について(鉄運 39 号)	電車を極力不燃化すること、連結
08/06	電車の火災事故対策の通達に関する補足説明について(鉄運 58	電車への貫通路設置、電気機器の
	号)	耐熱防護強化、各車への消火器設
		置等を通達
1957/01/25	電車の火災事故対策に関する処理方について(鉄運5号)	具体的な構造を定めた実施要項を

表 1.3.1 鉄道火災および火災対策基準、燃焼実験の変遷 "

	電車の火災事故対策に関する処理方の注釈について(鉄道6号)	定めて地下鉄道等電車のA様式、
		その他をB様式として通達
07/16	御堂筋線西田辺停留場	
12/18	電車の火災事故に関する処理方の一部改正について(鉄運 136	A-A様式の強化および追加。地下
	号)	線を運転する車両の火災対策が強
	電車の火災事故対策に関する処理方の一部改正に伴う注釈に	化
	ついて(鉄道 137 号)	
1964/09/30	新幹線鉄道構造規則(運輸省令 70 号)	
1968/01/27	営団地下鉄日比谷線	過熱。死傷者なし。A-A様式の車
	六本木駅-神谷町駅	両が全焼
1969/05/15	電車の火災事故対策について(鉄運 81 号)	A-A様式の見直し。新たにA-A基
		準を規定。電熱等を発生する機器
		に対する防護および使用材料の燃
		焼性試験の方法等を明確化
1970	運輸省および消防庁による燃焼実験	第2章に概要記載
1971	山陽線	たばこ。死者4名,負傷者1名
1972/11/06	国鉄北陸線北陸トンネル	接触不良。死者 30 名,負傷者 714
		名
	大阪市交通局による燃焼実験	第2章に概要記載
	国鉄による燃焼実験	
1973	国鉄による燃焼実験(その1)	第2章に概要記載
10/11	電車の火災事故対策の一部改正について	山岳トンネルを運転する車両に対
		する基準を強化
1974	国鉄による燃焼実験(その 2)	第2章に概要記載
1975/01/30	地下鉄道の火災対策の基準について(鉄総 49 号の 2)	地下駅およびトンネルの火災対策
02/14	地下鉄道の火災対策の基準の取り扱いについて(鉄土9号)	の検討。建造物の不燃化、防火管
		理室・二方向避難路等の整備等の
		規定
1987	近鉄東大阪線	死者1名,負傷者56名
1982/04/15	地下鉄道の火災対策の基準の取り扱いの改正について(鉄土 70	排煙設備の設計方法等を通達
	号)	
1987/03/02	普通鉄道構造規則(運輸省令 14 号)	国鉄分割民営化に伴い、関係省令

	特殊鉄道構造規則(運輸省令 19 号)	の整備。省令として火災対策基準
04/01	車両に係る普通鉄道構造規則及び特殊鉄道構造規則の運用等	を規定
	について	
1988/03/30	JR 東日本上越線	消音器から発火。死傷者なし。長
	越後中里駅-岩原スキー場前駅	期アイドル運転の中止、煙突部断
		熱強化
1991	日本鉄道技術協会による燃焼実験	第2章に概要記載
1993	東京消防庁による燃焼実験	第2章に概要記載
2001/12/25	鉄道に関する技術上の基準を定める省令(国交省令 151 号)	仕様規定として鉄道の種類ごとに
交付		規定されていた基準を一本化し、
2002/03/31		性能規定化
施行		
2002/03/08	鉄道に関する技術上の基準を定める省令等の解釈基準(国鉄技	具体的な基準を規定
	157 号)	
2003/02/18	大邱都市鉄道公社地下鉄1号線	放火。死者 192 名,負傷者 148 名
	中央路駅(韓国)	
08/30	JR 東海中央線	放火(焼身)。死者1名
	田立駅-南木曽駅	
09/30	地下鉄道の火災対策検討会による燃焼実験	第2章に概要記載
2004/12/27	鉄道に関する技術上の基準を定める省令等の解釈基準の改正	新たに大火源火災を考慮。常時閉
		鎖式の貫通扉の設置 2)
2011/05/27		車両部品脱落,脱線破損。負傷者 79
	第1ニニウトンネル	名

参考文献

^{*}地下鉄道の火災対策検討会、『地下鉄道の火災対策検討会報告書』平成16年3月

[&]quot;前川結宇理、「鉄道車両火災を対象とする安全対策に関する研究」東京理科大学工学研究科建築学専攻修 士論文、平成 23 年 3 月

 [※]務省消防庁、「「鉄道に関する技術上の基準を定める省令等の解釈基準」のうち地下鉄道の火災対策に
関する解釈基準の解説」、平成16年12月(http://www.fdma.go.jp/html/data/tuchi1612/pdf/161227yo264-b.pdf)

第2章

既往の鉄道車両の燃焼実験

2. 既往の鉄道車両の燃焼実験

2.1 日本に於ける鉄道車両の燃焼実験

日本国内における鉄道火災実験のうち、実車を使った燃焼実験は次に示すとおりで、1970 年(昭和45年)に運輸省および消防庁が営団車両を用いた燃焼実験を皮切りに数回行われ てきた。

1970年(昭和45年)運輸省および消防庁による燃焼実験

(実験内容)

営団日比谷線列車火災事故で不燃車両と考えられていた車両が燃焼したことから、運輸 省および消防庁が営団中野工場内に模擬トンネルを建設し実施した。

従来の A-A 基準の車両および新しく防火対策を施した車両を実験に用いて、防熱板の性 能調査等を行った。

(実験結果)

主抵抗器からの熱風を車体外側に流れやすい構造にする等の改良を行った対策車両において、抵抗器過熱による火災に対する防止効果などが確認された。

1972年(昭和47年)大阪市交通局による燃焼実験

(実験内容)

大阪市交通局が大阪市四ツ橋駅において、車両火災が発生した場合における煙の流動状 況、換気設備の効果的な操作方法などについて確認するため、実験を実施した。

5 両編成列車を駅中間に留置し、風上の車両端軌道中央部より、発炎筒およびアルコール 2L を燃焼させ、煙の車内流入および流出状況を観測の他、トンネル内の煙濃度、トンネル 内の照度などの調査を行った。

(実験結果)

排煙機およびトンネル内照度について問題がないことが確認された。

1973-1974 年(昭和 48-49 年)国鉄による燃焼実験^{i,ii,iii,ii}

(実験内容)

国鉄北陸トンネル内における列車火災事故(1972年)を受け、国鉄が狩勝実験線および宮古線で燃焼実験を行った。フラッシュオーバー後の走行に関する影響などを調査の目的とし、 動物実験などを含め実施した。着火物などは、アルコール 400ml の他、可燃物約 2.3t であった。 (実験結果)

難燃化された車両は、局部的に焦損した程度で自然鎮火し、動物も全てが生存していた。 難燃化車両を使用したフラッシュオーバー発生による影響調査では、トンネル内での列車 火災の場合は、走行を継続し、トンネル外に脱出させることが有効であること等が確認さ れた。

辻本研究室には狩勝実験線における列車火災試験の様子を映した貴重なビデオが所蔵さ れている。下記にそのビデオ映像のまとめを記す。

狩勝実験線列車火災試験ビデオ映像まとめ

鉄道技術研究所 制作 狩勝実験線 列車火災試験(昭和48年8月28日~9月1日)

試験列車編成(再生時間 27:12)



防護車の車端防火構造(再生時間 28:42)

出入台、便洗面所の内張り・・・メラミン化粧アルミ板 引戸ガラス・・・線入りガラス 断熱材・・・ガラス綿

難燃化改造の概要(再生時間 32:21)

内張り・・・メラミン化粧アルミ板 座席・・・防炎性純毛モケット、難燃性ウレタンフォーム 床・・・鋼板、塩化ビニル、床仕上剤 肘掛・・・ポリカーボネート 網棚・・・金属製網 妻引戸ガラス・・・網入りガラス 断熱材・・・ガラス綿

ナハ11形客車可燃物重量

材料	重量(kg)
ハードボード	492.5
合板	372.3
硬木	348.8
塗料	218.9
リノリウム	184.3
断熱材(第4種フェルト)	140.
その他	460.3
合計	2,217.1

※鉄道トンネルと火災対策 表7より抜粋

車種による可燃物量の相異

車種	製作年度	可燃物重量 (kg)	単位床面積当り 可燃物重量 (kg/m ²)	難燃度分類	
新幹線電車	昭和 39 年	2115	25.5	A	
地下乗り入れ電車	昭和 41 年	747	13.7	А	
(301 系)					
特急気動車	昭和 44年	1520	25.2	A	
(キハ 180)					
急行気動車	昭和 36 年	1611	26.7	в	
(キハ 58)		1011	20.7	U	
特急寝台客車	旫和 /) 在	2026	ED 0	D	
(ナハネ 20)	и <u>п</u> ли 43 т	5050	52.5	6	
特急寝台客車	旫和 在在	2406	41.4	٨	
(オハネ 14)	西东日 40 平	2490	41.4	А	
一般座席客車		2217	10.6	B	
(ナハ11)	нати 32 ++	2217	40.0	D	

※鉄道トンネルと火災対策 表8より抜粋

試験条件

		試験 1-1	試験 1-2	試験 3	試験 2	
再生時間		32:04-	34:53-	38:09-	50:40-	
試験条件	期日	8/28		8/31	9/1	
	着火車	難燃化改造ナハ 11 形客車		ナハ 11 形客車		
			新聞紙 20)ページ	新聞紙 40 ページ	
	火源	新聞紙 20 ページ	および		および	
			アルコール 200ml		アルコール 400ml	
	側扉	閉じ			開き	
	客室引戸	開き				
	窓・通風器	閉じ				
	走行状態	停車	着火後8	分で発車	F.O.直後に発車	

着火方法



左図のように、座席の窓際に新聞紙を立てかけ新聞 紙に着火棒を用いて着火する。火源にアルコールを用 いる場合、アルコールは新聞紙上部の座席背もたれか らかけ始め、新聞紙でかけ終わる。

網棚の可燃物



網棚には着火位置の直上とその位置から一定間隔 で持ち込み可燃物と仮定した木片の束が設置されて いる。左図から網棚の可燃物の間隔は、着火位置の座 席に着座したときの視線が同方向となる座席の直上 に設置していると推測できる。

主な測定結果

		試験 1-1	試験 1-2	試験 3	試験 2
(1)温度	着火車(F)	25℃	60 °C	670°C	1200° C
	測定・防護車(H ₁)		22 °C	24°C	25 °C
	測定・防護車(H ₂)		24°C	26°C	35 ℃
1 1 14	着火車(F)	45%	45%	100%	100%
(2)煙濃度	測定・防護車(H ₁)	—	検出せず	20%	9%
	測定・防護車(H ₂)	_	9%	8%	32%
吏	着火車(F)	検出せず	検出せず	4.6%	6%
と濃	測定・防護車(H ₁)		一 検出せず 160ppm	220ppm	
(3) ガ	測定・防護車(H ₂)		検出せず	30ppm	380ppm
(4)動物 実験	測定・防護車(H ₁)		20 匹全て生存	20 匹全て生存	20 匹全て生存
	測定・防護車(H ₂)		22 匹全て生存	22 匹全て生存	22 匹全て生存

※(1)~(3)は客室内での最大値を示す。

※防護車:着火車の両隣に隣接する、車端部を難燃化改造した車両。

※鉄道トンネルと火災対策 より抜粋

試験 1-1(再生時間 32:04-)

着火源の新聞紙のみが燃焼し、その燃焼によって生じた火炎によって座席表面が黒く焼 け焦げる程度で火災は自然鎮火した。

概要。着火後5分34秒で新聞紙が燃えつきると同時に自然鎮火した。

車両の燃焼状況。座席が局部的に焦損した程度であった。



図 1-1-1 着火後

図 1-1-2 自然鎮火後の座席の状況

試験 1-2 (再生時間 34:53-)

着火から数秒後に、火炎は網棚に接するか接しないかくらいの高さまで拡大した。着火 源直上の網棚に設置した可燃物は延焼に至らず、火災は自然鎮火した。座席は火源が設置 された部分のみ黒く焼け焦げ、その周囲には延焼しなかった。

グラフから、着火源中央上部の最大温度は着火から約1分で約50℃、煙濃度は着火から約6分で最大値に達したことが読み取れる。

概要。着火後2分40秒で炎は小さくなり、発車まで上下背ずり中間から小さな炎が断続的 にみられた。中央天井部で温度60℃、煙濃度35%であった。発車後通風器から白煙がわず かに認められた。停車時(13分42秒)には自然鎮火していた。

車両の燃焼状況。座席は局部的に焦損したほか、肘掛(ポリカーボネート)製が一部溶損 したにとどまった。走行しても拡大しなかった。



図 1-2-1 着火数秒後



図 1-2-2 自然鎮火後の座席の状況



図 1-2-3 着火源上部の測定結果

試験3(再生時間 38:09-)

着火から数秒後に火炎は網棚をゆうに越え、火源直上の網棚に設置した可燃物に延焼し た。延焼した可燃物の火炎は天井を沿うようにして拡大した。図 3-4 のように、鎮火後の車 内を観察すると、網棚より上部が火災により損傷したことがわかる。このことから、延焼 した可燃物の放射熱により、その周囲の可燃物が着火し、次々と連鎖的に網棚の可燃物が 着火し車内全体に延焼していった様子が予想できる。着火後 8 分で発車したことで、走行 により空気が車内に流入したためか、着火源から進行方向の後方は燃焼が激しく、一部の 天井の骨組みが露出した。着火した座席以外の座席には損傷の形跡は見られなかった。

(着火から13:30で停車。)

図 3-7 から、着火源中央上部の最大温度は着火から約5分で約500℃、約9分で約650℃ に達したことが読み取れる。また、煙濃度は着火から約5分で測定限界?に達したことが読 み取れ、CO濃度は約10分で最大値となったことが読み取れる

この試験から、難燃化改造の効果が確認できた。

概要。着火部分の網棚の荷物、背ずり、内張り、天井の順に延焼し、6分50秒後煙は室内 に充満した。完全なフラッシュオーバーに至らず発車した。走行中は後部窓上から発煙し、 9分後車内中央部で炎が認められた。測定記録では発車後温度が上昇し670℃に達した。停 車時(13分30秒)は230℃であった。停車後(18分)窓ガラスを破ったが、発火しなかっ た。

車両の燃焼状況。完全なフラッシュオーバーに至らず鎮火した。



図 3-1 着火数秒後



図 3-2 網棚の可燃物に延焼した様子





図 3-3 網棚可燃物の延焼後の天井部の様子 図 3-4 自然鎮火後の車内の状況



図 3-5 自然鎮火後の着火した座席の状況



図 3-6 自然鎮火後の着火源上部の状況



図 3-7 着火源上部の測定結果

試験2(再生時間 50:40-)

着火から 3:30 で F.O.に至り列車は発車した。走行により空気が車内に流入したためか、 着火源から進行方向の後方は激しく燃焼し窓から火炎が噴出していた。その後 9:40 で列車 は停止し、その時点で既に窓と進行方向の後方の客室引戸、屋根の一部(通風器?)から火 炎が噴出していた。着火から14分後に注水消火。消火後の車内の観察では、燃焼が激しか ったのか列車内全体が黒く焼け、天井は全体で骨組みが露出していた。また、座席は着火 源から進行方向の後方は背もたれのクッション材が完全に燃焼し骨組みが露出していた。

また、天井も激しく損傷していたことが確認できた。

グラフから、着火源中央上部の温度は F.O.の 3:30 で約 900℃に達し、発車後に一旦、600℃ くらいまで温度が低下するものの、約5分から約10分で1000℃を超えたことが読み取れる。 防護車に設置したラットは映像からは死亡が確認できなかったが、車内が白煙で充満し た中を、呼吸器を装着した消防官?の姿が確認できた。

試験3 では網棚上部の延焼に留まったが、試験2 のように火源である新聞紙とアルコー ルが試験3の倍になり、尚且つ側扉が開放されると、F.O.に至り火災の危険度が大幅に増加 することが分かった。今回の実験では行われなかった、試験2実験条件で難燃化改造した 客車の場合の結果があれば、難燃化改造の効果がより比較できたのではないかと感じる。 着火後ただちに火炎は網棚に達し、30秒後天井に延焼2分30秒で煙は室内に充満し、約3 分でフラッシュオーバーに至った。3分30秒で発車、約7分で No.8 窓ガラス(後部寄)が 割れ、火炎が車外に流れた。走行中は相当な煙が扉、通風器、窓から噴出し、後方へ流れ た。8分30秒後で No.8~No.11の屋根上発炎。9分40秒で停車。停車後も着火車の火炎は拡 大した。13分55秒で消火を開始した。

走行によって、火勢は後方へ拡大し、後位車は前位車より大きい影響を受けた。しかし、 後位の防護車でも網入りガラスはヒビがはいった程度で火炎の侵入を阻止した。



図 2-1 着火数秒後



図 2-2 網棚の可燃物に延焼



図 2-3 火炎が天井を這う様子



図 2-4 停車直後



図 2-5 停車後の延焼拡大の様子



図 2-6 消火後の進行方向後方の車両概観





図 2-7 消火後の天井の骨組みが露出した状況 図 2-8 消火後の座席の骨組みが露出した状況





図 2-9 消火後の屋根の損傷状況

図 2-10 着火源上部の測定結果

1991年(平成3年)日本鉄道技術協会による燃焼実験

(実験内容)

日本鉄道技術協会がつくば市建設省土木研究所の実大トンネル実験施設において、主回 路抵抗器の発熱試験および車内燃焼実験を行った。火源は、持ち込み可燃物を想定し、エ チルアルコール 300ml または 600ml、新聞紙および灯油 400ml を組み合わせて実施した。点 火位置は座席位置とした。

(実験結果)

主回路抵抗器の発熱試験においては、抵抗器周辺部位に若干の温度上昇が認められたも のの、火炎の発生や顕著な発煙の状況はみられなかった。

車内燃焼実験では、火炎は拡大せず、灯油を除き自然鎮火、点火5分後においても7~9m の視界が確保され、避難上大きな支障とならないことを確認した。また、燃焼生成ガスに ついても人体に安全な範囲であった。

各試験とも火災の拡大はなく、A-A 基準適合車の火災に対する安全性が確認された。

1993年(平成5年)東京消防庁による燃焼実験

(実験内容)

東京消防庁が建設省建築研究所において、可燃物そのものの燃焼実験および座席などの 単体設備の燃焼実験を行った。さらに、営団行徳検車区で実車両を用いた燃焼実験を行っ た。可燃物については、車両内への持ち込みが可能な範囲の火源で、過去の実験に比べ大 きいものであった。

車両内の火災を想定したものとして、灯油 2L が入ったペットボトルを紙製手提げ袋に入 れたものを火源とした。また、実大車両の予備実験では、パンタグラフの火災を想定した ものとして、布に灯油 400ml を染み込ませたもの、車両床下の火災を想定したものとして オイルパンに灯油 2Lと布を入れたものを火源として実施した。

(実験結果)

実車両実験では、火源が設置された座席部分とその周辺が燃焼した程度に止まったが、 材料実験では、大規模な火源で内壁全体が加熱された場合は、燃焼が拡大する可能性が否 定できないものとした。

煙濃度については、Cs=0.1[1/m]を避難限界とした場合、火元車両では2分~5分程度で、 隣接車両では連結部扉開放の状態で5分~10分で達した。連結部の扉を早期に閉鎖するこ とが必要であることが確認された。

燃焼生成ガスは、実験条件や燃焼性状によって大きく異なるが、着火後1分30秒~8分で人体に対する相当の影響があることが確認された。ただし、連結扉を閉鎖した状態では、 隣接車両での影響がほとんどなかった。

天井面の温度上昇を考慮し、車両内に設置される保安上重要な配線への配慮が必要であ ることが確認された。

2003-2004 年(平成 15-16 年)地下鉄道の火災対策検討会による燃焼実験

平成 15 年 2 月 18 日に発生した韓国大邱市地下鉄における火災事故を受け、国土交通省 と消防庁は、我が国の地下鉄道の火災対策について総合的に検討を進めるため、「地下鉄道 の火災対策検討会」を設置した。検討会は平成 15 年 9 月 30 日と 10 月 1 日に車両実験、16 年 2 月 4 日に売店実験を実施した。ここでは、車両実験のみ記載する。

(実験目的)

車両の燃焼実験は、上記のようにこれまでも各機関によって実施されてきたが、多量の ガソリンを火源とした燃焼実験は行われていなかったため、大火源での車両の燃焼性状を 把握することを目的に燃焼実験が行われた。

(実験概要)

実験は消防研究所の大規模実験棟の主実験場(内法:18×18×15m(高さ))で行われた。実 験には、現在の火災対策基準に適合した地下鉄車両(定員 144 人、床面積 50.2m²、最大寸 法 20,000×2,856×3,900mm(高さ)、自重 35t)を用いた。ただし、実験場の制約から、車両 は車両の長手方向の中間で切断し、切断面は扉 2 つ分に相当する開口を残し鋼板で閉鎖し た。加えて、台車及び天井部のクーラーユニットを撤去した。表 2.1.1 に実験車両の部位別 使用材料を示す。

火源には韓国大邱市地下鉄における火災事故に相当する 4L のガソリンを採用し、その散 布位置、火災拡大に影響を及ぼすと考えられる天井の使用材料、開口条件をかえて実験が 行われた(表 2.1.2)。なお、事前の予備実験により、乗降扉が閉鎖状態の場合、酸欠による

部	位	材料	
座席	表地	難燃性スパンナイロンモケット	
	中張	コーデラン	
	詰物	ソフトへアー付へアーロック	
	下張	ビニロンターポリン	
床敷物		塩化ビニル樹脂	
幌		テトロン生地+塩化ビニルコーティング	

表 2.1.1 実験車両の部位別使用材料

10.5	宝殿夕			ガソリン散布量[L]		
	天噘石	入开树杆	用日禾件	火你世里	床	座席
09/30	第1実験	印刷アルミ	乗降扉	±±±± ±∞10	3.5	0.5
	第2実験	FRP	片側開放	い日田で	1.0	1.0
10/01	第3実験 印刷アルミ	日日マット	貫通扉	連結部	1.0	1.0
		日小市リノフレミ	片側開放	付近		
	第4実験	メラミン樹脂アルミ	乗降扉	节后 卒14	3.5	0.5
	第5実験	FRP	片側開放	(百 而之	3.5	0.5

表 2.1.2 実験条件

(実験結果)

着火後すぐに急激な燃焼により火炎は天井まで達し、着火後 30 秒程度で火勢は最大となった。このときの天井から床面までの温度は 800~900℃の高温に達した。2 分以内にガソリンは燃えつきた。垂直温度分布をもとに推測した扉などの開口部からの噴出気流による外部への熱流出(対流成分)は最大で約 2.5MW となった。一般的な火災において、対流成分は総発熱量の約 6~7 割程度を占めることから、車両内の発熱量は最大でも 4MW 程度と推測された。天井面に加わる熱流束は 120~150kW/m² と、通常の建物火災で生じる 100kW/m²を超える熱流束が測定された。

天井材料はいずれの場合においても延焼拡大せず、局部的な燃焼に留まることが確認さ れた。座席および壁面、床面はガソリンの燃焼による加熱を受けても延焼拡大しがたいこ とが確認された。 車両の天井直下に滞留する燃焼ガスの測定では、着火後の急激な燃焼と同時に酸素が消費されるとともに、一酸化炭素は2~3.5%に達し、短時間の暴露でも死に至る濃度となった。 ただし、その濃度はガソリンの燃焼とともに変化したため一時的であった。

第3実験では、火災車両側の貫通扉を開放し、隣接車両側の貫通扉は閉鎖した状態で、 連結部分にガソリン2Lを散布し隣接車両への延焼状況の確認を行った。結果は、ガソリン を散布した連結部付近の座席および床面、幌の下部が燃焼したが、隣接車両のガラスの破 損、屋根への延焼など、隣接車両への延焼は確認されなかった。なお、幌は散布したガソ リンによって激しく燃焼したが、ガソリンが燃えつきると自己消炎した。

このように過去の燃焼実験をみていくと、死傷者がでるような重大な鉄道火災が発生す るたびに、A-A 基準の改善やその安全性の確認を目的に実験が行われていることがわかる。 また、火源としては当初、床下の抵抗器などの過熱による発火などが想定されていたが、 最近になると、持ち込み火源、特に放火を視野に入れた大火源が想定されるようになって いる。

2.2 米国に於ける鉄道車両の燃焼実験

NIST(National Institute of Standards and Technology:米国標準技術局)は鉄道車両の火災安 全性を総合的に評価するための実験を行い、フェーズ I~III にわたる報告書にまとめた。フ ェーズ I ではコーンカロリーメーターを用いた小規模な実験により、材料の燃焼性を評価し ている。フェーズ II ではファニチャーカロリーメーターを用いた中規模な実験により、座 席などの単体設備の燃焼性を評価している。フェーズ III では実車両を用いた着火実験を行 っており、総合的な評価を行っている。以下に、フェーズ I~III の要約部分を和訳したもの を記載する。

2. 2. 1 Phase I

7. SUMMARY^v

7. 要約

In 1984, the FRA issued passenger train fire safety guidelines that recommended the use of certain flammability and smoke emission test methods and performance criteria for intercity and commuter rail cars.

1984 年、FRA(Federal Railroad Administration 連邦鉄道(管理)局)は都市間を結ぶ列車および 通勤列車の車両に対する、幾つかの燃焼性と発煙性の試験方法および性能基準の利用を推 奨する旅客列車の火災安全指針を出した。

The FRA issued revised guidelines in 1989 that used terms and categories to more closely reflect passenger train design and furnishings; smoke emission performance criteria for floor coverings and elastomers were also included.

FRA は 1989 年に改訂した指針を出した。その指針では、客車の設計および内装材に、より 密接に反映する用語や区分を扱った。それには床仕上材やエラストマー(高分子弾性体ゴ ムとは少し異なる?)に対する発煙性の性能基準も含まれた。

Since the guidelines were initially issued, there have been very few serious fires involving materials which meet the FRA requirements.

指針が最初に出されて以来、FRA の必要条件を満す材料が関与する重大な火災はほとんどなかった。

Accordingly, as part of the passenger rail equipment rulemaking process required by Congress, the FRA has proposed that materials be required to meet the 1989 fire safety tests and performance criteria.

したがって、議会で必要とされる旅客鉄道設備のルール作りの過程の一部として、FRA は

1989年の火災安全試験と性能基準を満す材料を提案している。

In addition, the conduct of fire hazard analyses would also be required in that proposed rule. さらに、その提案したルールの中で火災危険分析の実施も必要だろう。

Considerable advances in fire safety engineering have been made since the original development of the existing FRA requirements.

火災安全工学の相当な進歩は、過去の FRA の要求条件の作成当初からなされている。

Heat release rate (HRR) is now considered to be a key indicator of fire performance.

現在、発熱速度(HRR)は火災性状を表す代表的な指標として考えられている。

For a given confined space (e.g., rail car interior), the air temperature is increased as the HRR increases.

ある一定の制限された空間(例えば鉄道車両の室内)では、HRR が増加するにつれて気温 は上昇する。

Even if passengers do not come into direct contact with the fire, they could be injured by high temperatures, heat fluxes, and/or smoke and gases emitted by materials involved in the fire.

たとえ乗客が火災に直接触れない状態でも、乗客は火災時の高温、熱流束、煙や材料により放出されるガスで傷つけられるだろう。

Accordingly, the fire hazard to passengers of these materials can be directly correlated to the HRR of a real-world fire.

