平成 26 年度
修士論文

車両内可燃物制限の火災安全上の設計法

2015 年 3 月

東京理科大学
国際火災科学研究科
火災科学専攻
辻本研究室

亀岡　晃
（学籍番号：K113602）

目 次

第１章　　序論 1
１．１　研究の背景と目的 2
１．２　論文の構成 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
参考文献 13
第２章　　既往の鉄道車両の燃焼実験 14
２．１　日本における鉄道車両の燃焼実験 15
２．２　米国における鉄道車両の燃焼実験 28
２．２．１　フェーズⅠ 28
２．２．２　フェーズⅡ 43
２．２．３　フェーズⅢ 60

第３章　　実験 66
３．　実験 67
３．１　0 系および E4 系新幹線座席のコーンカロリーメーター試験 67
３．１．１　実験目的 67
３．１．２　実験日および実験場所 67
３．１．３　コーンカロリーメーター試験装置について 67
３．１．４　実験手順 68
３．１．５　測定項目 69
３．１．６　試験体 69
３．１．７　実験結果 72
３．１．８　着火限界熱流束 91
参考文献 96
３．２　0 系および E4 系新幹線座席の表地の着火温度測定 97
３．２．１　実験目的 97
３．２．２　実験日および実験場所 97
３．２．３　実験方法および実験装置について 97
３．２．４　試験体 99
３．２．５　実験手順 99
３．２．６　測定項目 100
３．２．７　実験条件 100
３．２．８　実験結果 101

３．３　0系およびE4系新幹線座席の燃焼実験 110
３．３．１　実験目的 110
３．３．２　実験日および実験場所 110
３．３．３　実験従事者（敬称略） 110
３．３．４　試験体 111
３．３．５　着火方法 111
３．３．６　測定項目 112
３．３．７　試験体および計測機器の設置状況 119
３．３．８　実験結果 124
３．３．９　総括 157
第４章　　フラッシュオーバーの推定 159
４．１．火炎のモデル化(火炎からの放射熱流束) 160
４．２．煙層からの放射熱流束 172
４．３．熱伝導計算による着火時間の推定 178

第１章

序論

１．序論

１．１　研究の背景と目的

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[1)]によって規制されている。ところが、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火災が発生した。この火災では、火災対策基準において難燃性と規定されている座席表地からアルミ製部材まで車内は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。その為、一定の評価を受けた材料でも車内のように各種材料が複合的に存在し、材料試験と異なる空間においては出火後に前述の火災のような大規模の燃焼が生じることが考えられる。

そもそも車内の座席は、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。その場合、トンネル内や寝台車等の避難に時間を要する状況において、燃焼がどのような境界条件で始まるかを決め、その条件下で車内の燃焼がどのように進展するかを予測できることが火災安全性を確認する上で必要となる。特に、車内で燃焼が急速に進展するフラッシュオーバーが発生するような事態では、隣接車両への延焼危険も飛躍的に高まり､乗客の安全を大きく左右すると考えられることから、フラッシュオーバーが発生するか否かの予測は重要である。

そこで本論文は、実際の新幹線に設置されていた座席を用いて各種の実験を行い、車内と仮定したルームコーナー試験装置におけるフラッシュオーバーの有無を予測した。

１．２　論文の構成

本論文は第一章から第四章で構成し、各章の概要は下記の通りである。

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、第三章で実施するフラッシュオーバーの予測に必要な各種の実験への足がかりとした。第三章では、車内におけるフラッシュオーバーの予測に必要な、コーンカロリーメーター試験、着火温度測定、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、第三章の実験結果から車内と仮定したルームコーナー試験装置におけるフラッシュオーバーの有無を予測した。

１．３　近年の鉄道火災

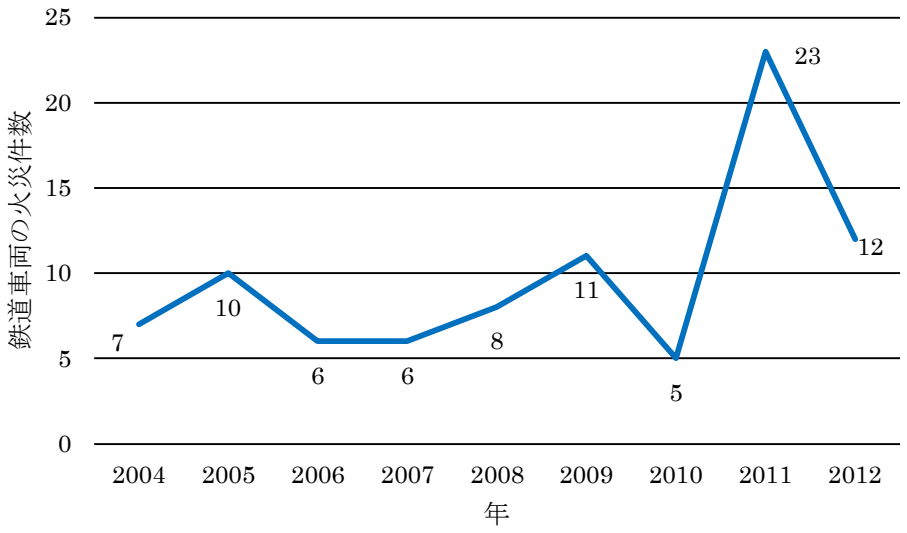


表 1.3.1　近年の鉄道車両の火災件数

表 1.3.1 は総務省消防庁の火災報告電子データにより作成した、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、本論文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[1)]（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解釈基準の、鉄道車両の火災対策に関わる部分を示す。なお、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箇所である。

鉄道に関する技術上の基準を定める解釈基準[2)]（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おそれのある機器に近接または接続するもの	極難燃性（不燃性を含む。以下に同じ。）の材料で覆われていること。
	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。
電気機器	アークを発生または発熱するおそれのある機器	床壁等から隔離し、必要に応じその間に絶縁性かつ不燃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。

<table>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">部 位</td><td rowspan="2">一般旅客車</td><td rowspan="2">地下鉄等旅客車及び新幹線旅客車</td><td colspan="6">特殊鉄道（備考 10）</td></tr>
<tr><td></td><td>モ</td><td>ア</td><td>ム</td><td>サ</td><td>フ</td></tr>
<tr><td rowspan="5">屋根</td><td rowspan="2">屋 根（備考 1）</td><td colspan="2" rowspan="2">金属製又は、金属と同等以上の不燃性(備考 2)</td><td>不燃性</td><td>○</td><td>モ準</td><td></td><td></td><td>モ準</td></tr>
<tr><td>金属製又は金属と同等以上の不燃性</td><td></td><td></td><td>○</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>屋 根上面</td><td colspan="2">難燃性の絶縁材料で覆われていること（架空電車線（特高圧の電車線を除く）区間を走行する旅客電車に限る）</td><td></td><td>○</td><td>○</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>屋 根上 面に 取り 付け られ た機 器及 び金 具類</td><td colspan="2">取付部が車体に対して絶縁され、又は表面が難燃性の絶縁材料により覆われていること（架空電車線（特高圧の電車線を除く）区間を走行する旅客電車に限る）</td><td></td><td>○</td><td>○</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="2">外板</td><td>妻部</td><td>難燃性表面の塗装(備考６)には不燃性の材料を使用すること。</td><td>不燃性表面の塗装（備考６）には不燃性の材料を使用すること。</td><td>○</td><td>モ準</td><td></td><td></td><td>モ準</td></tr>
<tr><td>妻 部以外</td><td>不燃性又は表面が不燃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。</td><td>不燃性表面の塗装（備考６）には不燃性の材料を使用すること。</td><td>○</td><td>モ準</td><td></td><td></td><td>モ準</td></tr>
</table>

	天井	不燃性又は表面が不燃性の材料で覆われたもの(備考 3)であり、表面の塗装(備考 7)には不燃性の材料を使用すること。	不燃性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。（備考 5）表面の塗装（備考 6）には不燃性の材料を使用すること。	不燃性　表面の塗装（備考 6）には不燃性の材料を使用すること。	地準	○（備考 4）			地準
客室	内張	不燃性又は表面が不燃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。	不燃性　表面の塗装（備考 6）には不燃性の材料を使用すること。		○	モ準			モ準
断熱材及び防音材			不燃性		○	モ準			モ準
床	床	煙及び炎が通過するおそれの少ない構造			○	モ準			モ準
	床の上敷物	難燃性			○	モ準			モ準
	床上敷物下の詰め物（備考 7）		極難燃性		○	モ準			モ準

	床板		金属製又は金属と同等以上の不燃性（備考2）		○	モ準			モ準
	床下面（備考8）	不燃性又は表面が金属で覆われたもの	不燃性又は表面が金属で覆われたもの、かつ表面の塗装（備考6）は不燃性	表面の塗装（備考6）は不燃性	○	モ準			モ準
床下の機器箱（備考9）			不燃性、ただし、絶縁の必要がありやむを得ない理由がある場合は難燃性		○	モ準			モ準
座席	表地	難燃性						○	
	詰め物		難燃性		○	モ準			モ準
	下方に電熱器を設けている場合		発熱体と座席の間に不燃性の防護板を設ける		○	モ準			モ準
日よけ	日よけ	難燃性			普準	普準	普準	普準	普準
ほろ	ほろ		難燃性		○	○			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Ｉにより、次表の規格による

鉄道車両用材料の燃焼性規格

区分	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

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Ⅰ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。

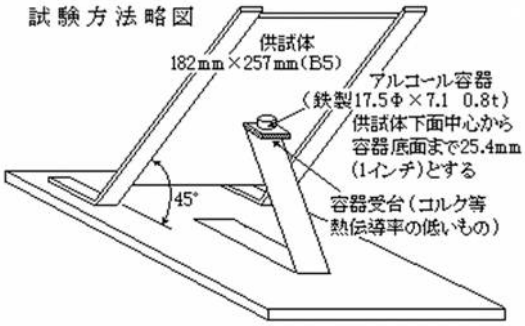
燃料判定は、アルコールの燃焼中と燃焼後に分けて、燃焼中は供試材への着火、着炎、発煙状態、炎の状態等を観察し、燃焼後は、残炎、残じん、炭化、変形状態を調査する。

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Ⅰ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/㎡]
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。

上記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、その過程には実車を用いた車両の燃焼実験が行われている。表 1.3.1 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 1.3.1 の赤字は 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を表し、青字は火災対策基準、緑字は燃焼実験を表す

表 1.3.1　鉄道火災および火災対策基準、燃焼実験の変遷 [3)4)]

年月日	鉄道火災/火災対策基準/燃焼実験	概要
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
10/26	国鉄による燃焼実験	名古屋工場豊川分工場において、ナハフ 24000 形客車(ナハフ 24912)を供試車とした定置燃焼実験。木製車体に用いる防火処理材料の耐火性を確認
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 紀伊神谷駅-紀伊畑川駅	過熱。死者 1 名,負傷者 42 名
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、連結電車への貫通路設置、電気機器の耐熱防護強化、各車への消火器設置等を通達
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 号)	
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
	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)	
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 号)	A-A様式の強化および追加。地下線を運転する車両の火災対策が強化
	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 六本木駅-神谷町駅	過熱。死傷者なし。A-A様式の車両が全焼

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
12/18-19	国鉄による燃焼実験	大船工場において、北陸トンネル火災と同系列のナハ 11 形客車(ナハ 115)を用いた定置燃焼実験
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
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)	
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 号)	排煙設備の設計方法等を通達
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、関係省令の整備。省令として火災対策基準を規定
	特殊鉄道構造規則(運輸省令 19 号)	
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について	
1988/03/30	JR 東日本上越線 越後中里駅-岩原スキー場前駅	消音器から発火。死傷者なし。長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 交付 2002/03/31 施行	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規定されていた基準を一本化し、性能規定化
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 157 号)	具体的な基準を規定
2003/02/18	大邱都市鉄道公社地下鉄１号線 中央路駅(韓国)	放火。死者 192 名,負傷者 148 名
08/30	JR 東海中央線 田立駅-南木曽駅	放火(焼身)。死者１名
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	JR 北海道石勝線 第１ニニウトンネル	車両部品脱落,脱線破損。負傷者 79 名

参考文献

1) 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

2) 国土交通省鉄道局「解説 鉄道に関する技術基準(別冊)地下駅等の火災対策基準・同解説(土木編)」2007 年 11 月

3) 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

4) 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

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　日本にお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[1)]

（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[1)]

（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[1)2)3)4)]

（実験内容）

北陸トンネル火災(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）

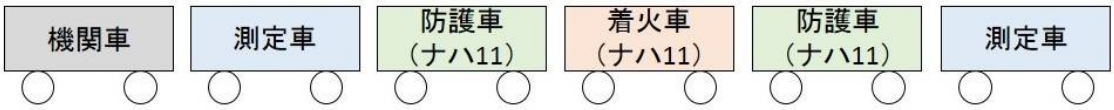
難燃化された車両は、局部的に焦損した程度で自然鎮火し、動物も全てが生存していた。トンネル内で列車火災が発生した場合は、走行を継続し、トンネル外に脱出させることが有効であること等が確認された。

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/m²)	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 （301 系）	昭和 41 年	747	13.7	A
特急気動車 （キハ 180）	昭和 44 年	1520	25.2	A
急行気動車 （キハ 58）	昭和 36 年	1611	26.7	B
特急寝台客車 （ナハネ 20）	昭和 43 年	3036	52.3	B
特急寝台客車 （オハネ 14）	昭和 46 年	2496	41.4	A
一般座席客車 （ナハ 11）	昭和 32 年	2217	40.6	B

※鉄道トンネルと火災対策　表 8 より抜粋

試験条件

<table>
<tr><td colspan="2"></td><td>試験 1-1</td><td>試験 1-2</td><td>試験 3</td><td>試験 2</td></tr>
<tr><td colspan="2">再生時間</td><td>32:04-</td><td>34:53-</td><td>38:09-</td><td>50:40-</td></tr>
<tr><td rowspan="7">試験条件</td><td>期日</td><td colspan="2">8/28</td><td>8/31</td><td>9/1</td></tr>
<tr><td>着火車</td><td colspan="2">難燃化改造ナハ 11 形客車</td><td colspan="2">ナハ 11 形客車</td></tr>
<tr><td>火源</td><td>新聞紙 20 ページ</td><td colspan="2">新聞紙 20 ページ
および
アルコール 200ml</td><td>新聞紙 40 ページ
および
アルコール 400ml</td></tr>
<tr><td>側扉</td><td colspan="3">閉じ</td><td>開き</td></tr>
<tr><td>客室引戸</td><td colspan="4">開き</td></tr>
<tr><td>窓・通風器</td><td colspan="4">閉じ</td></tr>
<tr><td>走行状態</td><td>停車</td><td colspan="2">着火後 8 分で発車</td><td>F.O.直後に発車</td></tr>
</table>

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℃	670℃	1200℃
	測定・防護車(H_1)	—	22℃	24℃	25℃
	測定・防護車(H_2)	—	24℃	26℃	35℃
(2)煙濃度	着火車(F)	45%	45%	100%	100%
	測定・防護車(H_1)	—	検出せず	20%	9%
	測定・防護車(H_2)	—	9%	8%	32%
(3)CO 濃度	着火車(F)	検出せず	検出せず	4.6%	6%
	測定・防護車(H_1)	—	検出せず	160ppm	220ppm
	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。

※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。

図 1-2-3 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

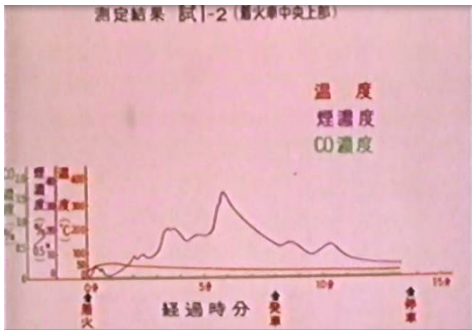


図 1-2-3 着火源上部の測定結果

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超え、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。）

グラフから、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

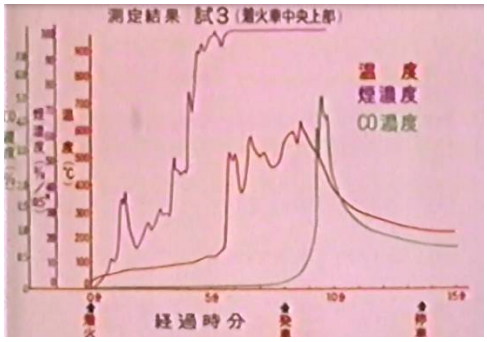


図 3-7 着火源上部の測定結果

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、屋根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の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 のように試験 3 の火源である新聞紙とアルコールが倍になり、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。

概要。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。

車両の燃焼状況。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

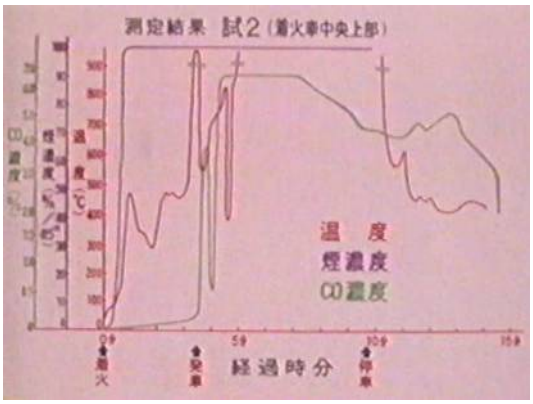


図 2-9 消火後の屋根の損傷状況　　図 2-10 着火源上部の測定結果

1991 年（平成 3 年）日本鉄道技術協会による燃焼実験 1)

（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 1)

（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、燃焼拡大する可能性が認められた。

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 1)

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 50.2m^2、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、酸欠による自然鎮火が確認された。

表 2.1.1　実験車両の部位別使用材料

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	ソフトヘアー付ヘアーロック
	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 2.1.2　実験条件

実験日	実験名	天井材料	開口条件	火源位置	ガソリン散布量[L]	
					床	座席
09/30	第 1 実験	印刷アルミ	乗降扉 片側開放	端部	3.5	0.5
	第 2 実験	FRP			1.0	1.0
10/01	第 3 実験	印刷アルミ	貫通扉 片側開放	連結部 付近	1.0	1.0
	第 4 実験	メラミン樹脂アルミ	乗降扉 片側開放	端部	3.5	0.5
	第 5 実験	FRP			3.5	0.5

（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　米国にお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 [5)6)7)]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　フェーズ I

7. SUMMARY[5)]

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 の要求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、火災感知・消火システム、避難時間を含む様々な設計要素の幅を評価することであり、パラメーターの組み合わ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
米国輸送車両の要求条件と研究

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要求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要求条件

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は、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要求条件

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）の自動車の要求条件は、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要求条件は、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要求条件は主に、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

欧州の火災安全の要求条件と 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
  システムの評価と予測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 <u>FRA-Cited Test Method Data</u>
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 は発煙性の要求条件を満たす他の材料の使用を調査している。

7.3.2 <u>Cone Calorimeter Test Data</u>
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/m^2 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/ m^2 から壁用の布地の 745 kW/ m^2 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　フェーズⅡ

6. SUMMARY[6)]

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 II 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 I 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 II 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（assemblies）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.
  試験された組立て品は着火に 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ベッドの組立て品の 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、設計火源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/s^n), t is time (s), and n is a power chosen to best represent the chosen experimental data.

ここで、$\dot{q}$は発熱速度(kW)、αは火災成長率(kW/s^n)、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、安全に利用できる避難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 single- and 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乗客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 つの構造すべてにおいて、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、必要最小限の避難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、利用可能な避難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避難を車両の端部あるいは側部の扉からの避難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、避難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。避難のための旅客鉄道の車両の通路に沿った高さ 1.5 m (5 ft) 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、乗客の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避難に必要な最小時間と同様に利用空間が何時、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二乗火源のもとでそれぞれ、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避難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から隣接した車両までの避難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では真ではない、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 規定の要求条件の意図は、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可能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、仮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もならない。

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、避難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.
必要最小限の避難時間は 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、列車外部での避難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であろうと、避難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避難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避難時間は列車の乗客、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避難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、それらの経路は、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できるべきである。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策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策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)より乗客の避難のための追加時間を提供(+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.
どんな設計の代替策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、鉄道車両の緊急避難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乗客の避難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.

モデルによる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、乗客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 の火災性能の要求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には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ファニチャーカロリーメーター試験からも明白だった。
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　フェーズⅢ

5. SUMMARY[7)]

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要求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I CFAST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つの反復の実験は、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事である。

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.
この報告書の範中ではないが、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

1）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）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
3）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
4）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
5) Richard D. Peacock, Emil Braun: Fire Safety of Passenger Trains, Phase I: Material Evaluation (Cone Calorimeter) NISTIR6132, National Institute of Standards and Technology, March 1999
6) Richard D. Peacock, Paul A. Reneke, Jason D. Averill, Richard W. Bukowski, John H. Klote: Fire Safety of Passenger Trains; Phase II: Application of Fire Hazard Analysis Techniques NISTIR6525, National Institute of Standards and Technology, December 2002
7) Richard D. Peacock, Jason D. Averill, Daniel Madrzykowski, David W. Stroup, Paul A. Reneke, Richard W. Bukowski: Fire Safety of Passenger Trains; Phase III: Evaluation of Fire Hazard Analysis Using Full-Scale Passenger Rail Car Tests NISTIR6563, National Institute of Standards and Technology, April 2004

第３章

フラッシュオーバーの予測に必要な各種の実験

３．　フラッシュオーバーの予測に必要な各種の実験

３．１　0 系および E4 系新幹線座席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、新幹線車内での火災発生時における F.O.の有無とその時間を予測するための基礎データの取得を目的とした。

３．１．２　実験日および実験場所

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

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について

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」と参考文献 [1)]に記載されている。

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.　給気のために、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. そのままの放射加熱強度で次の実験を行う場合は 9～16 を繰り返し、放射加熱強度を変更して次の実験を行う場合は 8～16 を繰り返す。

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
・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
・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

なお、平均発熱速度 T60 は試験開始から 60 秒までの発熱速度の平均である。平均発熱速度 T180、T300 についても同様である。200k 超過継続時間は 200kW/m² を超える発熱速度の継続時間、200k 超過総時間は試験中に 200kW/m² を超える発熱速度の合計時間である。

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。

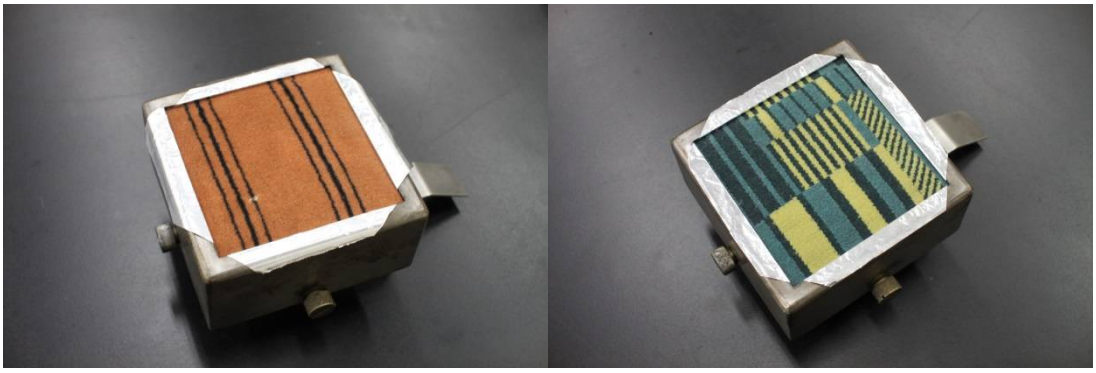


図 3.1.5.1　0 系(左)および E4 系(右)新幹線座席の表地

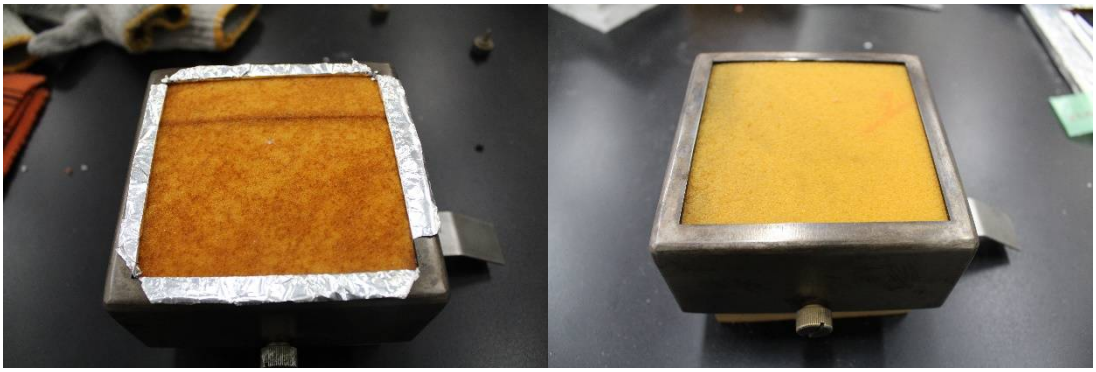


図 3.1.5.2　0 系(左)および E4 系(右)新幹線座席のウレタン

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。

表 3.1.7.1　実験条件一覧

新幹線（座席）種類	材料種類	放射加熱強度[kW/m²]	試験回数
0 系新幹線 普通席 3 人掛け 1 脚	表地	10	3
		15	3
		30	3
		50	3
	ウレタン	10	2
		30	2
		50	2
E4 系新幹線 グリーン車 1 人掛け 1 脚	表地	15	3
		20	3
		30	3
		50	3
	ウレタン	10	2
		30	2
		50	2

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。

・着火時間に関する実験結果のまとめ

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。

（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、表地に比べ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。

（４）その他

表 3.1.8.3 から表 3.1.8.8 はコーンカロリーメーター試験装置から出力された実験結果である。それらの表中の着火に至らなかった表地およびウレタンの箇所（表地に関しては表 3.1.8.3 中の 0-10-1 および 0-10-3、並びに表 3.1.8.5 中の E4-15-1、E4-15-2 および E4-15-3 がその箇所に該当する。ウレタンに関しては表 3.1.8.7 中の 0-10-1 および 0-10-2、並びに表 3.1.8.8 中の E4-10-1 および E4-10-2 がその箇所に該当する。）の総発熱量や発熱速度が記載されているのは、着火に至らずとも試験体が放射加熱を受けることで発生した可燃性ガスがガス分析されている為である。可燃性ガスの発生は表中の試験体質量減少によって説明できる。

表 3.1.8.1 表地のコーンカロリーメーター試験結果

試験体（表地）	試験体の寸法と重量				試験開始前の温湿度		放射加熱強度	着火時間とその逆数の平方根		最大発熱速度とその時間		実験日
	縦 [mm]	横 [mm]	厚み [mm]	重量 [g]	温度 [℃]	湿度 [%]	[kW/㎡]	着火時間 [s]	逆数の平方根 [$s^{-0.5}$]	発熱速度 [kW/㎡]	時間 [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（ウレタン）	試験体の寸法と重量				試験開始前の温湿度		放射加熱強度	着火時間とその逆数の平方根		最大発熱速度とその時間		実験日
	縦 [mm]	横 [mm]	厚み [mm]	重量 [g]	温度 [℃]	湿度 [%]	[kW/㎡]	着火時間 [s]	逆数の平方根 [$s^{-0.5}$]	発熱速度 [kW/㎡]	時間 [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

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)		0-10-1	0-10-2	0-10-3
試験結果	総発熱量(THR)	0.15 MJ/m²	5.78 MJ/ m²	1.39 MJ/ m²
	最大発熱速度(HRR)	3.30 kW/m² at 101.60 sec	154.80 kW/m² at 380.40 sec	9.44 kW/m² at 34.40 sec
	平均発熱速度(HRR)	0.13 kW/m²	18.16 kW/m²	1.15 kW/m²
	平均発熱速度 T60	1.02 kW/m²	85.40 kW/m²	7.16 kW/m²
	平均発熱速度 T180	0.85 kW/m²	30.77 kW/m²	3.27 kW/m²
	平均発熱速度 T300	0.51 kW/m²	18.52 kW/m²	2.29 kW/m²
	最終試験体質量	4.83 g	3.83 g	5.06 g
	試験体質量減少	3.20 g	4.01 g	3.04 g
	着火時間	---- sec	357.7 sec	---- sec
	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･m²	4.785 g/s･m²	0.346 g/s･m²
試験体(表地)		0-15-1	0-15-2	0-15-3
試験結果	総発熱量(THR)	11.00 MJ/m²	17.68 MJ/m²	15.15 MJ/m²
	最大発熱速度(HRR)	113.20 kW/m² at 151.40 sec	134.72 kW/m² at 135.80 sec	209.22 kW/m² at 156.70 sec
	平均発熱速度(HRR)	16.97 kW/m²	37.67 kW/m²	24.71 kW/m²
	平均発熱速度 T60	73.72 kW/m²	108.48 kW/m²	123.95 kW/m²
	平均発熱速度 T180	48.27 kW/m²	79.47 kW/m²	68.29 kW/m²
	平均発熱速度 T300	31.70 kW/m²	56.11 kW/m²	48.23 kW/m²
	最終試験体質量	3.62 g	3.12 g	2.77 g
	試験体質量減少	8.07 g	10.41 g	9.32 g
	着火時間	128.0 sec	119.8 sec	140.1 sec
	着火時試験体質量	10.34 g	12.09 g	10.26 g
	消炎時間	304.4 sec	280.8 sec	309.7 sec
	燃焼時間	176.4 sec	161.0 sec	169.6 sec
	200k 超過継続時間	0.0 sec	0.0 sec	4.5 sec
	200k 超過総時間	0.0 sec	0.0 sec	4.5 sec
	平均燃焼有効発熱量(HOC)	12.04 MJ/kg	15.01 MJ/kg	14.36 MJ/kg
	平均質量減少率	2.017 g/s･m²	4.691 g/s･m²	4.093 g/s･m²

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)		0-30-1	0-30-2	0-30-3
試験結果	総発熱量(THR)	23.59 MJ/m²	17.67 MJ/m²	20.03 MJ/m²
	最大発熱速度(HRR)	209.63 kW/m² at 105.40 sec	129.06 kW/m² at 125.40 sec	183.18 kW/m² at 108.80 sec
	平均発熱速度(HRR)	32.85 kW/m²	15.26 kW/m²	17.38 kW/m²
	平均発熱速度 T60	181.83 kW/m²	76.93 kW/m²	134.64 kW/m²
	平均発熱速度 T180	100.62 kW/m²	62.16 kW/m²	80.30 kW/m²
	平均発熱速度 T300	70.06 kW/m²	46.77 kW/m²	57.17 kW/m²
	最終試験体質量	1.37 g	1.36 g	0.98 g
	試験体質量減少	13.15 g	10.55 g	10.34 g
	着火時間	64.1 sec	65.5 sec	60.8 sec
	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･m²	2.689 g/s･m²	3.386 g/s･m²
試験体(表地)		0-50-1	0-50-2	0-50-3
試験結果	総発熱量(THR)	19.95 MJ/m²	20.84 MJ/m²	16.89 MJ/m²
	最大発熱速度(HRR)	294.29 kW/m² at 47.00 sec	313.40 kW/m² at 54.60 sec	409.68 kW/m² at 36.40 sec
	平均発熱速度(HRR)	23.11 kW/m²	33.39 kW/m²	21.59 kW/m²
	平均発熱速度 T60	208.74 kW/m²	211.83 kW/m²	208.23 kW/m²
	平均発熱速度 T180	97.27 kW/m²	99.29 kW/m²	87.09 kW/m²
	平均発熱速度 T300	63.71 kW/m²	67.32 kW/m²	54.41 kW/m²
	最終試験体質量	0.51 g	0.65 g	0.54 g
	試験体質量減少	10.25 g	10.97 g	8.19 g
	着火時間	8.3 sec	8.5 sec	7.4 sec
	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･m²

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)		E4-15-1	E4-15-2	E4-15-3
試験結果	総発熱量(THR)	0.36 MJ/m²	0.33 MJ/m²	0.48 MJ/m²
	最大発熱速度(HRR)	1.10 kW/m² at 114.10 sec	4.55 kW/m² at 18.10 sec	4.10 kW/m² at 19.50 sec
	平均発熱速度(HRR)	0.30 kW/m²	0.27 kW/m²	0.40 kW/m²
	平均発熱速度 T60	0.46 kW/m²	2.78 kW/m²	2.17 kW/m²
	平均発熱速度 T180	0.54 kW/m²	1.61 kW/m²	0.78 kW/m²
	平均発熱速度 T300	0.32 kW/m²	1.06 kW/m²	0.60 kW/m²
	最終試験体質量	5.91 g	5.97 g	5.97 g
	試験体質量減少	2.48 g	2.57 g	2.37 g
	着火時間	---- sec	---- sec	---- sec
	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･m²	0.223 g/s･m²	0.211 g/s･m²
試験体(表地)		E4-20-1	E4-20-2	E4-20-3
試験結果	総発熱量(THR)	11.01 MJ/m²	11.13 MJ/m²	9.49 MJ/m²
	最大発熱速度(HRR)	188.70 kW/m² at 117.70 sec	209.92 kW/ m² at 119.00 sec	232.57 kW/ m² at 134.50 sec
	平均発熱速度(HRR)	16.18 kW/m²	28.42 kW/m²	33.69 kW/m²
	平均発熱速度 T60	126.45 kW/m²	147.56 kW/m²	140.01 kW/m²
	平均発熱速度 T180	52.76 kW/m²	57.84 kW/m²	51.90 kW/m²
	平均発熱速度 T300	33.96 kW/m²	36.47 kW/m²	0.00 kW/m²
	最終試験体質量	1.99 g	1.81 g	2.72 g
	試験体質量減少	6.81 g	7.14 g	6.40 g
	着火時間	101.3 sec	100.2 sec	108.0 sec
	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
	平均質量減少率	6.594 g/s･m²	12.951 g/s･m²	14.907 g/s･m²

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(表地)		E4-30-1	E4-30-2	E4-30-3
試験結果	総発熱量(THR)	12.19 MJ/m²	11.88 MJ/m²	12.80 MJ/m²
	最大発熱速度(HRR)	248.63 kW/m² at 67.20 sec	260.97 kW/m² at 67.50 sec	194.27 kW/m² at 70.40 sec
	平均発熱速度(HRR)	20.36 kW/m²	24.37 kW/m²	21.69 kW/m²
	平均発熱速度 T60	147.17 kW/m²	146.31 kW/m²	135.00 kW/m²
	平均発熱速度 T180	62.50 kW/m²	61.73 kW/m²	62.52 kW/m²
	平均発熱速度 T300	39.56 kW/m²	38.98 kW/m²	41.29 kW/m²
	最終試験体質量	1.19 g	1.08 g	0.85 g
	試験体質量減少	7.10 g	7.05 g	7.47 g
	着火時間	45.4 sec	45.4 sec	43.4 sec
	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･m²	8.696 g/s･m²	5.976 g/s･m²
試験体(表地)		E4-50-1	E4-50-2	E4-50-3
試験結果	総発熱量(THR)	12.37 MJ/m²	12.46 MJ/m²	12.76 MJ/m²
	最大発熱速度(HRR)	350.02 kW/m² at 39.10 sec	348.26 kW/m² at 37.30 sec	335.81 kW/m² at 41.20 sec
	平均発熱速度(HRR)	25.60 kW/m²	15.37 kW/m²	21.98 kW/m²
	平均発熱速度 T60	165.51 kW/m²	157.50 kW/m²	164.65 kW/m²
	平均発熱速度 T180	67.19 kW/m²	64.20 kW/m²	67.83 kW/m²
	平均発熱速度 T300	41.02 kW/m²	39.81 kW/m²	41.80 kW/m²
	最終試験体質量	0.77 g	0.78 g	0.79 g
	試験体質量減少	7.47 g	7.70 g	7.51 g
	着火時間	19.2 sec	19.3 sec	21.7 sec
	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･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)		0-10-1	0-30-1	0-50-1
試験結果	総発熱量(THR)	1.04 MJ/m²	24.08 MJ/m²	26.57 MJ/m²
	最大発熱速度(HRR)	3.47 kW/m² at 779.20 sec	331.28 kW/m² at 42.60 sec	447.12 kW/m² at 39.50 sec
	平均発熱速度(HRR)	0.87 kW/m²	77.41 kW/m²	22.14 kW/m²
	平均発熱速度 T60	1.93 kW/m²	208.86 kW/ m²	293.14 kW/m²
	平均発熱速度 T180	1.47 kW/m²	132.59 kW/m²	139.00 kW/m²
	平均発熱速度 T300	0.97 kW/m²	80.24 kW/m²	85.19 kW/m²
	最終試験体質量	7.91 g	0.68 g	0.00 g
	試験体質量減少	3.55 g	10.36 g	11.41 g
	着火時間	---- sec	10.7 sec	3.4 sec
	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･m²	8.778 g/s･m²	11.495 g/s･m²
試験体(ウレタン)		0-10-2	0-30-2	0-50-2
試験結果	総発熱量(THR)	0.49 MJ/m²	2.46 MJ/m²	25.15 MJ/m²
	最大発熱速度(HRR)	5.14 kW/m² at 33.40 sec	43.78 kW/m² at 55.30 sec	498.11 kW/m² at 42.50 sec
	平均発熱速度(HRR)	0.41 kW/m²	16.72 kW/m²	42.27 kW/m²
	平均発熱速度 T60	2.61 kW/m²	23.82 kW/m²	307.31 kW/m²
	平均発熱速度 T180	1.27 kW/m²	0.00 kW/m²	136.34 kW/m²
	平均発熱速度 T300	0.76 kW/m²	0.00 kW/m²	83.01 kW/m²
	最終試験体質量	7.49 g	0.93 g	0.00 g
	試験体質量減少	3.73 g	10.36 g	10.80 g
	着火時間	---- sec	18.9 sec	3.8 sec
	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･m²	15.434 g/s･m²	13.442 g/s･m²

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

試験体(ウレタン)		E4-10-1	E4-30-1	E4-50-1
試験結果	総発熱量(THR)	0.69 MJ/m²	33.17 MJ/m²	33.01 MJ/m²
	最大発熱速度(HRR)	3.42 kW/m² at 35.30 sec	358.36 kW/m² at 67.70 sec	464.51 kW/m² at 53.20 sec
	平均発熱速度(HRR)	0.56 kW/m²	113.60 kW/m²	106.47 kW/m²
	平均発熱速度 T60	1.77 kW/m²	211.14 kW/m²	290.52 kW/m²
	平均発熱速度 T180	1.55 kW/m²	183.23 kW/m²	182.94 kW/m²
	平均発熱速度 T300	1.66 kW/m²	0.00 kW/m²	110.01 kW/m²
	最終試験体質量	13.51 g	0.64 g	0.34 g
	試験体質量減少	2.50 g	15.25 g	15.64 g
	着火時間	---- sec	12.2 sec	4.6 sec
	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･m²	11.880 g/s･m²	16.027 g/s･m²
試験体(ウレタン)		E4-10-2	E4-30-2	E4-50-2
試験結果	総発熱量(THR)	0.43 MJ/m²	32.63 MJ/m²	32.57 MJ/m²
	最大発熱速度(HRR)	5.71 kW/m² at 36.00 sec	429.31 kW/m² at 84.00 sec	512.86 kW/m² at 54.10 sec
	平均発熱速度(HRR)	0.35 kW/m²	119.53 kW/m²	122.92 kW/m²
	平均発熱速度 T60	2.59 kW/m²	241.64 kW/m²	306.92 kW/m²
	平均発熱速度 T180	0.88 kW/m²	181.09 kW/m²	180.73 kW/m²
	平均発熱速度 T300	1.17 kW/m²	0.00 kW/m²	0.00 kW/m²
	最終試験体質量	13.36 g	0.51 g	0.40 g
	試験体質量減少	2.62 g	15.36 g	15.20 g
	着火時間	---- sec	13.5 sec	4.6 sec
	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
	平均燃焼有効発熱量(HOC)	1.44 MJ/kg	18.78 MJ/kg	18.94 MJ/kg
	平均質量減少率	0.270 g/s･m²	17.600 g/s･m²	20.574 g/s･m²