したがって、それらの材料の乗客への火災危険は、現実の火災の HRR と関連づけることができる。

Test methods using HRR, such as the Cone Calorimeter (ASTM E 1354), have been shown to better predict the real-scale burning behavior of materials and assemblies in a more cost-effective manner than previously used test methods.

コーンカロリーメーター(ASTME1354)のような、HRR を用いた試験方法は、以前に用いら れた試験方法より、材料と部品から実大規模の燃焼性状をより良く予測し、より費用効果 の高い方法として示されている。

HRR measurements have gained worldwide credibility for the regulation of building fire safety and are now being examined for a range of transportation vehicles.

HRR 測定は、建物の火災安全規則で世界的な信用を得ており、現在、様々な輸送車両のために検討されている。

HRR data can also be used as an input into fire modeling and hazard analysis which allows

evaluation of a range of design parameters, including material flammability, geometry, fire detection and suppression systems and evacuation time, as well as design tradeoffs which may arise from combinations of the parameters.

HRR データは火災モデルや危険分析の入力としても使うことができる。危険分析とは、材料の燃焼性、形状、火災検知・消火システム、避難時間を含む様々な設計要素の巾を評価 することであり、パラメータの組合せによる設計上のトレードオフを評価することでもあ る。

To assess the feasibility of applying HRR test methods and fire modeling and hazard analysis techniques to evaluate U.S. passenger train fire performance, FRA has funded a comprehensive three-phase research program which is being conducted by NIST.

アメリカの旅客列車の火災性能評価のための火災モデル技術と危険分析技術、そして HRR の試験方法の適用性を評価するために、FRA は NIST により行われている包括的な3つのフ ェーズの研究計画に資金提供をした。

FRA will consider the results of this research project in Phase II of the passenger rail equipment rulemaking.

FRA はフェーズⅡの旅客鉄道設備のルール作りの中で、この研究プロジェクトの結果を考慮 するだろう。

The remainder of this chapter summarizes results of the Phase I work effort. 本章の残りは、フェーズ I の作業成果の結果を要約する。

7.1 U.S. TRANSPORTATION VEHICLE REQUIREMENTS AND RESEARCH

米国輸送車両の必要条件と研究

A considerable overlap exists for transportation vehicle fire safety requirements which are generally based on small-scale test methods.

一般に、小規模の試験方法に基づく輸送車両の火災安全の必要条件には多くの重複が存在 する。

The performance criteria are prescriptive and intended to prevent fire ignition, retard fire growth and spread, and provide evacuation time.

性能基準は着火防止や火災の成長および延焼を遅らせること、そして避難時間を確保する ことを意図し規定している。 Small-scale test methods have historically been used to evaluate transportation material fire performance.

小規模の試験方法は輸送材料の火災性能を評価するためにこれまで使用されてきた。

This approach provides a screening device to allow interested parties to identify particularly hazardous materials and select preferred combinations of components; material suppliers can independently evaluate the fire safety performance of their own materials.

この方法は、利害関係者がとりわけ危険な材料を認識し構成要素の好ましい組み合わせを 選ぶことを可能とするための選別手段を提供する。これにより、材料供給者は独立して自 身の材料の火災安全性能を評価することができる。

7.1.1 U.S. Rail Transportation Vehicle Fire Safety Requirements

米国輸送車両の火災安全の必要条件

FRA, Amtrak, FTA, and National Fire Protection Association (NFPA) 130 all specify identical small-scale tests methods and similar performance criteria to evaluate the flammability and smoke emission characteristics of individual component materials.

FRA、Amtrak(全米鉄道旅客輸送公社)、FTA(?)、米国防火協会(NFPA)130は、個々の構成要素の材料の燃焼性と発煙性の特性を評価するために、同一の小規模の試験方法と類似の性能基準を仕様的に定めている。

As part of the passenger equipment rulemaking process required by Congress, the FRA has proposed that passenger train materials be required to meet these test methods and performance criteria.

議会で必要とされる旅客鉄道設備のルール作りの過程の一部として、FRA は旅客列車の材料 はそれらの試験方法と性能基準を満たす必要があると提案している。

In addition, the proposed rail equipment rule requires that various fire hazard analyses of existing, rebuilt, and new rail cars be conducted.

さらに、提案される鉄道設備のルールは、既存や改造、そして新しい鉄道車両の様々な火 災危険分析が行われることを要求している。

Amtrak recognizes the need to evaluate individual test data in the context of the intended use of the material.

Amtrak は材料の意図された用途の状況における個々の試験データを評価する必要性を認める。

Accordingly, Amtrak requires that the test data is combined with other information (e.g., quantity

and location of material, potential ignition sources, etc.) to develop a fire hazard assessment to select materials on the basis of function, safety and cost.

したがって、Amtrak は、機能や安全、費用に基づいて材料を選択するためや火災危険の判 定を発展させるために、試験データを他の情報(例えば材料の量や配置、潜在的な着火源 など)と結合させることを要求している。

NFPA 130 includes a "hazard load analysis" method which is an attempt to provide a simplified and semi-quantitative analysis to assess the overall contribution to fire hazard of the materials used in rail transit interior linings and fittings.

NFPA130 (Standard for Fixed Guideway Transit and Passenger Rail Systems) (固定案内軌条式輸送 システムに関する準則)は、鉄道機関の内張りや建具に使用される材料の火災危険への全 般的な貢献を評価するための簡易化された半定量的な分析を提供する試みである「危険負 荷分析」手法を含んでいる。

However, current fire hazard modeling techniques and correlations can provide a more realistic assessment of the contribution of materials to the overall fire hazard.

しかしながら、最新の火災危険モデル技術と相関は、全般的な火災危険への材料の貢献に ついて、より現実的な評価を提供することができる。

7.1.2 Other U.S. Transportation Vehicle Fire Safety Requirements

その他の米国輸送車両の火災安全の必要条件

NHTSA motor vehicle requirements use a small-scale test method for all interior nonmetallic materials to provide a screen against those which ignite easily or initially burn rapidly.

NHTSA(National Highway Traffic and Safety Administration)(米国運輸省国道交通安全局)の自動 車の必要条件は、内装全般の非金属材料には小規模の試験方法を用いる。小規模の試験方 法は遮蔽物を備えた材料が容易に着火するかあるいは初期に急速に燃焼するかを比較する。 Current FAA aircraft flammability requirements for interior materials specify a variety of test

methods including small burner tests, oil burner tests, a HRR test, and a smoke generation test.

現在の FAA(Federal Aviation Administration) (連邦航空局)の航空機の内装材料に対する燃焼 性の必要条件は、スモールバーナー試験やオイルバーナー試験、HRR 試験、発煙性試験を 含む様々な試験方法を規定している。

The FAA-specified small burner test for ignition resistance is also included in the FRA guidelines for seat upholstery, mattress covers, and curtains.

FAA に規定されている着火性のためのスモールバーナー試験は FAA の座席表皮やマットレ スカバー、カーテンの指針にも含まれる。

The oil burner test method specified for seat cushions represents a severe initiating fire exposure in a post-crash scenario where passenger evacuation must be accomplished within 90 seconds.

座席クッションに対するオイルバーナー試験の方法は、90秒以内に旅客避難が完了しなければならない衝突後のシナリオにおける、初期の激しい火災の加熱を表す。

However, this fire exposure severity is not typical of the majority of passenger train fires.

しかしながら、この火災の加熱の激しさは旅客列車火災の大部分で典型的なものではない。 Moreover, the rail operating environment provides an evacuation route with less likelihood for injury.

さらに、鉄道の運用環境では避難経路で傷害に合う可能性は、より少ない。

The FAA-specified HRR test method uses an apparatus similar to the Cone Calorimeter.

FAA に規定されている HRR 試験方法はコーンカロリーメーターによく似た機械を使用する。

However, the Cone Calorimeter provides a more accurate measurement of HRR.

コーンカロリーメーターはより正確な HRR の測定を与える。

The existing USCG passenger vessel fire safety requirements primarily rely on passive structural barrier fire endurance and separation to prevent or limit fire spread and allow for emergency egress. 現在の USCG(United States Coast Guard)(米国沿岸警備隊)の旅客船の火災安全の必要条件は主に、延焼の防止および制限や、非常口の考慮のために、障壁の耐火性と遮炎性に頼る。 Several material tests and performance criteria are similar to those cited in the FRA guidelines. いくつかの材料試験と性能基準は FRA の指針で引用されたものと似ている。

The USCG permits designers to submit an engineering analysis to evaluate materials used in relation to the vessel environment.

USCG は、設計者が船の環境で使用される材料を評価するために技術的解析結果を提出する ことを許可している。

This case-by-case approach allows the use of alternatives which provide an equivalent level of safety and meet the intent of the fire protection regulations.

この個別的な取り組みは、同等レベルの安全を備え、防火規定の意図を満たす代替的なものの仕様を認める。

The FAA and USCG have both accepted the use of HRR data as a means to evaluate the performance of certain aircraft and marine vessel materials.

FAA と USCG は互いに、ある航空機と船舶の材料の性能を評価するための手段として HRR デ
ータの使用を容認している。

7.1.3 U.S. Transportation Vehicle Fire-Related Research

米国輸送車両の火災に関わる研究

The 1993 FRA-sponsored NIST study, as well as several other previous studies conducted for FRA, NHTSA, and FTA, have concluded that the impact of material interactions and changes in real-scale passenger vehicle interior geometry are also critical factors to be evaluated in predicting actual fire behavior.

FRA や NHTSA、FTA のために導かれた従来のいくつかの他の研究と同様に 1993 年の FRA が 後援する NIST の研究は、実大規模の旅客車両の内部形状において材料の相互作用や変化の 影響は予想する実際の火災性状で評価するべき重大な要素であると結論を下した。

These factors cannot be evaluated through small-scale tests alone.

それらの要素は小規模の試験を通じただけでは評価できない。

The NFPA and the American Society for Testing and Materials are also conducting research efforts which are intended to provide additional tools to evaluate passenger train materials.

NFPA と ASTM(米国材料試験協会)は、旅客列車の材料を評価するための追加手段を提供 するために研究努力を行っている。

In addition to the current FRA-sponsored research program, other HRR and other related fire performance research efforts are being conducted by FAA and USCG.

現時点で FRA が後援する研究計画に加えて、他の HRR や他の関連する火災性能の研究努力 は FAA や USCG によって行われている。

Although the fire hazards and evacuation environments are different, the results of the NIST research will assist the FRA in formulating comparable material performance criteria using HRR. 火災危険と避難環境は異なるが、NIST の研究結果は FRA が類似の材料の性能基準を HRR を 用いて公式化することを支援するだろう。

7.2 EUROPEAN FIRE SAFETY REQUIREMENTS AND HRR RESEARCH

欧州の火災安全の必要条件と HRR の研究

Existing European approaches to passenger train fire safety have been generally similar to the U.S. approach.

旅客列車の火災安全への既存の欧州の手法は、米国の手法におおまか似ている。

However, concerns about material interaction have led several European country efforts and

coordinated European Railway Research (ERRI) and Commission for European Standardization (CEN) activities to develop assessment tools for fire hazard evaluation.

しかしながら、材料の相互作用についての懸念は、多くの欧州諸国に努力をもたらし、ERRI (European Rail Research Institute(欧州鉄道技術研究所)) と CEN (European Committee for Standardization(欧州標準化委員会))の火災危険評価の評価手法を開発する活動をまとめた。 The current focus is on developing the database necessary to utilize successfully fire and hazard modeling in the design of next generation passenger train systems.

現時点の焦点は 次世代の旅客列車のシステムのデザインにおいての火災や危険モデルに うまく利用するために欠かせないデータベースの開発にある。

This database uses:

このデータベースは次のものを使用する。

- Cone Calorimeter to provide small-scale test data on materials and assemblies;
 材料と部品の小規模試験データを提供するコーンカロリーメーター
- Furniture calorimeter to provide real-scale assembly test data;
 実大規模の部品試験データを提供するファニチャーカロリーメーター
- Fire hazard modeling as a means for evaluating and predicting system
 評価と予測のシステムの方法としての火災危険モデル
- Large-scale fire tests to verify predicted system performance and material interaction.
 予測したシステムパフォーマンスと材料の相互作用を確かめるための大規模の火災試験

This large-scale fire testing has resulted in the development of several design fires for train tunnels that can be utilized in the design and evaluation of fire protection systems.

この大規模の火災試験の実施は、防火システムの評価と設計に役立つ鉄道トンネルのための様々な設計火源の開発に帰着する。

7.3 AMTRAK MATERIAL TEST DATA EVALUATION

Amtrak の材料試験データの評価

Materials selected reflected a broad range of interior materials as used in the Amtrak fleet.

選ばれた材料は、Amtrakの保有車両の中で使用される広範囲の内装材料を反映する。

In addition, other materials were tested because of their possible utility as new or replacement materials for existing applications.

さらに、他の材料は、現在のものに対して、新しいあるいは代用の材料として使用される ことを考えて試験される。

All the materials are classified into five broad categories:

全ての材料は5つの大まかな項目に分類される。

- Seats and mattress assemblies (foam cushions, with upholstery or other covering);
 座席とマットレスの部品(スポンジ状のクッション、椅子の張り布や詰め物な どや他の皮膜を含む)
- Wall and window surfaces (composite plastics, carpet);
 壁や窓の表面(合成プラスチック、カーペット)
- Curtains, draperies, and fabrics (windows, sleeping car doors, bedding);
 カーテン、厚手のカーテンや織物(窓、寝台車の扉、寝具)
- Floor covering (carpet, resilient rubber); and
 床仕上材 (カーペット、エラストマー(弾力性のあるゴム))
- Miscellaneous components (diner/cafe/lounge tables, pipe wrap, air ducts, elastomers).
 種々雑多なものからなる部品(食堂室/喫茶室/休憩室のテーブル、パイプラップ、エアダクト、エラストマー)

These five categories are similar to the categories used by Amtrak for interior furnishing materials and to those used by the FRA; however, several of the latter have been combined into the miscellaneous category.

それら5つの項目はAmtrakが内装設備の材料に使用する項目とFRAが使用する項目に似ている。しかしながら、後者のいくつかは種々雑多なものからなる項目に組み合わされた。

7.3.1 FRA-Cited Test Method Data

FRA の引用した試験方法のデータ

Data collected from several sources showed that the majority of the selected Amtrak rail car materials tested met current FRA performance criteria for flammability and smoke emission. いくつかの出所から集められたデータは、選ばれた Amtrak の鉄道車両の材料の大多数は試験され燃焼性と発煙性に関する現時点の FRA の性能基準に満たしたことを示した。

However, there were exceptions:

しかしながら、例外があった。

• A graphite foam seat material had a dramatically higher test result than the FRA performance criteria.

スポンジ状の黒鉛の座席材料は、FRA の性能基準より劇的に高い試験結果があった。

Although the rapid flame spread of this material was demonstrated in the ASTM D 3675 test, further study is necessary to evaluate this material in large scale to evaluate the performance in actual end-use conditions.

この材料の延焼が速いことは ASTM D 3675 の試験で明らかにされたが、さらに 進んだ研究は、実際の最終使用状況での性能を評価するために、大規模におい てこの材料を評価することは欠かせない。

European operators report that they do not see this poor performance when the foam is tested with a fabric covering.

欧州の技士は、このスポンジ状のものが織物の覆いと共に試験される場合、この粗末な性能は認めないと報告している。

- Polycarbonate is used both as a window material and as an interior space divider.
 ポリカーボネートは窓の材料や内部空間の仕切りとして使われる。
 As a window material, the material meets FRA performance criteria; however, the material does not meet the performance criteria for interior space divider application.
 窓の材料として、その材料は FRA の性能基準を満たす。しかしながら、その材料は内部空間の仕切りとしての適用では性能基準を満たさない。
- Several materials did not meet the FRA smoke emission performance criteria.

いくつかの材料は FRA の発煙性の性能基準を満たさない。

A seat support diaphragm, armrest and footrest pads, seat track cover, and window and door gasketing do not meet one or both of the recommended limits for smoke emission.

シートサポートダイヤフラム(座面のクッション等を支える板?)、肘掛と足置 のパッド、シートトラックカバー(自動車の座席のサイドカバーのようなもの?) および窓と扉のシールは発煙性の推奨された限度の一つあるいは両方を満た さない。

These materials represent a small part of the fire load and it is unclear whether they would contribute to the significance of the fire.

それらの材料は火災荷重のわずかな一部を表し、火災の重大さに貢献するかど うか明らかでない。

Amtrak is investigating the use of other materials which will meet the smoke emission requirements.

Amtrak は発煙性の必要条件を満たす他の材料の使用を調査している。

7.3.2 Cone Calorimeter Test Data

コーンカロリーメーター試験のデータ

The Cone Calorimeter is a single test which provides a measurement of heat release rate (HRR), specimen mass loss, smoke production, and combustion gases.

コーンカロリーメーターは発熱速度(HRR)、試料の質量減少、煙の生成および燃焼ガスを 提供する単一の試験である。

In addition, Cone Calorimeter test data provide the necessary data for fire hazard modeling methodologies which can evaluate a material's individual contribution to overall fire hazard in the context of its end use.

さらに、コーンカロリーメーター試験データは、最終使用状況での全体の火災危険への材料の特有の寄与を評価することができる火災危険モデルの方法論のために欠かせないデー タを提供する。

These data include:

それらのデータは次のものを含む。

- ignition time, a measure of how easily a material can be ignited;
 着火時間、どれだけ容易に材料が着火するかの測定
- time-to-peak HRR, a measure of the speed of fire growth; 最大発熱速度に至る時間、火災成長速度の測定
- peak HRR, a measure of the how large a fire will result from a burning material; and 最大発熱速度、燃焼する材料からどれだけ大きい火炎が生じるのか測定

specific extinction area, a measure of smoke production of the material.
 特定の消火範囲、材料の煙生成の測定

An exposure level of 50 kW/m2 was chosen for the Cone Calorimeter material tests conducted in this study.

50kW/m²の暴露レベルは、この研究で行われたコーンカロリーメーターの材料試験のため に選ばれた。

This level is consistent with: 1) the exposure levels in the existing FRA-cited test methods, and 2) exposure levels in actual fires.

このレベルは次のものと一致している。1) 既存の FRA に引用された試験方法での暴露レベル 2) 実際の火災での暴露レベル

Peak HRR varied over an order of magnitude from 65 kW/m2 for the graphite foam to 745 kW/m2 for wall fabric.

最大発熱速度は、スポンジ状の黒鉛の 65kW/ m²から壁用の布地の 745 kW/ m²まで変化した。 In general, lower peak HRR were found for the seat and mattress foams, and higher values for wall surface materials.

一般に、低い最大発熱速度は座席やマットレスフォームで見つかり、高い最大発熱速度は 壁面の材料で見つかった。

Other fabric and thin sheet materials display intermediate values between these two extremes.

他の布地や薄いシートはそれら二つの極値の中間の値を示した。

This performance is consistent with the current FRA which specify flame spread index (*Is*) for seat foam, intermediate criteria for most other materials, and least stringent for window glazing materials.

この性能は、シートフォームの火炎伝播 index(I_s)を規定している現時点の FRA と一致し、大 多数の他の材料に対しては中間の判断基準であり、窓ガラスの材料に対しては最も厳しく ない。

Cone Calorimeter smoke emission data shows some similar trends to the HRR data.

コーンカロリーメーターの発煙性のデータは、HRR のデータと何点かよく似た傾向を示す。 The lowest values were noted for the foam and interliner from the seat and mattress assemblies. 最も低い値は座席とマットレスの部品からフォームと interliner (中間の裏地?) で記録された。 Highest values were noted for several thin materials (a seat support diaphragm, seat track cover, PVC wall material, and rubber floor covering).

最も高い値はいくつかの薄い材料で記録された(シートサポートダイヤフラム、シートト ラックカバー、ポリ塩化ビニルの壁材料とゴム製の床仕上材)。

These thinner materials tend to exhibit high peak values, over a short period of time.

それらの薄い材料は短時間で高い最大値を示す傾向がある。

Most of the wall materials were between these extremes.

壁材のほとんどはそれら極値の間にある。

The performance of the foam and surface materials is also consistent with the relative thickness and density of the materials.

フォームと表面材料の性能は相対的な厚みと材料の密度に一致する。

7.3.3 Comparison of FRA-Cited Test Method Data and Cone Calorimeter Test Data

FRA に引用された試験方法のデータとコーンカロリーメーター試験のデータの比較

To evaluate material performance, Cone Calorimeter test data were compared with test data resulting from individual small-scale test methods cited by the FRA.

材料性能を評価するために、コーンカロリーメーター試験のデータは、FRA によって引用された特有の小規模の試験方法から得られた試験データと比較された。

These comparisons are intended to provide a better understanding of the relative performance of currently used and prospective materials.

それらの比較は、現在使用されている材料や将来の材料の相対的な性能をより良く理解す ることを意図した。

While the materials tested represent a range of those currently used in passenger trains, many other material combinations are possible in actual use.

試験された材料は旅客列車で現在使用されるものを表すが、多くのほかの材料の組み合わ せが実際に使用され得る。

Accordingly, the comparisons are intended only to show that the Cone Calorimeter test method provides an approach to screen passenger rail car interior materials similar to that provided by the FRA-cited test methods.

したがって、その比較は単に、コーンカロリーメーター試験の方法は FRA に引用された試 験方法によって提供されるそれに似た旅客列車の内装材料を選別するための手段として提 供されることを示すことを意図している。

For the majority of materials, the relative ranking from "best" to "worst" was similar in both test methods.

大多数の材料のために、比較上の「最良」から「最悪」までの格付けは、両方の試験方法 で類似した。

While the uncertainty for the Cone Calorimeter test results are lower than other test methods, the uncertainty inherent in all individual test methods make their use "less meaningful."

コーンカロリーメーター試験の結果としての不確かさは他の試験方法より低いが、全ての 特有の試験方法につきものの不確かさによって、それらの使用の意味を減じる。

However, new materials and designs are better judged through a systems approach which considers the impact of material and design choices on the overall fire safety of the system.

しかしながら、新しい材料と設計は全体の火災安全においての材料と設計の選択の影響を 考慮するシステムアプローチによってより良く判断される。

The use of HRR data in a hazard analysis applied to passenger trains could provide such an overall system evaluation.

旅客列車に適用された危険分析での HRR データの使用は、全体のシステム評価として提供 することができた。

7.4 APPLICATION TO PHASE II TASKS AND OVERALL PROJECT

フェーズⅡの作業への応用と全体計画

The HRR data developed in Phase I will be used in Phase II of this research program to: フェーズ I で開発された HRR データはこの研究計画のフェーズ II で次の目的で使用される。

• evaluate the ability of computer modeling techniques to predict fire hazard in a rail environment; and

鉄道における火災危険を予測するためのコンピューターモデル技術の能力を 評価する目的

to mitigate those hazards through combinations of material selection and design features.
 材料の選択と設計の特徴の組み合わせによってそれらの危険を軽減する目的

In Phase II of this project, the fire performance data obtained from the Cone Calorimeter tests will be used as an input to a computer model (Hazard I) for compartment fires, to prepare a baseline analysis of passenger rail car configurations.

このプロジェクトのフェーズIIでは、旅客列車の環境分析の基準のために、コーンカロリ ーメーター試験から得られた火災性能のデータは区画火災のためのコンピューターモデル (ハザードI)に使われる。

The mathematical basis of the hazard analysis using the HRR test data will allow for the assessment of changes in materials, as well as car structural design, detection and suppression systems, and emergency access and evacuation.

HRR の試験データを使用する危険分析の数学的基礎は、車両の構造デザイン、感知と消火 システムそして非常口と避難と同様に材料の変更の評価にあてられる。

The intent is to demonstrate the prediction of fire hazard in a rail environment consisting of three scenarios (interior fire, exterior fire, and interior fire on a train in a tunnel) and the ability to mitigate those hazards through any combination of material selection and design features.

その意義は、鉄道環境は 3 つのシナリオ(室内の火災、室外の火災、トンネル内での室内の火災)から成り立っており、その環境下での火災危険の予測と、材料の選択と設計の特徴のいくつかの組み合わせによってそれらの危険を軽減するための能力を証明することである。

Ultimately, fire hazard analysis utilizing necessary data from small-scale HRR measurements may provide a true assessment of the contribution of a material or assembly to the overall fire hazard for identified passenger train fire scenarios.

結局、小規模な HRR の測定から必要なデータを利用する火災危険分析は、認識された旅客 列車の火災シナリオに対する火災危険へ、一つの材料あるいは材料の集まりの貢献を正確 に評価するだろう。

Such analyses can include the effects of rail car and system design, detection and suppression systems, and evacuation time, as well as any tradeoffs between multiple effects.

そのような分析は、複合的な効果間の取引と同様に鉄道車両とシステム設計、感知と抑制 システムそして避難時間の効果を含むことができる。

For example, the interaction between materials and the effects of different compartment geometries can be assessed to provide a better overall measure of the fire hazard of materials and component assemblies than is now possible.

例えば、材料間の相互作用や異なる区画形状の効果は、現在、可能であることより、良い 材料と構成している材料の火災危険の全体の測定について提供することを評価できる。 Quantitative fire modeling and hazard analysis techniques have the potential of providing significant cost savings.

定量的な火災モデルと危険分析技術は相当なコスト削減を提供する可能性がある。

Alternative protection strategies can be studied within the hazard analysis framework to give the benefit-cost relation for each.

新しい保護戦略はそれぞれの給付費用の関係を与えるために危険分析の枠組み内で研究で きる。

In addition, measures are evaluated as a system with their many interactions, including the impact of both structure and contents.

さらに、方法は構造と内容の両方の影響を含むそれら多くの相互作用を利用したシステム として評価される。

Providing these alternatives promotes design flexibility which reduces redundancies and cost without sacrificing safety.

それらの選択肢の提供は、安全を犠牲にすることなしに重複性と費用を減少した設計の柔 軟性を促進する。

New technology can be evaluated before it is brought into practice, thereby reducing the time lag currently required for acceptance.

新しい技術は実践にもたらされる前に評価でき、それによって一般に許容に必要な遅れを 短縮する。

Thus, quantitative hazard analysis can be a powerful complement to existing passenger train fire performance requirements and a useful tool in evaluating improvements to them.

このように、定量的な危険分析は、既存の旅客列車の火災性能の要求条件に強力な補足となり、それらの改良を評価する際に有用なツールとなる。

2. 2. 2 Phase II

6. SUMMARY^{vi}

6. 要約

Considerable advances in fire safety engineering have been made since the original development of the current FRA-cited fire safety requirements for passenger train material selection.

旅客列車の材料選定のための現時点の FRA が引用している火災安全の要求条件の最初の開 発以来、火災安全工学は相当な進歩を果たしている。

Better understanding of the underlying phenomena governing fire initiation and growth has led to the development of advanced engineering fire analysis techniques using HRR and computer modeling.

火災の開始および成長を主とする基本的な現象についてのより良い理解は、HRR とコンピ ューター・モデリングを用いた高度な技術の火災分析技術の開発をもたらした。

These techniques have gained worldwide credibility for the regulation of building fire safety, and have recently been examined for a range of transportation vehicles.

これらの技術は、建物の火災安全の規制について世界的信用性を獲得し、また、最近では 様々な輸送車両を分析した。

This Phase II interim report documents the use of fire hazard analysis techniques applied to three passenger rail car designs.

このフェーズ II 中間報告は、3 つの旅客鉄道の車両設計に適用された火災危険分析技術の使 用を記録している。

Using fire modeling, the relative importance of materials and other rail car system design parameters were quantified.