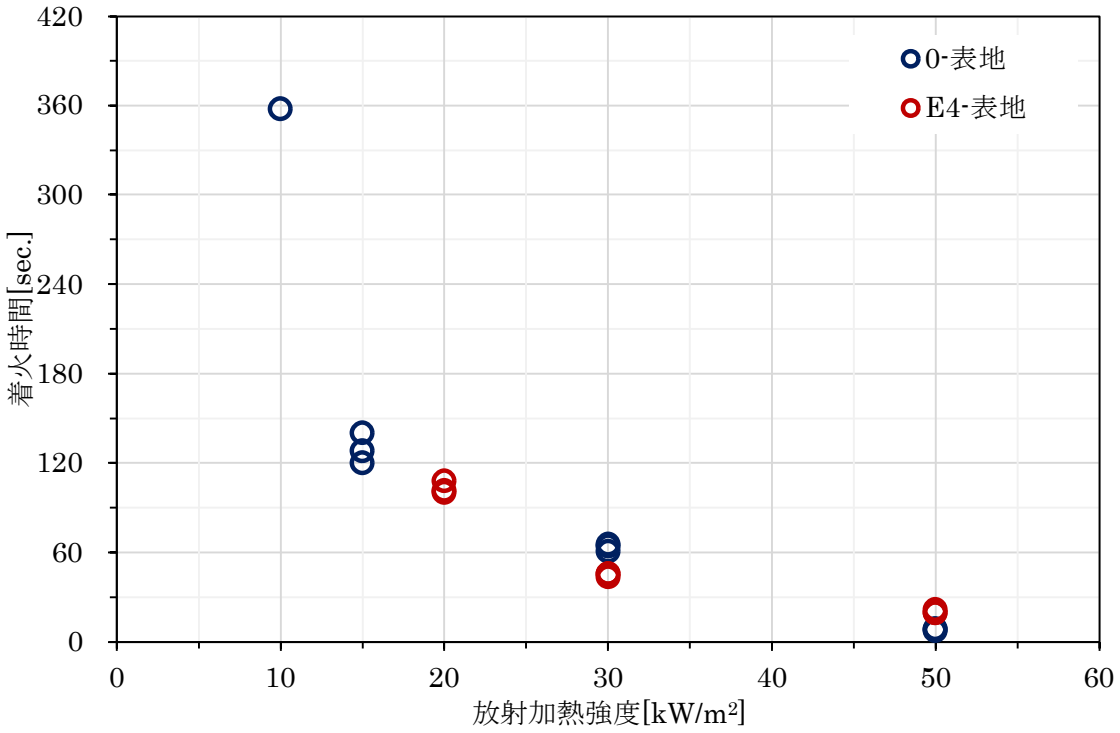


図 3.1.8.1 各放射加熱強度と表地の着火時間

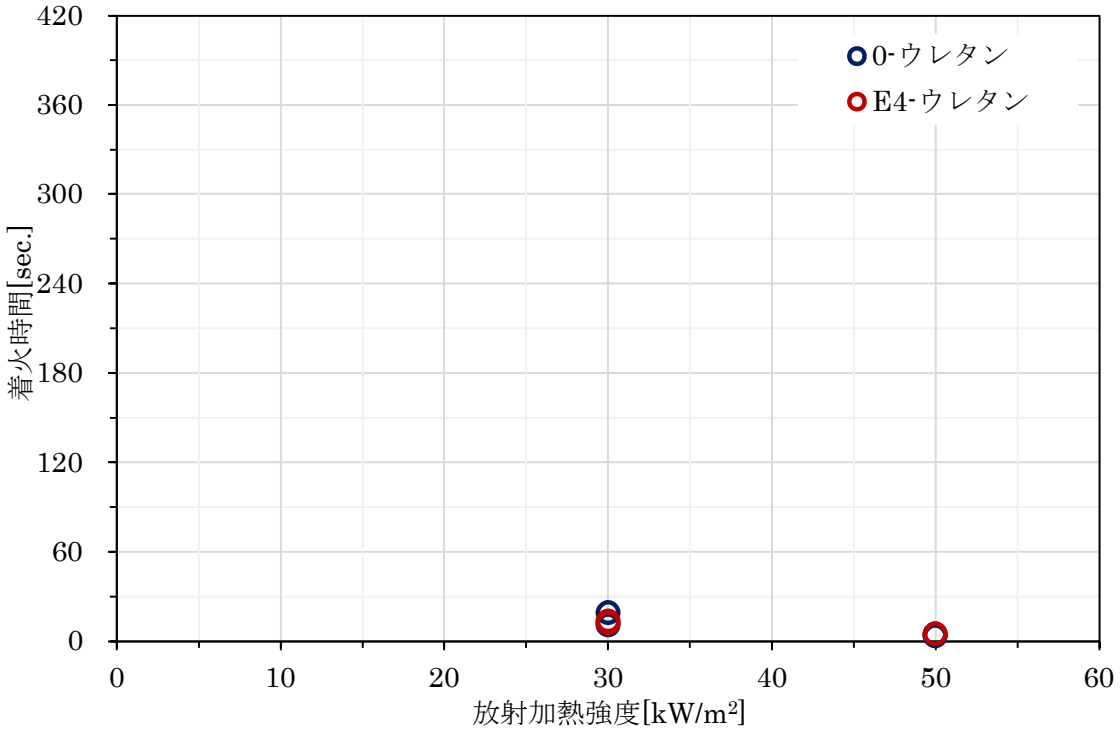


図 3.1.8.2 各放射加熱強度とウレタンの着火時間

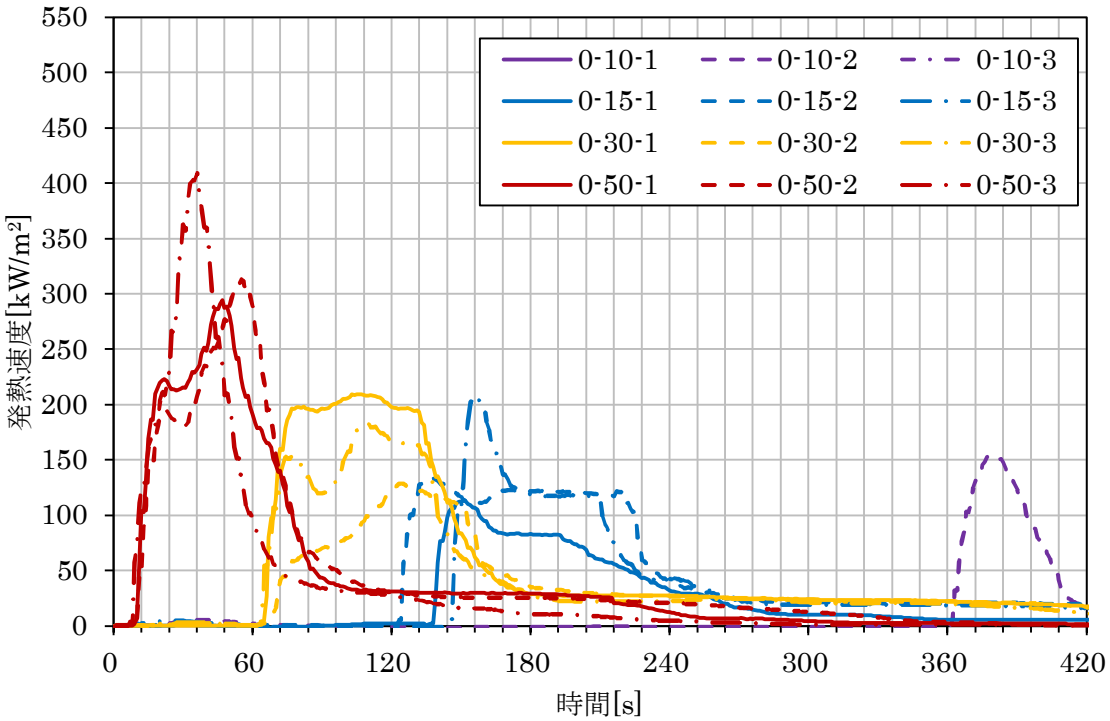


図 3.1.8.3 各放射加熱強度における 0 系新幹線座席の表地の発熱速度

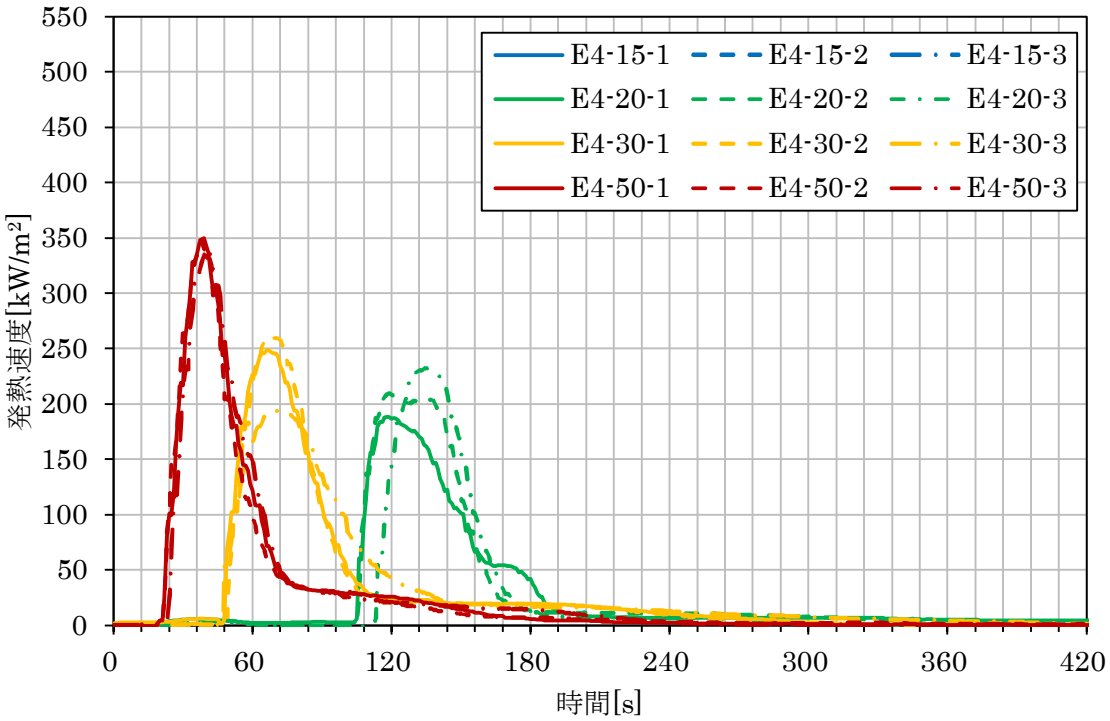


図 3.1.8.4 各放射加熱強度における E4 系新幹線座席の表地の発熱速度

※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。

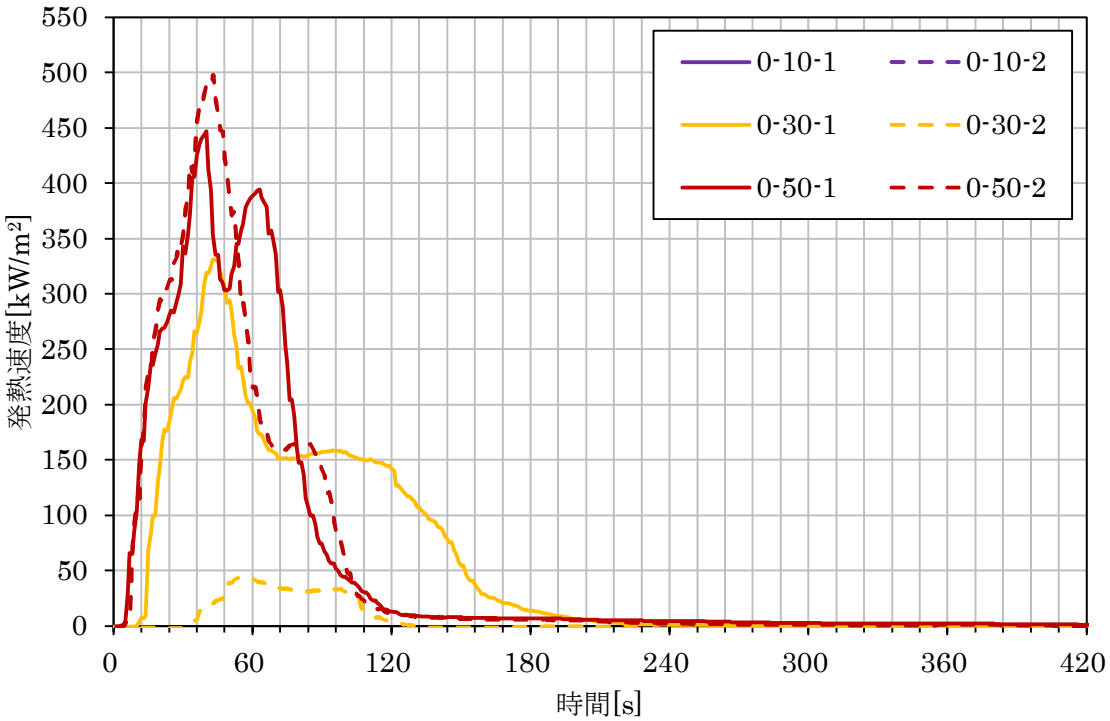


図 3.1.8.5 各放射加熱強度における 0 系新幹線座席のウレタンの発熱速度

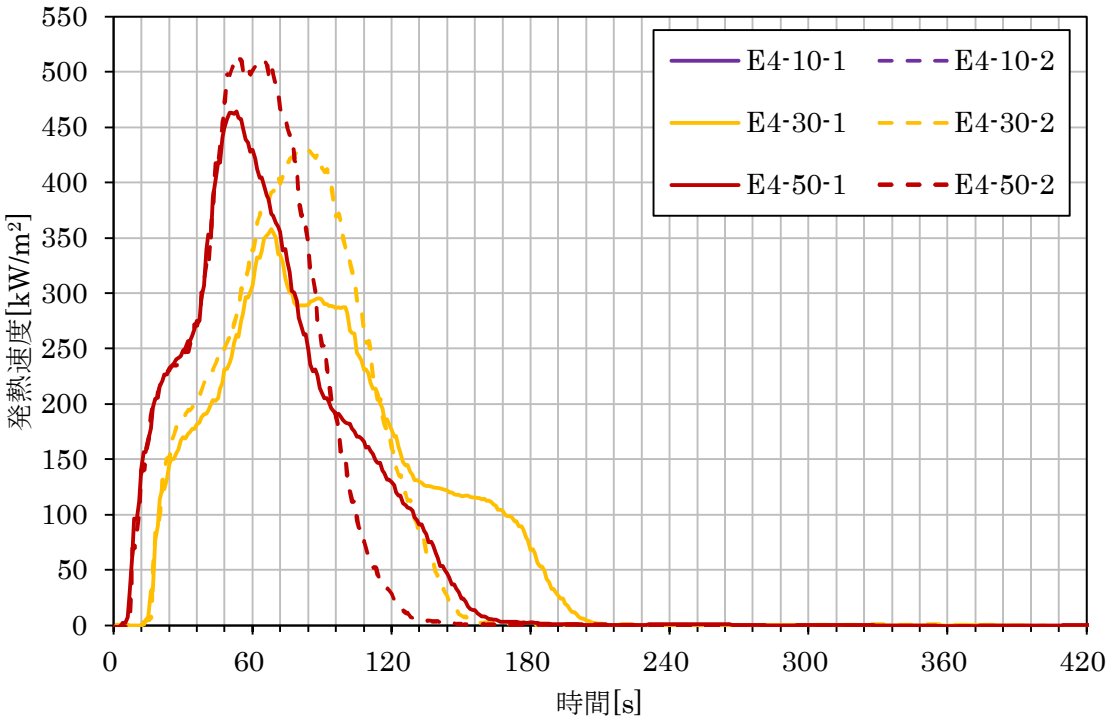


図 3.1.8.6 各放射加熱強度における E4 系新幹線座席のウレタンの発熱速度

※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。

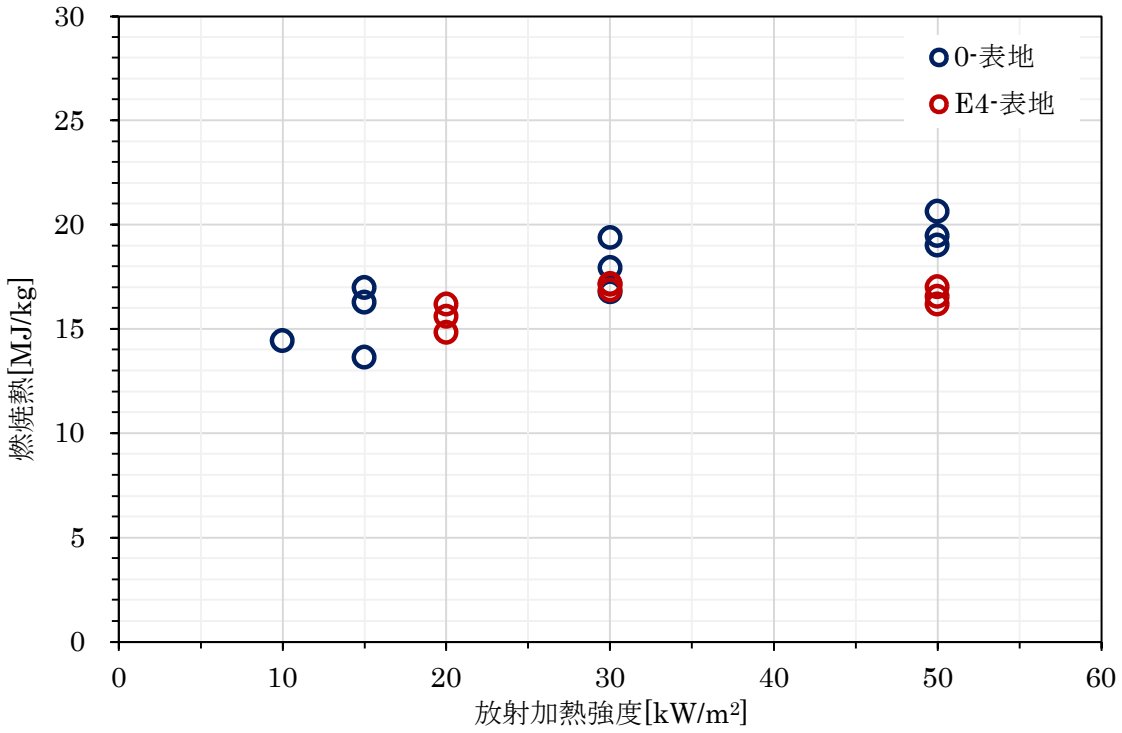


図 3.1.8.7 各放射加熱強度と表地の燃焼熱

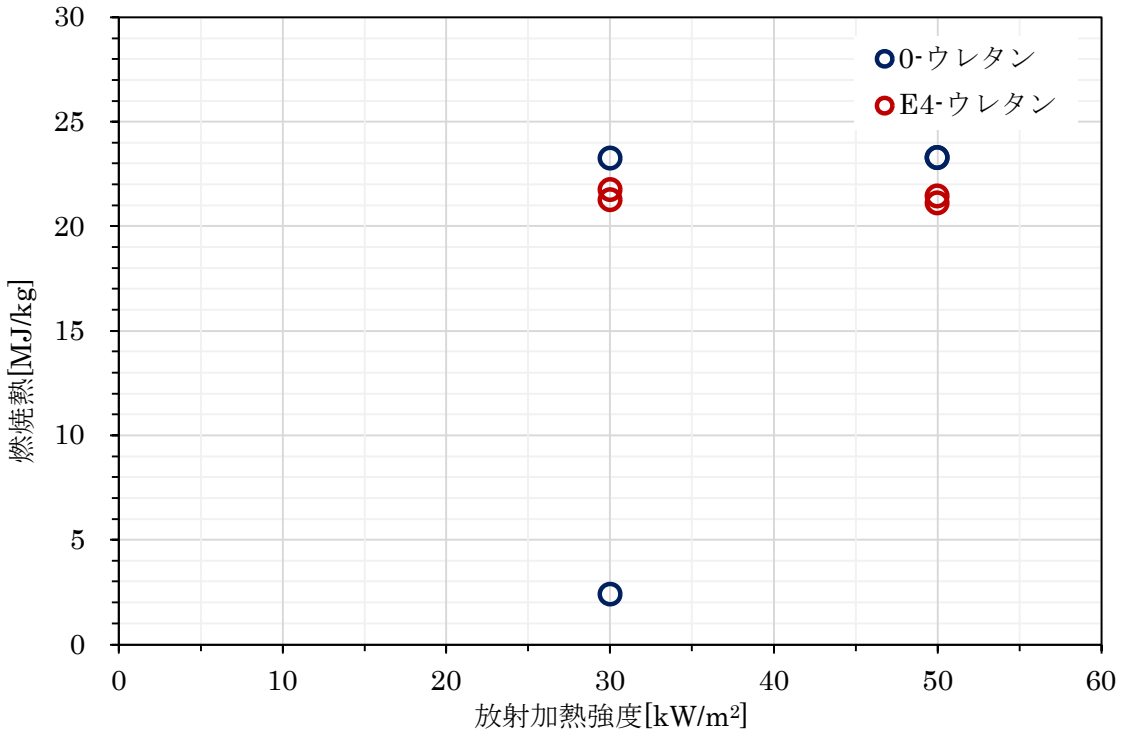


図 3.1.8.8 各放射加熱強度とウレタンの燃焼熱

※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）

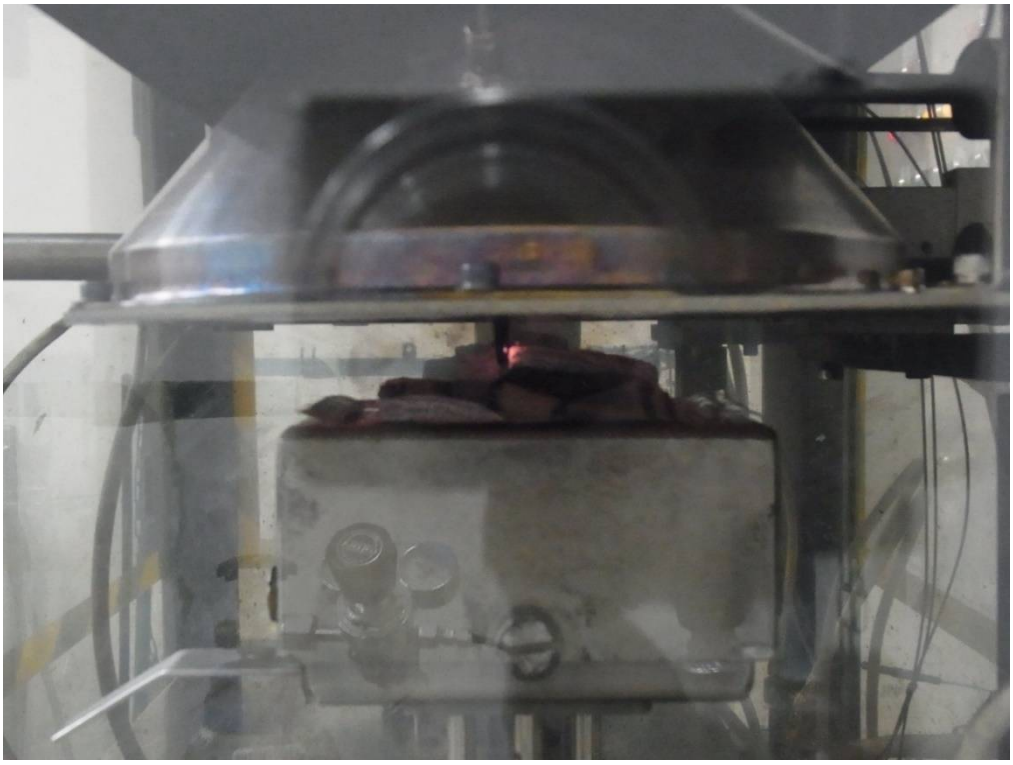


図 3.1.8.10　E4 系新幹線座席の表地の熱収縮（E4-30-3）

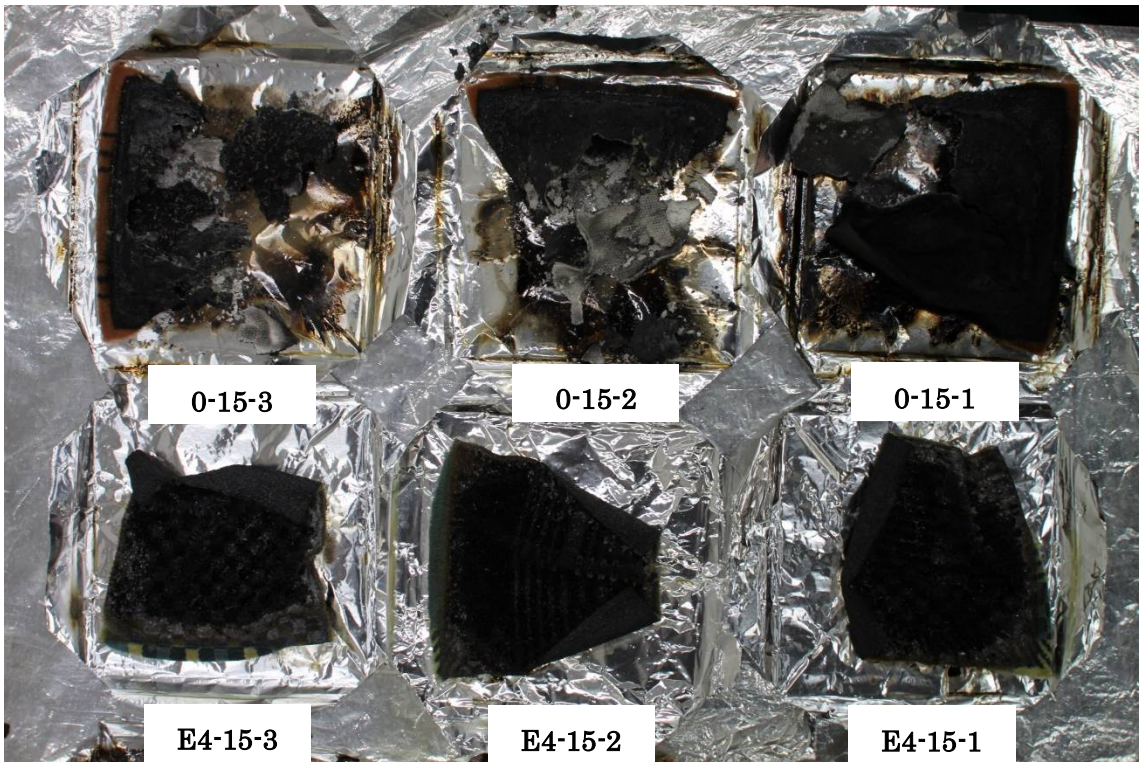


図 3.1.8.11　試験後の表地（放射加熱強度 15kw/m²）

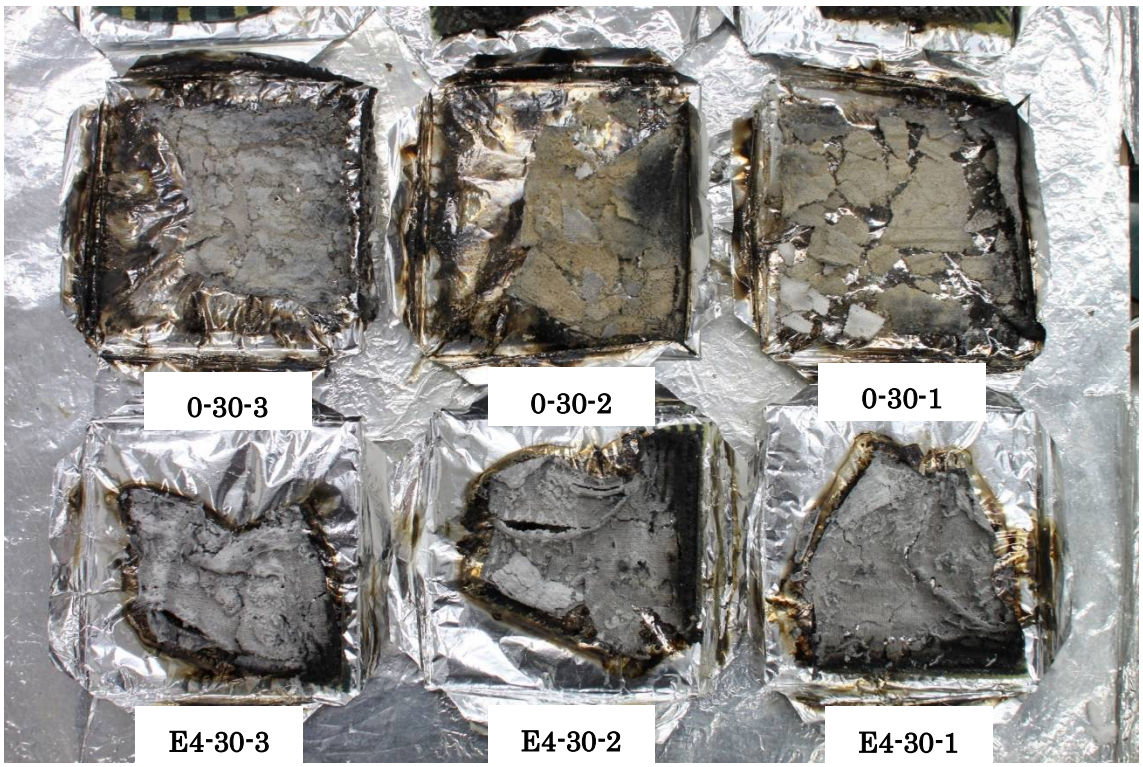


図 3.1.8.12　試験後の表地（放射加熱強度 30kw/m²）

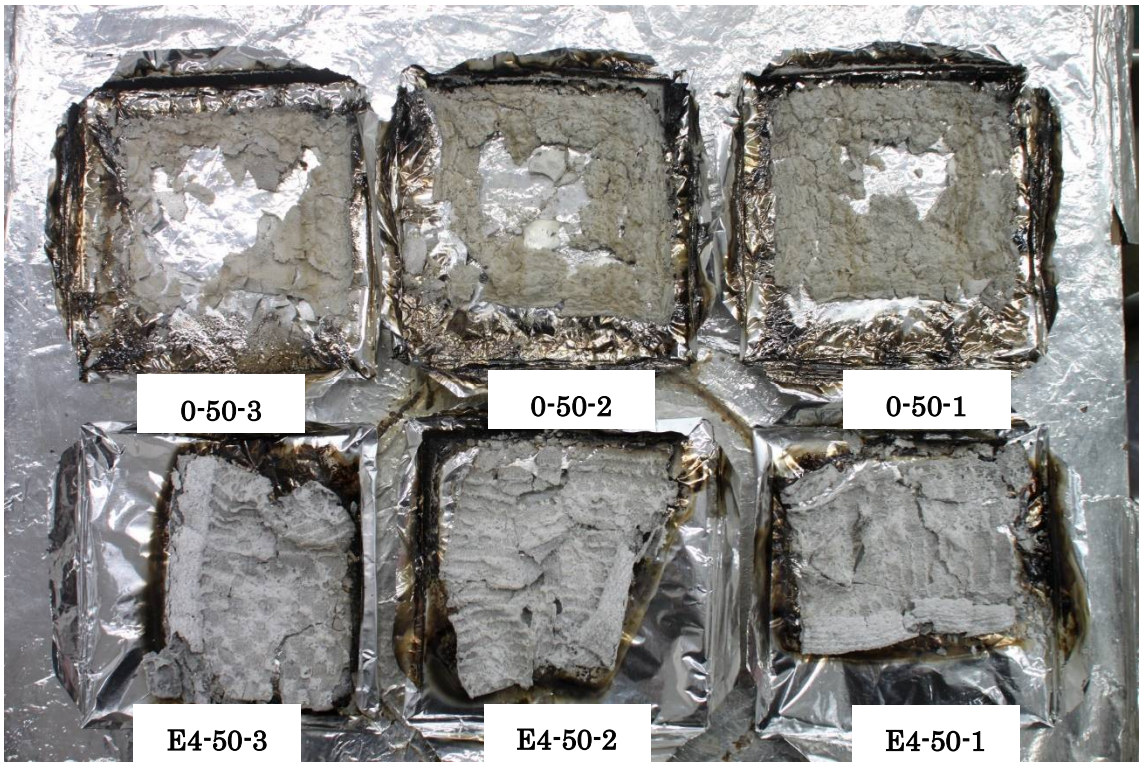


図 3.1.8.13　試験後の表地（放射加熱強度 50kw/m²）

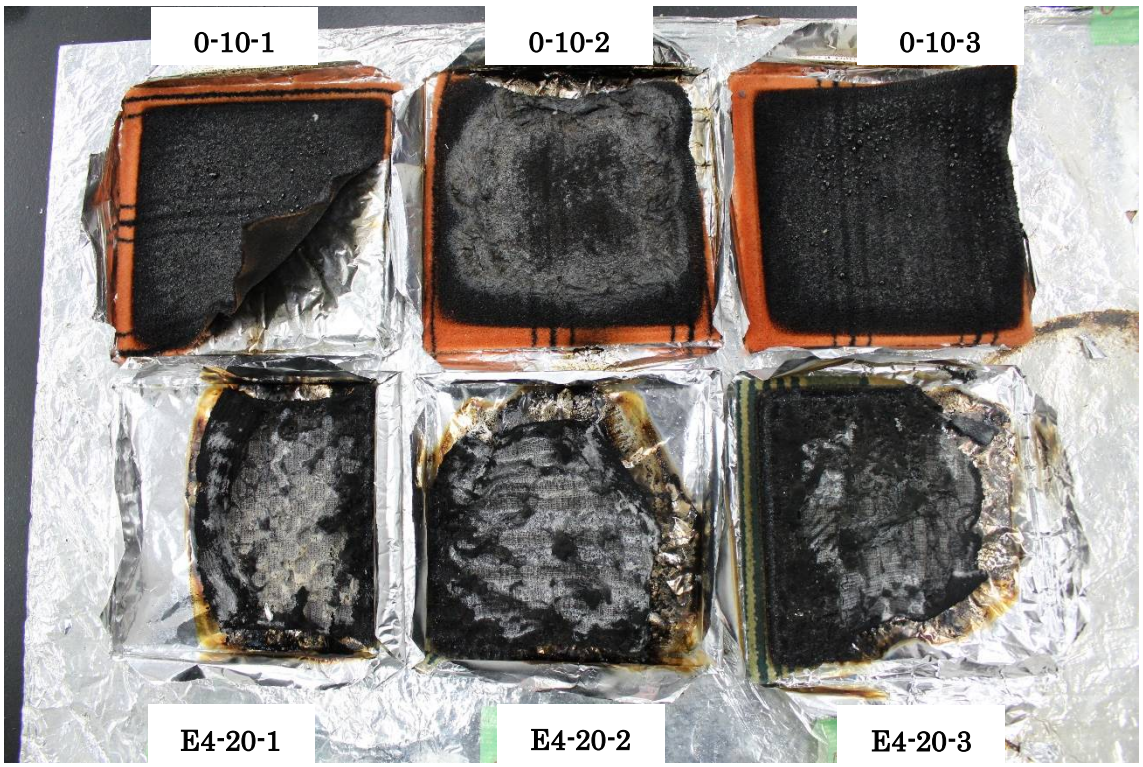


図 3.1.8.14　試験後の表地（放射加熱強度 0：10kw/m², E4：20kw/m²）

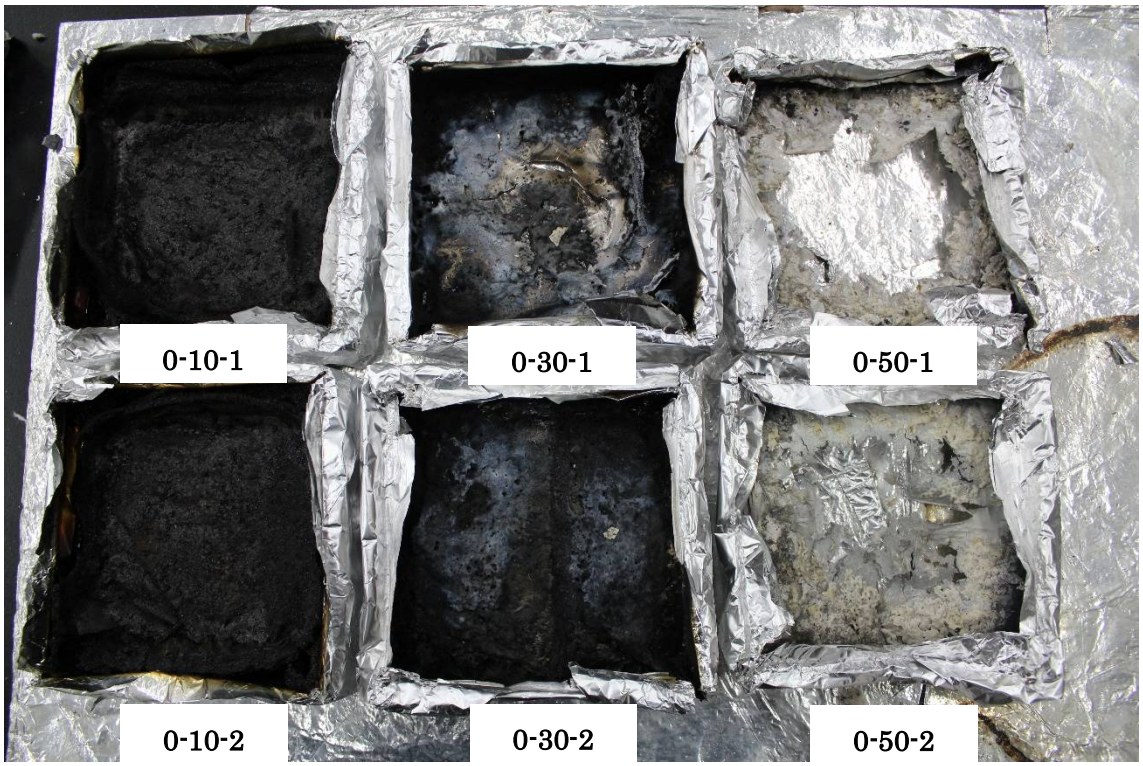


図 3.1.8.15　試験後の 0 系新幹線座席のウレタン

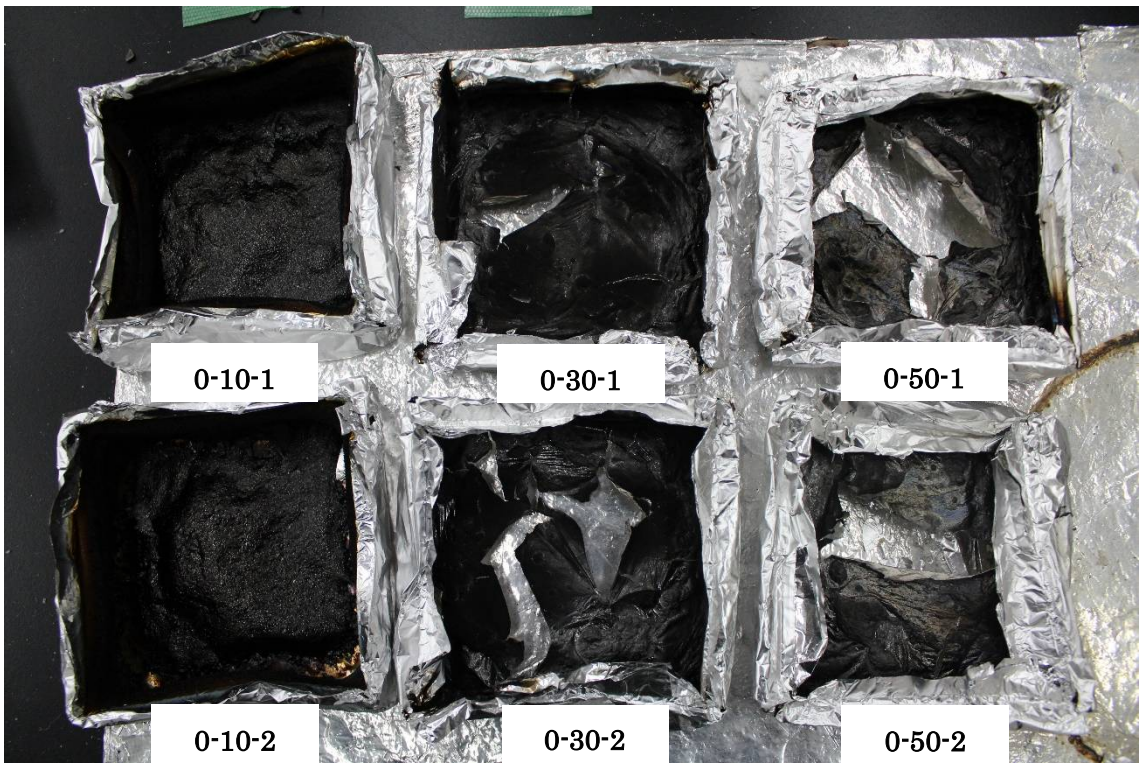


図 3.1.8.16　試験後の E4 系新幹線座席のウレタン

参考文献

1) 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

３．２　0 系および E4 系新幹線座席の表地の着火温度の測定実験

３．２．１　実験目的

新幹線車内での火災発生時における F.O.の有無とその時間の予測は、火炎と煙層からの放射熱により変化する座席の表地の温度を計算し、表地の温度が着火温度に達した時点を F.O.としている。表地の着火温度は、３．１で実施したコーンカロリーメーター試験の結果から熱着火理論を用いることで算出できる。しかし、コーンカロリーメーター試験を数回、同条件で行っても同じ結果とならないように、算出して得られた着火温度は一つの目安にすぎない。そこで、本実験では表地の着火温度を測定することで、後に算出する着火温度の妥当性の検証を可能とすることを目的とした。

３．２．２　実験日および実験場所

実験日　　2014 年 06 月 09 日（火）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 多目的実験室

実験従事者

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
清水	滉平	同　上	工学部第二部建築学科 4 年

３．２．３　実験方法および実験装置について

後に算出する着火温度の妥当性を検証するのであれば、当然のことながら、算出する着火温度はコーンカロリーメーター試験の結果をもとにするので、着火温度の測定においてもコーンカロリーメーター試験の条件と同一にすることが基本である。既往の文献 1)では、熱電対を試験体に埋め込み、コーンカロリーメーター試験装置を用いて着火温度を測定している。実験計画当初は、同様の手法を用いて着火温度の測定を試みようとしたが、コーンカロリーメーター試験の際に表地の熱収縮が確認された。熱電対で熱収縮する試験体の着火温度を測定する場合、熱電対は熱収縮する試験体に追従しなければならず、実際に測定するには困難が予想された。このことから、接触型の熱電対に代わる温度測定装置として非接触型のデジタル放射温度計を用いる実験に計画を変更した。しかし、コーンカロリーメーター試験装置とデジタル放射温度計を用いた着火温度の測定をいざ計画してみると下記の問題が生じ、コーンカロリーメーター試験装置での着火温度の測定は断念せざるを得なかった。

一点目の問題として、デジタル放射温度計をコーンヒーターの直上に設置できれば温度測定は可能であるが、実際は、コーンヒーターの直上には燃焼ガス収集用のフードがあり、デジタル温度計を設置可能なスペースは無いことや、直上はデジタル温度計にコーンヒーターや燃焼の際に生じる熱をまともに受けるため、実験実施は不可能だった。

二点目の問題として、コーンヒーターと試験体との隙間を利用し、斜めからの温度測定を検討したが、通常のコーンカロリーメーター試験装置はコーンヒーターと試験体との隙間

は 25mm 程度であり、その隙間から斜め向きにデジタル温度計での温度測定は可能であったが、実験後に結果を補正する必要があるなど複雑な実験となることが予想されたため行わなかった。

三点目の問題として、コーンカロリーメーター試験の実験条件と同一ではないが、コーンカロリーメーター試験装置は垂直に設置した試験体の加熱も可能であり、コーンヒーターの取り付け位置によってはコーンカロリーメーター試験装置での温度測定が可能であったが、実際の取り付け方法を調べるとコーンヒーターの取り付け位置は、デジタル放射温度計を設置するスペースのない試験装置の内側であった。そのため実験実施は不可能だった。

以上の実験計画を踏まえ、実際に行った着火温度の測定は図 3.2.3.1 のような手法を採った。高さ調節用のジャッキ上に試験体を垂直に設置し、水平距離調節用のジャッキにコーンヒーターを設置し、加熱方向が試験体表面に対して垂直となるようにした。着火は ISO5659 で用いられるバーナーを、試験体がバーナーの熱を受けにくい位置かつ熱分解により生じる可燃性ガスの流動経路上になる位置になるよう、試験体の上端中央から約 5mm の位置にバーナー先端を設置した。コーンヒーターの温度は 600℃で固定し、放射加熱強度は水平距離調節用ジャッキにより試験体とコーンヒーターとの距離を変化させることで調節した。デジタル放射温度計はハザマ測器株式会社製の低温用デジタル放射温度計 IN5＋型を用いた。この放射温度計は焦点距離の関係上、測定面との距離により測定面積（スポット径）が変わる。本実験では、スポット径が最小の 16mm となるよう、試験体の測定面と放射温度計の距離は 80cm とした。また、放射率は 1 とした。加熱直前までは、試験体への不要な加熱を避けるため、試験体とコーンヒーターとの間に、アルミ板に 12mm のセラミックブランケットを貼り付けた遮熱板を設置することで遮熱し、加熱開始と同時に手動で取り除いた。

最終的に、コーンカロリーメーター試験の条件と異なる加熱条件および着火方法となったが、あくまでも実験の目的は、表地の大まかな着火温度の把握であるため実験を実施した。