火災モデル、材料の相対的重要度および他の鉄道車両システムの設計パラメータの使用が 定量化された。

6.1 SUMMARY OF PHASE II RESULTS

フェーズ॥の結果のまとめ

Data from the Cone Calorimeter tests conducted in Phase I of this research program and from assembly tests conducted for Phase II were used as input for baseline fire hazard analyses conducted for a single level coach car, and bi-level dining and sleeping cars.

この研究計画のフェーズ | で行なわれたコーンカロリーメーター試験のデータおよびフェ ーズ || で行なわれた組立て品の試験のデータは、一階建ての普通客車ならびに二階建ての 食堂車および二階建ての寝台車のために行う基本的な火災危険分析の入力として使用され た。

The results of the analyses are summarized below for the assembly tests and the three different passenger rail car designs.

組立て品の試験および3つの異なる旅客鉄道の車両設計の分析結果は下記に要約される。

Although based on existing passenger rail car designs, the baseline analyses are only examples demonstrating the use of fire hazard analysis techniques.

既存の旅客鉄道の車両設計に基づいたが、基本的な分析は火災危険分析技術の使用を実証 する例だけである。

They do not represent an evaluation of any particular existing car configuration or actual hazard.

それらは、既存の特定の車両形状の評価あるいは実際の危険の評価を示しているわけでは ない。

6.1.1 Assembly Tests

組立て品の試験

Real-scale component material assemblies currently in use in intercity passenger train service were tested in a large-scale Furniture Calorimeter.

一般に都市間を結ぶ旅客列車のサービスで使用される実規模の(構成要素の材料の)組立 て品は、大規模なファニチャーカロリーメーターでテストされた。

Like the small-scale Cone Calorimeter, the primary measurement in this test is the HRR of the burning assembly when exposed to an ignition source.

小規模なコーンカロリーメーターのように、このテストでの主要な測定は着火源にさらされた時の組立て品の HRR です。

Trash bags taken from overnight service were characterized as a representative severe ignition source that may be present on passenger trains.

夜行サービスで回収されたごみ袋は、旅客列車で存在する代表的な厳しい点火源であると 見なされました。 The total peak HRR from actual trash bags from an Amtrak intercity overnight train ranged from 55 to 285 kW, including the ignition source, with an uncertainty of approximately ± 35 kW expressed as 1 standard deviation.

アムトラックの都市間を結ぶ夜行列車での実際のごみ袋から得られた全体の 最大発熱速度は、着火源を含み、標準偏差でおおよそ±35 kW の不確実性を伴 って、55 から 285kW におよんだ。

Heavier and more densely packed trash bags had lower HRR values than lighter bags.

より重く、高密度に梱包されたゴミ袋は、軽いゴミ袋より低い発熱速度の値を 示した。

All of the assemblies tested were extremely resistant to ignition. 試験された組立て品の全ては着火に極度の抵抗を示した。

The tested assemblies required an initial ignition source ranging from 17 kW to 200 kW to ignite.

試験済の組立て品は着火に 17 kW から 200 kW におよぶ初期の着火源を必要とした。

Some of the materials did not contribute to fire growth even with these ignition sources.

いくつかの材料は、これらの着火源でさえ火災の成長に寄与しなかった。

In the assembly tests, the total peak HRR of seat, economy bedroom, wall and ceiling carpet, window drape/privacy curtain, and window assemblies were characterized.

組立て品の試験において、座席、普通寝台、壁および天井の敷物、窓の厚手の カーテンあるいはプライバシーカーテンならびに窓の構成部材の全体の最大発 熱速度は特徴づけられた。

Total peak HRR ranged from 30 kW for a seat assembly, including a 17 kW gas burner ignition source, to 920 kW for a lower and upper bed assembly, including a newspaper-filled trash bag ignition source.

全体の最大発熱速度は、17 kW のガスバーナーの着火源を含む座席の組立て品の 30 kW から、新聞紙が満たされたゴミ袋の着火源を含む下部あるいは上部べ

ッドの組立て品の 920 kW におよんだ。

6.1.2 Standard Design Fires

標準設計火源

In addition to specific composite fire scenarios involving various ignition sources and assemblies developed from the Furniture Calorimeter test results, "standard" design fires were developed to determine the fire performance of the overall passenger rail car system.

ファニチャーカロリーメーター試験の結果から開発された様々な着火源および組立て品に 関する特定の複合的な火災シナリオに加えて、「標準」設計火源が一般的な旅客鉄道の車両 システムの火災性能を決定するために開発された。

A design fire is a specific theoretical fire curve.

設計火源は特定の理論に基づいた火災曲線である。

The shape of the curve is generally realized by simple mathematical expressions to facilitate engineering analysis.

その曲線形状は一般に、技術分析を促進するために簡易的な数式によって実現される。

For most engineering analyses, a simple design fire curve is sufficient, assuming that the general shape and magnitude of the design curve reasonably approximates the real fire expected in a given scenario.

ほとんどの技術分析においては、設計曲線の一般的な形状および規模が与えられたシナリ オで予想される実際の火災に満足のいく程度に近似できれば、簡易的な設計火源曲線で十 分である。

In general, a design fire is a simple representation of fire growth from ignition, through growth, steady burning, and decay.

一般に、設計火源は着火から成長、非定常燃焼および減衰に至るまでの火災成長を簡易的 に表現している。

Since the primary focus of the analyses in this interim report is passenger and crew safety during evacuation, the early stages of fire growth are of most interest.

この中間報告における分析の主な焦点は、避難中の乗客および乗組員安全性であるので、 火災成長の初期段階は最も興味深い。

During this early growth phase, fires can be reasonably represented by a power law relation, which is expressed as:

この初期の成長段階の間、火災は指数法則関係によって満足のいく程度に表すことができる。

$\dot{q} = \alpha t^n$

where \dot{q} is the HRR (kW), α is the fire intensity coefficient (kW/sⁿ), t is time (s), and n is a power chosen to best represent the chosen experimental data.

ここで、qは発熱速度(kW)、αは火災成長率(kW/sⁿ)、tは時間(s)、そしてnは実験データを良 く表した指数である。

For most flaming fires, the socalled t-squared (n=2) growth rate is an excellent representation.

ほとんどの有炎火災については、いわゆるt二乗(n=2)の成長率は優れた表現である。

A set of specific t-squared fires labeled slow, medium, fast, and ultra-fast, with fire intensity coefficients (α) such that the fires reached 1 MW (1000 BTU/s) in 600 s, 300 s, 150 s, and 75 s, respectively, were used for this analysis.

t二乗火源のうち 600 秒、300 秒、150 秒および 75 秒で 1MW(1000 BTU/s)に達する火源の 火災成長率(α)をスロー、ミディアム、ファーストそしてウルトラファーストに分類し、そ れぞれ、この分析で使用された。(BTU: British Thermal Unit)

These four fire growth rates span a wide range of representative fire types from slow growing solid wood fires to ultra-fast liquid fuel pool fires.

これら 4 つの火災成長率は、遅い成長の無垢材から極めて速い液体燃料プール火災まで、 代表的な火災の種類を広範囲に及ぶ。

6.1.3 Baseline Fire Hazard Analyses

基本的な火災危険分析

The baseline fire hazard analysis process was used as a general framework to examine the impact of materials and other fire performance design changes on the safety of passengers and crew for specific intercity coach, and dining and sleeping car configurations.

基本的な火災危険分析の過程は、特定の都市間を結ぶ鉄道の普通客車、食堂車および寝台 車の乗客および乗組員の安全への、材料および他の火災性能の設計変更の影響を分析する ための一般的な枠組みとして使用された。

A detailed analysis has been presented for a specific coach rail car design while the dining and sleeping car analyses are presented in less extensive detail. 食堂車および寝台車の分析は広範囲でない詳細が示されているが、特定の普通客車の鉄道 車両の設計のための詳細の分析は示されている。

The fire hazard analysis consists of four steps:

火災危険分析は4つのステップから成る。

Step 1 defines the performance objectives and passenger rail car design.
 ステップ1は性能目標および旅客鉄道の車両設計を定義する。

For the example analyses, the performance objective was to ensure that the available safe egress time was greater than the minimum time necessary to evacuate all persons out the end of the rail car to an adjacent car.

事例分析のための性能目標は、安全に利用できる脱出時間が全ての人が鉄道車両の端から 出て隣接の車両へ避難するために必要な最短時間より大きいことを確認することだった。

Three passenger rail car designs, a coach, dining, and sleeping car, provided both singleand bi-level geometries and a varying number of occupants for analysis.

普通客車、食堂車および寝台車の 3 つの旅客鉄道の車両設計は分析のために一階および二階の構造ならびに変動する在館者の数の両方を提供した。

To provide an initial screening for important passenger rail car component materials, an analysis of the HRR and smoke emission "hazard loads" based on Cone Calorimeter test data was conducted for each of the three car configurations.

重要な旅客鉄道の車両の構成材料を一次審査するために、コーンカロリーメーター試験の データに基づいた発熱速度および発煙の「危険度」の分析は 3 つの車両構造の各々で行わ れた。

For all configurations, the wall carpet, wall and ceiling linings, and windows constitute the majority of the hazard loads.

3つの構造全てにおいて、壁の敷物、壁および天井の内張りならびに窓は危険度の大部分 を構成する。

With the exception of seat cushions and sleeping compartment bedding materials, the relative contribution of the remainder of the interior furnishings is significantly less important.

座席のクッションおよび寝室の寝具材料を例外として、残りの内装の相対的貢献はそれほど重要ではない。

The hazard load values are representative of the methodology and should not be interpreted as representative of any particular existing passenger rail car configuration or actual fire hazard.

危険度の値はこの方法論の代表値で、既存の特定の旅客鉄道の車両構造あるいは実際の火 災危険の代表値と解釈されるべきではない。

The heat and smoke hazard load calculations identify important materials to be included in the full analysis conducted in Steps 2 and 3.

熱および煙の危険度の計算は、ステップ2および3で行なわれた十分な分析に含まれる重要な材料を識別する。

• Step 2 used the specific performance criterion of minimum necessary egress time.

ステップ2は、必要最小限の脱出時間の特定の性能基準を使用した。

The passenger rail car fire performance was calculated in terms of available egress time and compared with that criterion.

旅客鉄道の車両の火災性能は、利用可能な脱出時間に換算して計算され、その基準 と比較された。

This calculation involves the creation of fire performance graphs for each rail car design.

この計算は、各鉄道車両の設計のための火災性能グラフの作成を含む。

For each of the analyses, egress was assumed to occur through one exit of an upright car to an adjacent car not involved in the fire.

各分析について、避難路は、直方体の車両の 1 つの出口を通って火災になっていない隣接 の車両へ至るものと仮定された。

For other analyses, egress to a point of safety outside the train could also be considered by calculating egress time from the end or side doors.

他の分析として、安全な列車の外側への脱出を車両の端部あるいは側部の扉からの脱出時 間の計算により考慮することもできたかもしれない。

The minimum necessary egress time was estimated using three different simple evacuation models.

必要最小限の避難時間は3つの異なる簡易避難モデルを使用して推定された。

For the coach, dining, and sleeping car designs, the minimum time necessary for egress was estimated to be approximately 88 s, 85 s, and 70 s, respectively.

普通客車、食堂車および寝台車の設計のための、脱出に必要な最短時間はそれぞれおよそ 88 秒、85 秒および 70 秒であると推定された。

All of these estimates assume an upright car with unobstructed egress.

これらの推定はすべて、妨げられていない避難路を持つ直方体の車両を前提とする。

A simple, conservative tenability criterion was used for this analysis: when the upper level temperature exceeded 65°C (150°F), at a height of 1.5 m (5 ft) anywhere along the passenger rail car path of egress, impaired occupant evacuation was assumed to have occurred.

単純で保守的で手堅い判断基準がこの分析に使用された。脱出のための旅客鉄道の車両の 通路に沿った高さ1.5m(5ft)のいかなる場所においても上層温度が65°C(150°F)を超えた時、 在館者避難が損なわれると考えられた。

It is important to note that although alternative tenability criteria such as convected heat and toxic gases exist, elevated temperature and smoke obscuration are the most conservative criteria.

対流熱と有毒ガスのような他の手堅い判断基準は存在するが、温度上昇および煙による視 界不良が最も保守的な基準であることに注意することが重要である。

For the same design fire, the calculated available egress time can vary by a factor of 4, using different tenability criteria.

同じ設計火源について、計算された避難可能時間は、異なる手堅い判断基準を使用して 4 倍に変化する場合がある。

Fire performance graphs were developed for the specific standard design fires that show when the occupied compartment space examined reaches untenability, as well as the minimum time necessary for unimpaired occupant egress.

火災性能グラフは特定の標準設計火源のために開発され、そのグラフは健常者の脱出に必 要な最小時間と同様に利用空間がいつ維持不可能な状態に達するかを示す。

For the baseline analyses, the available safe egress time calculated for the three

passenger rail car designs ranges from 67 s to 127 s, respectively, for a medium t-square fire that grows to 1 MW in 300 s.

基本的な分析で、3 台の旅客鉄道の車両設計のために計算された安全な避難可能時間は、300 秒で 1MW に成長するミディアムのt二乗火源の元でそれぞれ、67 秒から 127 秒まで変動す る。

For faster or slower growth rate fires, the calculated available egress time is naturally shorter or longer.

より速いあるいはより遅い成長率の火災について、計算された避難可能時間は当然ながら より短くあるいはより長くなる。

• Step 3 evaluates specific composite fire scenarios for each of the passenger rail car designs to determine representative HRRs.

ステップ3は、代表的な発熱速度を決定するために旅客鉄道の車両設計それぞれの 複合的な火災シナリオを評価する。

The HRR curves for individual composite fire scenarios, determined from Cone Calorimeter and Furniture Calorimeter assembly tests, was compared to the standard design fires to define composite fire scenarios.

複合的な火災シナリオそれぞれの発熱速度曲線は、コーンカロリーメーターおよびファニ チャーカロリーメーターの組立て品試験によって決定され、複合的な火災シナリオを定義 するために標準設計火源と比較された。

Untenable conditions are reached in a time faster than the medium tsquared design fire only in the worst-case composite scenario where all interior materials are burning simultaneously.

受け入れられない条件は、内装材すべてが同時に燃焼するという最も悪い複合的なシナリ オに限り、ミディアムのt二乗設計火源より速く到達している。

In most of the specific fire scenarios, untenable conditions were never reached. ほとんどの特定の火災シナリオでは、受け入れられない条件に到達しなかった。

The fire performance graphs are representative of the methodology and should not be interpreted as representative of any particular existing passenger rail car configuration or actual fire hazard.

火災性能グラフは方法論を代表するもので、既存の特定の旅客鉄道の車両構造あるいは実際の火災危険を代表するものとして解釈されるべきではない。

Finally, Step 4 evaluates the suitability of each the passenger rail car designs.
 最後に、ステップ4は旅客鉄道の車両設計それぞれの適切性を評価する。

For the three passenger rail car analyses conducted, passengers and crew are safe from unreasonable hazard of death or injury from interior fires involving materials or components exhibiting fire growth rates at or below a medium t-squared level, similar to the growth and HRR of a typical upholstered sofa.

導かれた 3 つの旅客鉄道の車両分析では、乗客および乗務員は、典型的な布張りソファーの火災成長および発熱速度に似た、ミディアムのt二乗レベル以下の火災成長率を示す材料 あるいは部品を含む内部火災による、不合理な死傷の危険から安全である。

For all but the most severe ignition sources, conditions in all three passenger rail car designs studied remain tenable sufficiently long enough to allow safe passenger and crew egress, e.g., more than 10 minutes in some cases.

最も厳しい着火源以外について、研究された 3 つの旅客鉄道の車両設計すべてにおける条件は、安全な乗客および乗務員の脱出に割り当てるのに十分に支持できる長時間(例えば、いくつかの場合で 10 分を超える時間)である。

The exceptions are associated with the potential for fires in some locations that block egress from the lower level of bi-level sleeping cars to an adjacent car while the train is moving.

例外は、列車が移動している間、二階建ての寝台車の一階レベルから隣接した車両までの 脱出を妨げるいくつかの場所での火災の可能性と関係している。

The sleeping car analysis also assumes that all persons are aware of the fire which may not be true in actual train operation.

寝台車の分析では、実際の列車の運行中には真ではない、全ての人が火災に気づいている と仮定している。

The quantity, arrangement, and fire performance characteristics (ignitability and fire growth characteristics) of items brought aboard by passengers as baggage and materials brought aboard as supplies such as packaging materials associated with food or cleaning supplies could affect the analysis.

食品またはクリーニング用品に関係する包装材料のような供給品の材料ならびに手荷物は 乗客によって持ち込まれ、そのアイテムの量、配置および火災性能特性(着火性および火 災成長特性)は分析に影響するかもしれない。

The impact of items such as baggage could be quantified with additional testing and a more detailed analysis.

手荷物のようなアイテムの影響は追加試験およびより詳細な分析によって定量化できるか もしれない。

6.1.4 Impact of Passenger Rail Car System Changes on Fire Performance

旅客鉄道の車両システムが火災性能に与える影響

The intent of the FRA rule requirements is to prevent fire ignition and maximize the time available for passenger and crew evacuation in the event of a passenger train fire. FRA 規定の要求の意図は、着火を防ぎ、旅客列車の火災の場合に乗客および乗務員の避難に利用可能な時間を最大限にすることである。

Materials and components that comply with the current FRA-cited fire tests and performance criteria exhibit fire growth rates below the medium t-squared level, and therefore do not represent an unreasonable hazard if ignited in the open.

現在の FRA に引用される火災試験および性能基準に適合する材料および部品は、ミディア ムのt二乗レベルより小さい火災成長率を示すので、例にどんなところで着火した場合でも 極端な危険を代表することにならない。

The effects of severe fire scenarios may be potentially mitigated by either precluding any fire having a fire growth rate faster than medium t-squared, and/or modifying the egress system.

厳しい火災シナリオの影響は、ミディアムのt二乗より速い火災成長率の火災を発生させな いようにすること、脱出システムの修正をすることの両方またはいずれか一方によって、 緩和される可能性がある。

The severe fire scenario where all components are ignited by a large trash bag has been addressed by Amtrak a redesign of trash containers as well as modification of operational procedures to ensure that large accumulations of trash are frequently removed from the cars.

すべての部品が大きいごみ袋によって着火する場合の厳しい火災シナリオは、Amtrak によ るごみの大きな蓄積が車両から頻繁に取り除かれることを確実にする操作手順の修正だけ でなく、ごみ箱の再設計によって対処された。 The fire hazard analysis calculations described in this study provide a consistent point of comparison for three passenger rail car configurations and several fire scenarios.

この研究に述べられた火災危険分析の計算は、3つの旅客鉄道の車両構造およびいくつかの 火災シナリオに一貫した類似点をもたらす。

The minimum necessary egress times were estimated using three techniques, two of which were developed for buildings and one for aircraft.

必要最小限の脱出時間は 3 つの技術を使用して推定された。それらの技術のうち 2 つは建物用に開発され、1 つは航空機用に開発された。

However, the accuracy of the estimates has not been studied for passenger rail cars. しかしながら、旅客鉄道の車両への推定の精度は研究されていない。

Moreover, only a simple evacuation to an adjacent, upright rail car was considered. さらに、隣接した直方体の鉄道車両への単純な避難だけが考慮された。

For other analyses, egress outside the train could also be considered by calculating the minimum time necessary for passengers and crew to evacuate a specific rail car from the end or side doors to the point of safety.

他の分析について、乗客と乗務員が特定の鉄道車両の末端あるいは側面の扉から安全な場 所へ避難するのに必要な最短時間の計算により、列車外部での脱出を考慮することができ るかもしれない。

The calculation of egress time, whether from a building or passenger rail car, involves many assumptions.

建物または旅客鉄道の車両のどちらから、脱出時間の計算は多くの仮定を含んでいる。

Therefore, the calculated minimum necessary egress time should be considered only the minimum time necessary for actual evacuation.

したがって、計算された必要最小限の脱出時間は実際の避難に必要な最短時間だと考える べきである。

In addition, it is important to again note that this calculated minimum necessary egress time does not include impact of the fire on the train occupants, panic, the unique geometry and configuration of passenger rail cars, scattered luggage in a post-crash rail car, or bodily injury to persons prior to evacuation.

さらに、この計算された必要最小限の脱出時間は列車の在館者、パニック、旅客鉄道の車 両の特有の形状および構造、衝突後の列車に散らばった手荷物あるいは避難より前に身体 障害を持った人々に関する火災の影響を含まないことに再び注目することが重要である。 Any effects of more complex egress strategies to points of safety outside the train could have a significant impact on evacuation in an actual fire-related accident.

列車外部での安全な場所へのより複雑な脱出経路のどんな効果も、実際の火災関連の事故 では避難に重要な影響を与えることができた。

However, those strategies were considered beyond the scope of the simple evacuation calculations conducted for this study.

しかしながら、それらの戦略は、この研究で実施した簡易な避難計算の範囲を超えて考慮 された。

The appropriate design margin applied to the model time should account for such limitations; 2 is the safety factor typically used.

モデル時間に適用される適切な設計の余地は、そのような制約を説明すべきである。典型 的に使用される安全率は2である。

The primary factor that was assessed to evaluate the effect of passenger rail car design alternatives is the change in tenability and thus increased available safe egress time. 旅客鉄道の車両設計の代替案の効果を評価するために検討された主な要素は、論証可能な変化であるかであり、安全に避難可能な時間を増加させた。

Various design alternatives may increase or decrease the available safe egress time resulting in either a positive or negative impact on the overall system fire safety.

様々な設計の選択肢は安全に避難可能な時間を増減することがあり、結果として火災安全 の総合システムに対する正負の影響をもたらす。

Alternative analyses to the baseline analyses show that design features, such as fire detection and suppression systems, can have a greater influence than the use of more fire-retardant materials or small changes in geometry on the resulting fire safety performance of the overall passenger rail car design.

火災の感知および消火システムのような設計要素は、より難燃性の材料の使用や空間の小 さな変更よりも総合的な旅客鉄道の車両設計の火災安全性能により、大きな影響を及ぼす 場合があることが、基本設計に対する分析に対して代替案を分析することで明らかになる。 For the example analysis, automatic smoke venting and suppression systems in the rail car compartment can have a greater impact on providing additional time for occupant evacuation (+200 s) than dramatic improvements in the already fire-retardant materials (+3-6 s).

事例解析では、鉄道車両の区画における自動的な煙の排出および消火システムは、難燃性

の材料における飛躍的な改良(+3-6秒)より在館者避難のための追加時間の提供(+200秒)というより大きな影響を及ぼす場合がある。

It should be noted that the increase in available egress time using any of the alternative designs depends on the growth rate of the actual fire.

どんな設計の代替案を用いての可能な避難時間の引き上げは、実際の火災の成長率に依存 することに注目すべきである。

In addition, quantification of the impact of changes to the rail car emergency egress system itself is difficult as significant uncertainties exist regarding realistic egress times, particularly in a post-crash geometry.

さらに、特に衝突後の形状において、現実的な避難時間を求めるのに著しい不確実性が存 在するとともに、鉄道車両の緊急脱出システム自体への変化がもたらす影響を定量化する ことは困難である。

Factors such as clearly marked emergency exits of sufficient number and size, adequate emergency lighting, low-location exit path marking, and public address systems, as well as crew training and passenger awareness information could reduce the time necessary for passengers and crew to evacuate passenger rail cars.

乗務員の訓練および乗客の認知情報と同様に、十分な数および大きさが明確に表示された 非常口、適正な非常照明、低い位置の出口方向表示および拡声装置のような要素は、乗客 と乗務員が旅客鉄道の車両を避難するのに必要な時間を短縮することができた。

The FRA passenger equipment and emergency preparedness rules provide minimum requirements such as fire extinguishers, emergency exits, emergency lighting, crew training, and passenger information.

FRA の乗客設備および非常対策規則は、消火器、非常口、非常照明、乗務員の訓練および乗 客の情報のような最小限の要求を提供する。

In addition, the FRA is sponsoring an ongoing passenger train evacuation research program.

さらに、FRA は進行中の旅客列車の避難研究計画のスポンサーである。

For passenger trains operating in a potentially hazardous operating environment, such as a tunnel, evacuation outside the passenger train to a point of safety must be considered in any analysis. トンネルのような潜在的に危険な環境下で運行する旅客列車について、旅客列車の外部で 安全な場所への避難はどんな分析であれ考慮に入れなければならない。

While he prediction of the reaction and movement of people in fires is well established for buildings, no such model or data resource exists for passenger trains.

火災における人々の反応および動作の予測は建物に対して確立しているが、そのようなモ デルあるいはデータの蓄積は旅客列車に対して存在しない。

If coupled to the CFAST fire model used in the baseline fire hazard analyses, the recently developed emergency evacuation computer model for commercial aircraft (airEXODUSTM) could be used to determine actual occupant egress times for different passenger rail car configurations under different fire scenario conditions.

もし基本的な火災危険分析で使用される CFAST の火災モデルと合わされば、最近開発された 民間航空機向けの非常時避難コンピューターモデル(airEXODUSTM)は、異なる旅客鉄道の車 両形状で異なる火災シナリオの条件下における実際の在館者の脱出時間を決定するために 利用することができるだろう。

Additional research is recommended to address passenger and crew evacuation times in the actual passenger railroad operating environment.

実際の旅客鉄道の運行環境における乗客および乗務員の避難時間に対処するための追加研 究が推奨される。

6.2 APPLICATION TO PHASE III TASKS

フェーズ III の作業への応用

From the hazard analyses performed for this report, the obvious question that arises is "How good are the model predictions?"

この報告書のために行なわれた危険分析から生じる明確な疑問は「モデルによる予測はど のくらいよいか」である。

The only method of verifying the model predictions is to test them against actual controlled experiments.

モデル予測を検証する唯一の方法は、実際の制御された実験に照らし合わせてそれらを評 価することである。

Phase III of this project involves full-scale experiments using an actual Amfleet I passenger rail coach car to examine the model predictions.

このプロジェクトのフェーズ III は、モデルによる予測を評価するために実際の旅客鉄道の 普通客車 Amfleet I を使用する実大規模の実験を含んでいる。

As part of Phase III, two different types of tests were conducted in 1999 to evaluate the accuracy of the results of fire hazard analyses conducted in Phase II of the project: 1) a series of gas burner tests conducted to evaluate the accuracy of the fire performance curves for an actual rail car geometry, and 2) a series of tests to evaluate fire spread and growth for actual passenger rail car interior furnishings exposed to a range of initial fire sources.

フェーズ III の一部として、プロジェクトのフェーズ II で行なわれた火災危険分析の結果の 正確さを評価するために、1999 年に 2 つの異なる種類の試験が行なわれた。

1) 実際の鉄道車両の形状での火災性能曲線の正確さを評価するために行なわれた一連のガ スバーナー試験

2)様々な初期の火源にさらされる実際の旅客鉄道の車両内部の家具に対する延焼および火災成長を評価するための一連の試験

The results of these tests are documented in the Phase III interim report.

これらの試験結果はフェーズ III の中間報告で文書化されている。

6.2.1 Real-Scale Gas Burner Tests

実大規模のガスバーナー試験

The fire performance curves described in this interim report show the predicted response of the selected rail coach car, dining, and sleeping car configuration to a range of typical fire growth rates.