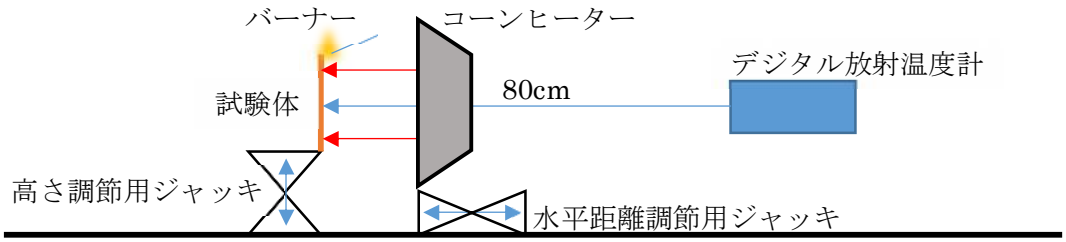


図 3.2.3.1　実験装置概略

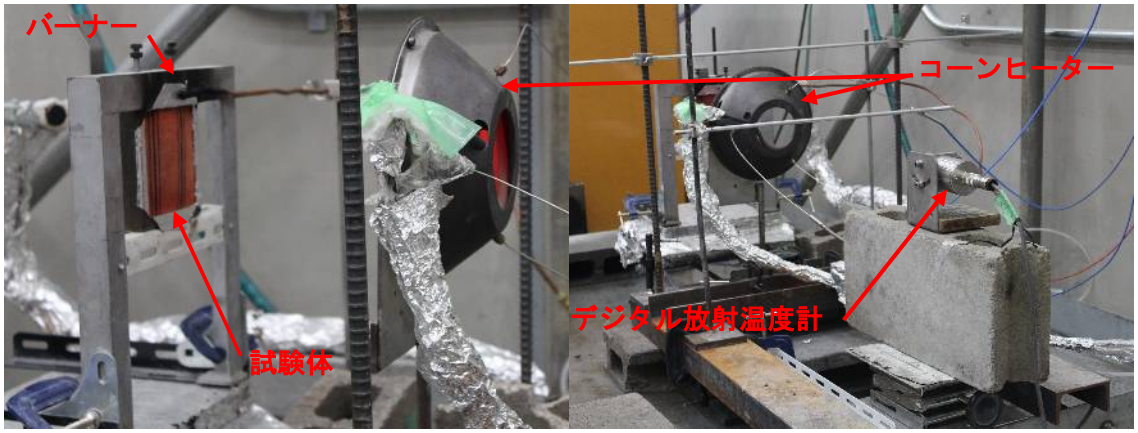


図 3.2.3.2　実験装置

３．２．４　試験体

試験体はコーンカロリーメーター試験と同様の表地を用いた。

３．２．５　実験手順

1.　PC、データロガー、放射温度計の電源 ON。熱流計冷却のため水道栓開。

2.　コーンヒーターの建物に付属するブレーカー、コーンヒーターの温度制御版内のブレーカーON。ヒーター温度を 600℃に設定後、運転。15 分程度、ヒーター温度が安定するまで待機。

3.　試験体表面から水平距離 80cm の位置にデジタル放射温度計を設置する。このときコーンヒーターの中央の円状に開けられた空間にデジタル放射温度計のレーザーが貫通し、試験体中央にレーザーが照射されるようにする。

4.　バーナーの先端を試験体の上端中央から約 5mm の位置に設置し、バーナー点火。バーナーの先端から火炎の先端までの長さが 30±5mm となるように流量を調節。火炎の色は青色で先端が黄色になるよう調節。

5.　バーナーの火炎をデジタル放射温度計がひろわないことを確認。バーナーOFF。

6.　試験体設置位置に熱流計を設置し、所定の放射加熱強度が得られるよう、水平距離調節用ジャッキでコーンヒーターとの距離を調節する。

7.　所定の放射加熱強度が得られたら、コーンヒーターの前に遮熱板を設置。

8.　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。

9.　試験体ホルダーを試験体設置位置に設置する。

10. バーナーの先端を試験体の上端中央から約 5mm の位置に設置。

11. 加熱開始 30 秒前、バーナー元栓開。加熱開始 10 秒前、バーナー点火。

12. 加熱開始。それと同時に遮熱板を取り除き、着火時間、着火温度を測定。

13. 着火後、バーナーを取り除く

14. 実験データの保存。試験データの Excel 変換。ホルダーの清掃および冷却。

15. 6～15 を繰り返す。

16. 片付け。各種電源 OFF。実験日報作成。

３．２．６　測定項目

試験体中央、201mm²（スポット径 16mm）の範囲の着火温度

３．２．７　実験条件

表 3.2.7.1 に実験条件一覧を示す。

表地の放射加熱強度は、コーンヒーターの設定可能温度が 600℃であったため、コーンヒーターと試験体との距離の関係上、30kW/m² が設定可能な最大の放射加熱強度であった。そのため、30, 25, 20kW/m² の三条件で着火温度の測定を行った。なお、20kW/m² を下回る放射加熱強度では、熱分解により生じる可燃性ガスが僅かとなり、着火に至らないことが予想されたため上記の三条件とした。それぞれの放射加熱強度で 3 回実験を繰り返した。

さらに、着火に至らない放射加熱強度で表面の温度推移を 30 分間記録した。こちらも同様に 3 回実験を繰り返した。

表 3.2.7.1　実験条件一覧

新幹線（座席）種類	材料種類	放射加熱強度[kW/m²]	実験回数
0 系新幹線 普通席 3 人掛け 1 脚	表地	30	3
		25	3
		20	3
		5	3
E4 系新幹線 グリーン車 1 人掛け 1 脚	表地	30	3
		25	3
		20	3
		5	3

３．２．８　実験結果

表 3.2.8.1 に実験結果一覧を示す。また、図 3.2.8.1 から図 3.2.8.8 に表地の温度推移を示す。

はじめに、図 3.2.8.1 から図 3.2.8.8 に着目すると、着火後に急激な温度上昇が確認できるものとそうではないものがある。特に 0 系新幹線座席の表地の多くに、着火後の急激な温度上昇がみられない。これは、試験体から生じる可燃性ガスがバーナーにより着火したものの、火炎が温度測定部分の試験体中央まで広がらずに試験体上部でのみ有炎燃焼し、結果として着火を示す急激な温度上昇が表れなかった。

（着火時間）

表 3.2.8.1 をみると、各放射加熱強度においても着火時間の平均は 0 系新幹線座席の表地に比べ E4 系新幹線座席の表地の方が 20 秒程短い結果となった。この結果から、20～30kW/m² の放射加熱強度においては 0 系新幹線座席の表地に比べ E4 系新幹線座席の表地の方が着火しやすいことがわかった。また、0 系および E4 系新幹線座席の表地ともに、放射加熱強度が 5kW/m² 毎に下がるにつれて着火時間の平均が約 20 秒ずつ増える結果となった。これは、放射加熱強度が大きいほど、着火に必要な濃度の可燃性ガスが短時間で生じるためと考える。

コーンカロリーメーター試験の平均着火時間と今回実施した表地の着火温度の測定実験の平均着火時間を比較すると、30kW/m² の放射加熱強度においては 0 系および E4 系新幹線座席の表地ともに概ね一致した。20kW/m² の放射加熱強度においては E4 系新幹線座席の表地のみの比較となるが、こちらは 25 秒の差が生じた。これらの要因として、30kW/m² の放射加熱強度では着火に必要な濃度の可燃性ガスが十分に生じ、着火方法（バーナーかスパークか）に影響を受けずに着火に至ったため、着火時間の平均が概ね一致したと考えられる。一方、20kW/m² の放射加熱強度では、着火に必要な濃度の可燃性ガスの発生には時間を要し、さらに加熱条件（垂直部材の加熱か水平部材の加熱か）の違いによりバーナー付近の可燃性ガスの濃度に差異が生じたことで、着火時間の平均が一致しなかったと考えられる。

（着火温度）

0 系および E4 系新幹線座席の表地ともに放射加熱強度が低下するにつれ着火温度も低下する傾向がみられた。0 系新幹線座席の表地の着火温度は最低が 409℃（0-20-3）、最高が 474℃（0-30-3）でその差は 65℃であったのに対し、E4 系新幹線座席の表地の着火温度は最低が 417℃（E4-30-2）、最高が 450℃（0-30-1）でその差は 33℃と、0 系新幹線座席の表地の着火温度に比べ E4 系新幹線座席の表地の着火温度のばらつきは僅かであった。

（温度推移）

図 3.2.8.1 から図 3.2.8.8 をみると、全ての温度上昇は指数関数的なようでそうではないことがわかる。これは、表地が放射加熱を受けることで表地内部の水分等が蒸発に伴う潜熱で温度上昇が一旦、弱まることや、表地が放射加熱を受けることによる表面の炭化で、放射率の変化といった材料特性の変化が生じているためと考える。特に、放射加熱強度 5kW/m^2 の実験ではそれがよくわかる（図 3.2.8.7 および図 3.2.8.8）。図 3.2.8.9 および図 3.2.8.10 は放射加熱強度 5kW/m^2 の実験前後の表地の状態であるが、0 系新幹線座席の表地は実験後に表面の炭化がみられ、E4 系新幹線座席の表地は実験後に表面の炭化はなかった。炭化がみられた 0 系新幹線座席の表地の温度推移（図 3.2.8.7）をみると、温度上昇は指数関数的でなく、さらには 3 回の実験結果にばらつきが生じていることがわかる。一方、炭化しなかった E4 系新幹線座席の表地の温度推移（図 3.2.8.8）をみると、温度上昇は指数関数的に近く、さらには 3 回の実験結果にほとんどばらつきが生じていないことがわかる。このように、放射加熱を受ける過程で材料特性は常に変化している。

図 3.2.8.7 および図 3.2.8.8 をみると、加熱後 25 分程で温度が定常となっていることがわかる。加熱後 29 分から 30 分までの平均温度は 0 系新幹線座席の表地が 245℃、E4 系新幹線座席の表地が 236℃となった（表 3.2.8.1）。この定常状態となった表地の温度は、後の「表地の着火温度および熱慣性の推定」で推定した表地の物性値の妥当性を判断することに活用できる。

（表地の着火温度の測定実験のまとめ）

本実験で得られた着火温度をコーンカロリーメーター試験の着火温度として扱うことは、加熱条件や着火方法といった実験条件の違いがある中で妥当とは言いがたいが、本実験の放射加熱強度 30kW/m^2 で得られた着火時間の平均とコーンカロリーメーター試験の放射加熱強度 30kW/m^2 における着火時間の平均は概ね一致しており、本実験の着火温度をコーンカロリーメーター試験の着火温度の目安と考える。

表 3.2.8.1　実験結果一覧

試験体（表地）	着火時間[s]	平均	着火温度[℃]	平均	コーンカロリーメーター試験の平均着火時間[s]（参考）
0-30-1	45	61	463	468	63
0-30-2	57		466		
0-30-3	80		474		
0-25-1	71	80	439	444	
0-25-2	93		438		
0-25-3	77		456		
0-20-1	194	99	439	411	
0-20-2	52		386		
0-20-3	52		409		
E4-30-1	55	42	450	436	45
E4-30-2	35		417		
E4-30-3	37		442		
E4-25-1	59	59	424	429	
E4-25-2	58		431		
E4-25-3	61		433		
E4-20-1	73	78	421	428	103
E4-20-2	85		437		
E4-20-3	77		427		

試験体（表地）	加熱後 29 分から 30 分までの平均温度[℃]	平均
0-5-1	241	245
0-5-2	251	
0-5-3	244	
E4-5-1	237	236
E4-5-2	235	
E4-5-3	237	

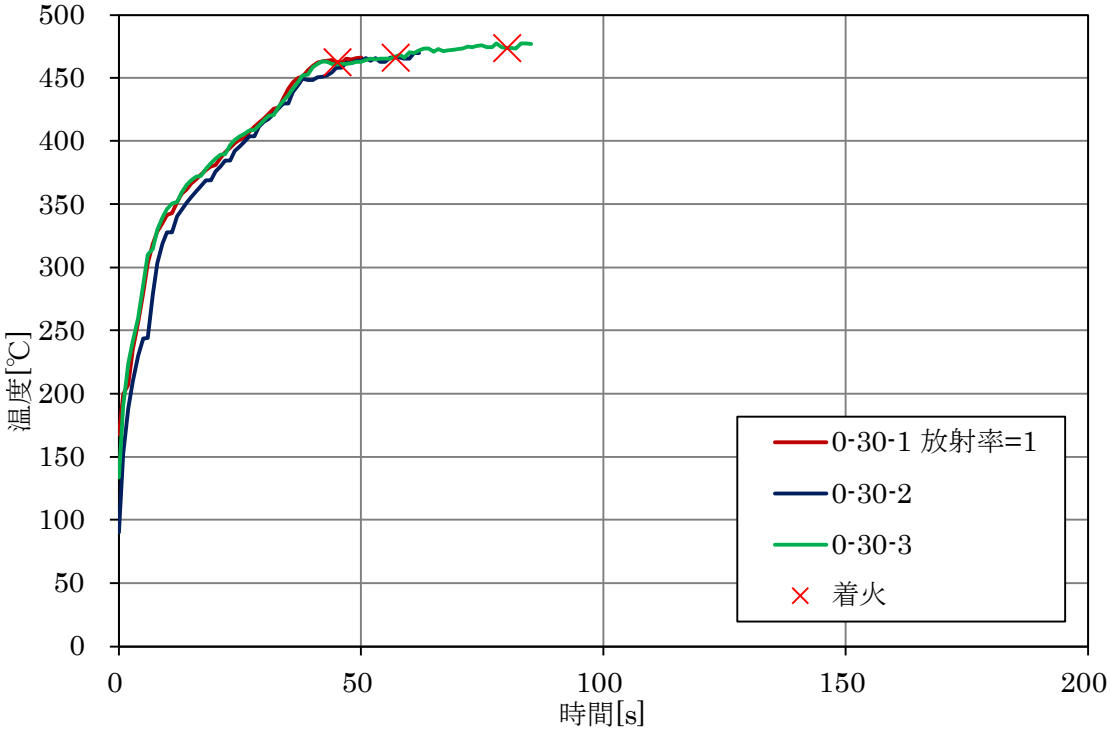


図 3.2.8.1　放射加熱強度 30kW/m² における 0 系新幹線座席の表地の温度推移

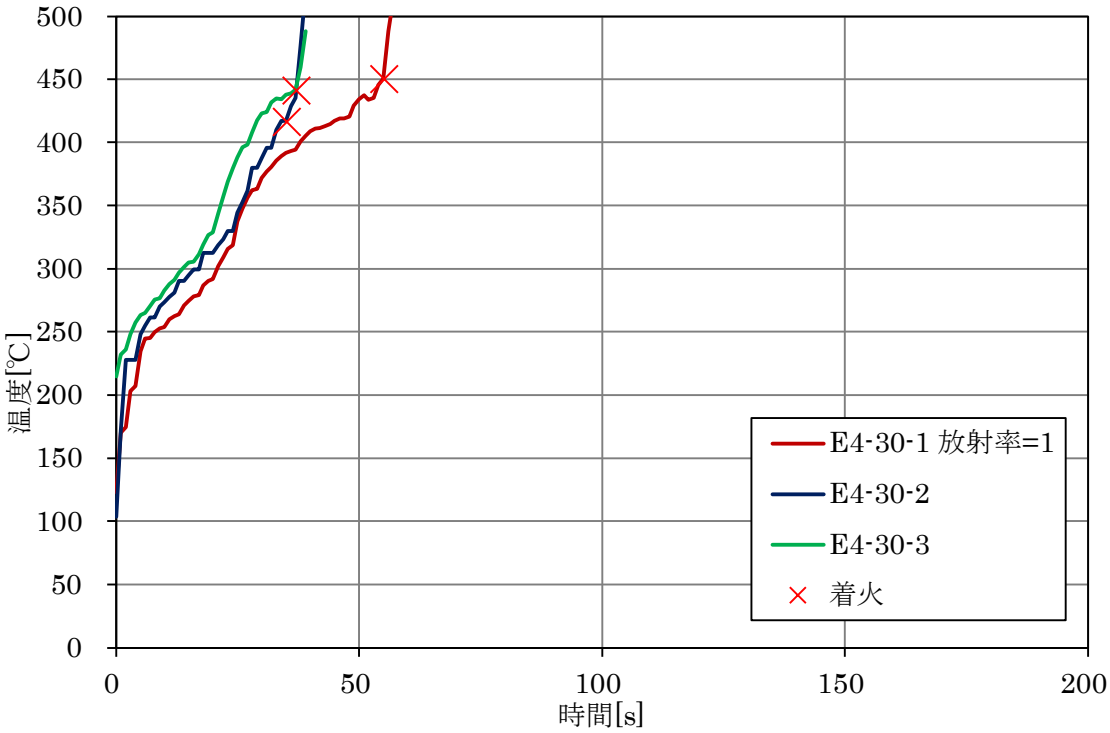


図 3.2.8.2　放射加熱強度 30kW/m² における E4 系新幹線座席の表地の温度推移

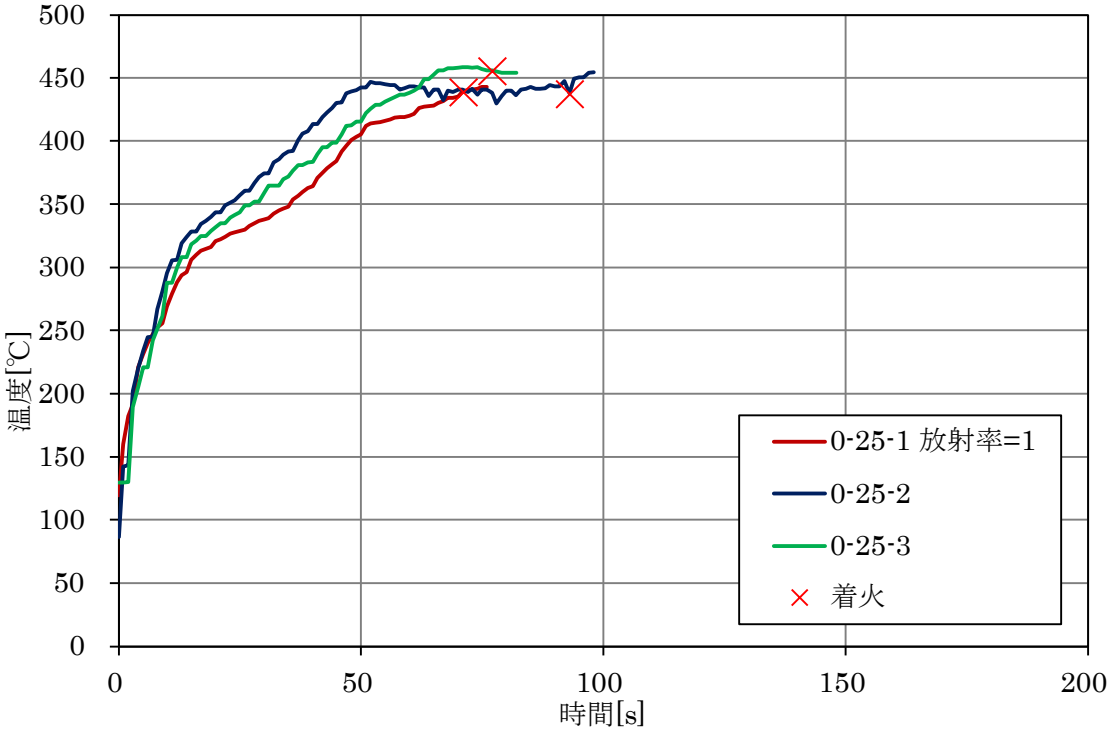


図 3.2.8.3　放射加熱強度 25kW/m² における 0 系新幹線座席の表地の温度推移

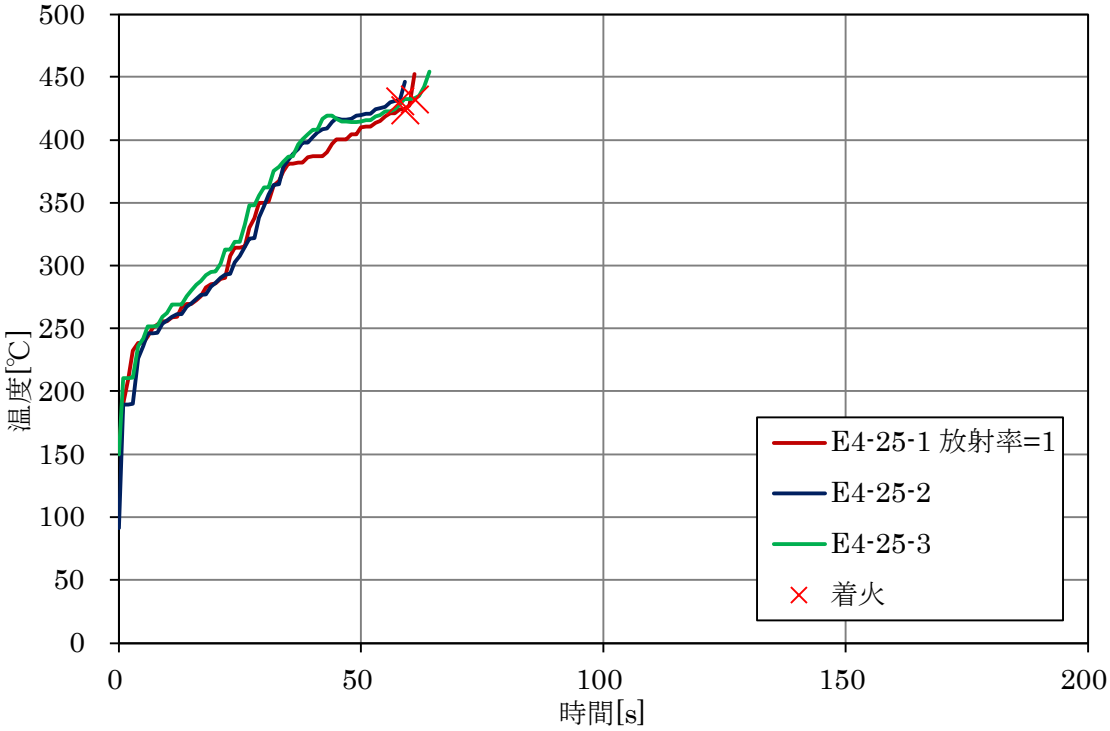


図 3.2.8.4　放射加熱強度 25kW/m² における E4 系新幹線座席の表地の温度推移

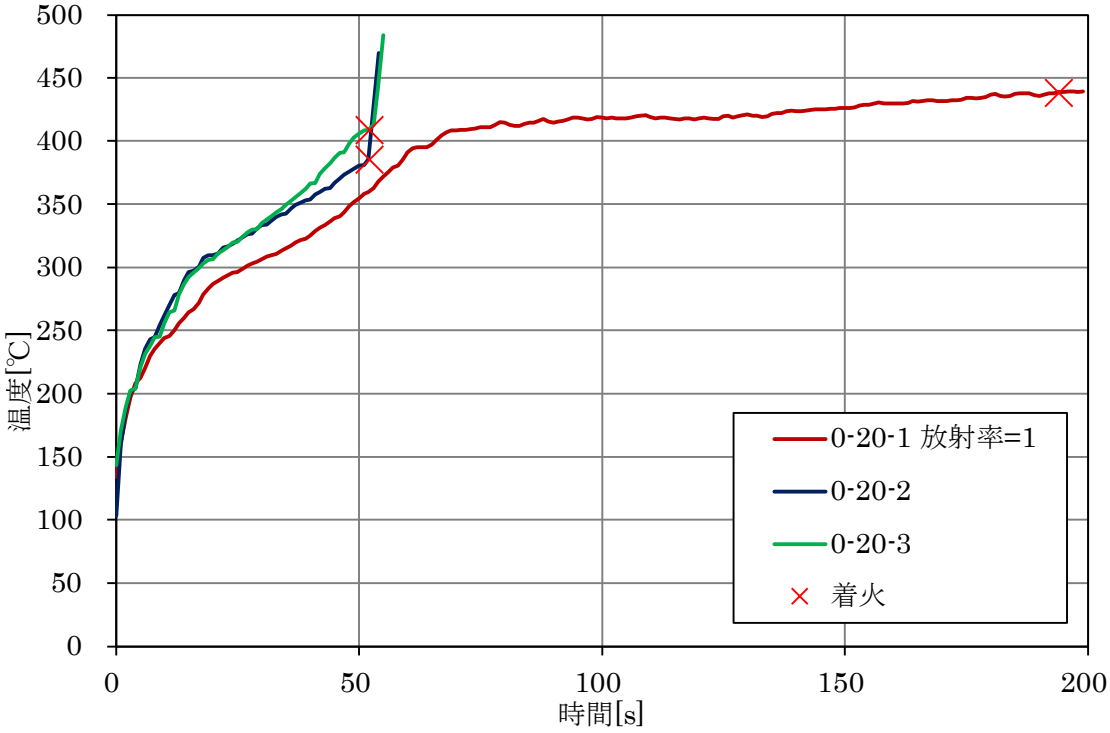


図 3.2.8.5　放射加熱強度 20kW/m² における 0 系新幹線座席の表地の温度推移

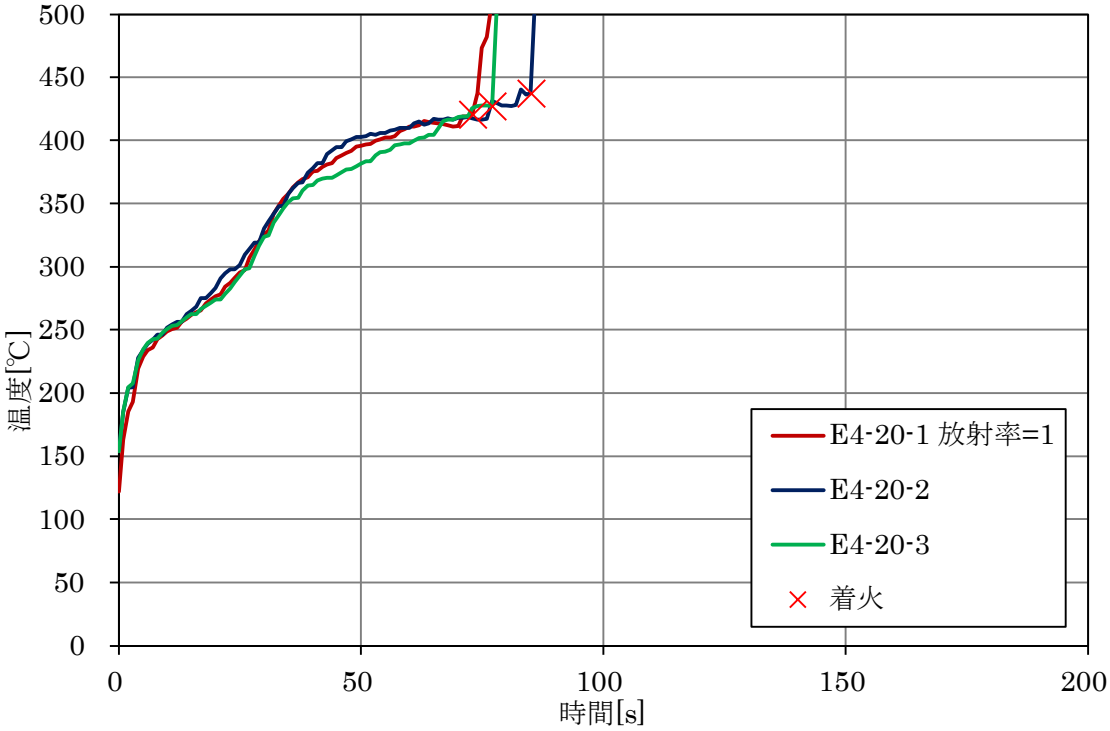


図 3.2.8.6　放射加熱強度 20kW/m² における E4 系新幹線座席の表地の温度推移

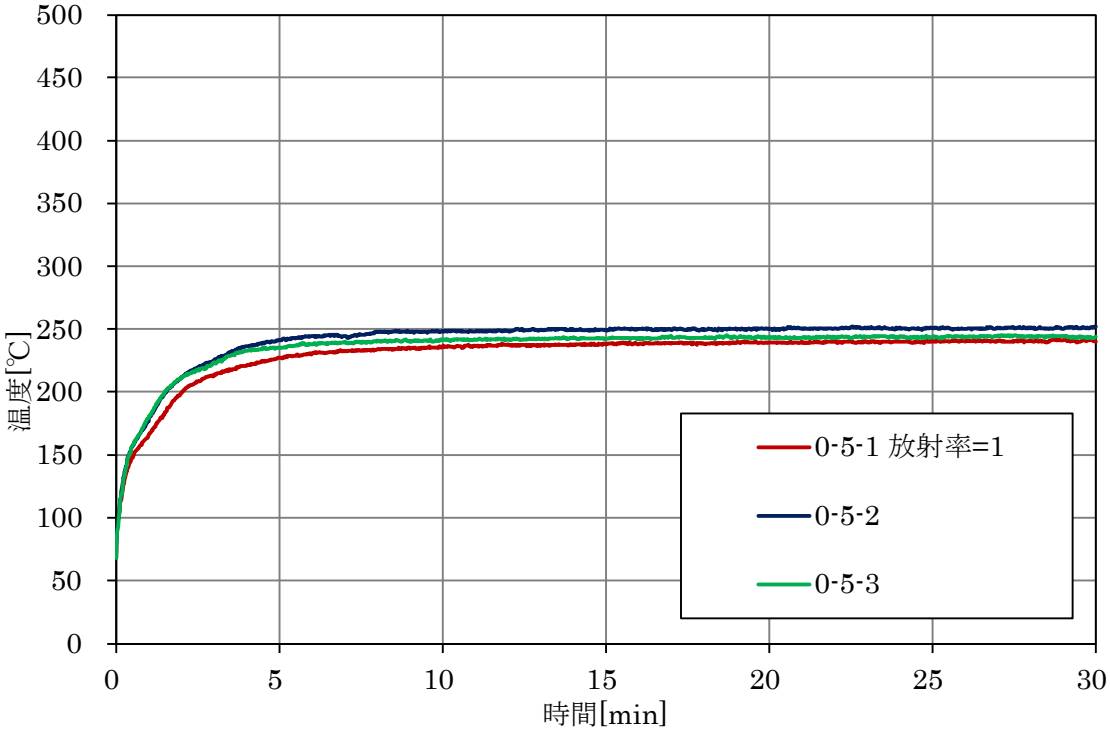


図 3.2.8.7　放射加熱強度 5kW/m² における 0 系新幹線座席の表地の温度推移

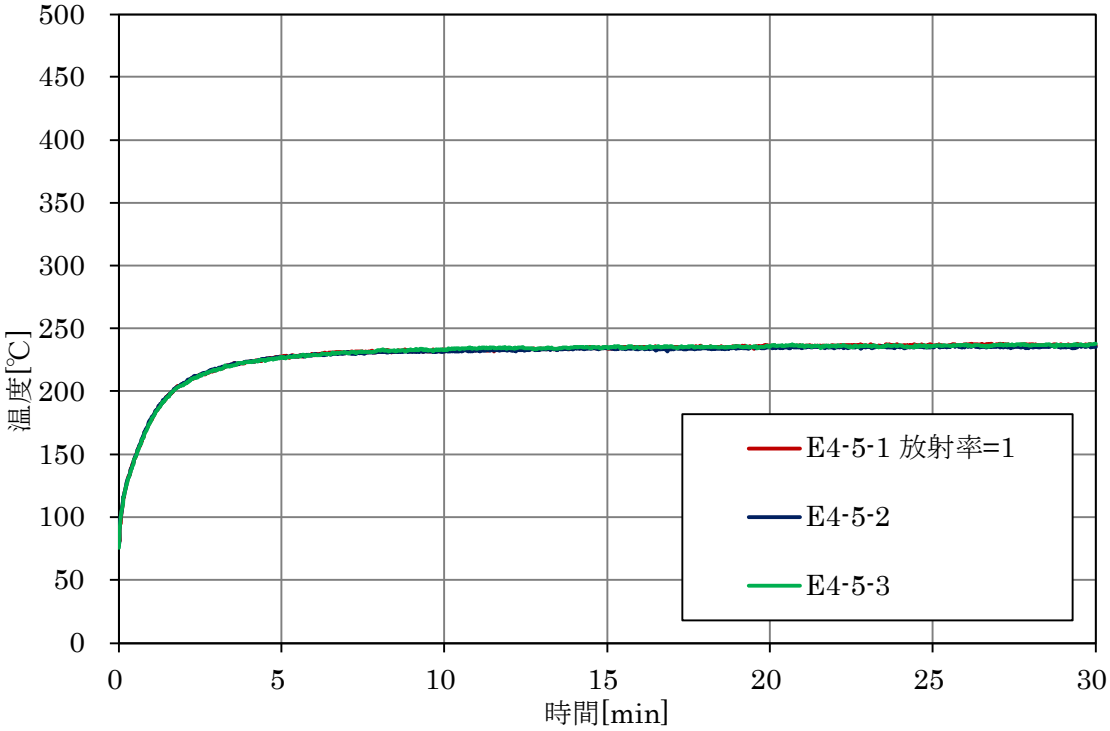


図 3.2.8.8　放射加熱強度 5kW/m² における E4 系新幹線座席の表地の温度推移

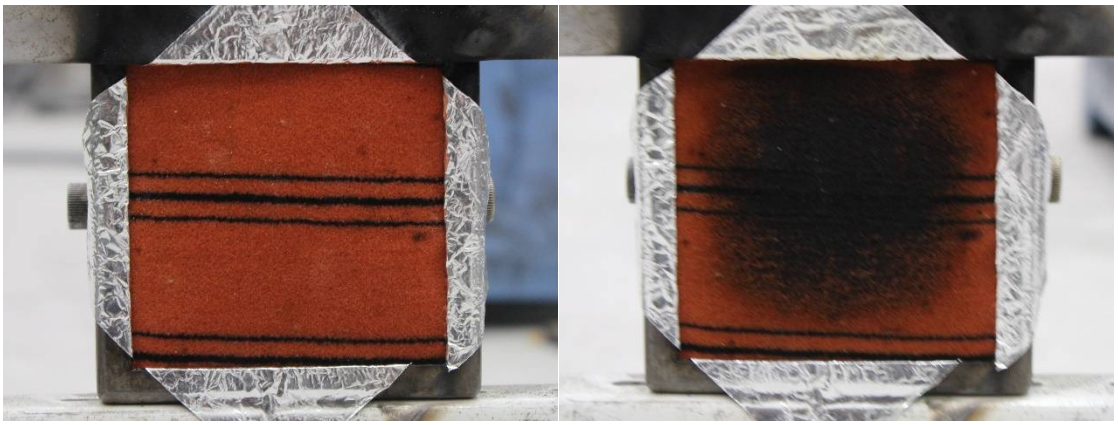


図 3.2.8.9 0 系新幹線座席の表地(左：加熱前、右：放射加熱強度 5kW/m^2 加熱後)

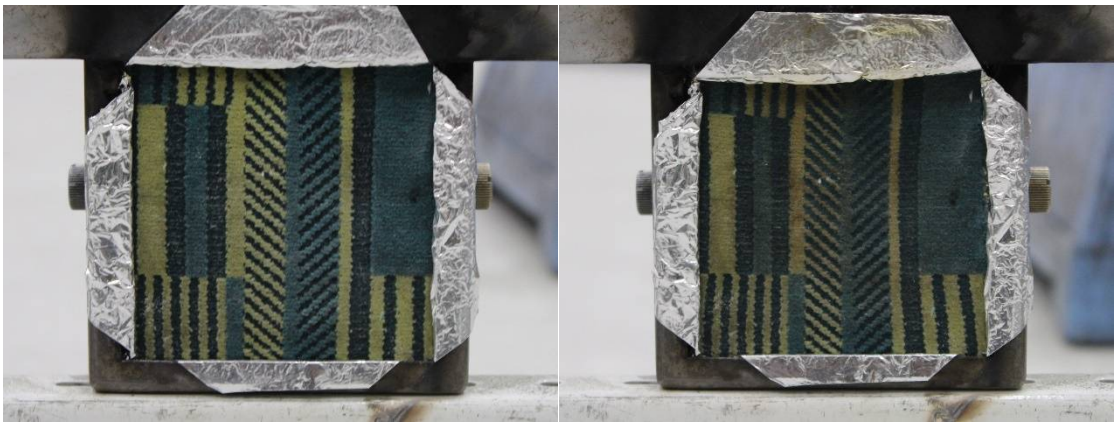


図 3.2.8.10 E4 系新幹線座席の表地(左：加熱前、右：放射加熱強度 5kW/m^2 加熱後)

参考文献

1) 長岡勉、辻本誠、上原茂男、「放射加熱を受ける可燃物の着火温度：コーンカロリーメータを用いた着火温度の測定」『日本建築学会環境系論文集』一般社団法人日本建築学会、第 596 号、2005 年 10 月 30 日、pp.1-6

３．３　0 系および E4 系新幹線座席の燃焼実験

３．３．１　実験目的

自由空間において 0 系および 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や火炎からの熱流束を計測し、新幹線車内における火災発生時の F.O.の有無とその時間を予測するため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 F.O.の有無とその時間を計測する。加えて、煙層温度および非着火座席のヘッドレスト付近に設置した熱流計により煙層からの放射熱および対流熱を計測し、予測モデルによる F.O.の有無とその時間との整合性を確認する。

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 3.3.4　図 3.3.4.1 参照

３．３．２　実験日および実験場所

実験日　　2014 年 06 月 23 日（月）～　2014 年 06 月 27 日（金）

25 日・・・E4-Free、0-Free-R-1、0-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

３．３．３　実験従事者（敬称略）

・亀岡　晃	090-7701-1231	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	

３．３．４　試験体

図 3.3.4.1　試験体に用いた 0 系(左)と E4 系(右)新幹線の座席

表 3.3.4.1　試験体に用いた新幹線の座席の主な仕様

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

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た。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シートバックポケットの表地とフットレストを取り外した。

３．３．５　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。

表 3.3.5.1　狩勝実験線列車火災試験の試験条件

		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	
	火源	新聞紙 20 ページ	新聞紙 20 ページ および アルコール 200ml		新聞紙 40 ページ および 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

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 3.3.5.1　狩勝実験線列車火災試験の着火

３．３．６　測定項目

0-Free / E4-Free

・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

0-Room

・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

（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、ダクト内の温度および動圧を測定し、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 3.3.6.1 に示す。

表 3.3.6.1　発熱速度算定の際に使用した測定機器

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)	
二酸化炭素 および 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)	
データ収集	データロガー (横川電機製 MX100)	

※測定機器写真は各メーカーHP から引用

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」と参考文献 1)には記載されている。

一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 の実験前の確認実験の際に発熱速度を算定する演算式に誤りがあり、その後の 0-Free の実験前に演算式を訂正し、再度、確認実験を行った為である。

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訂正

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)=20.9148/100 の分子 20.9148 は測定直前の O2 濃度(実験の度に変動する)
再演算では、ch(99005)の測定開始直後の値、20.9148 とした

ch(99020)=0.219/100

※ch(99020)=0.219/100 の分子 0.219 は測定直前の CO2 濃度(実験の度に変動する)
再演算では、訂正済の ch(99006)の測定開始直後の値、0.219 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[1]から引用し、エタノールの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。

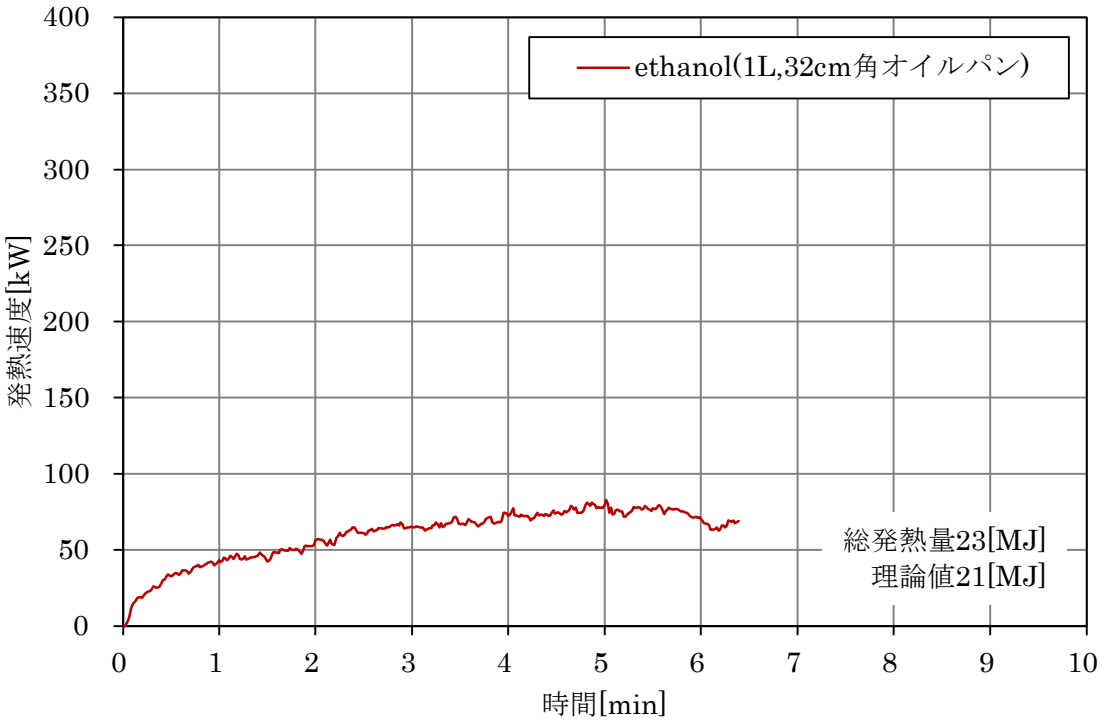


図 3.3.6.1　2014/6/25 確認実験(E4-Free 実験前)

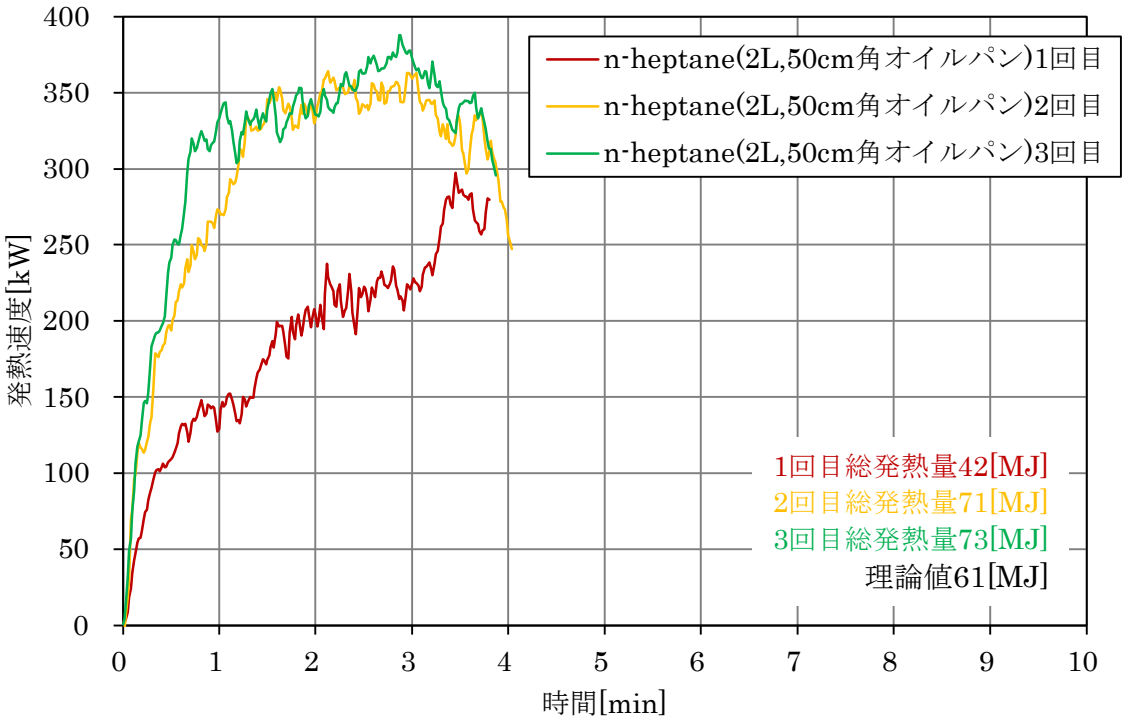


図 3.3.6.2　2014/6/25 確認実験(0-Free-R-1 実験前)