この中間報告で述べられている火災性能曲線は、様々な代表的な火災成長率を目的として 厳選された鉄道の普通客車、食堂車および寝台車の形状の予測された反応を示す。

They also estimate the available safe egress time from a passenger rail car exposed to standard design fires.

さらに、それらは標準設計火源にさらされる旅客鉄道の車両からの安全に避難可能な時間 を推定する。

The calculations were compared to the minimum time necessary to evacuate occupants from the car to estimate the largest fire growth rate and size that are allowable for the chosen rail car configuration.

これらの計算は、特定の鉄道車両の構造に許容される最大の火災成長率および大きさを推

定するために、在館者の避難のために必要な最短時間と比較された。

To evaluate the accuracy of the model calculations of the fire performance curves, a series of real-scale gas burner fires covering a range of fire sizes and growth rates were conducted in Phase III as part of the full-scale passenger rail coach car tests.

火災性能曲線のモデル計算の正確さを評価するために、様々な火災の大きさおよび火災成 長率をカバーする一連の実大規模のガスバーナーの火炎は、実物大の旅客鉄道の普通客車 の試験の一部としてフェーズ III で行われた。

The gas burner fires provide a carefully controlled and known HRR to match the slow, medium, fast, and ultra fast t-squared design fires used to develop the fire performance curves in Phase II.

ガスバーナーによる火災は、フェーズ II で火災性能曲線を開発するために使用された、ス ロー、ミディアム、ファーストおよびウルトラファーストのt二乗設計火源と一致する、慎 重に制御された既知の発熱速度を提供する。

A portion of the rail car was fitted with non-combustible surface linings, and the tests run only until selected tenability criteria were reached, to prevent major damage to the car during these tests.

鉄道車両の一部に不燃性の内張りが取り付けられ、また、試験はこれらの試験中に車両が 大破するのを防ぐため、維持可能な領域に達するまでしか行われていない。

Prior to the tests, the rail car was characterized in terms of dimensions, interior materials, and leakage.

試験に先立って、鉄道車両は大きさ、内装材および通気性に関して特徴的なものが選ばれた。

6.2.2 Full-Scale Fire Growth and Spread Tests

実物大の火災成長および延焼の試験

Several tests were conducted in Phase III to study the fire growth and flame spread patterns in a realistic fire scenario.

現実的な火災シナリオにおける火災成長および火炎伝播のパターンを研究するために、い くつかの試験はフェーズ III で行なわれた。

The large-scale Furniture Calorimeter tests conducted during Phase II demonstrated

that materials and products that comply with the current FRA fire performance requirements are difficult to ignite, requiring ignition source strengths of 2 to 10 times those used for similar materials and products found outside of the transportation environment.

フェーズ II で行われた大規模なファニチャーカロリーメーター試験は、現在の FRA の火災 性能の必要条件に適合する材料および製品は着火が難しいこと、輸送環境外で見られる類 似の材料および製品を着火させるために、2~10 倍の着火源の強度を要求することを実証し た。

Still, it was also evident from the large-scale Furniture Calorimeter tests that significant fires can develop with sufficiently severe ignition sources.

それにもかかわらず、重要な火災は、十分に厳しい着火源によって生じることが大規模な 家具熱量計テストからも明白だった。

For the fire growth and spread tests, initial ignition sources ranging from the TB 133 gas burner to and including large trash bags, were used.

火災成長および延焼の試験については、最初の着火源として TB 133 ガスバーナーから大き いごみ袋に及ぶものが使用された。

These tests allow the comparison of the assembly tests conducted in the large-scale Furniture Calorimeter with actual fire growth inside the rail car where the HRR may change due to the effects of the car geometry and/or proximity of materials to each other.

これらの試験によって、大規模なファニチャーカロリーメーターで行われる組立て品の試 験と、車両形状および/または各材料の近接さの効果によって発熱速度が変化する、鉄道 車両内での実際の火災成長との比較が可能となる。

The Phase III interim report contains a detailed description of the real-scale gas burner tests and the various full-scale ignition source tests conducted in an Amfleet I passenger rail coach car.

フェーズIIIの中間報告は、旅客鉄道の普通客車のAmfleet I で行なわれた実大規模のガスバーナー試験および様々な着火源の試験の詳細な記述を含んでいる。

2.2.3 Phase III

5. SUMMARY^{vii}

5. 要約

Considerable advances in fire safety engineering have been made in the decades since the original development of the current fire safety requirements for passenger train material selection. 火災安全工学の相当な進歩は、旅客列車の材料選定のための現在の火災安全の必要条件の 作成当初からの数十年ではかられた。

Better understanding of the underlying phenomena governing fire initiation and growth has led to the development of advanced engineering analysis techniques.

火災の開始および成長を支配する根本的な現象についてのより良い理解は、高度な工学解 析技術の開発につながった。

These techniques have gained worldwide credibility for the regulation of building fire safety and have recently been examined for a range of transportation vehicles.

これらの技術は、建物の火災安全規則の世界的な信用を獲得し、近頃になって様々な輸送 車両の分析がされた。

This Phase III interim report documents full-scale fire tests conducted in an actual passenger rail coach car and compares the test results with calculations from a fire hazard analysis using the Hazard I CFAST computer model.

このフェーズIIIの中間報告は、実際の旅客鉄道の普通客車で行なわれた実大規模の火災試験 を文書化し、ハザードICFASTコンピューターモデルを用いた火災危険分析の計算と試験結 果を比較する。

5.1 FULL-SCALE RAIL CAR TESTS

実大規模の鉄道車両の試験

Seventeen tests were conducted within an Amtrak passenger rail coach car.

17の試験がAmtrakの旅客鉄道の普通客車内で行われた。

Three replicates for each representative t-squared fire growth rate provided an estimate of measurement uncertainty.

それぞれの代表的なt二乗の火災成長率に対しての3つの反復実験は、測定の不確実さの評価 を与えた。

The uncertainties for all measured quantities were reasonable and suggest that the data will provide

the appropriate baseline for verification of the modeling from Phase II of the study.

すべての測定値の不確実さは合理的で、データがフェーズIIの研究からのモデリングの確認のために適切な基準値を与えるだろうということを示唆した。

The range of ignition source strengths indicated that an ignition source size between 25 kW and approximately 200 kW is necessary to promote significant fire spread, which is consistent with the conclusions from the Phase II interim report that the ignition source strength of passenger rail car materials is 2 to 10 times greater than typical office furnishings.

25kWから約200kWの着火源の大きさを示した着火源の強度の範囲は、著しい延焼を進展さ せるのに必要不可欠であり、それは旅客鉄道の車両材料の着火源の強度が典型的なオフィ ス家具より2~10倍大きいというフェーズIIの中間報告の結論と一致する

However, given an ignition source of the magnitude of a large trash bag, significant flame spread may be observed and resulting conditions within the rail car could become untenable.

しかしながら、大きいごみ袋の規模の点火源を考えると、著しい火炎伝播が観察され、鉄 道車両内が耐えられない状態になるかもしれない。

The ignition scenario where all components are ignited by a large trash bag has been addressed by Amtrak through a redesign of trash containers and modification of operational procedures to ensure that large accumulations of trash are removed from the cars.

すべての部品が大きいごみ袋によって着火される場合の着火シナリオは、Amtrakによるごみ 箱の再設計およびごみの大きな蓄積が車両から取り除かれることを確実にするための操作 手順の修正によって対処された。

5.2 COMPARISON OF FULL-SCALE TEST RESULTS TO EARLIER RESEARCH

実大規模の試験結果と初期の研究の比較

A comparison of small-scale cone calorimeter material test results with full-scale component material assembly tests and full-scale tests using a passenger rail coach car shows similar ranking of materials from low HRR to high HRR.

小規模なコーンカロリーメーター材料試験の結果と実大規模の部品材料の組立て品試験お よび旅客鉄道の普通客車を用いた実大規模の試験との比較では、低い発熱速度から高い発 熱速度まで材料は同様の順位付けを示す。

For the materials studied, small-scale tests in the cone calorimeter provide an appropriate tool for material screening for heat release.

研究された材料について、コーンカロリーメーターの小規模テストは、発熱に関する材料

選定の適切な手段を与える。

In practice, a major advantage of HRR data from a device like the cone calorimeter is the ability to use these data in an appropriate model to predict full-scale performance.

実際のところは、コーンカロリーメーターのような装置から得られる発熱速度のデータの 大きな利点は、実大規模の性能を予測するための適切なモデルでこれらのデータを用いる ことができる点である。

Although not within the scope of this report, the data developed in Phases I - III of this project provide the necessary data for an analysis to develop such a predictive ability.

この報告書の範疇ではないが、この計画のフェーズIからフェーズIIIで開発されたデータは そのような予測能力を開発するための分析に必要不可欠なデータを与える。

Comparison of the results from the current study to earlier rail vehicle tests was consistent with expected high performance of FRA-compliant materials.

現在の研究と初期の鉄道車両試験の結果比較は、FRAに準拠した材料の期待された高性能と 一致した。

Peak temperatures in the current tests were lower than comparable fully-furnished rail vehicle tests with older materials.

現在の試験での最大温度は、古い材料を使用した家具付きの鉄道車両の試験より低かった。

5.3 IMPLICATIONS OF FULL-SCALE TESTS ON FIRE HAZARD ANALYSIS

実大規模の試験が火災危険分析に及ぼす影響

Key to the application of fire hazard analysis is a verified fire model to provide accurate predictions of the fire hazards within a passenger rail car.

火災危険分析の適用への手がかりは、旅客鉄道の車両内の火災危険の精密予測を与えるた めに検証された火災モデルである。

Comparison of times to untenable conditions for a range of fire sizes determined from experimental measurements with those calculated by the CFAST fire model showed agreement which averaged approximately 13 percent.

実験による測定値から決定された様々な火災の大きさにに対して避難不能な状況になるま での時間と、CFAST火災モデルによって計算された時間との比較は平均およそ13パーセント の一致を示した。

With experimental uncertainty in the measurements typically less than 10 percent and typical

agreement between fire model predictions and experiments of 20 to 25 percent, the average agreement for these calculations of 13 percent should be considered excellent. 実験における不確定さが概ね10パーセント未満、火災モデルによる予測と実験の間で概ね 20から25パーセントの一致から判断して、13パーセントのこれらの計算の平均の一致は優 れていると考えられるべきである。

5.4 FUTURE WORK

今後の活動

Phase I of this study described the successful use of the cone calorimeter for evaluating the fire performance of component materials used in passenger rail cars.

この研究のフェーズIは、旅客鉄道の車両で使用される構成材料の火災性能を評価するためのコーンカロリーメーター使用の成功を説明した。

Using data from Phase I and additional HRR tests of full-scale component material assemblies, Phase II provided examples of the application of fire hazard analysis techniques to the passenger rail car interior environment.

フェーズIと実大規模の構成材料の組立て品の発熱速度の追加試験によるデータを使用して、 フェーズIIは旅客鉄道の車内環境への火災危険分析技術の適用例を提供した。

Finally, this Phase III interim report demonstrates that fire hazard analysis using computer modeling is sufficiently accurate to be used as a tool in evaluating passenger rail car fire safety.

最後に、このフェーズⅢの中間報告は、コンピューターモデリングを使用する火災危険分析 が旅客鉄道の車両の火災安全を評価の手段として使用されることが十分に正確であること を実証する。

It is important to note that this report did not address several areas important to the successful application of fire hazard analysis techniques for passenger rail cars:

この報告書が、旅客鉄道の車両のための火災危険分析技術の成功した適用にとって重要ないくつかの分野に取り組まなかったことに注目することが重要である。

• Accurate estimation of passenger rail car conditions and evacuation in an actual emergency situation.

実際の非常時における旅客鉄道の車両状態および避難の正確な推定。

No verification of the calculation of the time necessary for passenger egress in the event of

a passenger rail car fire was included.

旅客鉄道の車両火災における乗客の避難に必要な時間の計算の検証は含まれなかった。

Development of appropriate HRR performance criteria.
 適切な発熱速度の性能基準の開発。

Appropriate small-scale (cone calorimeter) and full-scale (furniture calorimeter) test acceptance criteria for materials and component assemblies were not determined. 材料および組立て品のための適切な小規模(コーンカロリーメーター)および大規模(ファニチャーカロリーメーター)試験の許容基準は決定されなかった。

Evaluation of unique characteristics of fabrics, structural flooring, and electrical wire and cable.
織物、構造上の床材ならびに電線およびケーブルの特有の特徴評価。
The fire endurance of floor or wall partitions and the impact of electrical wire and cable were not considered.
床または壁の仕切りの耐火性のならびに電線およびケーブルの影響は考慮されなかった。

These areas are suggested for further research and would provide additional resources for the application of fire hazard analysis techniques to passenger rail cars and rail transit vehicles. これらの分野はより進んだ研究を示唆し、旅客鉄道の車両および鉄道輸送の車両への火災 危険分析技術の適用に向けた追加の手助けを与えるだろう。

The current FRA tests and performance criteria required by 49 CFR, Part 238, Subpart 238. 103, were adapted from those that FTA first published in 1984 for rail transit vehicle materials. 49 CFR、パート238、サブパート238・103によって要求された現在のFRAの試験および性能基 準は、FTAが1984年に鉄道輸送の車両材料のために出版したものから編集された。 Due to the use of many similar interior materials, the FTA is interested in the potential application of fire hazard analyses as evaluated in Phases I-III of this FRA-sponsored study to rail transit vehicles. 同様の多くの内装材の使用により、このFTAが支援する鉄道輸送の車両の研究のフェーズI からフェーズIIIで評価されるような火災危険分析を使うことにFTAは、興味を持っている。 Accordingly, the FTA has contributed funding to the Volpe Center-directed fire safety research program.

従って、FTAはボルペセンターが監督する火災安全の研究計画に資金を拠出した。

参考文献

*地下鉄道の火災対策検討会、『地下鉄道の火災対策検討会報告書』平成16年3月

"鉄道火災対策技術委員会、『鉄道火災対策技術委員会報告書』昭和 50 年 4 月

¹¹¹ 狩勝実験線列車火災試験グループ、「列車火災試験 – 狩勝実験線における車両燃焼走行試験 – 」『鉄道技術研究報告』日本国有鉄道 鉄道技術研究所、No.986(車両編第 265 号)、1976 年 1 月

 ▶ 宮古線における列車火災試験グループ、「トンネル走行下の列車の火災性状-宮古線猿峠トンネルにおける列車火災試験-」『鉄道技術研究報告』日本国有鉄道 鉄道技術研究所、No.1032(車両編第1032号)、 1977年2月

 ^v Richard D. Peacock, Emil Braun: <u>Fire Safety of Passenger Trains, Phase I: Material Evaluation</u> (<u>Cone Calorimeter</u>) NISTIR6132, National Institute of Standards and Technology, March 1999
 ^{vi} Richard D. Peacock, Paul A. Reneke, Jason D. Averill, Richard W. Bukowski, John H. Klote: <u>Fire</u> <u>Safety of Passenger Trains; Phase II: Application of Fire Hazard Analysis Techniques</u> NISTIR6525, National Institute of Standards and Technology, December 2002

^{vii} Richard D. Peacock, Jason D. Averill, Daniel Madrzykowski, David W. Stroup, Paul A. Reneke, Richard W. Bukowski: <u>Fire Safety of Passenger Trains; Phase III: Evaluation of Fire Hazard Analysis</u> <u>Using Full-Scale Passenger Rail Car Tests</u> NISTIR6563, National Institute of Standards and Technology, April 2004 第3章

実験
3. 実験

3.1 0系及び E4系新幹線のコーンカロリーメーター試験

3.1.1 実験目的

ISO5660 コーンカロリーメーター試験装置を用いて 0 系および E4 系新幹線に設置されて いた座席の表地および詰め物(以下、ウレタン)の着火時間および発熱速度などの燃焼性 状を計測し、走行中の新幹線車内での避難検証の計算にあたり、煙降下時間を算定する為 の基礎データの取得を目的とした。

3.1.2 実験日及び実験場所

実験日	2014年06月12日	(木)	09:00~18:00
	2014年09月08日	(月)	09:00~18:00

実験場所 東京理科大学 野田キャンパス 火災科学研究センター実験棟 コーンカロリーメーター試験室

実験従事者(敬称略)

亀岡	晃	辻本研究室	国際火災科学研究科 2 年	
佐藤	智昭	同上	国際火災科学研究科1年	(9/8 のみ従事)
清水	滉平	同上	工学部第二部建築学科4年	

3.1.3 コーンカロリーメーター試験装置の概要

コーンカロリーメーター試験装置は、一般に建築材料における不燃材料、準不燃材料、 難燃材料といった燃焼性規格を判定するために用いられる試験装置である。材料の着火性 を比較的簡易に測定できるため、建築分野以外でも利用されている。

本実験では、株式会社東洋精機製作所製のコーンカロリーメーターIII(図 3.1.3.1 (左)) を使用した。このコーンカロリーメーター試験装置は、試験体を設置する試験体ホルダー (図 3.1.3.1 (右))および試験体を一定の放射加熱強度で加熱する円錐形状のコーンヒータ ー、コーンヒーターの放射加熱強度を測定する熱流計、試験体から発生する熱分解ガスに 着火させるスパーク装置、燃焼ガスを分析するガス分析装置、排気流量を測定する排気シ ステム、試験体の重量変化を測定するロードセルより構成されている。試験結果として得 られる発熱速度は酸素消費法に基づき算定する。なお、酸素消費法とは「広範囲の一般的 な燃料において、消費される酸素の単位質量あたりの燃焼熱がほぼ一定(約 13kJ/g)である 」という原理である。



図 3.1.3.1 コーンカロリーメーター(左)と試験体ホルダー(右)

3.1.4 実験手順

1. 吸気のために、実験棟1階トイレ前の窓開。廊下のエアコンを 20℃設定で ON。コーン カロリーメーター試験室のドアを半開。

2. コーンカロリーメーター試験装置の背面にある、水抜き確認。

3. 実験室のブレーカーおよび試験装置左下の電源 ON。水道栓開。

4. PC 電源 ON。デスクトップの「コーンカロリーメーター試験」起動。

5. カリブレーション>排気流量調整(0.024±0.002m³/s)。PC の案内に沿って排気ダンパー開、 排気ファン ON、風量調節ダイヤル左 0、右 MAX。

6. カリブレーション>重量計調整。PCの案内に沿って分銅等をのせる。

7. カリブレーション>カリブレーションファイル更新。

8. 所定の放射加熱強度になるようコーンヒーターの出力調整。カリブレーション>ヒータ ー昇温。所要時間 20~30 分程度。

9. 試験体の重量を電子天秤で、寸法をノギスで測定。

 10. 試験体の側面および裏面をアルミホイルで養生後、試験体ホルダーにセット。試験体が 試験体ホルダーに適切にセットされるようセラミックブランケットで高さ調整。写真撮影。
 11. サンプリングポンプ OFF 後、フィルター等交換。

12. PC に実験名、試験体名、「重量」等を打ち込み。温湿度記録。

13. PC の案内に沿って試験体ホルダーを設置し試験開始。インターバル撮影開始(15 秒間隔)。

14. 着火確認。点火器 OFF。消炎確認。

15. 発熱速度が 0kW/m²を下回ったことを確認し試験終了。試験体が着火に至らな

い場合は、20分間加熱を継続し試験終了。インターバル撮影終了。

16. 写真撮影。試験データの保存。試験データの Excel 変換。ホルダーの清掃および冷却。
17.8 または 9~16 を繰り返す。

※放射加熱強度を変える場合、8.にて変更する。。18. 片付け。各種電源 OFF。実験日報作成。

3.1.5 測定項目

測定項目は以下の通りである。

- ・試験体の重量および寸法
- ・実験前の温湿度
- ・総発熱量 (THR)
- ・最大発熱速度 (HRR)
- ・平均発熱速度 (HRR)
- ・平均発熱速度 T60 (加熱開始から 60 秒までの平均発熱速度)
- ・平均発熱速度 T180 (加熱開始から 180 秒までの平均発熱速度)
- ・平均発熱速度 T300 (加熱開始から 300 秒までの平均発熱速度)
- ·最終試験体質量
- · 試験体質量減少
- ·着火時間
- ・消炎時間
- ・燃焼時間
- ·200k超過断続時間
- ·200k 超過総時間
- ・平均燃焼有効発熱量 (HOC)
- ・平均質量減少率 (MLR)
- ・デジタルカメラによる実験前・中・後における試験体の記録

3.1.6 試験体

試験体は、0系新幹線の普通車3人掛け1脚とE4系新幹線のグリーン車1人掛け1脚か ら表地とウレタンをカッターなどで切り出したものとした。0系新幹線の普通車3人掛けの 表地に関しては座面および背ずりから、ウレタンに関しては背ずりから切り出し、E4系新 幹線のグリーン車1人掛けの表地に関してはシートバックポケットおよびフットレストか ら、ウレタンに関してはフットレストから切り出した。0系新幹線座席はコーンカロリーメ ーター試験のサンプリング用座席が入手できたのに対し、E4系新幹線の座席は1脚のみし か入手できず、自由空間における燃焼実験用の座席とコーンカロリーメーター試験用の座 席として併用せざるを得なかったため、座席ごとに切り出し箇所が異なる。自由空間にお ける燃焼実験で発熱速度といった結果の変動が最小限となるように火炎伝播・延焼特性上から影響の少ないと考えられる座席背面のシートバックポケットおよび着火位置より下の レッグレストとした。

試験体の切り出し寸法は 100mm×100mm (試験体を図 3.1.3.1(右)のようにホルダーにセットするため、加熱直後にコーンヒーターの放射熱を受ける面積(設定値)は 0.008840m² である)。ウレタンは使用箇所により、表面形状が湾曲しているものや材厚が異なりものなど様々であるため、表面形状が平面となるようカッターなどで調整し、材厚が 3cm となるようにした。なお、試験体を切り出した新幹線座席については、98 頁の表 3.2.3.1 の「試験体に用いた新幹線の座席」を参照されたい。



図 3.1.6.1 0 系(左)および E4 系(右)新幹線座席の表地



図 3.1.6.2 0系(左)および E4系(右)新幹線座席のウレタン

3.1.7 実験条件

表 3.1.7.1 に実験条件一覧を示す。表地の放射加熱強度は、当初、15,30,50kW/m² の三条件であったが、実験データの充実化を図るため 0 系新幹線座席に関しては 10 kW/m² を追加し、E4 系新幹線座席に関しては 20 kW/m² を追加した。ウレタンの放射加熱強度は昨年度、 辻本研究室が実施したバスの座席の燃焼実験との比較を容易にするため同一条件の 10,30, 50kW/m² の三条件とした。また、ウレタンの試験回数は各放射加熱強度で 3 回実施する予定であったが、E4 系新幹線座席のウレタンが採取可能な数に制限があったため2回とした。

新幹線(座席)種類	新幹線(座席)種類 材料種類 放射加熱強度[kW/m ²]		試験回数
		10	3
	ᆂᄴ	15	3
0 亚	衣地	30	3
U 术机轩禄 並 通 庄 2 人 掛 け 1 脚		50	3
百进府 5 八角() I M		10	2
	ウレタン	30	2
		50	2
		15	3
	-+: Uk	20	3
F 4 灭 东达纳	衣地	30	3
		50	3
クリーン車工八街の工牌		10	2
	ウレタン	30	2
		50	2

表 3.1.7.1 実験条件一覧

3.1.8 実験結果

表 3.1.8.1 に表地の、表 3.1.8.2 にウレタンの試験体寸法および重量、試験開始前の温湿度 (TANITA 製 温湿度計 TT-532 で測定)、着火時間、最大発熱速度といったコーンカロリーメ ーター試験の結果を示す。また、表 3.1.8.3 から表 3.1.8.8 に総発熱量および平均発熱速度、 重量減少などのコーンカロリーメーター試験の結果を示す。表中の平均発熱速度 T60 は加 熱開始から 60 秒までの平均発熱速度を表し、その他、平均発熱速度 T180、T300 について も各時間までの平均発熱速度を表す。200k 超過継続時間は発熱速度が 200kW/m² を超えて いる時の継続時間を表し、200k 超過総時間は加熱中の発熱速度が 200kW/m² を超える時間 の合計を表す。

初めに留意しておきたいのは、ウレタンの 0-30-2 の発熱速度の結果が約 44kW/m² と異様 なものとなった。試験後、燃焼ガス中のススを取り除くフィルターが本来 1 枚セットする はずであったが、実際には複数枚セットされていることが確認され、これがガス分析の結 果に影響を与えたものと考える。そのため、ウレタンの 0-30-2 に関しては着火時間および 重量減少のみ信頼性のある結果といえる。 (1) 着火時間

・表地

図 3.1.8.1 に表地の放射加熱強度と着火時間の関係を示す。

50kW/m²の放射加熱強度において、0 系および E4 系新幹線座席の表地は共に全試験体が 着火に至った。0 系新幹線座席の表地は 3 体の着火時間を平均して 8 秒で着火に至り、E4 系のそれは 20 秒で着火に至った。

30kW/m²の放射加熱強度においても、0 系および E4 系新幹線座席の表地は共に着火に至った。0 系新幹線座席の表地は 3 体の着火時間を平均して 63 秒で着火に至り、E4 系のそれは 45 秒で着火に至った。

15kW/m²の放射加熱強度においては、0系新幹線座席の表地は3体全て着火に至り、その 平均着火時間は129秒であった。E4系新幹線座席の表地は3体全て着火に至らなかった。

以上の結果より、0系新幹線座席の表地に関しては放射加熱強度 10kW/m²の追加試験を 実施し、E4系新幹線座席の表地に関しては放射加熱強度 20kW/m²の追加試験を実施し、放 射加熱強度と着火時間の関係性について、データの充実化を図った。

10kW/m²の放射加熱強度における 0 系新幹線座席の表地は、3 体中 2 体が着火に至らず、 残り 1 体は着火までに約 6 分の時間を要した。20kW/m²の放射加熱強度における E4 系新幹 線座席の表地は、3 体全て着火に至り、その平均着火時間は 103 秒であった。

全体の結果をみると、E4 系新幹線座席の表地に比べ 0 系新幹線座席の表地の着火時間が 短く、着火しやすい傾向が確認できる。30kW/m²の放射加熱強度における E4 系新幹線座席 の表地の着火時間が 0 系新幹線座席の表地のそれに比べ短時間となった要因として、E4 系 新幹線座席の表地は加熱直後に収縮し表面が隆起し(図 3.1.8.10)、所定の放射加熱強度を 上回る加熱を受け、さらには表地とスパークとの距離が短くなったことが考えられる。

・ウレタン

図 3.1.8.2 にウレタンの放射加熱強度と着火時間の関係を示す。

50kW/m²の放射加熱強度において、0 系および E4 系新幹線座席のウレタンは共に全試験 体が着火に至った。0 系新幹線座席のウレタン 2 体の平均着火時間は 3.6 秒で、E4 系のそれ は 4.6 秒であった。

30kW/m²の放射加熱強度においても、0 系および E4 系新幹線座席のウレタンは共に全試 験体が着火に至った。0 系新幹線座席のウレタン 2 体の平均着火時間は 14.8 秒で、E4 系の それは 12.9 秒であった。

10kW/m²の放射加熱強度においては、0系および E4系新幹線座席のウレタンは共に全試験体が着火に至らなかった。

総評

表地およびウレタンに共通する 50kW/m² と 30kW/m² の放射加熱強度における着火時間に 着目すると、表地よりもウレタンの着火時間が短く、ウレタンが着火しやすいことが確認 できる。一方、50kW/m²や 30kW/m² といった放射加熱強度に比べ比較的弱い 10kW/m²の放 射加熱強度になると、ウレタンは車種によらず全試験体が着火せず、0 系新幹線座席の表地 は 3 体中 1 体が着火した。結果を単純に判断すれば、着火のしやすさは 50kW/m² や 30kW/m² といった放射加熱強度の時とは逆転していることになる。ここで、ウレタンは加熱開始と 同時に熱分解を始め、加熱面が下がる現象があることに留意しなければならないため、着 火までに時間を要す、比較的弱い放射加熱強度では正確な着火のしやすさは判断し難い。

(2) 発熱速度

図 3.1.8.3 に各放射加熱強度における 0 系新幹線座席の表地の発熱速度を、図 3.1.8.4 に各 放射加熱強度における E4 新幹線座席の表地の発熱速度を示す。また、図 3.1.8.5 に各放射加 熱強度における 0 系新幹線座席のウレタンの発熱速度を、図 3.1.8.6 に各放射加熱強度にお ける E4 新幹線座席のウレタンの発熱速度を示す。

表地およびウレタンといった材種や 0 系および E4 系新幹線座席といった車種によらず、 放射加熱強度が大きいほど最大発熱速度が大きくなる傾向があった。0 系および E4 系新幹 線座席ともに、表地に比べウレタンの最大発熱速度が大きくなる傾向があった。

0系およびE4系新幹線座席の表地に共通する50kW/m²と30kW/m²の放射加熱強度におけ る発熱速度をみると、放射加熱強度50kW/m²における0系およびE4系新幹線座席それぞれ の最大発熱速度の平均は339kW/m²と345kW/m²となる。また、放射加熱強度30kW/m²にお ける0系およびE4系新幹線座席それぞれの最大発熱速度の平均は174kW/m²と235kW/m² となり、同一の放射加熱強度であれば、0系新幹線座席の表地に比べE4系新幹線座席の表 地の最大発熱速度が大きくなる傾向があった。これは、一度着火すると0系新幹線座席の 表地に比べE4系新幹線座席の表地が瞬間的に大きく燃え上がることを示している。また、 0系新幹線座席の表地は、同一の放射加熱強度において発熱速度の推移に乱れが生じている のに対し、E4系新幹線座席の表地は、同一の放射加熱強度において発熱速度の推移の乱れ は僅かであった。

76

(3) 燃焼熱

次式により燃焼熱を算出し、算出した表地の燃焼熱を図 3.1.8.7 に、ウレタンの燃焼熱を 図 3.1.8.8 に示す。

$$\Delta H = \frac{Q}{M} \cdot A$$

ΔH: 燃焼熱[MJ/kg]、Q: 総発熱量[MJ/m²]、M: 試験体重量減少値[kg]、A: 燃焼面積 0.01[m²]

表地およびウレタン共に放射加熱強度 30kW/m² と 50kW/m² において概ね一定の燃焼熱となっている。0 系新幹線座席の表地において、放射加熱強度 30kW/m² と 50kW/m²の燃焼熱の平均は 18.86MJ/kg となり、E4 系のそれは 16.81MJ/kg となった。また、0 系新幹線座席のウレタンに関して、放射加熱強度 30kW/m² と 50kW/m²の燃焼熱の平均は 23.27MJ/kg となり、E4 系のそれは 21.38 MJ/kg となった。0 系新幹線座席および E4 系新幹線座席共に、表地に比ベウレタンの燃焼熱が大きい結果となった。また、表地およびウレタン共に、E4 系新幹線座席に比べ 0 系新幹線座席の燃焼熱が大きい結果となった。

なお、表地に関して 30 kW/m²を下回る放射加熱強度では燃焼熱が低くなることが見て取 れるが、これは、着火時間が長くなることで着火までの間、材料の熱分解が進み、重量が 減少することで、放射加熱強度 30kW/m² や 50kW/m² のような燃焼熱にならなかったと考え られる。

表 3.1.8.1 表地のコーンカロリーメーター試験結果

➡睦/╈	試!	験体の寸	法と重調	<u>■</u> 里	試験開始育	前の温湿度		着火時間とそ0)逆数の平方根	最大発熱速度	ほとその時間	
武)(平) (主地)	縦	横	厚み	重量	温度	湿度	放射加熱強度	着火時間	逆数の平方根	発熱速度	時間	実験日
(衣地)	[mm]	[mm]	[mm]	[g]	[°C]	[%]	[k₩/㎡]	[s]	[s ^{-0.5}]	[kW/m²]	[s]	
0-10-1	103. 30	101.75	3. 50	8.03	19.5	68	10	着火せず	_	-	-	2014/09/08
0-10-2	100.60	101.55	3.50	7.84	19. 5	68	10	357.7	0. 0529	154.80	380.4	2014/09/08
0-10-3	100. 50	100. 45	3. 50	8.10	19.5	68	10	着火せず	_	_	_	2014/09/08
0-15-1	100.60	100. 50	2. 50	11.69	20. 3	80	15	128.0	0. 0884	113.20	151.4	2014/06/12
0-15-2	101.70	102. 10	2. 25	13. 53	20. 4	80	15	119. 8	0. 0914	134. 72	135.8	2014/06/12
0-15-3	101.45	102. 30	2.00	12. 09	20. 4	84	15	140. 1	0. 0845	209.23	156.7	2014/06/12
0-30-1	102. 10	101.90	2. 60	14. 52	20. 1	85	30	64. 1	0. 1249	209.63	105.4	2014/06/12
0-30-2	100.90	102. 25	2. 30	11.91	19.9	85	30	65. 5	0. 1236	129.06	125.4	2014/06/12
0-30-3	101.75	102. 10	2. 75	11. 32	20. 4	84	30	60. 8	0. 1282	183.18	108.8	2014/06/12
0-50-1	102.45	101. 25	2. 45	10. 76	20. 3	83	50	8.3	0. 3471	294. 29	47.0	2014/06/12
0-50-2	100. 45	102. 75	2.45	11.62	20. 7	82	50	8. 5	0. 3430	313.40	54.6	2014/06/12
0-50-3	103.50	100. 70	2.85	8. 73	20. 8	80	50	7.4	0. 3676	409.68	36.4	2014/06/12
E4-15-1	102. 25	103. 55	2. 10	8.39	20. 4	85	15	着火せず	_	-	_	2014/06/12
E4-15-2	101.80	103.00	2. 70	8. 54	20. 1	86	15	着火せず	_	-	-	2014/06/12
E4-15-3	102.05	102. 75	2. 50	8.34	20. 3	87	15	着火せず	_	_	_	2014/06/12
E4-20-1	97.80	102. 85	3. 50	8.80	20. 5	68	20	101.3	0. 0994	188. 70	117.7	2014/09/08
E4-20-2	101.85	99. 55	3. 50	8.95	20. 3	67	20	100. 2	0. 0999	209.92	119.0	2014/09/08
E4-20-3	100. 10	102.65	3. 50	9. 12	20. 4	68	20	108.0	0. 0962	232. 57	134.5	2014/09/08
E4-30-1	101.75	102. 10	2.80	8. 29	20. 3	81	30	45.4	0. 1484	248.63	67.0	2014/06/12
E4-30-2	102.10	102. 20	2.80	8. 13	20. 4	82	30	45.4	0. 1484	260.97	68.0	2014/06/12
E4-30-3	101.80	100. 95	2. 70	8. 32	20. 5	84	30	43. 4	0. 1518	194.27	70.0	2014/06/12
E4-50-1	101.15	102. 80	2. 75	8. 24	20. 7	80	50	19. 2	0. 2282	350.02	39.0	2014/06/12
E4-50-2	102. 55	102. 85	2.65	8. 48	20. 7	80	50	19. 3	0. 2276	348.26	37.0	2014/06/12
E4-50-3	103. 55	101.85	2. 25	8.30	20. 8	81	50	21.7	0. 2147	335.81	41.0	2014/06/12

表 3.1.8.2 ウレタンのコーンカロリーメーター試験結果

=+ ₽₽ /+	試	験体の寸	法と重量		試験開始	前の温湿度		着火時間とその)逆数の平方根	最大発熱速度	度とその時間	
武殿1平	縦	横	厚み	重量	温度	湿度	放射加熱強度	着火時間	逆数の平方根	発熱速度	時間	実験日
(10,90)	[mm]	[mm]	[mm]	[g]	[°C]	[%]	[kW/m̊]	[s]	[s ^{-0.5}]	[kW/m²]	[s]	
0-10-1	102.00	102.00	29.65	11.46	19.3	66	10	着火せず	_	_	_	2014/09/12
0-10-2	99.65	99.80	28.70	11.22	19.3	67	10	着火せず	-	-	-	2014/09/12
0-30-1	102.35	100.00	28.20	11.04	20.4	67	30	10.7	0.3057	331.28	42.6	2014/06/12
0-30-2	102.40	99.60	28.90	11.29	20.4	68	30	18.9	0.2300	43.78	55.3	2014/06/12
0-50-1	100.80	101.00	28.05	11.41	20.4	67	50	3.4	0.5423	447.12	39.5	2014/06/12
0-50-2	100.50	101.70	27.75	10.80	20.4	67	50	3.8	0.5130	498.11	42.5	2014/06/12
E4-10-1	99.60	101.70	28.70	16.01	20.3	72	10	着火せず	-	-	-	2014/06/12
E4-10-2	99.40	100.25	29.00	15.98	20.4	69	10	着火せず	-	-	-	2014/06/12
E4-30-1	98.75	99.00	28.80	15.89	20.3	67	30	12.2	0.2863	358.36	67.7	2014/06/12
E4-30-2	99.00	100.90	28.55	15.87	20.2	67	30	13.5	0.2722	429.31	84.0	2014/06/12
E4-50-1	100.75	99.85	29.10	15.98	20.4	68	50	4.6	0.4663	464.51	53.2	2014/06/12
E4-50-2	100.10	99.05	28.40	15.60	20.4	68	50	4.6	0.4663	512.86	54.1	2014/06/12

	試験体 (表地)	0-10-1	0-10-2	0-10-3
	総発執量(THR)	0.15 MI/m ²	5 78 MI/ m ²	1 39 MI/ m ²
-		3 30 kW/m ²	154 80 kW/m ²	9.44 kW/m ²
	最大発熱速度(HRR)	at 101 60 sec	at 380 40 sec	at 34 40 sec
	亚均药教法度(1100)	0.12 htt/m ²		
	平均充熟速度(HRK)	0.13 KW/m ²	18.16 kW/m ²	1.15 KW/m ²
	平均発烈速度 T60	1.02 kW/m ²	85.40 kW/m ²	7.16 kW/m ²
	平均発熱速度 T180	0.85 kW/m ²	30.77 kW/m ²	3.27 kW/m ²
試	平均発熱速度 T300	0.51 kW/m ²	18.52 kW/m ²	2.29 kW/m ²
驗	最終試験体質量	4.83 g	3.83 g	5.06 g
統結	試験体質量減少	3.20 g	4.01 g	3.04 g
里	着火時間	sec	357.7 sec	sec
木	着火時試験体質量	g	6.59 g	g
	消炎時間	sec	439.4 sec	sec
	燃焼時間	sec	81.7 sec	sec
	200k 超過継続時間	0.0 sec	0.0 sec	0.0 sec
	200k 超過総時間	0.0 sec	0.0 sec	0.0 sec
	平均燃焼有効発熱量(HOC)	0.43 MJ/kg	12.74 MJ/kg	4.04 MJ/kg
	平均質量減少率	0.394 g/s·m ²	4.785 g/s·m ²	0.346 g/s•m ²
		5155 · 8/5 · ···		ene ne 8/ e m
	試験体 (表地)	0-15-1	0-15-2	0-15-3
	試験体(表地) 総発熱量(THR)	0-15-1 11.00 MJ/m ²	0-15-2 17.68 MJ/m ²	0-15-3 15.15 MJ/m ²
	武験体(表地) 総発熱量(THR) ペートの発展していた。 ペートの名 ペートの ペーーの ペートの ペーーの ペーーの ペーーの ペーーの ペーーの ペーーの ペーーの の の の の の の の の の の の の の の の の の の	0-15-1 11.00 MJ/m ² 113.20 kW/m ²	0-15-2 17.68 MJ/m ² 134.72 kW/m ²	0-15-3 15.15 MJ/m ² 209.22 kW/m ²
	試験体(表地) 総発熱量(THR) 最大発熱速度(HRR)	0-15-1 11.00 MJ/m ² 113.20 kW/m ² at 151.40 sec	0-15-2 17.68 MJ/m ² 134.72 kW/m ² at 135.80 sec	0-15-3 15.15 MJ/m ² 209.22 kW/m ² at 156.70 sec
	試験体(表地) 総発熱量(THR) 最大発熱速度(HRR) 平均発熱速度(HRR)	0-15-1 11.00 MJ/m ² 113.20 kW/m ² at 151.40 sec 16.97 kW/m ²	0-15-2 17.68 MJ/m ² 134.72 kW/m ² at 135.80 sec 37.67 kW/m ²	0-15-3 15.15 MJ/m ² 209.22 kW/m ² at 156.70 sec 24.71 kW/m ²
	試験体(表地) 総発熱量(THR) 最大発熱速度(HRR) 平均発熱速度(HRR) 平均発熱速度 T60	0-15-1 11.00 MJ/m ² 113.20 kW/m ² at 151.40 sec 16.97 kW/m ² 73.72 kW/m ²	0-15-2 17.68 MJ/m ² 134.72 kW/m ² at 135.80 sec 37.67 kW/m ² 108.48 kW/m ²	0-15-3 15.15 MJ/m ² 209.22 kW/m ² at 156.70 sec 24.71 kW/m ² 123.95 kW/m ²
	試験体(表地) 総発熱量(THR) 最大発熱速度(HRR) 平均発熱速度 T60 平均発熱速度 T180	0-15-1 11.00 MJ/m ² 113.20 kW/m ² at 151.40 sec 16.97 kW/m ² 73.72 kW/m ² 48.27 kW/m ²	0-15-2 17.68 MJ/m ² 134.72 kW/m ² at 135.80 sec 37.67 kW/m ² 108.48 kW/m ² 79.47 kW/m ²	0-15-3 15.15 MJ/m ² 209.22 kW/m ² at 156.70 sec 24.71 kW/m ² 123.95 kW/m ² 68.29 kW/m ²
	試験体(表地) 総発熱量(THR) 最大発熱速度(HRR) 平均発熱速度 T60 平均発熱速度 T180 平均発熱速度 T300	0-15-1 11.00 MJ/m ² 113.20 kW/m ² at 151.40 sec 16.97 kW/m ² 73.72 kW/m ² 48.27 kW/m ² 31.70 kW/m ²	0-15-2 17.68 MJ/m ² 134.72 kW/m ² at 135.80 sec 37.67 kW/m ² 108.48 kW/m ² 79.47 kW/m ² 56.11 kW/m ²	0-15-3 15.15 MJ/m ² 209.22 kW/m ² at 156.70 sec 24.71 kW/m ² 123.95 kW/m ² 68.29 kW/m ² 48.23 kW/m ²
1 11日本 11日本 11日本 11日本 11日本 11日本 11日本 11	試験体(表地) 総発熱量(THR) 最大発熱速度(HRR) 平均発熱速度 T60 平均発熱速度 T180 平均発熱速度 T300 最終試験体質量	0-15-1 11.00 MJ/m ² 113.20 kW/m ² at 151.40 sec 16.97 kW/m ² 73.72 kW/m ² 48.27 kW/m ² 31.70 kW/m ² 3.62 g	0-15-2 17.68 MJ/m ² 134.72 kW/m ² at 135.80 sec 37.67 kW/m ² 108.48 kW/m ² 79.47 kW/m ² 56.11 kW/m ² 3.12 g	0-15-3 15.15 MJ/m ² 209.22 kW/m ² at 156.70 sec 24.71 kW/m ² 123.95 kW/m ² 68.29 kW/m ² 48.23 kW/m ² 2.77 g
武 験 従	試験体(表地) 総発熱量(THR) 最大発熱速度(HRR) 平均発熱速度(HRR) 平均発熱速度 T60 平均発熱速度 T180 平均発熱速度 T300 最終試験体質量 試験体質量減少	0-15-1 11.00 MJ/m ² 113.20 kW/m ² at 151.40 sec 16.97 kW/m ² 73.72 kW/m ² 48.27 kW/m ² 31.70 kW/m ² 3.62 g 8.07 g	0-15-2 17.68 MJ/m ² 134.72 kW/m ² at 135.80 sec 37.67 kW/m ² 108.48 kW/m ² 79.47 kW/m ² 56.11 kW/m ² 3.12 g 10.41 g	0-15-3 15.15 MJ/m ² 209.22 kW/m ² at 156.70 sec 24.71 kW/m ² 123.95 kW/m ² 68.29 kW/m ² 48.23 kW/m ² 2.77 g 9.32 g
武 験 結 🛙	試験体(表地) 総発熱量(THR) 最大発熱速度(HRR) 平均発熱速度 T60 平均発熱速度 T180 平均発熱速度 T300 最終試験体質量 試験体質量減少 着火時間	0-15-1 11.00 MJ/m ² 113.20 kW/m ² at 151.40 sec 16.97 kW/m ² 73.72 kW/m ² 31.70 kW/m ² 31.70 kW/m ² 3.62 g 8.07 g 128.0 sec	0-15-2 17.68 MJ/m ² 134.72 kW/m ² at 135.80 sec 37.67 kW/m ² 108.48 kW/m ² 79.47 kW/m ² 56.11 kW/m ² 3.12 g 10.41 g 119.8 sec	0-15-3 15.15 MJ/m ² 209.22 kW/m ² at 156.70 sec 24.71 kW/m ² 123.95 kW/m ² 68.29 kW/m ² 48.23 kW/m ² 2.77 g 9.32 g 140.1 sec
武 験 結 果	試験体(表地) 総発熱量(THR) 最大発熱速度(HRR) 平均発熱速度T60 平均発熱速度T180 平均発熱速度T300 最終試験体質量 試験体質量減少 着火時間 着火時試験体質量	0-15-1 11.00 MJ/m ² 113.20 kW/m ² at 151.40 sec 16.97 kW/m ² 73.72 kW/m ² 48.27 kW/m ² 31.70 kW/m ² 3.62 g 8.07 g 128.0 sec 10.34 g	0-15-2 17.68 MJ/m ² 134.72 kW/m ² at 135.80 sec 37.67 kW/m ² 108.48 kW/m ² 79.47 kW/m ² 56.11 kW/m ² 3.12 g 10.41 g 119.8 sec 12.09 g	0-15-3 15.15 MJ/m ² 209.22 kW/m ² at 156.70 sec 24.71 kW/m ² 123.95 kW/m ² 68.29 kW/m ² 48.23 kW/m ² 2.77 g 9.32 g 140.1 sec 10.26 g
武 験 結 果	試験体(表地) 総発熱量(THR) 最大発熱速度(HRR) 平均発熱速度(HRR) 平均発熱速度 T60 平均発熱速度 T180 平均発熱速度 T300 最終試験体質量 試験体質量減少 着火時間 着火時間 消炎時間	0-15-1 11.00 MJ/m ² 113.20 kW/m ² at 151.40 sec 16.97 kW/m ² 73.72 kW/m ² 48.27 kW/m ² 31.70 kW/m ² 3.62 g 8.07 g 128.0 sec 10.34 g 304.4 sec	0-15-2 17.68 MJ/m ² 134.72 kW/m ² at 135.80 sec 37.67 kW/m ² 108.48 kW/m ² 79.47 kW/m ² 56.11 kW/m ² 3.12 g 10.41 g 119.8 sec 12.09 g 280.8 sec	0-15-3 15.15 MJ/m ² 209.22 kW/m ² at 156.70 sec 24.71 kW/m ² 123.95 kW/m ² 68.29 kW/m ² 48.23 kW/m ² 2.77 g 9.32 g 140.1 sec 10.26 g 309.7 sec
武 験 結 果	試験体(表地) 総発熱量(THR) 最大発熱速度(HRR) 平均発熱速度(HRR) 平均発熱速度 T60 平均発熱速度 T180 平均発熱速度 T300 最終試験体質量 試験体質量減少 着火時間 着火時間 消炎時間 燃焼時間	0-15-1 11.00 MJ/m ² 113.20 kW/m ² at 151.40 sec 16.97 kW/m ² 73.72 kW/m ² 31.70 kW/m ² 31.70 kW/m ² 3.62 g 8.07 g 128.0 sec 10.34 g 304.4 sec 176.4 sec	0-15-2 17.68 MJ/m ² 134.72 kW/m ² at 135.80 sec 37.67 kW/m ² 108.48 kW/m ² 79.47 kW/m ² 56.11 kW/m ² 3.12 g 10.41 g 119.8 sec 12.09 g 280.8 sec 161.0 sec	0-15-3 15.15 MJ/m ² 209.22 kW/m ² at 156.70 sec 24.71 kW/m ² 123.95 kW/m ² 68.29 kW/m ² 48.23 kW/m ² 2.77 g 9.32 g 140.1 sec 10.26 g 309.7 sec 169.6 sec
試 験 結 果	計時候童成少年 試験体(表地) 総発熱量(THR) 最大発熱速度(HRR) 平均発熱速度 T60 平均発熱速度 T60 平均発熱速度 T300 最終試験体質量 試験体質量減少 着火時間 着火時間 燃焼時間 200k 超過継続時間	0-15-1 11.00 MJ/m ² 113.20 kW/m ² at 151.40 sec 16.97 kW/m ² 73.72 kW/m ² 31.70 kW/m ² 31.70 kW/m ² 3.62 g 8.07 g 128.0 sec 10.34 g 304.4 sec 176.4 sec 0.0 sec	0-15-2 17.68 MJ/m ² 134.72 kW/m ² at 135.80 sec 37.67 kW/m ² 108.48 kW/m ² 79.47 kW/m ² 56.11 kW/m ² 3.12 g 10.41 g 119.8 sec 12.09 g 280.8 sec 161.0 sec 0.0 sec	0-15-3 15.15 MJ/m ² 209.22 kW/m ² at 156.70 sec 24.71 kW/m ² 123.95 kW/m ² 68.29 kW/m ² 48.23 kW/m ² 2.77 g 9.32 g 140.1 sec 10.26 g 309.7 sec 169.6 sec 4.5 sec
試 験 結 果	試験体(表地) 総発熱量(THR) 最大発熱速度(HRR) 平均発熱速度(HRR) 平均発熱速度 T60 平均発熱速度 T180 平均発熱速度 T300 最終試験体質量 試験体質量減少 着火時間 着火時間 200k 超過継続時間 200k 超過総時間	0-15-1 11.00 MJ/m ² 113.20 kW/m ² at 151.40 sec 16.97 kW/m ² 73.72 kW/m ² 31.70 kW/m ² 31.70 kW/m ² 3.62 g 8.07 g 128.0 sec 10.34 g 304.4 sec 176.4 sec 0.0 sec 0.0 sec	0-15-2 17.68 MJ/m ² 134.72 kW/m ² at 135.80 sec 37.67 kW/m ² 108.48 kW/m ² 79.47 kW/m ² 56.11 kW/m ² 3.12 g 10.41 g 119.8 sec 12.09 g 280.8 sec 161.0 sec 0.0 sec 0.0 sec	0-15-3 15.15 MJ/m ² 209.22 kW/m ² at 156.70 sec 24.71 kW/m ² 123.95 kW/m ² 68.29 kW/m ² 48.23 kW/m ² 2.77 g 9.32 g 140.1 sec 10.26 g 309.7 sec 169.6 sec 4.5 sec 4.5 sec
武 験 結 果	計時候車(表地) 試験体(表地) 総発熱量(THR) 最大発熱速度(HRR) 平均発熱速度(HRR) 平均発熱速度 T60 平均発熱速度 T60 平均発熱速度 T180 平均発熱速度 T300 最終試験体質量 試験体質量減少 着火時間 着火時間 200k 超過継続時間 200k 超過総時間 200k 超過総時間 平均燃焼有効発熱量(HOC)	0-15-1 11.00 MJ/m ² 113.20 kW/m ² at 151.40 sec 16.97 kW/m ² 73.72 kW/m ² 48.27 kW/m ² 31.70 kW/m ² 31.70 kW/m ² 3.62 g 8.07 g 128.0 sec 10.34 g 304.4 sec 176.4 sec 0.0 sec 0.0 sec 12.04 MJ/kg	0-15-2 17.68 MJ/m ² 134.72 kW/m ² at 135.80 sec 37.67 kW/m ² 108.48 kW/m ² 79.47 kW/m ² 56.11 kW/m ² 3.12 g 10.41 g 119.8 sec 12.09 g 280.8 sec 161.0 sec 0.0 sec 0.0 sec 15.01 MJ/kg	0-15-3 15.15 MJ/m ² 209.22 kW/m ² at 156.70 sec 24.71 kW/m ² 123.95 kW/m ² 68.29 kW/m ² 48.23 kW/m ² 2.77 g 9.32 g 140.1 sec 10.26 g 309.7 sec 169.6 sec 4.5 sec 4.5 sec 14.36 MJ/kg

表 3.1.8.3 表地(0-10-1~0-15-3)のコーンカロリーメーター試験結果

	試験体 (表地)	0-30-1	0-30-2	0-30-3
	総発熱量(THR)	23.59 MJ/m ²	17.67 MJ/m ²	20.03 MJ/m ²
_	見上で教生産(リアア)	209.63 kW/m ²	129.06 kW/m ²	183.18 kW/m ²
	取入光熱迷皮(HKK)	at 105.40 sec	at 125.40 sec	at 108.80 sec
	平均発熱速度(HRR)	32.85 kW/m ²	15.26 kW/m ²	17.38 kW/m ²
	平均発熱速度 T60	181.83 kW/m ²	76.93 kW/m ²	134.64 kW/m ²
	平均発熱速度 T180	100.62 kW/m ²	62.16 kW/m ²	80.30 kW/m ²
35	平均発熱速度 T300	70.06 kW/m ²	46.77 kW/m ²	57.17 kW/m ²
武	最終試験体質量	1.37 g	1.36 g	0.98 g
顾	試験体質量減少	13.15 g	10.55 g	10.34 g
袷	着火時間	64.1 sec	65.5 sec	60.8 sec
朱	着火時試験体質量	12.87 g	10.03 g	10.09 g
	消炎時間	211.4 sec	262.4 sec	202.8 sec
	燃焼時間	147.3 sec	196.9 sec	142.0 sec
	200k 超過継続時間	24.1 sec	0.0 sec	0.0 sec
	200k 超過総時間	24.1 sec	0.0 sec	0.0 sec
	平均燃焼有効発熱量(HOC)	15.86 MJ/kg	14.81 MJ/kg	17.12 MJ/kg
	平均質量減少率	4.597 g/s⋅m ² 2.689 g/s⋅m		3.386 g/s∙m²
	試験体 (表地)	0-50-1	0-50-2	0-50-3
	総発熱量(THR)	19.95 MJ/m ²	20.84 MJ/m ²	16.89 MJ/m ²
		294.29 kW/m ²	313.40 kW/m ²	409.68 kW/m ²
	最大発熱速度(HRR)	at 47.00 sec	at 54.60 sec	at 36.40 sec
	平均発熱速度(HRR)	23.11 kW/m ²	33.39 kW/m ²	21.59 kW/m ²
	平均発熱速度 T60	208.74 kW/m ²	211.83 kW/m ²	208.23 kW/m ²
	平均発熱速度 T180	97.27 kW/m ²	99.29 kW/m ²	87.09 kW/m ²
- 6	平均発熱速度 T300	63.71 kW/m ²	67.32 kW/m ²	54.41 kW/m ²
武	最終試験体質量	0.51 g	0.65 g	0.54 g
験	試験体質量減少	10.25 g	10.97 g	8.19 g
治	着火時間	8.3 sec	8.5 sec	7.4 sec
朱	着火時試験体質量	10.57 g	11.50 g	8.59 g
	消炎時間	120.0 sec	128.6 sec	110.4 sec
	燃焼時間	111.7 sec	120.1 sec	103.0 sec
	200k 超過継続時間	41.2 sec	31.9 sec	30.1 sec
	200k 超過総時間	41.2 sec	31.9 sec	30.1 sec
	平均燃焼有効発熱量(HOC)	17.20 MJ/kg	16.79 MJ/kg	18.23 MJ/kg
-	平均質量減少率	5.098 g/s∙m²	6.193 g/s•m²	6.200 g/s•m ²