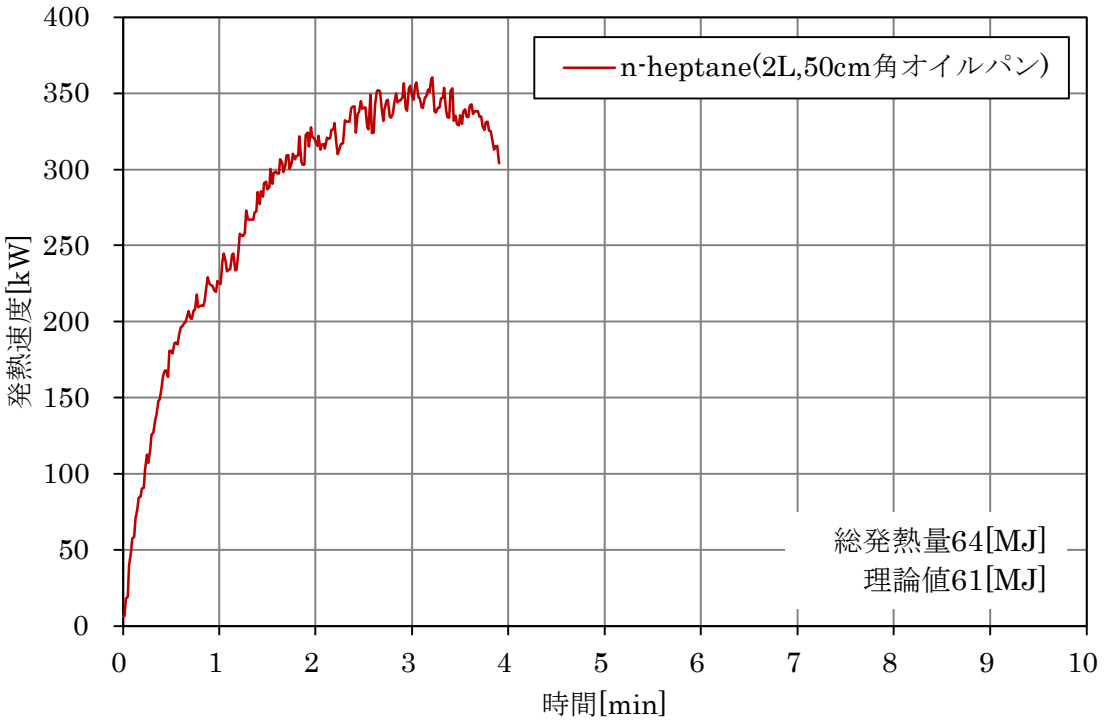


図 3.3.6.3　2014/6/26 確認実験(0-Free-C-3 実験前)

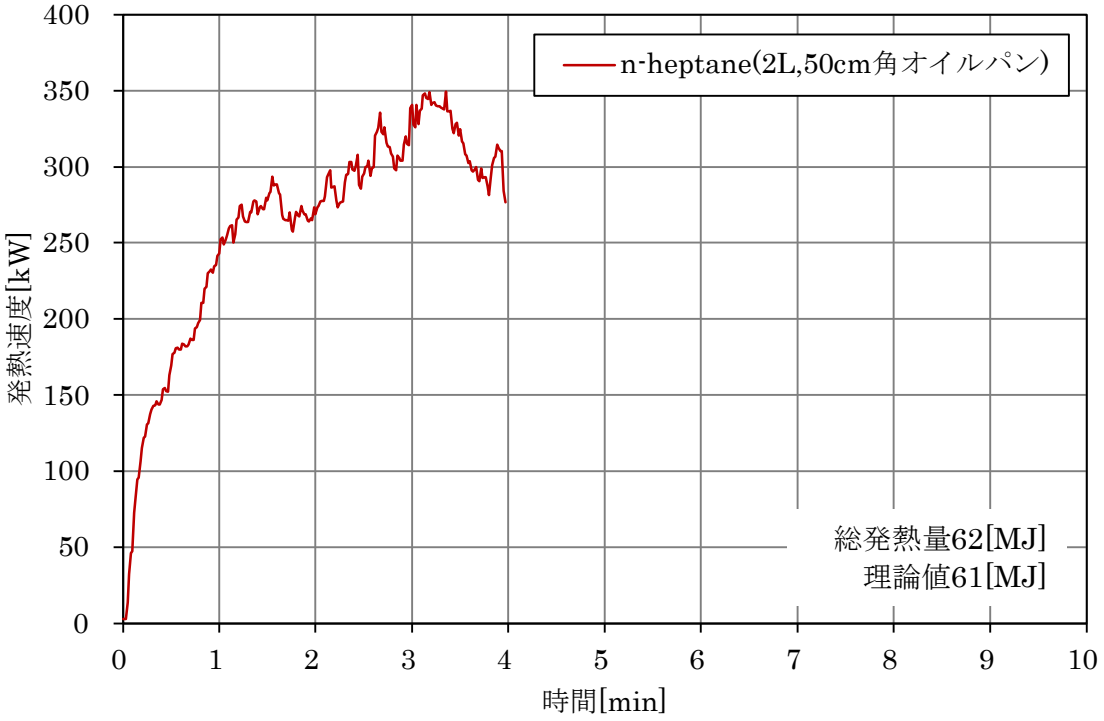


図 3.3.6.4　2014/6/27 確認実験(0-Room-R-1 実験前)

（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3.3.6.5)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：**３．３．７　試験体および計測機器の設置状況**）

図 3.3.6.5　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 点を設置した。

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、背ずり背面および 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

熱電対は全て坂口電熱製のφ0.32 の CA 熱電対(ガラス被覆)を使用した。

（参照：**３．３．７　試験体および計測機器の設置状況**）

図 3.3.6.6　CA 熱電対(φ0.32, 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設置した。

（参照：**３．３．７　試験体および計測機器の設置状況**）

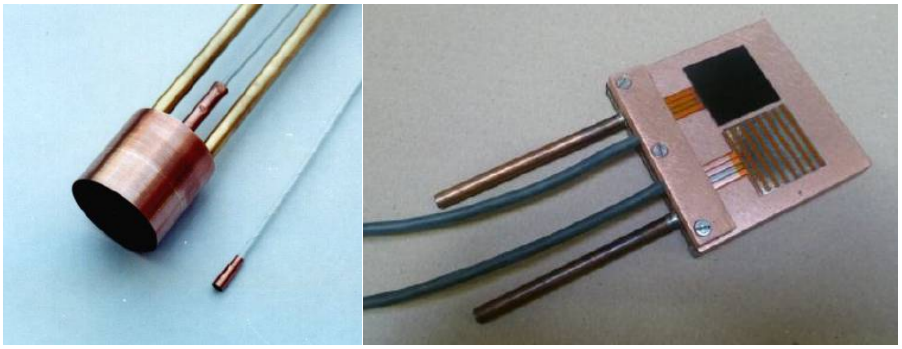


図 3.3.6.7　VATELL 製熱流計(右)と MCAPTEC 製熱流計(左)

（５）データ収集

重量変化および温度、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、鎮火確認後 1 分を収集した。

（６）画像および映像記録

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 RICOH 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。

デジタルビデオにて実験中の状況を、2 台の SONY 製デジタルビデオで試験体の斜め前方および斜め後方から撮影した。

（参照：**３．３．７　試験体およ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)が表示した温度および湿度を下記に示す。

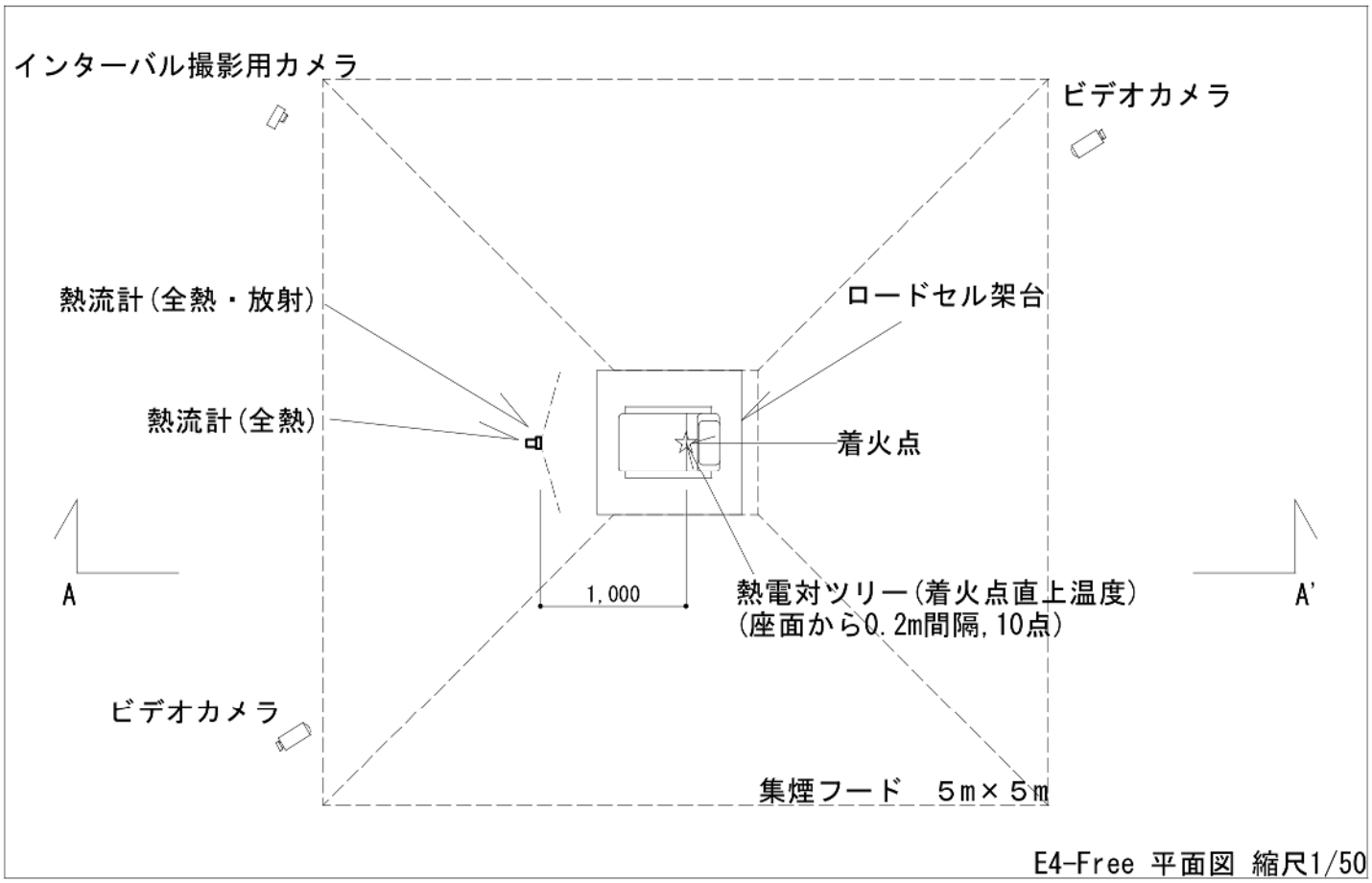
・25 日・・・温度：23.9[℃]、湿度：78[%]

・26 日・・・温度：24.9[℃]、湿度：73[%]

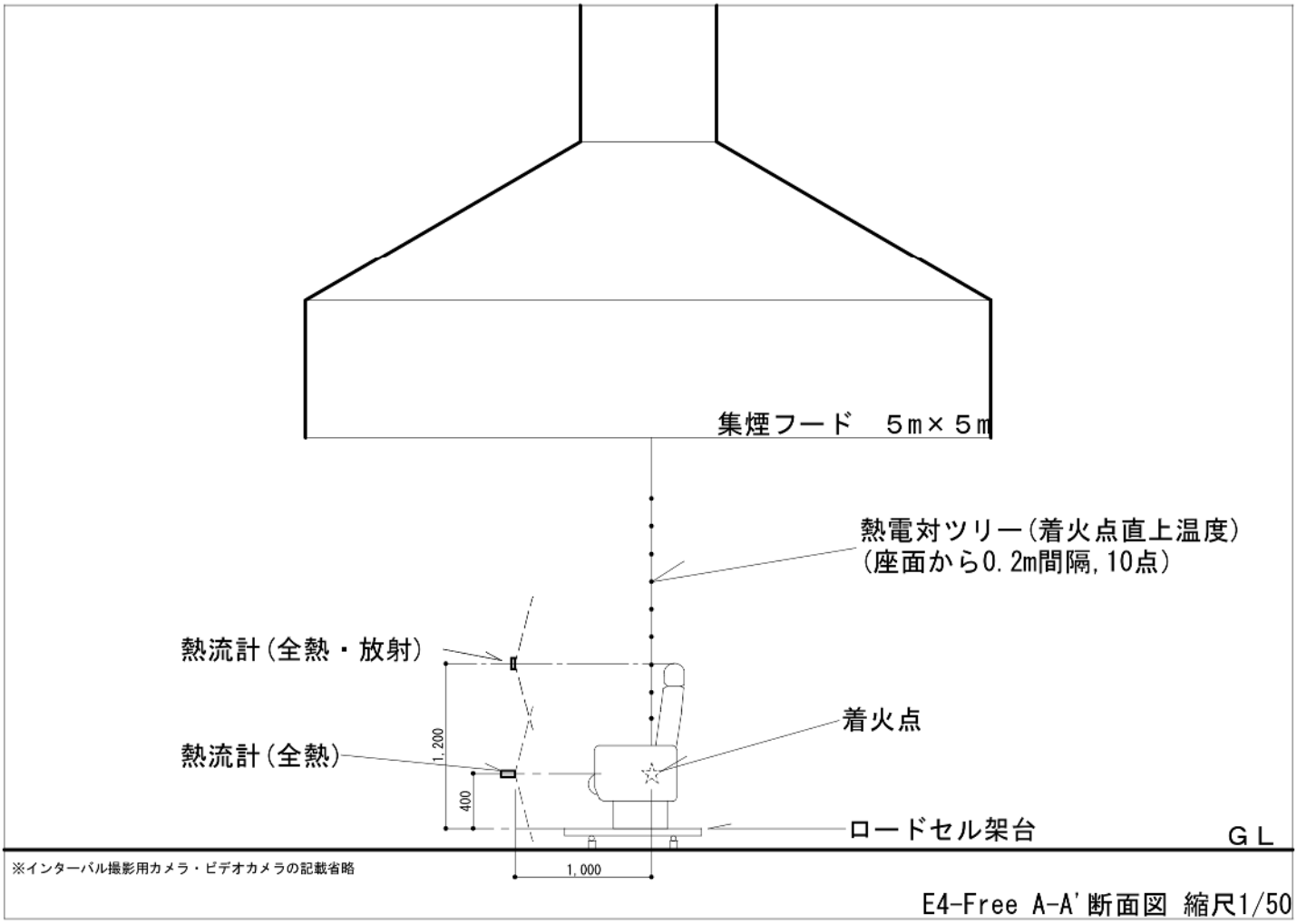
・27 日・・・温度：23.4[℃]、湿度：77[%]