表 3.1.8.4 表地(0-30-1~0-50-3)のコーンカロリーメーター試験結果

	試験体 (表地)	E4-15-1	E4-15-2	E4-15-3
	総発熱量(THR)	0.36 MJ/m ²	0.33 MJ/m ²	0.48 MJ/m ²
		1.10 kW/m ²	4.55 kW/m ²	4.10 kW/m ²
	菆大兗烈速度(HRR)	at 114.10 sec	at 18.10 sec	at 19.50 sec
	平均発熱速度(HRR)	0.30 kW/m ²	0.27 kW/m ²	0.40 kW/m ²
	平均発熱速度 T60	0.46 kW/m ²	2.78 kW/m ²	2.17 kW/m ²
	平均発熱速度 T180	0.54 kW/m ²	1.61 kW/m ²	0.78 kW/m ²
- 6	平均発熱速度 T300	0.32 kW/m ²	1.06 kW/m ²	0.60 kW/m ²
武	最終試験体質量	5.91 g	5.97 g	5.97 g
颖	試験体質量減少	2.48 g	2.57 g	2.37 g
治田	着火時間	Sec	sec	sec
朱	着火時試験体質量	g	g	g
	消炎時間	sec	sec	sec
	燃焼時間	sec	sec	sec
	200k 超過継続時間	0.0 sec	0.0 sec	0.0 sec
	200k 超過総時間	0.0 sec	0.0 sec	0.0 sec
	平均燃焼有効発熱量(HOC)	1.30 MJ/kg	1.14 MJ/kg	1.81 MJ/kg
	平均質量減少率	0.218 g/s•m ²	0.223 g/s•m ²	0.211 g/s•m ²
	試験体 (表地)	E4-20-1	E4-20-2	E4-20-3
	総発熱量(THR)	11.01 MJ/m ²	11.13 MJ/m ²	9.49 MJ/m ²
	目上改教法成(185)	188.70 kW/m ²	209.92 kW/ m ²	232.57 kW/ m ²
	取入 先 然 述 皮 (HKK)	at 117.70 sec	at 119.00 sec	at 134.50 sec
	平均発熱速度(HRR)	16.18 kW/m ²	28.42 kW/m ²	33.69 kW/m ²
	平均発熱速度 T60	126.45 kW/m ²	147.56 kW/m ²	140.01 kW/m ²
	平均発熱速度 T180	52.76 kW/m ²	57.84 kW/m ²	51.90 kW/m ²
= 1	平均発熱速度 T300	33.96 kW/m ²	36.47 kW/m ²	0.00 kW/m ²
武	最終試験体質量	1.99 g	1.81 g	2.72 g
 厥 ↔	試験体質量減少	6.81 g	7.14 g	6.40 g
宿田	着火時間	101.3 sec	100.2 sec	108.0 sec
禾	着火時試験体質量	8.20 g	8.42 g	8.52 g
	消炎時間	184.7 sec	169.0 sec	176.5 sec
	燃焼時間	83.4 sec	68.8 sec	68.5 sec
	200k 超過継続時間	0.0 sec	23.1 sec	19.7 sec
	200k 超過総時間	0.0 sec	23.1 sec	19.7 sec
	平均燃焼有効発熱量(HOC)	14.28 MJ/kg	13.78 MJ/kg	13.12 MJ/kg
_	亚均所是述小交	$6594 g/s \cdot m^2$	12,951 g/s·m ²	14.907 g/s·m ²

表 3.1.8.5 表地(E4-15-1~E4-20-3)のコーンカロリーメーター試験結果

	試験体 (表地)	E4-30-1	E4-30-2	E4-30-3
	総発熱量(THR)	12.19 MJ/m ²	11.88 MJ/m ²	12.80 MJ/m ²
-	目上水樹、古広(1155)	248.63 kW/m ²	260.97 kW/m ²	194.27 kW/m ²
	菆入充熱速度(HRR)	at 67.20 sec	at 67.50 sec	at 70.40 sec
	平均発熱速度(HRR)	20.36 kW/m ²	24.37 kW/m ²	21.69 kW/m ²
	平均発熱速度 T60	147.17 kW/m ²	146.31 kW/m ²	135.00 kW/m ²
	平均発熱速度 T180	62.50 kW/m ²	61.73 kW/m ²	62.52 kW/m ²
- 6	平均発熱速度 T300	39.56 kW/m ²	38.98 kW/m ²	41.29 kW/m ²
武	最終試験体質量	1.19 g	1.08 g	0.85 g
験	試験体質量減少	7.10 g	7.05 g	7.47 g
治	着火時間	45.4 sec	45.4 sec	43.4 sec
朱	着火時試験体質量	7.90 g	7.71 g	7.93 g
	消炎時間	110.2 sec	152.5 sec	141.4 sec
	燃焼時間	64.8 sec	107.1 sec	98.0 sec
	200k 超過継続時間	19.7 sec	21.0 sec	0.0 sec
	200k 超過総時間	19.7 sec	21.0 sec	0.0 sec
	平均燃焼有効発熱量(HOC)	15.18 MJ/kg	14.90 MJ/kg	15.15 MJ/kg
	平均質量減少率	7.832 g/s·m ² 8.696 g/s·m ²		5.976 g/s•m²
	試験体 (表地)	E4-50-1	E4-50-2	E4-50-3
	総発熱量(THR)	12.37 MJ/m ²	12.46 MJ/m ²	12.76 MJ/m ²
		350.02 kW/m ²	348.26 kW/m ²	335.81 kW/m ²
	菆入充熱速度(HRR)	at 39.10 sec	at 37.30 sec	at 41.20 sec
	平均発熱速度(HRR)	25.60 kW/m ²	15.37 kW/m ²	21.98 kW/m ²
	平均発熱速度 T60	165.51 kW/m ²	157.50 kW/m ²	164.65 kW/m ²
	平均発熱速度 T180	67.19 kW/m ²	64.20 kW/m ²	67.83 kW/m ²
- 6	平均発熱速度 T300	41.02 kW/m ²	39.81 kW/m ²	41.80 kW/m ²
武	最終試験体質量	0.77 g	0.78 g	0.79 g
験	試験体質量減少	7.47 g	7.70 g	7.51 g
治	着火時間	19.2 sec	19.3 sec	21.7 sec
朱	着火時試験体質量	7.96 g	8.22 g	7.95 g
	消炎時間	81.1 sec	95.3 sec	78.2 sec
	燃焼時間	61.9 sec	76.0 sec	56.5 sec
	200k 超過継続時間	21.9 sec	21.4 sec	22.4 sec
	200k 超過総時間	21.9 sec	21.4 sec	22.4 sec
	平均燃焼有効発熱量(HOC)	14.64 MJ/kg	14.31 MJ/kg	15.01 MJ/kg
_	平均質量減少率	12.624 g/s•m²	8.279 g/s∙m²	10.678 g/s•m ²

表 3.1.8.6 表地(E4-30-1~E4-50-3)のコーンカロリーメーター試験結果

	試験体(ウレタン)	0-10-1	0-30-1	0-50-1	
	総発熱量(THR)	1.04 MJ/m ²	24.08 MJ/m ²	26.57 MJ/m ²	
		3.47 kW/m ²	331.28 kW/m ²	447.12 kW/m ²	
	菆大発熱速度(HRR)	at 779.20 sec	at 42.60 sec	at 39.50 sec	
	平均発熱速度(HRR)	0.87 kW/m ²	77.41 kW/m ²	22.14 kW/m ²	
	平均発熱速度 T60	1.93 kW/m ²	208.86 kW/ m ²	293.14 kW/m ²	
	平均発熱速度 T180	1.47 kW/m ²	132.59 kW/m ²	139.00 kW/m ²	
	平均発熱速度 T300	0.97 kW/m ²	80.24 kW/m ²	85.19 kW/m ²	
武	最終試験体質量	7.91 g	0.68 g	0.00 g	
験	試験体質量減少	3.55 g	10.36 g	11.41 g	
結	着火時間	sec	10.7 sec	3.4 sec	
朱	着火時試験体質量	g	10.85 g	11.39 g	
	消炎時間	sec	197.6 sec	117.5 sec	
	燃焼時間	sec	186.9 sec	114.1 sec	
	200k 超過継続時間	0.0 sec	33.6 sec	63.4 sec	
	200k 超過総時間	0.0 sec	33.6 sec	63.4 sec	
	平均燃焼有効発熱量(HOC)	2.60 MJ/kg	20.55 MJ/kg	19.95 MJ/kg	
	平均質量減少率	0.355 g/s•m ²	8.778 g/s•m ²	11.495 g/s•m²	
	試験体(ウレタン)	0-10-2	0-30-2	0-50-2	
	総発熱量(THR)	0.49 MJ/m ²	2.46 MJ/m ²	25.15 MJ/m ²	
		5.14 kW/m ²	43.78 kW/m ²	498.11 kW/m ²	
	最大発熱速度(HRR)	at 33.40 sec	at 55.30 sec	at 42.50 sec	
	平均発熱速度(HRR)	0.41 kW/m ²	16.72 kW/m ²	42.27 kW/m ²	
	平均発熱速度 T60	2.61 kW/m ²	23.82 kW/m ²	307.31 kW/m ²	
	平均発熱速度 T180	1.27 kW/m ²	0.00 kW/m ²	136.34 kW/m ²	
	平均発熱速度 T300	0.76 kW/m ²	0.00 kW/m ²	83.01 kW/m ²	
試	最終試験体質量	7.49 g	0.93 g	0.00 g	
験	試験体質量減少	3.73 g	10.36 g	10.80 g	
結	着火時間	sec	18.9 sec	3.8 sec	
果	着火時試験体質量	g	10.73 g	10.94 g	
	消炎時間	sec	133.3 sec	105.5 sec	
	燃焼時間	sec	114.4 sec	101.7 sec	
	200k 超過継続時間	0.0 sec	0.0 sec	48.7 sec	
	200k 超過総時間	0.0 sec	0.0 sec	48.7 sec	
	平均燃焼有効発熱量(HOC)	1.16 MJ/kg	2.10 MJ/kg	20.37 MJ/kg	
-	平均質量減少率	0.373 g/s•m ²	15.434 g/s•m ²	13.442 g/s•m²	

表 3.1.8.7 ウレタン(0-10-1~0-50-3)のコーンカロリーメーター試験結果

	試験体(ウレタン)	E4-10-1	E4-30-1	E4-50-1
-	総発熱量(THR)	0.69 MJ/m ²	33.17 MJ/m ²	33.01 MJ/m ²
	目上水教法内(185)	3.42 kW/m ²	358.36 kW/m ²	464.51 kW/m ²
	菆入充熱速度(HRR)	at 35.30 sec	at 67.70 sec	at 53.20 sec
	平均発熱速度(HRR)	0.56 kW/m ²	113.60 kW/m ²	106.47 kW/m ²
	平均発熱速度 T60	1.77 kW/m ²	211.14 kW/m ²	290.52 kW/m ²
	平均発熱速度 T180	1.55 kW/m ²	183.23 kW/m ²	182.94 kW/m ²
- 6	平均発熱速度 T300	1.66 kW/m ²	0.00 kW/m ²	110.01 kW/m ²
試	最終試験体質量	13.51 g	0.64 g	0.34 g
颗	試験体質量減少	2.50 g	15.25 g	15.64 g
袷	着火時間	sec	12.2 sec	4.6 sec
禾	着火時試験体質量	g	15.64 g	15.91 g
	消炎時間	sec	196.7 sec	157.2 sec
	燃焼時間	sec	184.5 sec	152.6 sec
	200k 超過継続時間	0.0 sec	73.1 sec	75.9 sec
	200k 超過総時間	0.0 sec	73.1 sec	75.9 sec
	平均燃焼有効発熱量(HOC)	2.45 MJ/kg	19.23 MJ/kg	18.66 MJ/kg
	平均質量減少率	0.280 g/s•m ²	11.880 g/s•m ²	16.027 g/s•m ²
	試験体(ウレタン)	E4-10-2	E4-30-2	E4-50-2
	総発熱量(THR)	0.43 MJ/m ²	32.63 MJ/m ²	32.57 MJ/m ²
		5.71 kW/m ²	429.31 kW/m ²	512.86 kW/m ²
	最大発熱速度(HRR)	at 36.00 sec	at 84.00 sec	at 54.10 sec
	平均発熱速度(HRR)	0.35 kW/m ²	119.53 kW/m ²	122.92 kW/m ²
	平均発熱速度 T60	2.59 kW/m ²	241.64 kW/m ²	306.92 kW/m ²
	平均発熱速度 T180	0.88 kW/m ²	181.09 kW/m ²	180.73 kW/m ²
- 6	平均発熱速度 T300	1.17 kW/m ²	0.00 kW/m ²	0.00 kW/m ²
武	最終試験体質量	13.36 g	0.51 g	0.40 g
験	試験体質量減少	2.62 g	15.36 g	15.20 g
宿田	着火時間	sec	13.5 sec	4.6 sec
朱	着火時試験体質量	g	15.59 g	15.53 g
	消炎時間	sec	153.0 sec	123.1 sec
	燃焼時間	sec	139.5 sec	118.5 sec
	200k 超過継続時間	0.0 sec	80.3 sec	75.8 sec
	200k 超過総時間	0.0 sec	80.3 sec	75.8 sec
			1	İ
	平均燃焼有効発熱量(HOC)	1.44 MJ/kg	18.78 MJ/kg	18.94 MJ/kg

表 3.1.8.8 ウレタン(E4-10-1~E4-50-3)のコーンカロリーメーター試験結果







図 3.1.8.2 各放射加熱強度とウレタンの着火時間



図 3.1.8.3 各放射加熱強度における 0 系新幹線座席の表地の発熱速度



図 3.1.8.4 各放射加熱強度における E4 系新幹線座席の表地の発熱速度

[※]着火に至らなかった試験体の発熱速度は記載していない。



図 3.1.8.5 各放射加熱強度における 0 系新幹線座席のウレタンの発熱速度



図 3.1.8.6 各放射加熱強度における E4 系新幹線座席のウレタンの発熱速度 ※着火に至らなかった試験体の発熱速度は記載していない。









[※]着火に至らなかった試験体の燃焼熱は記載していない。



図 3.1.8.9 0 系新幹線座席の表地の着火直後(0-30-1)



図 3.1.8.10 E4 系新幹線座席の表地の熱収縮(E4-30-3)



図 3.1.8.11 試験後の表地(放射加熱強度 15kw/m²)



図 3.1.8.12 試験後の表地(放射加熱強度 30kw/m²)



図 3.1.8.13 試験後の表地(放射加熱強度 50kw/m²)



図 3.1.8.14 試験後の表地(放射加熱強度 0:10kw/m²,E4:20kw/m²)



図 3.1.8.15 試験後の 0 系新幹線座席のウレタン



図 3.1.8.16 試験後の E4 系新幹線座席のウレタン

参考文献

ⁱJames G. Quintiere 著 大宮喜文・若月薫 訳、『基礎 火災現象原論』、共立出版、2009

3.2 0系及び E4系新幹線座席の燃焼実験

3.2.1 実験目的

自由空間において 0 系及び E4 系新幹線座席を着火し、座席の発熱速度といった燃焼特性 を計測し、走行中の新幹線車内での避難検証の計算にあたり、煙降下時間を算定する為の 基礎データとする。また、車両空間と仮定した ISO9705 ルームコーナー試験装置内において 0 系新幹線の座席 2 脚を設置し、そのうちの 1 脚に自由空間の燃焼実験と同一の着火方法で 着火し発熱速度を計測する。

ここで、上記の実験をまとめる。カッコ内は簡略化した実験名。

・0系新幹線座席の自由空間における燃焼実験(0-Free-着火位置-実験 No.)

・E4系新幹線座席の自由空間における燃焼実験(E4-Free)

・車両空間と仮定したルームコーナー試験装置内における

0系新幹線座席の燃焼実験(0-Room-着火位置-実験 No.)

※着火位置は3.2.3 図 3.2.3.1 参照

3.2.2 実験日時及び実験場所

実験日 2014年06月23日(月)~ 2014年06月27日(金)

25 \exists · · · E4-Free、O-Free-R-1、O-Free-L-2

26 日 ・ ・ 0-Free-C-3、0-Free-L-4

27 日・・・0-Room-R-1、0-Room-C-2

実験場所 東京理科大学野田キャンパス火災科学研究センター実験棟大規模実験室 実験従事者(敬称略)

- · 亀岡 晃 辻本研究室 国際火災科学研究科 2 年
- ·井上 達貴 同 上 国際火災科学研究科1年
- ·田坂 光司 同 上 国際火災科学研究科1年
- ・井町 遼 同 上 工学部第二部建築学科4年
- ·清水 滉平 同 上 工学部第二部建築学科4年
- ·田中 和祥 三生技研

3.2.3 試験体



図 3.2.3.1 試験体に用いた 0 系(左)と E4 系(右)新幹線の座席

新幹線形式	開発会社	座席設置初年	座席種類
0 系	日本国有鉄道(JNR)	1981年	普通席3人掛け
E4 系	東日本旅客鉄道(JR East)	1997年	グリーン席1人掛け

表 3.2.3.1 試験体に用いた新幹線の座席の主な仕様

試験体に用いた 0 系新幹線座席は、背ずり背面のテーブルおよび小物収納用ネットが取り外されており、脚台は付け替えられている。E4 系新幹線座席は、コーンカロリーメーター試験のサンプリング用に背ずり背面のブックスタンド表地とフットレストを取り外してある。

3.2.4 着火方法

着火方法は、1972(昭和47)年の北陸トンネル火災を受けて翌年1973(昭和48)年に鉄 道技術研究所が狩勝実験線において実施した列車火災試験の内の、試験2に用いた着火方 法(1日分の新聞紙40ページとアルコール400ml)を採用する。

試験 1-1 試験 1-2 試験3 試験 2 再生時間 32:04 34:53 38:09 50:40 期日 9/1 8/28 8/31 難燃化改造ナハ11形客車 ナハ11形客車 着火車 新聞紙 40 ペ ージ 新聞紙 20 ページ 試 火源 新聞紙 20 ページ 及び 及び 験 アルコール 200mL アルコール 400mL 条 件 側扉 閉じ 開き 客室引戸 開き 窓·通風器 閉じ 走行状態 停車 着火後8分で発車 F.O.直後に発 車

表 3.2.4.1 狩勝実験線列車火災試験の試験条件



左図は狩勝実験線列車火災試験ビデオの静止画キ ャプチャーである。このように、座席に新聞紙を立て かけ、設置した新聞紙上部の背ずりの上から下に満遍 なくアルコールをかけ、新聞紙に着火棒を用いて着火 する。

図 3.2.4.1 狩勝実験線列車火災試験の着火

3.2.5 測定項目

<u>0-Free / E4-Free</u>

- ・酸素消費法による発熱速度
- ・重量変化
- ·着火点直上温度
- ・火炎からの熱流束(全熱・放射)
- ・デジタルカメラおよびデジタルビデオによる記録
- ・温湿度

<u>0-Room</u>

- ・酸素消費法による発熱速度
- ·着火点直上温度
- ・煙層温度
- ・煙層からの熱流束(全熱・放射)
- ・F.O.の有無とその時間
- ・デジタルカメラおよびデジタルビデオによる記録
- ・温湿度

(1)酸素消費法による発熱速度

5m×5mの燃焼熱量測定用フードにより収集した燃焼生成ガスの酸素、二酸化炭素、一酸 化炭素濃度、ダクト内の温度及び動圧を測定し、酸素消費法に基づき発熱速度を算定した。 発熱速度の算定の際に使用した測定機器を表 3.2.5.1 に示す。

測定項目	測定機器	測定機器写真
酸素濃度	磁気力式酸素分析計 (富士電機製)	Orgen Analyzer Oz DEBEDE Vork 2000 SSNN C Ravez
二酸化炭素 及び 一酸化炭素濃度	赤外線式分析計 (富士電機製)	
ダクト内の動圧	圧力トランスデューサー (バリダイン製 DP103-08)	
ダクト内の温度	シース熱電対 (坂口電熱製)	0
データ収集	データロガー (横川電機製 MX100)	

表 3.2.5.1 発熱速度算定の際に使用した測定機器

※ 測定機器写真は各メーカーHP から引用

また、酸素消費法とは「広範囲の一般的な燃料において、消費される酸素の単位質量あたりの燃焼熱がほぼ一定(約13kJ/g)であるⁱ」という原理である。

ー日の実験開始前には較正ガスを用いてガス分析計の較正を行い、その後、較正精度を 確認するために液体燃料を用いた確認実験を行った。ただし、25日の確認実験は、午前に 実施した E4-Free の実験前に 32cm 角の鋼製オイルパンとエタノール 1Lを使用した確認実験 を1回、午後に実施した 0-Free の実験前に 50cm 角の鋼製オイルパンとノルマルヘプタン 2Lを使用した確認実験を3回行った。26、27日の確認実験は 50cm 角の鋼製オイルパンと ノルマルヘプタン 2Lを使用して各日1回行った。25日に繰り返し確認実験を行った理由と しては、E4-Free の実験前に演算式を訂正し、再度、確認実験を行ったためである。

なお、E4-Freeの実験前の確認実験とE4-Freeの実験で得られた誤りのある演算式で算定された発熱速度は、後日、演算式を訂正し再演算を行った。下記に発熱速度算定用演算式を示す。赤字の式が誤った演算式であり、これを正しい演算式になるよう訂正を行った後、 発熱速度の再演算を行った。

------発熱速度算定用演算式 START-------

ch(00055)

※ch(00055): excel データのダクト内温度[℃]

```
ch(99005)=ch(00051)*25*20.85/20.92
```

```
※ch(99005): excel データの O2[%]
```

ch(99006)=ch(00052)*10

```
※ch(99006): excel データの CO2[%]
```

※正しい演算式は ch(99006)=ch(00052)*2

※再演算では、excel データの CO2[%]を5 で除して正しい演算式の値に修正

ch(99007)=ch(00053)*5

※ch(99007): excel データの XCO[%]

※正しい演算式は ch(99007)=ch(00053)*5-0.002

※再演算では、excel データの XCO[%]を-0.002 して正しい演算式の値に訂正

ch(99008)=ch(00057)*623/2.5

※ch(99008) : excel データの Delta-P(Setra239)[Pa]

ch(99009)=0.756*sqrt(ch(99008)*2/(1.293*101325/101325*273/(ch(00055)+273.15)))

※ch(99009): excel データの Vel[m/s]

ch(99010)=ch(99009)*1.293*101325/101325*273/(ch(00055)+273)*3.14*0.8*0.8/4

※ch(99010): excel データの VFR[kg/s]

ch(99011)=ch(99019)*(1-(ch(99007)+ch(99006))*0.01)-ch(99005)*0.01*(1-ch(99020))

ch(99012)=ch(99011)/((1-(ch(99005)+ch(99006)+ch(99007))*0.01)*ch(99019))

ch(99013)=(13000*ch(99012)-(17600-13000)/2*(1-ch(99012))*ch(99007)/ch(99005))

ch(99017)=ch(99010)/(1+ch(99012)*(1.1-1))*32/28.8*ch(99019)

ch(99018)=ch(99017)*ch(99013)

※ch(99018): 発熱速度[kW]

ch(99019)=20.9148/100

※ch(99019)=●●●/100の分子●●●は測定直前のO2 濃度(実験前に毎度打ち込む値)※再演算では、ch(99005)の測定開始直後の値を分子●●●とした

ch(99020)=0.219/100

※ch(99020)=●●●/100の分子●●●は測定直前の CO2 濃度(実験前に毎度打ち込む値)
※再演算では、訂正済の ch(99006)の測定開始直後の値を分子●●●とした
------発熱速度算定用演算式 END-------

確認実験のエタノール 1L およびノルマルヘプタン 2L の総発熱量(理論値)を下記に示す。

・エタノール 1L の総発熱量

燃焼熱 26.8MJ/kg×密度 0.790[kg/L]×使用量 1[L]=21.172[MJ]

・ノルマルヘプタン 2L の総発熱量

燃焼熱 44.6MJ/kg×密度 0.684[kg/L]×使用量 2[L]=61.013[MJ]

各々の燃焼熱は文献ⁱから引用し、エタノール密度は保管容器に記載されていた平均値を 使用し、ノルマルヘプタンの密度は Wikipedia から引用した。

以下に確認実験の結果を示す。発熱速度はガス分析のタイムラグを考慮し、excel データの着火合図、Marked から 27 秒後を発熱速度の着火とした。







図 3.2.5.2 2014/6/25 確認実験(0-Free-R-1 実験前)









(2) 重量変化

0-Free と E4-Free の実験では、50kg レンジのロードセル3台を使用して燃焼による重量変 化を測定した。ロードセルは3台すべて共和電業製 LUB-50KB(図 3.2.5.5)を使用した。ロード セル架台はフォークリフト等の荷役作業で使用するパレット上に 25mm 厚のセラミックウ ールを敷き、その上に 25mm 厚のケイ酸カルシウム板を設置して作成した。なお、ロード セルの接点を剛なものとするため、ロードセルとパレットの間に 3mm 厚の鋼板を挟み込ん だ。(参照: 3. 2. 6 試験体及び計測機器の設置状況)



図 3.2.5.5 共和電業製ロードセル LUB-50KB 共和電業 HP から引用

(3) 温度

各実験とも火炎形状の確認のため、着火点直上に熱電対ツリーを設置して温度を計測した。着火点直上温度を計測する熱電対ツリーは座面から 20cm 隔離した位置から 20cm 間隔で Free の実験は 10 点、Room の実験は天井面の都合により 9 点設置した。

Room の実験では煙層温度の確認のために、ISO9705 ルームコーナー試験装置の開口を入り右手前の角(壁面から 30cm 隔離)に熱電対ツリーを設置して温度を計測した。煙層温度を計測する熱電対ツリーは天井面から 20cm 間隔で 12 点設置した。また、非着火座席の表面温度を参考値として得るため、R の座面、背ずり、ヘッドレスト上部、背ずり背面及び C のヘッドレスト上部 L より(熱流計ヨコ)に熱電対を表地に差し込むように設置した。

熱電対はすべて坂口電熱製の ϕ 0.32 の CA 熱電対(ガラス被覆)を使用した。

(参照:3.2.6 試験体及び計測機器の設置状況)



図 3.2.5.6 CA 熱電対 (\$ 0.32、ガラス被覆) 坂口電熱 HP から引用

(4) 熱流束

Free の実験では火炎からの熱流束を試験体前方、着火点から水平距離 1m、高さは座面 (0-Free:36cm、E4-Free:40cm)とヘッドレスト上部(0-Free:100cm、E4-Free:120cm) の2箇所で計測した。座面の高さにおける熱流束はVATELL製の熱流計(水冷式ガードン型、 全熱タイプ)を使用し、ヘッドレスト上部における熱流束は CAPTEC 製の熱流計(水冷式平 板型、全熱・放射タイプ)を使用した。

Room の実験では火炎からの熱流束は計測せず、ISO9705 ルームコーナー試験装置内の上部に座席の燃焼により蓄積する煙層からの熱流束を CAPTEC 製の熱流計(水冷式平板型、全熱・放射タイプ)により計測した。熱流計の設置位置は火炎からの熱流束をできる限り拾わぬよう、また、煙層との距離が短く、煙層からの熱流束が最も受けやすいと考えられる非着火座席のヘッドレスト上部付近になるよう、非着火座席の L と C のヘッドレスト上部の間に上向きに設置した。

(参照:3.2.6 試験体及び計測機器の設置状況)



図 3.2.5.7 VATELL 製熱流計(右)と MCAPTEC 製熱流計(左)

(5) データ収集

重量変化及び温度、熱流束のデータ収集は発熱速度算定の際に使用したデータロガーと 同機種(横川電機製 MX100)を使用した。また、データは着火の最低2分前から、鎮火確 認1分を収集した。

(6) 画像及び映像記録

デジタルカメラにて実験前、実験中、実験後の状況を撮影した。また、1台の RICHO 製 デジタルカメラで実験中の状況を 20 秒間隔のインターバル撮影を行った。

デジタルビデオカメラにて実験中の状況を、2台の SONY 製デジタルビデオカメラで試験 体の斜め前方及び斜め後方から撮影した。

(参照:3.2.6 試験体及び計測機器の設置状況)
(7) 温湿度

各実験日の午前 10 時に実験棟内において TANITA 製の温湿度計(TT-532)が表示した温度及 び湿度を下記に示す。

- ·25 日 温度:23.9[℃]、湿度:78[%]
- ·26 日 温度:24.9[℃]、湿度:73[%]
- ・27日 温度:23.4[℃]、湿度:77[%]

3.2.6 試験体及び計測機器の設置状況

試験体及び計測機器の設置状況を次貢から示す。







3.2.7 実験結果

以下に実験結果を示す。

実験名	実験日	最大発熱速度[kW]	鎮火時間	備考
E4-Free	06/25	425	38分12秒	
0-Free-R-1	06/25	102	45分40秒	
0-Free-L-2	06/25	75	87分06秒	0-Free-1-R の鎮火確認後の約 10
				分後に同一座席で実験
0-Free-C-3	06/26	91	46分05秒	0-Free-2-L の鎮火確認後の約 18
				時間後に同一座席で実験
0-Free-L-4	06/26	72	42分09秒	コーンカロリーメーター試験
				のサンプリング座席で実験
0-Room-R-1	06/27	85	45分22秒	
0-Room-C-2	06/27	143	68分38秒	0-Room-1-R の実験後、約 30 分
				後に同一座席で実験

表 3.2.7.1 実験結果概要1

※鎮火時間は火炎が目視により確認できない状態となった時間。

表 3.2.7.2 実験結果概要 2-1

実験名	舌具亦化	火炎からの最大熱流束[kW/m²]			
	里里変化	座面	ヘッドレスト	ヘッドレスト	
	[Kg]	(全熱)	(全熱)	(放射のみ)	
E4-Free	-5.35	8.9	(4.5)	(5.8)	
0-Free-1-R	-1.96	2.1	2.4	2.7	
0-Free-2-L	-1.58	2.0	2.6	2.9	
0-Free-3-C	-2.29	4.0	4.1	4.5	
0-Free-4-L	-1.61	2.7	2.8	3.4	

※E4-Free のヘッドレストの熱流束は実験途中に over に表示になり、データが得られなかった。そのため、得られたデータの最大値をカッコ内に示す。

表 3.2.7.3	実験結果概要 2-2	2
-----------	------------	---

実験名	煙からの最大教	皇十価國沮産[∞]	
	ヘッドレスト(全熱)	ヘッドレスト(放射のみ)	取八陸層価及[0]
0-Room-R-1	2.2	2.3	194.8
0-Room-C-2	4.0	3.8	231.3















図 3.2.7.4 Bus-Free/Room 発熱速度(参考)







図 3.2.7.6 0-Free 重量変化



図 3.2.7.7 E4-Free 着火点直上温度



図 3.2.7.8 0-Free-R-1 着火点直上温度







図 3.2.7.10 0-Free-C-3 着火点直上温度



図 3.2.7.11 0-Free-L-4 着火点直上温度



図 3.2.7.12 0-Room-R-1 着火点直上温度



図 3.2.7.13 0-Room-C-2 着火点直上温度



図 3.2.7.14 0-Room-R-1 煙層温度



図 3.2.7.15 0-Room-C-2 煙層温度



図 3.2.7.16 E4-Free 熱流束



図 3.2.7.17 0-Free-R-1 熱流束











図 3.2.7.20 0-Free-L-4 熱流束







図 3.2.7.22 0-Room-C-2 熱流束

E4-Free 実験写真



図 3.2.7.23 実験前



図 3.2.7.24 実験前



図 3.2.7.25 実験中



図 3.2.7.26 実験中

実験前の座席の状況(表側)。 本来、座席に備わるフットレストはコーンカ ロリーメーター試験のサンプリング用に取 り外してある。 座席の前方に見える白色のボード(ケイ酸カ ルシウム板)に熱流計を設置。

実験前の座席の状況(裏側)。 本来、背ずり裏側に備わるブックスタンドは コーンカロリーメーター試験のサンプリン グ用に表地のみ取り外してある(座席裏側中 央付近に見える白色のボードが表地を取り 外した際にあらわになった樹脂製中板)

着火後 6 分 34 秒。 散布したエタノールが燃焼し、一旦燃焼が穏 やかになるも再び燃焼を開始。

着火後8分15秒。 座席の部材が溶融および滴下し、床面で燃焼。 E4-Free 実験写真



図 3.2.7.27 実験中



図 3.2.7.28 実験後



図 3.2.7.29 実験後



図 3.2.7.30 実験後

着火後 10 分 36 秒。

実験後の座席の状況(表側)。

実験後の座席の状況(座面)。

実験後の座席の状況(肘掛け)。

E4-Free 実験写真



図 3.2.7.31 実験後



図 3.2.7.32 実験後



図 3.2.7.33 実験後



図 3.2.7.34 実験後

実験後の座席の状況(側面)。

実験後の座席の状況(側面)。

実験後の座席の状況(ヘッドレスト)。

実験後の座席の状況(背面)。

0-Free-R-1 実験写真



図 3.2.7.35 実験前



図 3.2.7.36 実験前



図 3.2.7.37 実験中



図 3.2.7.38 実験中

実験前の座席の状況(表側)。

実験前の座席の状況(裏側)。

着火後 6 分 18 秒。

着火後9分39秒。

0-Free-R-1



着火後 10 分 14 秒。 座席の部材が溶融、滴下し床面で燃焼。

図 3.2.7.39 実験中



図 3.2.7.40 実験中



着火後 34 分 05 秒。 隣席の座面に着火。

図 3.2.7.41 実験中



図 3.2.7.42 実験中

着火後 41 分 04 秒。

座面の表地は有炎燃焼せず、それによって表 地が内部を保温するかのように内部の詰め物 (ウレタン)が緩やかに燃焼を継続。 0-Free-R-1 実験写真



実験後の座席の状況(表側)。

図 3.2.7.43 実験後



図 3.2.7.44 実験後



図 3.2.7.45 実験後

実験後の座席の状況(裏側)。

実験後の座席の状況(肘掛け)。

0-Free-L-2 実験写真



図 3.2.7.46 実験中



図 3.2.7.47 実験中

着火後1分36秒。 火炎がヘッドレストカバー(白色布地)に沿っ て進み、背ずり背面へ延焼。





図 3.2.7.49 実験中

着火後 10 分 51 秒。 C 寄りの背ずり側面が燃焼。 座面下から白煙が発生。

着火後3分57秒。

0-Free-L-2 実験写真



図 3.2.7.50 実験中



図 3.2.7.51 実験中



図 3.2.7.52 実験後



図 3.2.7.53 実験後

着火後 18 分 05 秒。

実験後の座席の状況(表側)。

実験後の座席の状況(裏側)。

0-Free-C-3 実験写真



図 3.2.7.54 実験前



図 3.2.7.55 実験中

実験前の座席の状況(表側)。

0-Free-R-1、0-Free-L-2の実験後、同じ座席を使 用して実験を行ったため、左右の座席は実験 後の状態となっている。

着火後0分50秒。



図 3.2.7.56 実験中



図 3.2.7.57 実験中

着火後 10 分 53 秒。

0-Free-C-3 実験写真



図 3.2.7.58 実験中



図 3.2.7.59 実験後



図 3.2.7.60 実験後



図 3.2.7.61 実験後

着火後 18 分 56 秒。

実験後の座席の状況(表側)。

実験後の座席の状況(座面と背ずり)。

実験後の座席の状況(裏側)。

0-Free-L-4 実験写真



図 3.2.7.62 実験前

図 3.2.7.63 実験前



図 3.2.7.64 実験中



図 3.2.7.65 実験中

実験前の座席の設置状況。 隣席の延焼確認の為、再度実験。コーンカロ リーメーター試験のサンプリング用の座席。 後に実施するコーンカロリーメーター試験の サンプリングの為に、座席 R へ延焼しないよ うにセラミックウールで保護。

実験前の座席の状況(裏側)。

着火後1秒。

133

0-Free-L-4 実験写真



図 3.2.7.66 実験中



図 3.2.7.67 実験中



図 3.2.7.68 実験中



図 3.2.7.69 実験中

着火後 2 分 29 秒。

着火後9分12秒。 座席下から大量の白煙が発生。

着火後 13 分 45 秒。 座席の部材が溶融および滴下し床面で燃焼し ている状況。

0-Free-L-4 実験写真



着火後18分43秒。 隣席の背ずりに着火し、一時的に火炎を上げ て燃焼するが、しばらくして自然鎮火。

図 3.2.7.70 実験中



図 3.2.7.71 実験後

図 3.2.7.72 実験後



図 3.2.7.73 実験後

実験後の座席の状況(表側)。

実験後の座席の状況(裏側)。

隣席の背ずり側面の状況。

ー度着火し火炎を上げて燃焼したが、表地と、 表地と詰め物(ウレタン)の間に設けられた布 地により詰め物(ウレタン)の着火には至らな かった。

0-Room-R-1 実験写真



図 3.2.7.74 実験前

図 3.2.7.75 実験前



着火座席は長手短手両壁面から 100mm 隔離 して設置。非着火座席はシートピッチを 940mmとして着火座席の前方に設置。燃焼に よる滴下等から床面を保護する為、座席下に 25mm 厚のケイ酸カルシウム板を敷設。

熱流計の設置状況。

非着火座席の C と L のヘッドレスト間に設置 し、熱流計付近の温度計測用に C のヘッドレ ストに熱電対を突き刺すように設置。



図 3.2.7.76 実験前

開口部付近の状況。

ISO9705 ルームコーナー試験装置の左角に煙 層温度計測用の熱電対、開口部外にビデオカ メラを設置。





図 3.2.7.77 実験前

0-Room-R-1 実験写真



図 3.2.7.78 実験前



図 3.2.7.79 実験前 ですり(着火側)に設置した熱電対。

ヘッドレストに設置した熱電対。

図 3.2.7.80 実験前



図 3.2.7.81 実験前

ISO9705 ルームコーナー試験装置外観。 ハンドフォーク上にビデオカメラを設置する ことで F.O.発生時のビデオカメラ撤去を容易 にした。

0-Room-R-1 実験写真



図 3.2.7.82 実験中



図 3.2.7.83 実験中



着火後3分25秒。 背ずりの表地を黒く焦がすものの、一旦火勢 が弱まる。



図 3.2.7.84 実験中

着火後9分43秒。

背ずりの詰め物(ウレタン)に延焼し、再び火勢 が強まると共に、開口部から噴出する黒煙量 が増加。





図 3.2.7.85 実験中

着火後9分57秒。 この後(着火後 10 分 36 秒)、85kW に達する。

0-Room-R-1 実験写真



図 3.2.7.86 実験中



図 3.2.7.87 実験後

着火後 17 分 39 秒。

火勢が弱まり、鎮火確認(着火後 45 分 22 秒) まで座面内部の詰め物(ウレタン)が緩やかに 燃焼を継続。

背ずりの状況。

背ずりの表地は側面と上部を残し、焼失して いる。詰め物(ウレタン)も焼失し、アルミ板が 煤の付着した状態で露出している。隣席は背 ずり上部を僅かに焦がす程度で着火に至らな かった。

肘掛周辺の状況。 (0-Room-C-2 の実験後に撮影) 肘掛の樹脂が熱により変形した。





図 3.2.7.89 実験後

背ずり背面の状況。 (0-Room-C-2 の実験後に撮影) 背ずりの上半分の表地が黒く炭化した。

0-Room-C-2 実験写真



図 3.2.7.90 実験中



図 3.2.7.91 実験中



着火後 4 分 37 秒。 再び火勢が強まる。

図 3.2.7.92 実験中



図 3.2.7.93 実験中

着火後4分54秒。 僅かに火勢が弱まる。

0-Room-C-2 実験写真



図 3.2.7.94 実験中



図 3.2.7.95 実験中



図 3.2.7.96 実験中



図 3.2.7.97 実験中

着火後 6 分 47 秒。 この後(着火後 7 分 3 秒)、61kW に達する。

着火後8分33秒。

着火後 9 分 49 秒。 隣席の背ずり側面に着火し火炎が上がる。

着火後 10 分 54 秒。

隣席の背ずり内部への延焼には至らず、火勢 が弱まる。

鎮火確認(着火後68分38秒)まで座面が有炎燃 焼と無炎燃焼(撮影位置からは火炎が確認で きない状態)を繰り返し、内部の詰め物(ウレタ ン)が緩やかに燃焼を継続。
0-Room-C-2 実験写真



着火座席全体の状況。 0-Room-R-1 に比べ燃焼が激しかった影響もあ り、座面前方まで延焼している。

一度着火し火炎を上げた隣席の背ずり側面は

隣席の背ずり側面の状況。

表地が炭化している。

図 3.2.7.98 実験後



図 3.2.7.99 実験後



背ずり下部の状況。 背ずり下部のアルミ板の一部が焼失している。





図 3.2.7.101 実験後

背ずり背面の状況。 表地が焼失して内部の枠組みが露出している。

3.2.8 総括

本実験において 0 系新幹線座席は着火座席の隣席への著しい延焼は確認できなかった。 一時的に隣席の表地に着火し火炎が上がることがあったが、しばらくすると表地が炭化し 鎮火に至った。最大発熱速度は4回の実験においての最大が 0-Free-R-1 で、102[kW]であっ た。車内と仮定したルームコーナー試験装置内での実験においても隣席への延焼は確認で きず、最大発熱速度は2回の実験においての最大が 0-Room-C-2 で 143[kW]であった。

E4 系新幹線座席の最大発熱速度は着火後 10 分 23 秒後に 425[kW]となった。この結果は、 昨年度に辻本研究室が実施したバスの2人掛け1脚の座席の発熱速度を上回る。また、E4 系新幹線のグリーン車の大部分は2人掛け1脚の座席が設置されており、仮にこの座席の 2人掛けが同時に燃焼に至れば、発熱速度がさらに大きくなることが考えられる。加えて、 E4 系新幹線は全車両2階建てであり、1階建ての一般車両と比較しても避難時間を要する ことから、今後、乗客の避難安全が確保されているか否かを確認する必要がある。

以上

参考文献

[†]James G. Quintiere 著 大宮喜文・若月薫 訳、『基礎 火災現象原論』、共立出版、2009

第4章

検証

4. 検証

4.1 検証目的

新幹線車両のように狭く、排煙設備がなく、窓の開かない密閉された空間の中で火災が 発生した場合、天井面からの煙の降下速度は一般の住宅等に比べて著しく早くなると考え られる。また、乗車人数の多い車両では人口密度が高く、狭い通路や扉を通り乗客が避難 する際には長時間の滞留が発生し、避難に多くの時間を要することが考えられる。更に、 高速度で走行する新幹線は、在来線に比べ完全に停止するまでに膨大な時間がかかること も考えられる。

このように、実際に走行中の車両内で火災が発生した場合に、天井面からの煙が人体に 影響を及ぼす高さまで降下するまでに乗客全員が安全に避難できるか検証することは、鉄 道車両の火災安全を考える上で重要である。本検証は、実際に使用されていた車両におけ る火災発生時の安全性を評価することを目的とする。

4.2 検証概要

検証は、過去に実際に0系新幹線が運用されていた山陽新幹線内を走行中に火災が発生 した場合の避難検証を行う。乗客の避難は、走行中の列車が安全に停止した後に避難を開 始し、乗客全員が車両外への避難することで避難完了とする。この時、避難の際に発生す ると考えられる乗客の座席と通路の合流地点での滞留及び乗客の避難時の心理状態は想定 することが困難なため、本検証においては考慮しない。

なお、本論文は0系新幹線の避難検証のみを行う。

4.3 検証方法

検証方法は、建設省告示第1441号(階避難安全検証法に関する算出方法を定める件)・を 参考に、車内で火災が発生した場合を想定して計算した避難時間と、3章2節の座席燃焼 実験によって得られた発熱速度の数値を用いて計算した煙降下時間を比較することで避難 検証を行い、安全性を評価する。

4.4 想定状況

座席の出火は、進行方向の先頭車の最後列 通路左側のシートの右側座席(図 4.4.1 参照) にて、3章2節の実験における着火方法と同様の方法の放火による出火を想定する。火災 発生時の乗客数は、出火座席を含む1シートの3席を除いた全席が満席(立席の乗客は本 検証では考慮しない)であることを想定し、定員(-3)名の72名とする。

火災の発生を想定する車両は、3項2節の0系新幹線の座席燃焼実験に用いられた D-23

形座席を搭載していた 0 系新幹線 1000 番台(~1981 年)の、博多寄り先頭車両、21 形車両と する。列車の走行速度は、当時の山陽新幹線の営業最高速度である、210[km/h]とする。

また、本来なら、車両内で火災が発生した場合、北海道旅客鉄道株式会社の列車火災時 の基本的な取扱い方の(4) 走行中の列車内での避難、誘導において、「イ 火災車両から 他の車両へお客様を避難させるときは、前位の車両に誘導するか、やむをえず、火災車両 の後位に誘導するときは、2両目以降にするなど、可能な限り離れた車両へ誘導すること。」 "と規定されているが、本検証は、先頭車両での火災であることと、先頭車両から後続の車 両以降への避難経路となる貫通路付近で火災が発生していることから、2号車への避難が 困難なため、列車の停止を余儀なくされる、最も危険なケースの検証を行う。なお、火災 発生位置を変えた、走行中の2号車以降の車両への避難検証も行う。



図 4.4.1 想定出火座席位置

以下に、0系新幹線 1000番台 21 形車両の詳細データを示す。

○0 系新幹線 1000 番台 21 形車両 データ ※

- ・営業最高速度:210[km/h]
- ・起動加速度:1.0[km/h/s]
- ・減速度:2.84[km/h/s] (常用最大)

3.90[km/h/s] (非常)

- ・全長: 25,150[mm]
- ・全幅:3,380[mm]
- ・全高:4,325[mm]
- ・定員:75人

	客室 (火災室)	博多寄りデッキ	新大阪寄りデッキ
床面積[m²]	46.61	3.21	12.58
天井高[mm]	2,305	2,305	2,305
出口幅[mm]	820	700	700
通路幅[mm]	600	-	-

表 4.4.1 21 形車両 床面積及び各寸法



図 4.4.2 0 系新幹線 1000 番台 21 形車両 詳細図面

4.5 避難時間の計算

建設省告示第 1441 号(階避難安全検証法に関する算出方法を定める件) 「を参考に、車内 で火災が発生した場合を想定した避難時間 *t_{escape}*を計算する。なお、避難時に発生すると 考えられる、乗客の座席と通路の合流地点での滞留及び乗客の避難時の行動心理について は、本避難計算では考慮しないこととする。

避難時間は、1)避難開始時間、2)歩行時間、3)滞留時間、4)非常用はしご設置 時間の4つに分けて計算する。

1) 避難開始時間 t_{start}

車両内で火災が発生し、非常ブザーが鳴動した場合、北海道旅客鉄道の火災安全マニュ アルにおいて、まず非常ブレーキをかけ列車を停止させる"と記載されている。また、高速 度で走行中の車両が非常ブレーキをかけている最中に混乱した乗客が転倒し二次災害に繋 がる恐れがあることも考えられるため、避難開始は列車が完全に停止してから行うものと する(乗客は列車停止まで着座)。そのため、避難開始時間は列車が完全に停止するまでの 時間とする。

走行中の列車が安全にかつ完全に停止するまでにかかる時間は、火災発生から運転士が 火災を検知し、ブレーキをかけるまでに要する時間(以下、空走時間)と、ブレーキをか けてから完全に停止するまでに要する時間(以下、停止時間)に分けることができる。

空走時間は、建設省告示第1441号(階避難安全検証法に関する算出方法を定める件)に おける居室の避難開始時間の算定式を用いて計算することとする。

空走時間
$$t = \frac{\sqrt{46.61}}{30} = 0.23[\min] = 13.8[s]$$

停止時間は、時速 210[km/h]で走行中の新幹線が安全に停止するまでの停止距離が約 2,300m であることから、等加速度運動の式により求めることができる。

$$v = v_0 + at$$
, $x = v_0 t + \frac{1}{2}at^2$

から

$$0 = 210 + at$$
 $(a = -\frac{210}{t})$

$$2.3 = 210t + \frac{1}{2}at^2$$

上式より、2.3 = 105t

停止時間 *t* = 0.0219 [h] ≒ 78.9 [s]

以上から、列車が安全に停止するために要する時間、すなわち避難開始時間 tstartは、

$t_{start} = 13.8 + 78.9 = 92.7[s]$

2) 歩行時間 t_{travel}

居室の出口に達するまでに要する歩行時間は、避難経路に沿った歩行時間を各部分ごと の歩行速度で除して求める。当該居室等の各部分から居室出口までの歩行経路の各部分ご との長さを図面等から読み取り、以下の式に示すように、各部分の種類及び避難方向に応 じて与えられる歩行距離を歩行速度で除した値を合計したものの最大値を求める。

一般的には、当該居室等の各部分から居室の出口までの歩行距離が最も長い地点にいる 避難者が、出口に到達するのに要する時間を計算することになる。

$$t_{travel} = \max\left(\sum \frac{l_l}{\nu}\right)$$

 t_{travel} 在室者が当該居室等の各部分から当該居室の出口の一に達するまでに要する歩行時間(分) l_l 当該居室等の各部分から当該居室の出口の一に至る歩行距離(m)

v 步行速度 (m/分)

避難経路における最長距離を図 4.5.1 に示す。座席部とそれ以外では歩行速度に差が出る ことが考えられるため、避難経路の歩行時間は座席部と座席部以外に分けて計算する。図 1.5.1.1 から、座席部の歩行距離は 1.370[m]、座席部以外の歩行距離は 15.780[m]となる。

座席部の歩行速度は、建設省告示第 1441 号(階避難安全検証法に関する算出方法を定める件)における歩行速度の、劇場その他これに類する用途-客席部分の歩行速度 30[m/分]、座席部以外の歩行速度は、同-階段及び客席部分以外の部分の歩行速度 60[m/分]を用いる。

以上から、歩行時間 t_{travel}を算定する。

$$t_{travel} = \left(\frac{1.370}{30} + \frac{15.780}{60}\right) = 0.31[\text{min.}] = 18.52[\text{s}]$$



3) 滞留時間 t_{queue}

避難者の滞留は、避難経路における各扉、及び列車乗降口から線路上へ降りる際に発生 すると考えられるため、居室の出口の通過に要する時間と乗客が車内から線路上へ降りる 際に要する時間を比較し、安全側の評価から多く時間を要するものを滞留時間とする。

居室の出口の通過に要する時間は、出口を通過する全ての在室者があらかじめ出口の前 に滞留している状態から、全員が出口を通過するまでに要する時間(すなわち、滞留の解 消時間)として、以下の式により求める。

B_{eff} 有効出口幅(m)

(1) 在室者の合計人数 $\sum pA_{area}$

今回は、出火座席を含む 1 シートの 3 席を除いた全席が満席の状態を想定するため、座 席数から在室者の人数は、 $\sum pA_{area} = 72[\Lambda]$ とする。

(2) 有効流動係数 N_{eff}

群衆流動係数とは、単位時間当たりに単位幅を通過する人数である。当該居室の出口に 面する部分(以下「避難経路等の部分」という。)の収容可能人数に応じ、それぞれ次の表 によって計算する。ただし、当該居室の出口の幅が 60cm 未満である場合においては、有効 流動係数*N_{eff}* = 0とする。

避難経路等の部分	避難経路等の部分の収容可能人数	有効流動係数	
当該居室の出口が	N = 00		
直接地上に通ずる場合		$N_{eff} = 90$	
その他の場合	$\Sigma \frac{A_{co}}{a_n} \ge \Sigma p A_{load}$ の場合	$N_{eff} = 90$	
	$\sum \frac{A_{co}}{a_n} < \sum p A_{load}$ の場合	$N_{eff} = \max\left(\frac{80B_{neck}\sum\frac{A_{co}}{a_n}}{B_{room}\sum pA_{load}}, \frac{80B_{neck}}{B_{load}}\right)$	

N_{eff} 有効流動係数 (人/分・m)

Aco 当該避難経路等の部分の各部分ごとの床面積(m²)

a_n 避難経路等の部分の区分に応じて定める1人当たりの必要滞留面積(m²)

p 在館者密度(人/m²)

A_{load}

- 当該居室の出口が面する避難経路等の部分を通らなければ避難することができない建築 物の部分ごとの床面積 (m^2)
- B_{neck} 当該居室の出口の幅又は当該居室の出口の面する避難経路等の部分の出口(直通階段又 は地上に通ずるものに限る。)の幅のうちどちらか小さい方のもの(m)
- Broom 当該居室の出口の幅(m)
- B_{load} 当該居室の出口の面する避難経路等の部分を通らなければ避難することができない建築 物の部分の当該避難経路等の部分に面する出口の幅の合計(m)

今回の場合、当該居室の出口が直接地上に通じていないため、避難経路等の部分の収容 可能人数を計算する必要がある。避難経路等の部分の区分に応じて定める1人当たりの必 要滞留面積は、廊下その他の通路の $a_n = 0.3[m^2]$ を用いる。

$$\begin{split} \sum \frac{A_{co}}{a_n} &= \frac{3.21}{0.3} = 10.7, \sum pA_{load} = 72 \\ \sum \frac{A_{co}}{a_n} &< \sum pA_{load}$$
 であるため、有効流動係数は、

$$N_{eff} &= \max\left(\frac{\frac{80B_{neck}\sum\frac{A_{co}}{a_n}}{B_{room}\sum pA_{load}}, \frac{80B_{neck}}{B_{load}}\right)$$
で算定する。

$$N_{eff} &= \max\left(\frac{80B_{neck}\sum\frac{A_{co}}{a_n}}{B_{room}\sum pA_{load}}, \frac{80B_{neck}}{B_{load}}\right) = \max\left(\frac{80 \times 0.70 \times 25.7}{0.82 \times 74.1}, \frac{80 \times 0.70}{1.40}\right) \\ &= \max\left(23.69, 40.0\right) = 40.0[\Lambda/分 \cdot m] \end{split}$$

(3) 有効出口幅 B_{eff}

今回の場合、貫通路における滞留時間を計算するので、貫通扉の幅 0.82[m]を有効出口幅 とする。

 $B_{eff} = 0.82[m]$

以上から、出口通過時間 tqueueを算定する。

$$t_{queue} = \frac{\sum pA_{area}}{\sum N_{eff} B_{eff}} = \frac{74}{40.0 \times 0.70} = 2.26[\text{min.}] = 135.6[\text{s}]$$

次に、乗客が車内から線路上へ降りる際に要する時間を計算する。緊急時に乗降口から 線路へ降りる際は、非常用はしご利用することとなっている。0系で使用されていた非常用 はしごの設置時間・1人あたりの避難所要時間の参考となるデータが見つからないため、 本検証では神戸市交通局 海岸線に備えられているもの¹を非常用はしごのモデルとして、 このはしごの設置時間・1人あたりの避難所要時間を用いて滞留時間の計算を行うことと する。

このはしごの1人あたりの避難所要時間が約3秒 %なので、滞留時間 tourueは、

$t_{aueue} = 72 \times 3 = 216[s]$

計算の結果を比較すると、乗客が車内から線路上へ降りる際に要する時間の方が長いため、こちらを滞留時間 *t*aueue とする。

4) 非常用はしご設置時間

列車が停止した後、乗務員が非常用はしごを設置するまでにも時間を要するため、避難 時間に加えることとする。

設置時間は、3)において述べたはしごの設置時間 60秒 を設置時間とする。

以上、1) ~4) を合計し、避難時間 t_{escape} を計算すると、

$$t_{escape} = 92.7 + 18.52 + 216 + 60 = 387.22[s]$$

4.6 煙降下時間の計算

4.6.1 計算方法

3章2節の自由空間における座席燃焼実験にて計測した発熱速度を用いて、非定常二層 ゾーンモデルによるシミュレーションソフト BRI2002^vにて、火災発生時に、車両内の各居室 の煙層下端高さが床面から 1.8m の高さまで降下するまでの煙降下時間を算定する。

計算は、実験値を用いた、出火原因を実験の着火方法と同様の方法による放火を想定した、着火後の初期発熱速度が大きいケースの煙降下時間(以下、実験値による煙降下時間) に加え、実験値から導出した火災成長率による火災成長モデルを用いた、着火後の初期発 熱速度の小さいケースの煙降下時間(以下、モデルによる煙降下時間)を計算し、出火後 の初期発熱速度の大きさの違いによる煙降下時間の変化についても考察する。

4.6.2 BRI2002 の概要^v

煙降下時間の計算に用いるシミュレーションソフト BRI2002 とは、避難安全性能評価に一 般的に利用される、非定常二層ゾーンモデルによるシミュレーションソフトである。二層 ゾーンモデルとは、図 4.6.2.1 に示すように、火災時の建物内空間の上部は温度の高い高温 層(上部層とも言う)、下部は相対的に温度の低い低温層(下部層ともいう)が存在すると 仮定し、それぞれの層を検査体積として火災に伴う物理的性状を調べるものである。

計算は、空間寸法、開口部、火源の設定として各時刻における発熱速度、燃焼面積、火 源の高さ等を入力することで、煙層下端高さ変化、高温層及び低温層の温度変化等を算出 できる。



図 4.6.2.1 二層ゾーンモデルの概念

4.6.3 計算条件

計算時間は、4.2で算出した避難時間である 387.22[s]を考慮し、0[s] - 480[s]とする。 実験値による煙降下時間の計算に用いる発熱速度は、計算の簡易化のため、実験値の発 熱速度のグラフを 20 点で近似し、近似した点における時刻と発熱速度を火源条件に入力し、 計算する。モデルによる煙降下時間に用いる発熱速度は、長岡 ^{vi}により提案された火災成長 モデル *Q*(*t*) = *Q*₀ · *e*^{vt}を用いて計算する。入力するデータは、実験値によるモデルと同様 に 20 点で近似し、近似した点における時刻と発熱速度を用いる。

燃焼面積は、入力した各時刻における発熱速度の値を、BRI2002 での単位面積当たりの発 熱速度の上限値である 1,000[kW/m²]で除したものを燃焼面積とする。また、火源の高さは、 試験体の座面の高さとする。

計算を行う室の設定は、4.2の図 4.2.2 で示した実際の新幹線車両の平面図から計測した寸法を用い、火災室である1号車の客室、避難経路となる1号車博多寄りのデッキの2つを設定する。なお、1号車新大阪寄りデッキと客室の間の貫通扉は、煙の流出を防ぐために閉め切っておくことを想定するため、計算を行う室は上記の2室とする。



図 4.6.3.1 計算を行う居室

4.6.4 火災成長モデルの概要"

モデルによる煙降下時間の計算に用いる火災成長モデル $\dot{Q}(t) = \dot{Q}_0 \cdot e^{\gamma t}$ は、指数関数を 用いたモデルである。このモデルは、可燃物の燃焼現象を、図 4.6.4.1 に示すように、初期 成長期、定常燃焼期、減衰期に分けて考え、定常燃焼期における発熱速度を可燃物の最大 発熱速度 \dot{Q}_{max} と定義したとき、出火直後の初期発熱速度 \dot{Q}_0 から最大発熱速度 \dot{Q}_{max} まで の火災の成長を、可燃物ごとに異なる火災成長率 γ でモデル化したもので、単位時間で発 熱速度が $e^{\gamma \cdot \Delta t}$ 倍になることを意味している。



 $\dot{Q}_{0} \qquad \dot{Q}_{0} \cdot e^{\gamma \Delta t} \qquad (\dot{Q}_{0} \cdot e^{\gamma \Delta t}) \cdot e^{\gamma \Delta t}$ $\overrightarrow{\Delta t} \qquad \overrightarrow{\Delta t}$

図 4.6.4.2 火災成長モデル

4.6.5 火災成長率γの導出^{vi}

火災成長モデルにおける可燃物の火災成長率γの導出方法を示す。

まず、火災成長モデル $\dot{Q}(t) = \dot{Q}_0 \cdot e^{\gamma t}$ の式において、 $\dot{Q}_0 = e^c$ (c は定数) と置き、

 $\dot{Q}(t) = e^{\gamma t + c}$

とする。両辺の対数をとると、

 $log \dot{Q} = \gamma t + c$

となる。この式において、発熱速度の対数 $log \dot{Q}$ は時間 t に対して線形の関係にあり、横軸 を t とし、縦軸を $log \dot{Q}$ としてグラフを書けば、その傾きから定数 y を求めることができる。

γの導出には、3.2の自由空間における座席燃焼実験において計測した各試験体の発 熱速度のグラフを用いる。発熱速度のグラフのγ軸を対数軸とし、着火に用いたエタノール の燃焼が落ち着いた後の火災成長の部分の近似直線の傾きから、火災成長率γを導出する。

以下に、各試験体のグラフから導出した火災成長率γを示す。







図 4.6.5.2 試験体 0-Free-L-2 の火災成長率 γ







図 4.6.5.4 試験体 0-Free-L-4 の火災成長率 γ

4.6.6 計算に用いる発熱速度の比較

煙降下時間の計算に用いる、実験により得られた各試験体の発熱速度を 20 点で近似した ものと、4.6.5において導出した火災成長率 γ を用いた火災成長モデルによる各試験 体の発熱速度のグラフを以下に示す。なお、火災成長モデル $\dot{Q}(t) = \dot{Q}_0 \cdot e^{\gamma t}$ における初期 発熱速度 \dot{Q}_0 に、実際の燃焼現象ではないが、十分小さな値として 1.0kW を用いる。また、 最大発熱速度 \dot{Q}_{max} に、各試験体の実験値における着火に用いたエタノールの燃焼が収まっ た後に記録された最大発熱速度を用いることとし、 \dot{Q}_{max} 以降は、発熱速度は減衰していく が、防災上安全側の評価として、一定とすることとする。



図 4.6.6.1 試験体 0-Free-R-1 発熱速度比較



図 4.6.6.2 試験体 0-Free-L-2 発熱速度比較



図 4.6.6.3 試験体 0-Free-C-3 発熱速度比較



図 4.6.6.4 試験体 0-Free-L-4 発熱速度比較

4.6.7 計算結果

4.6.6において示した発熱速度を用いて、BRI2002により計算した各試験体の煙層下端高さの推移と、煙降下時間を以下に示す。



図 4.6.7.1 試験体 0-Free-R-1 煙層下端高さ



図 4.6.7.2 試験体 0-Free-L-2 煙層下端高さ



図 4.6.7.3 試験体 0-Free-C-3 煙層下端高さ



図 4.6.7.4 試験体 0-Free-L-4 煙層下端高さ

4.7 検証結果

4.5において計算した避難時間と、4.6.7において計算した各試験体の煙降下時間を比較すると、どの煙降下時間も避難時間に比べ著しく短いという結果となった。また、 実験値による煙降下時間と、モデルによる煙降下時間を比較すると、実験値における、着 火に用いたエタノールが燃焼している時間において急激に煙が発生しているということが わかった。

4.8 3号車への避難検証

4.8.1 検証目的

4.1~4.5において、隣接車両への貫通路付近で火災が発生し、やむを得ず列車 を急停止させた場合の避難検証を行った。その結果、車内で座席による火災が発生した場 合、避難者に煙暴露による危険が生じるということがわかった。ここで、出火する座席位 置を変えて、4.4で述べた、走行時に避難者を後続車両以降(本検証においては3号車) へ避難させる時の避難検証を行い、既存の避難誘導方法の安全性を評価することを目的と する。

4.8.2 想定状況

基本的な想定状況は、4.4と同様とする。想定する出火座席のみ、進行方向の先頭車の最前列通路左側のシートの右側座席(図4.8.2.1参照)に変更する。

図 4.8.2.1 想定出火座席位置

4.8.3 避難時間の計算

4.5と同様に、乗客の避難に要する避難時間 *t_{escape}*を計算する。避難時間は、1)避 難開始時間、2)歩行時間、3)滞留時間の3つに分けて計算する。

1) 避難開始時間 t_{start}

乗客が避難を開始する時間は、建設省告示第1441号(階避難安全検証法に関する算出方 法を定める件)における、居室の避難開始時間の算定式を用いて計算する。

$$t_{start} = \frac{\sqrt{46.61}}{30} = 0.23[\text{min.}] = 13.8[\text{s}]$$

2) 歩行時間 t_{travel}

4.5の2)と同様に、図面から歩行距離を読み取り、歩行速度を設定して、居室の出 ロに達するまでに要する歩行時間を求める。

座席部の歩行距離は 1.370[m]、座席部以外の歩行距離は 42.695[m]となる。座席部の歩行 速度は、建設省告示第 1441 号(階避難安全検証法に関する算出方法を定める件)における歩 行速度の、劇場その他これに類する用途-客席部分の歩行速度 30[m/分]、座席部以外の歩行 速度は、同-階段及び客席部分以外の部分の歩行速度 60[m/分]を用いる。

以上から、歩行時間 t_{travel}を算定する。

$$t_{travel} = \left(\frac{1.370}{30} + \frac{42.695}{60}\right) = 0.76[\text{min.}] = 45.6[\text{s}]$$

3) 滞留時間 t_{queue}

避難者の滞留は、建設省告示第1441号(階避難安全検証法に関する算出方法を定める件) における、居室の出口の通過に要する時間の算定式を用いて計算する。

(1) 在室者の合計人数

今回は、1号車のみ出火座席を含む1シートの3席を除いた全席が満席、2号車と3号車は満席の状態を想定するため、座席数から在室者の人数は、 $\sum pA_{area} = 172[\Lambda]$ とする。

(2) 有効流動係数 N_{eff}

今回の場合、当該居室の出口が直接地上に通じていないため、避難経路等の部分の収容 可能人数を計算する必要がある。避難経路等の部分の区分に応じて定める1人当たりの必 要滞留面積は、廊下その他の通路の $a_n = 0.3[m^2]$ を用いる。

$$\sum \frac{A_{co}}{a_n} = \frac{12.58 + 12.45 + 61.70 + 3.21 + 3.21}{0.3} = 310.5, \sum pA_{load} = 72 + 100 = 172$$
$$\sum \frac{A_{co}}{a_n} > \sum pA_{load}$$
であるため、有効流動係数は、 $N_{eff} = 90$ とする。

(3) 有効出口幅Beff

今回の場合、避難経路における全ての出口幅が同じであるため、出口の幅をそのまま有 効出口幅とする。

 $B_{eff} = 0.82[\text{m}]$

以上から、出口通過時間 tqueueを算定する。

$$t_{queue} = \frac{\sum pA_{area}}{\sum N_{eff} B_{eff}} = \frac{172}{90.0 \times 0.82} = 2.33[\text{min.}] = 139.8[\text{s}]$$

以上、1) ~ 4) を合計し、避難時間 t_{escape} を計算すると、

$$t_{escape} = 13.8 + 45.6 + 139.8 = 199.2[s]$$

4.8.4 煙降下時間の計算

4.6と同様に、火災発生時に、車両内の各居室の煙層下端高さが床面から 1.8m の高さ まで降下するまでの煙降下時間を算定する。

計算方法、計算条件、計算に用いる発熱速度は4.6と同様とする。計算する居室のみ、 1号車客室、1号車新大阪寄りデッキ、2号車博多寄りデッキ、2号車客室、2号車新大 阪寄りデッキ、3号車博多寄りデッキ、3号車客室の7箇所とする。

以下に、BRI2002 により計算した各試験体の煙層下端高さの推移と、煙降下時間を以下に 示す。







図 4.8.4.2 試験体 0-Free-R-1 モデル 煙層下端高さ







図 4.8.4.4 試験体 0-Free-L-2 モデル 煙層下端高さ







図 4.8.4.6 試験体 0-Free-C-3 モデル 煙層下端高さ







図 4.8.4.1 試験体 0-Free-L-4 モデル 煙層下端高さ

4.8.5 検証結果

計算の結果、避難先である3号車客室の煙層下端高さは、少なくとも計算時間の上限に 設定した480秒までは1.8m以上を保つことが出来ている。しかし、放火によるケースでは、 避難経路となる避難経路となる1号車新大阪寄りデッキと2号車博多寄りデッキの煙降下 時間が、初期発熱速度を小さくしたケースでは、1号車新大阪寄りデッキの煙降下時間が、 それぞれ避難時間の199.2[s]より、短い結果となった。

4.9 検証結果の考察

列車を停止させて避難するケースにおいては、初期発熱速度を小さく設定したモデルの 煙降下時間が 100 秒前後であることから、出火時の火災の大きさに依らず、走行中の車内 において座席による火災が発生した場合、多くの乗客に煙暴露による危険性が生じる可能 性があるということが考えられる。また、走行時に避難者を後続車両以降へ避難させるケ ースにおいては、避難経路となる空間の小さなデッキにおける煙降下時間が、避難終了に 要する時間より短いという結果となったため、一部の乗客に煙暴露による危険性が生じる 可能性があるということが考えられる。特に、放火によるケースでは1号車新大阪寄りデ ッキでの煙降下時間が著しく早いため、多くの乗客への危険性が考えられる。

参考文献

¹ 国土交通省住宅局建築指導課他、『2001 年版 避難安全検証法の解説及び計算例とその解説』平成 13 年 3 月、井上書院

[&]quot;北海道旅客鉄道株式会社「トンネル内における列車火災時の処置手順(抜粋)」平成23年9月

⁽http://www.jrhokkaido.co.jp/corporate/safe/pdf_04/report201109_05-3.pdf)

III Wikipedia「新幹線 0 系電車」ページ

⁽http://ja.wikipedia.org/wiki/%E6%96%B0%E5%B9%B9%E7%B7%9A0%E7%B3%BB%E9%9B%BB%E8%BB%8A) [™]神戸市 HP、「市営地下鉄海岸線に新型非常用はしごの設置が完了しました」ページ、平成 26 年 3 月 (http://www.city.kobe.lg.jp/information/press/2014/03/20140331706701.html)

^{*} 社団法人 建築研究振興協会「二層ゾーン建物内煙流動モデルと予測計算プログラム (CD-ROM 付)」平成 15年2月

[№] 長岡勉、「避難路の安全性評価に資する可搬可燃物の着火性と火災成長モデルに関する研究」東京理科大 学国際火災科学研究科火災科学専攻博士論文、平成 26 年 3 月

第5章

結論

5. 結論

走行中の新幹線車内で、座席への放火を想定した場合の避難検証の結果から、避難時間 に対してどの煙降下時間も短い結果となったため、新幹線車両内への開閉可能な開口部や、 有効な排煙設備の設置を検討すべきであると考えた。また、実験値による煙降下時間とモ デルによる煙降下時間を比較すると、実験にて着火に用いたエタノールが燃焼している時 間において、急激に発生していることが考えられるため、車内で大きな燃焼が起こらない ように配慮することが重要な課題である。これについては、空港の航空機搭乗前の乗客の 手荷物検査等を行うことにより、可燃物類の持ち込みを制限することで、放火のような大 規模な火災を防ぐことが可能であると考えた。

既存の避難誘導方法を想定した走行時に避難者を後続車両以降へ避難させるケースの避 難検証の結果から、避難経路となる一部のデッキにおける煙降下時間が避難時間を上回っ ていることから、座席への放火等による火災を考慮した、車両内での緊急時のマニュアル、 乗務員の体制、対応及び避難誘導方法等を見直す必要がある。

また、本研究では空間による燃焼の変化には取り組めていないため、フラッシュオーバ ーの発生予測を考慮した避難検証を行うことが、今後の課題となる。

謝辞

本研究にあたり、辻本先生、西田先生にはご指導頂き、大変感謝しております。辻本先 生には、研究で詰まった時、厳しいながらも適切なアドバイスを頂き、とても助かりまし た。

そして、実験の計画・実施から、私の研究まで1年間面倒みてくださった亀岡さんには、 とても感謝しております。未熟な私が本論文を書き上げることができたのは、亀岡さんの ご尽力があってこそだと思っております。

また、火災成長率の導出方法をご教授なさってくれた長岡さん、お忙しいところとても 丁寧に教えてくださって、深く感謝しております。

2015 年 2 月 清水 滉平

辻本研究室 5110036 清水 滉平

1. 研究背景と目的

現在、鉄道車両の各部位に使用される材料は、過去の 列車火災事故等を踏まえて、幾度となく改正及び強化が なされてきた火災対策基準によって規制されている。現 行の火災対策基準では、部材の材料をそれぞれ個別に試 験を行い燃焼性の評価を行っている¹⁾。そのため、一定の 評価を受けた材料でも、車内のように空間の制限や各種 材料が複合的に存在する空間においては急速な発熱が起 こり、大規模な燃焼を引き起こす可能性が考えられる。 特に座席は、アルミのような不燃物を採用しない限り、 一定の燃焼を想定せざるを得ない。高速度で走行中の列 車内において火災が発生した場合、車両を安全に停止さ せた上で乗客全員が安全に避難することができるかを検 証することは、火災安全性を確認するうえで必要となる。

本論文は、実際の新幹線に設置されていた座席を用い た燃焼実験を行い、走行中の車内で火災の発生を想定し、 乗客が車両外へ安全に避難できるかを検証し、火災安全 性を評価することを目的とする。

2. 研究方法

過去に実際に使用されていた旧国鉄 0 系新幹線の座席 を用いた燃焼試験により、着火座席の発熱速度を計測し、 避難安全検証法を参考とした計算方法で算出した避難時 間と、二層ゾーンモデルによるシミュレーションソフト BRI2002 にて実験値を用いて算出した煙降下時間を比較す る方法で、走行中の出火を想定し、安全に車両外へ避難 できるかを検証する。

3. 座席燃焼実験

3.1 実験目的

自由空間において 0 系新幹線座席に着火し、座席の発 熱速度を計測し、車内での避難計算にあたり、居室内の 煙降下時間を算定するための基礎データとする。

3.2 実験方法

図-1に自由空間での試験体設置状況を示す。着火方 法は、座席に新聞紙を立てかけ、設置した新聞紙(40 頁分) 上部の背ずりの上から下に満遍なくアルコール 400ml を かけ、新聞紙に着火棒を用いて着火する^[注1]。





3.3 実験結果

図-2に自由空間での 0 系新幹線座席の発熱速度を、 示す。最大発熱速度は、着火する座席位置を変えた4回 の実験においての最大値が、1シート目の右側の座席に 着火した 0-Free-R-1の実験で、102[kW]であった。



図−2 自由空間での0系新幹線座席の発熱速度

4. 避難検証

4.1 検証概要

3節の座席燃焼実験によって得られた発熱速度を用い て、実際に走行中の新幹線車内での火災を想定した避難 検証を行い、安全性を評価する。火災の出火原因は、3. 2の実験方法と同様の方法による放火とする。火災は、 車両が0系新幹線の営業最高時速である210[km/h]で走行 中に図-3に示す座席にて出火することを想定する。本来、 車両内で火災が発生した際、乗客を出火車両に隣接する 車両へ避難誘導することになっている^[注 m]が、本検証は先 頭車の隣接車両への貫通扉付近で火災が発生し、隣接車 両への避難が困難なため、列車外への避難を余儀なくさ れる、最も危険なケースの検証を行う。車内の乗客数は、 出火座席以外が満席(定員75名から3名を除いた72名)と する。



図-3 0系新幹線 21 形車両平面図と想定出火座席位置

4.2 検証方法

検証は、避難安全検証法²による避難終了時間の計算方 法を参考に算出した避難時間と、1)実験値を用いて BRI2002 により算出した煙降下時間、2)実験値より導い た火災成長率 y を使用した火災成長モデル^[注 ii]を用いて BRI2002 により算出した煙降下時間の2つの煙降下時間を 比較する方法で行う。

4.3 避難時間の算定

乗客の座席からの避難は、非常ブザー等鳴動の場合の マニュアル^(注 iii)を参考にし、列車が完全に停止してから開 始することとする。走行中の列車が安全に停止するまで に要する時間を計算すると、*t_{start}* = 92.7[秒]となる。

次に、歩行時間を計算する。本検証における最長避難 経路を図-3にて示す。座席部の歩行速度を 30[m/分]、そ
の他の歩行速度を 60[m/分]として歩行時間を計算すると、 t_{travel} = 18.52[秒]となる。

次に、滞留時間を計算する。滞留は、列車の乗降口から非常用はしごを利用して線路上へ降りる際に発生すると考えられる。ここで、非常用はしごのモデルとして神戸市交通局 海岸線に備えられている非常用はしごを用いる。この非常用はしごにおける避難所要時間(3 秒/人)⁴⁾から、滞留時間を計算すると、t_{queue} = 216[秒]となる。

最後に、非常用はしごの設置にかかる時間(60[秒]⁴)を加 え、避難時間を計算すると、t_{escape} = 387.22[秒]となる。

4.4 煙降下時間の算定

車内で座席による火災が発生した場合に、煙層が床面 から 1.8m に到達するまでの煙降下時間を算定する。なお、 本稿では試験体 0-Free-R-1 の煙降下時間のみを報告する。

4.4.1 実験値を用いた BRI2002 による煙降下時間 の算定

BRI2002 を用いて、煙層下端高さの時間変化を予測する。 計算時間は、避難終了時間を考慮し、0[s]~480[s]とする。 火源条件の発熱速度は、3節の座席燃焼実験で得られた 発熱速度のグラフを0[s]~480[s]の間において20点で近似 させ、その点の時刻に対応する発熱速度を入力した。シ ミュレーション結果である、煙層下端高さの推移と煙降 下時間を示したグラフを、4.4.2の結果と合わせて 図-4に示す。



図-4 煙層下端高さ

4.4.2 火災成長モデルを用いた BRI2002 による煙 降下時間の算定

長岡³により提案された火災成長モデルを用いて、4. 4.1と同様に煙層下端高さの時間変化を予測する。なお、この火災成長モデルに関しては出火原因を設定せず、できる限り小さな出火を想定し、放火のような大規模な 出火のケース(実験値)の煙降下時間との比較対象とする。

まず、火災成長率γの導出方法を示す。実験により得られた発熱速度のグラフのγ軸(発熱速度)を対数軸とし、 座席自体の火災成長が見られる部分の近似曲線の傾き

 $(\dot{Q} = \dot{Q}_0 \cdot e^{\gamma t})$ から、火災成長率 $\gamma を = 1$ はした。図-5において、導出した火災成長率 γ を示す。(太字斜線部)

実際の燃焼現象ではないが、仮に出火時の初期発熱速 度**q**₀を十分小さな 1.0kW として、導出した火災成長率γ を代入し、t=480[s]までの発熱速度を求め、4.4.1と 同様に BRI2002 により煙層下端高さの時間変化を計算する。



図-5 発熱速度と火災成長率 y

4.5 検証結果の考察

実験値と、火災成長モデルの煙降下時間を比較すると、 実験値の発熱速度のグラフにおける着火に用いたエタノ ールにより火災が成長していると考えられる時間におい て、急激に煙層が降下していることが分かる。

また、火災成長モデルの煙降下時間が 100 秒前後であ ることから、出火時の初期発熱速度に関わらず避難時間 に比べて煙降下時間が著しく短いということが分かった。 この結果は、実際に車内で座席の出火による火災が発生 した場合、多くの乗客に煙暴露による危険性が生じる可 能性があるということを示している。

5. 結論・今後の研究課題

避難時間に対し、どの煙降下時間も著しく短いため、 車内への有効な排煙設備の設置の検討や、車内で大きな 燃焼が起こらないよう配慮することが重要な課題となる。 また、座席への放火等による火災を考慮した、車両内で の緊急時のマニュアル、緊急時の乗務員の体制、対応及 び避難誘導方法等を見直す必要があると考えられる。

新幹線乗車の際の乗客の手荷物に関して、可燃物類の 持ち込み制限をかけることで、実験のような放火による 火災を防ぐことが可能であると考えた。

また、このような火災が長大なトンネル内で発生した 場合、車両外からトンネル外へ乗客全員が安全に避難す ることができるかの検証も行うべきであると考えている。

なお、空間による燃焼の変化には本研究では取り組め ていないため、今後検討の余地がある。

注釈

i) 1973(昭和 48)年に鉄道技術研究所が狩勝実験線において実施した列 車火災試験の内の、試験2に用いた着火方法

ii) 長岡勉、「避難路の安全性評価に資する可搬可燃物の着火性と火災 成長モデルに関する研究」にて提案された火災成長モデル($\dot{Q}(t) = \dot{Q}_0 \cdot e^{\gamma t}$)

iii) 北海道旅客鉄道株式会社「トンネル内における列車火災時の処置 手順(抜粋)」及び「緊急時のお客様避難誘導マニュアル(抜粋)」

参考文献

- 地下鉄道の火災対策検討会、『地下鉄道の火災対策検討会報告書』 平成 16 年 3 月
- 2) 国土交通省住宅局建築指導課他、『2001 年版 避難安全検証法の 解説及び計算例とその解説』平成 13 年 3 月、井上書院
- 3) 長岡勉、「避難路の安全性評価に資する可搬可燃物の着火性と火災成長モデルに関する研究」東京理科大学国際火災科学研究科火災科学専攻博士論文、平成26年3月
- 神戸市 HP、「市営地下鉄海岸線に新型非常用はしごの設置が完了 しました」ページより
 (http://www.city.kob.a.ks.in/information/procs/2014/02/201402217067

(http://www.city.kobe.lg.jp/information/press/2014/03/201403317067 01.html)