３．３．７　試験体および計測機器の設置状況

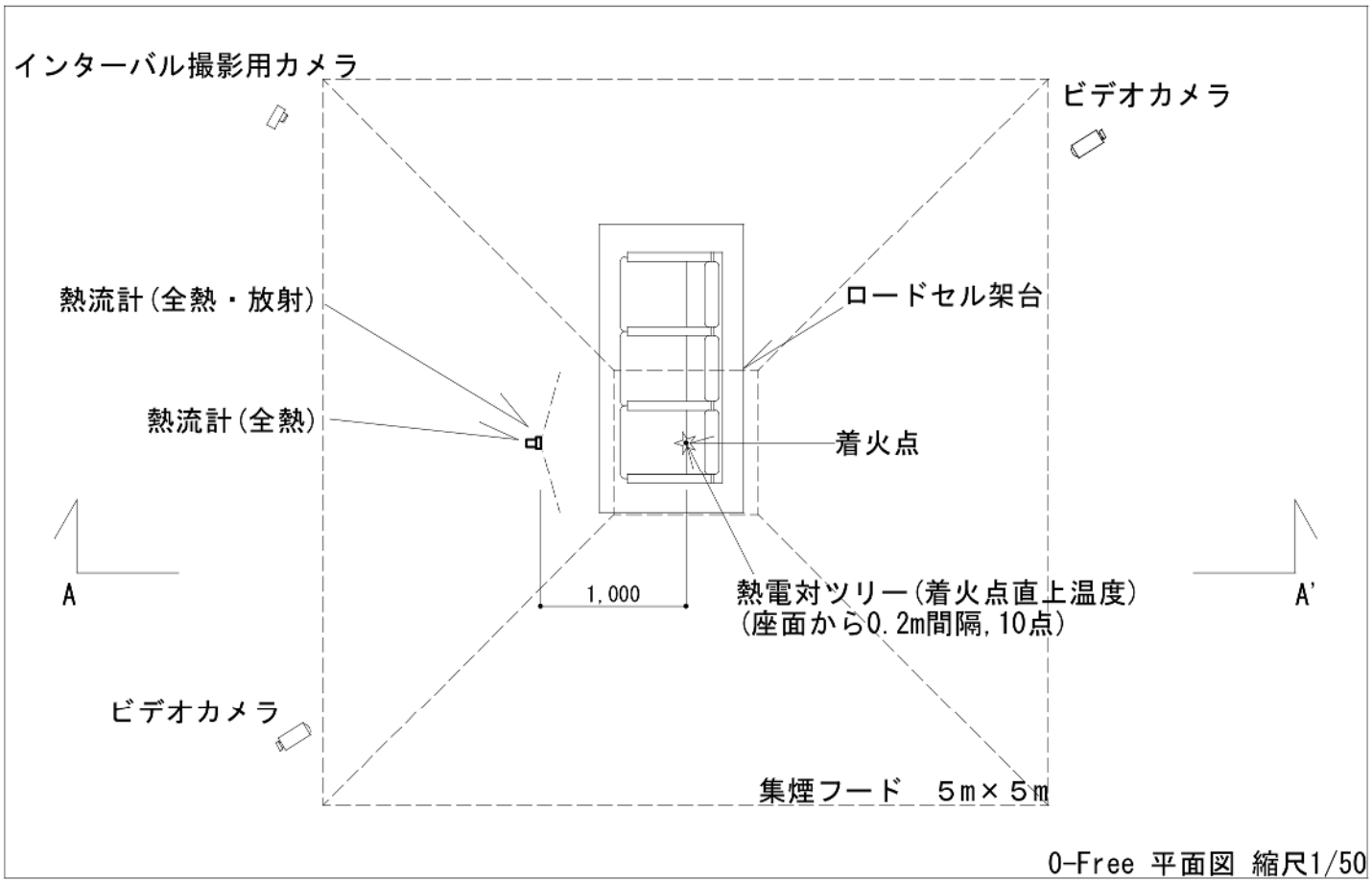
試験体および計測機器の設置状況を次頁から示す。



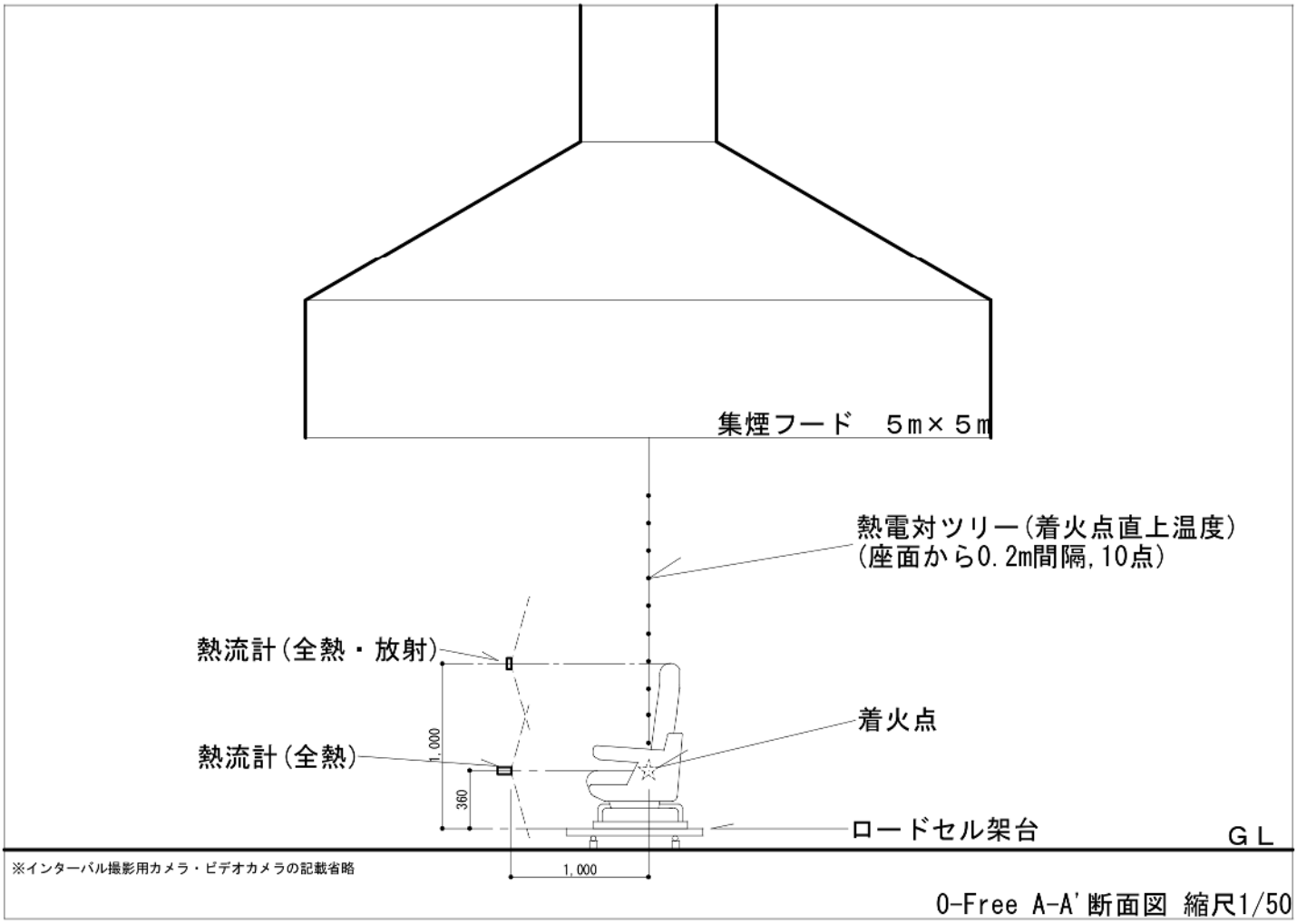
E4-Free 平面図 縮尺1/50



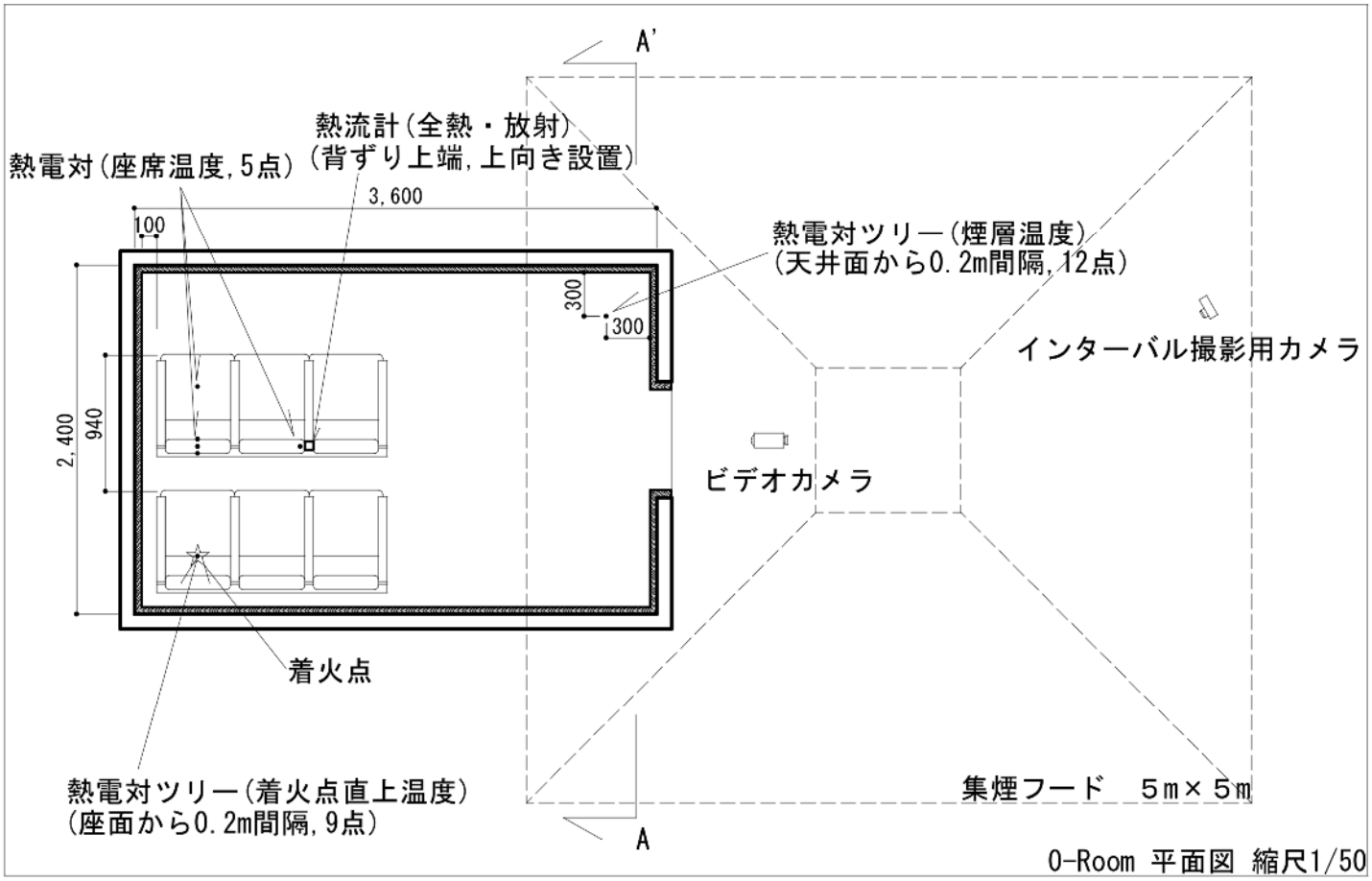
E4-Free A-A'断面図 縮尺1/50



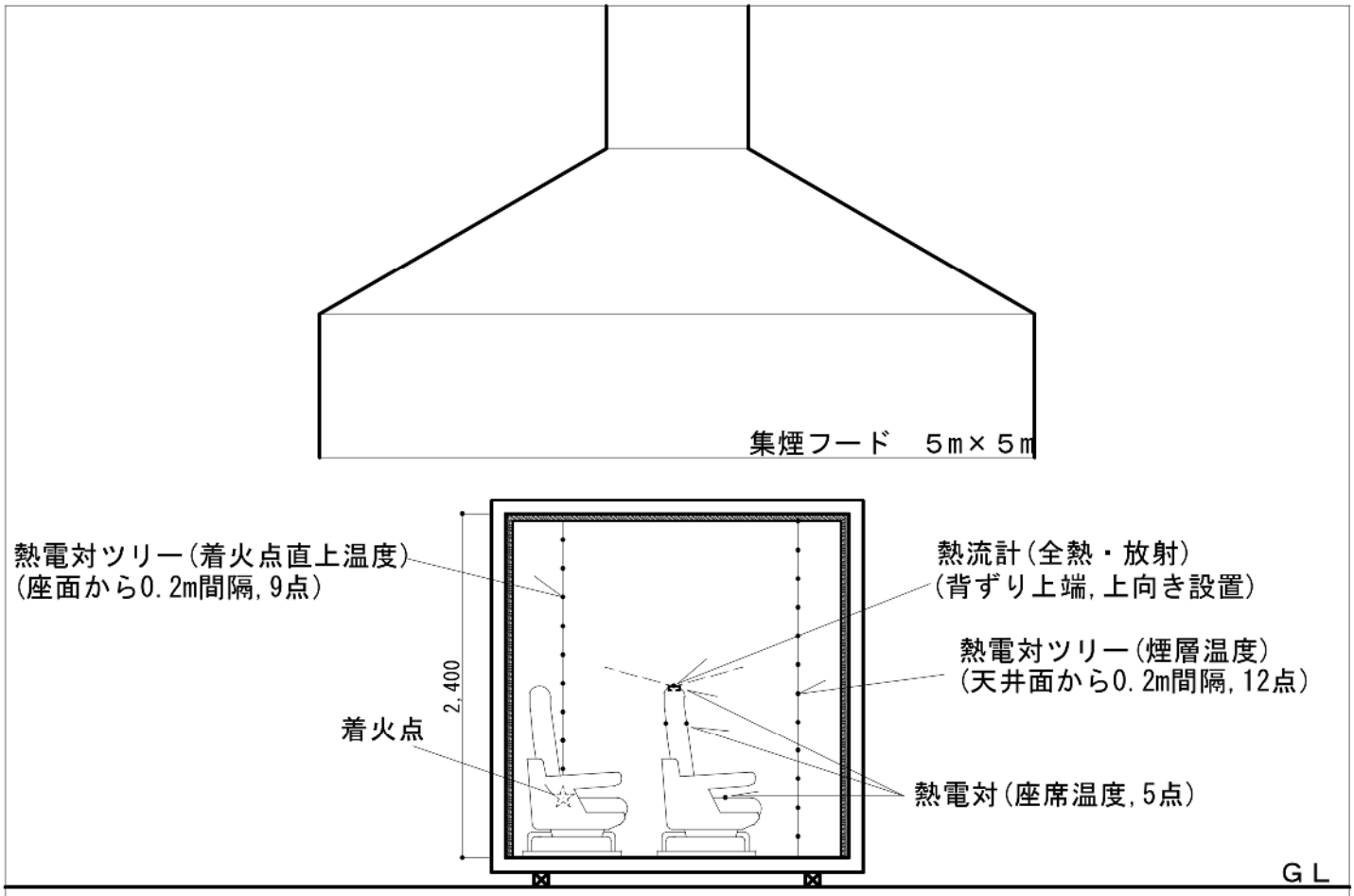
0-Free 平面図 縮尺1/50



0-Free A-A'断面図 縮尺1/50



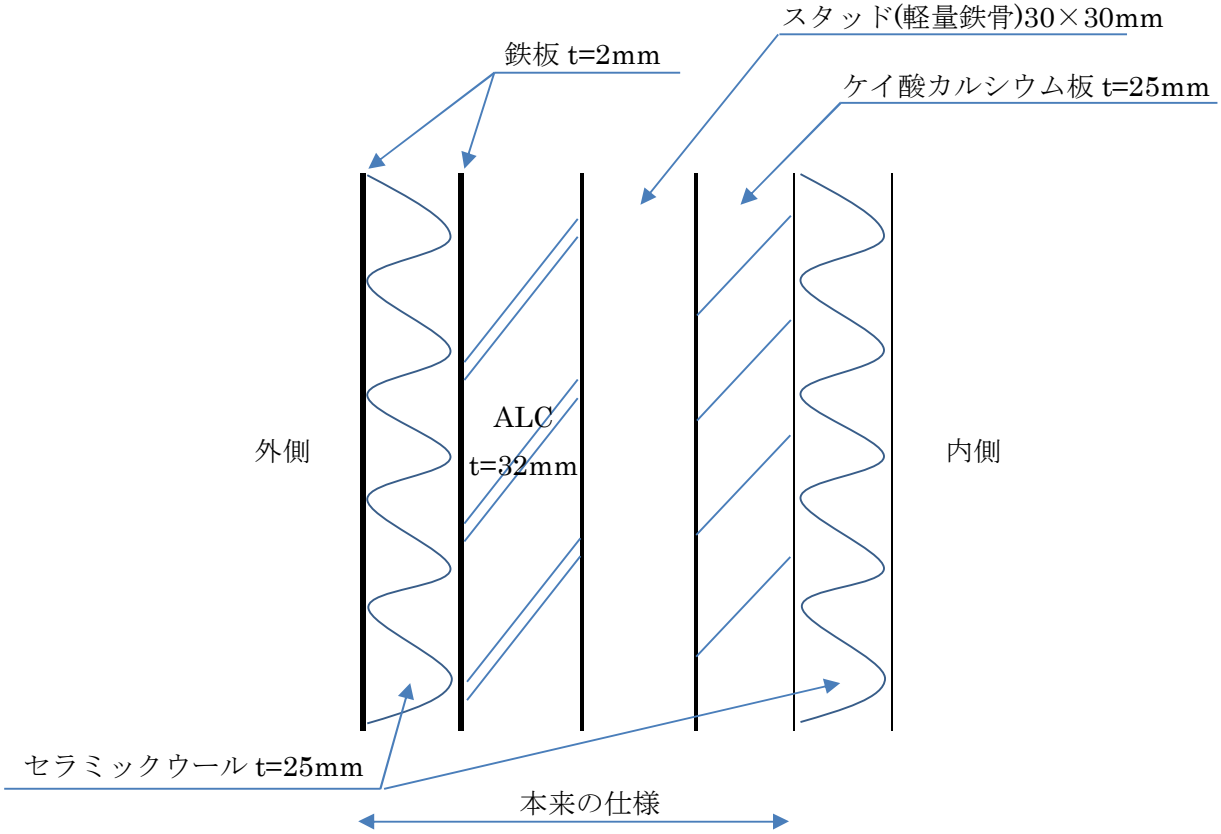
0-Room 平面図 縮尺1/50



0-Room A-A'断面図 縮尺1/50

ISO9705 ルームコーナー試験装置の壁面の仕様

下記に三生技研田中和祥氏から提供された、実験に使用した ISO9705 ルームコーナー試験装置の壁面の仕様を示す。



３．３．８　実験結果

以下に実験結果を示す。

表 3.3.8.1　実験結果概要 1

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

※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 3.3.8.2　実験結果概要 2-1

実験名	重量変化 [kg]	火炎からの最大熱流束[kW/m²]		
		座面 (全熱)	ヘッドレスト (全熱)	ヘッドレスト (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 表示となり、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 3.3.8.3　実験結果概要 2-2

実験名	煙からの最大熱流束[kW/m²]		最大煙層温度 [℃]
	ヘッドレスト (全熱)	ヘッドレスト (放射のみ)	
0-Room-R-1	2.2	2.3	194.8
0-Room-C-2	4.0	3.8	231.3

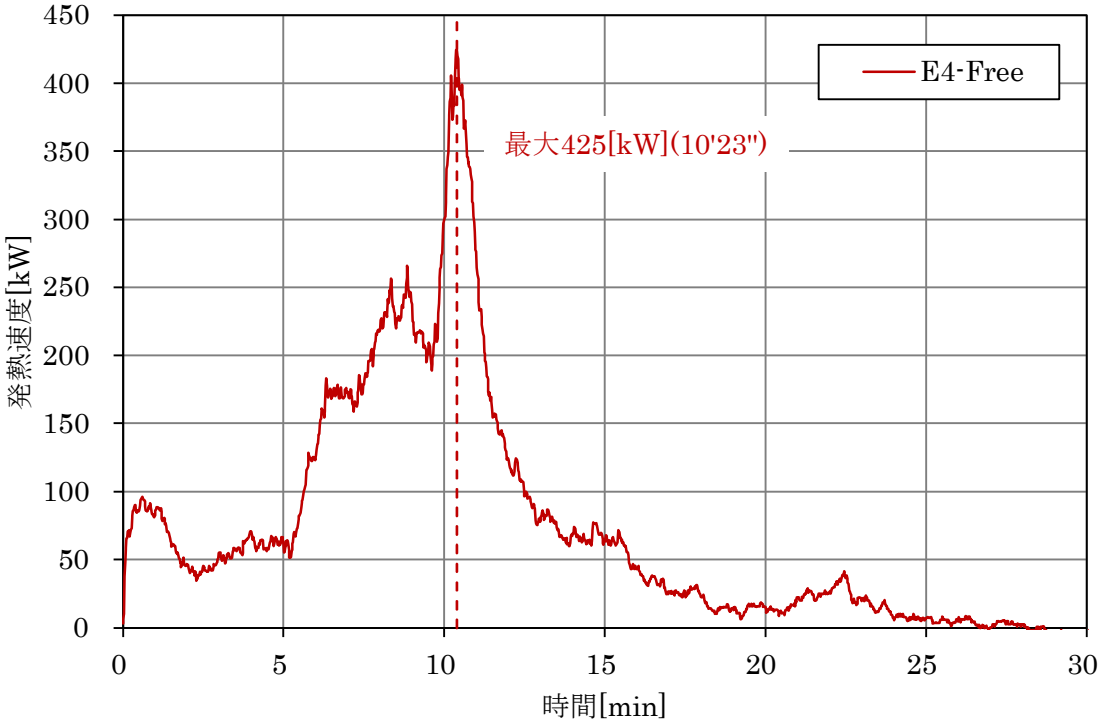


図 3.3.8.1　E4-Free 発熱速度

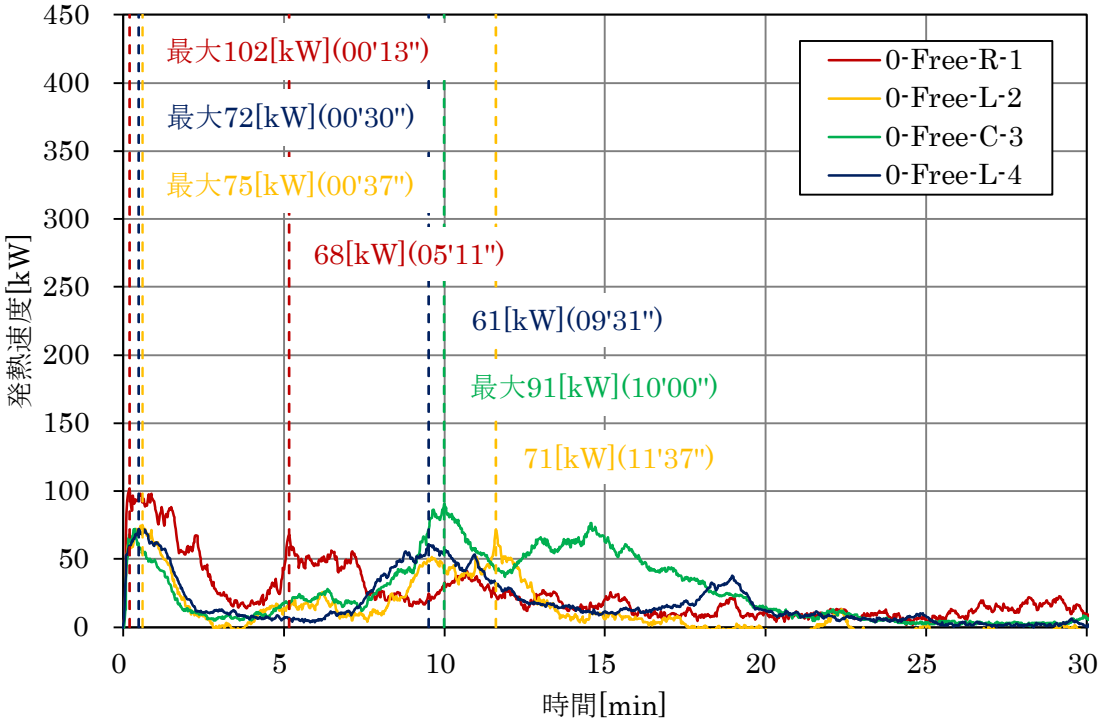


図 3.3.8.2　0-Free 発熱速度

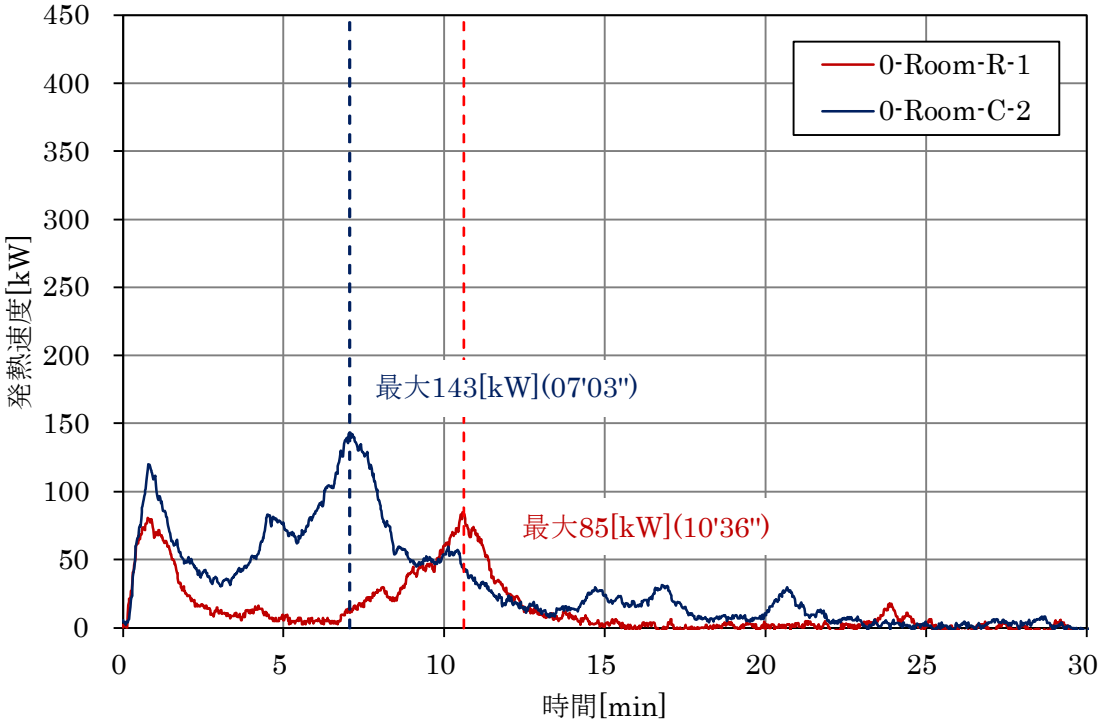


図 3.3.8.3　0-Room 発熱速度

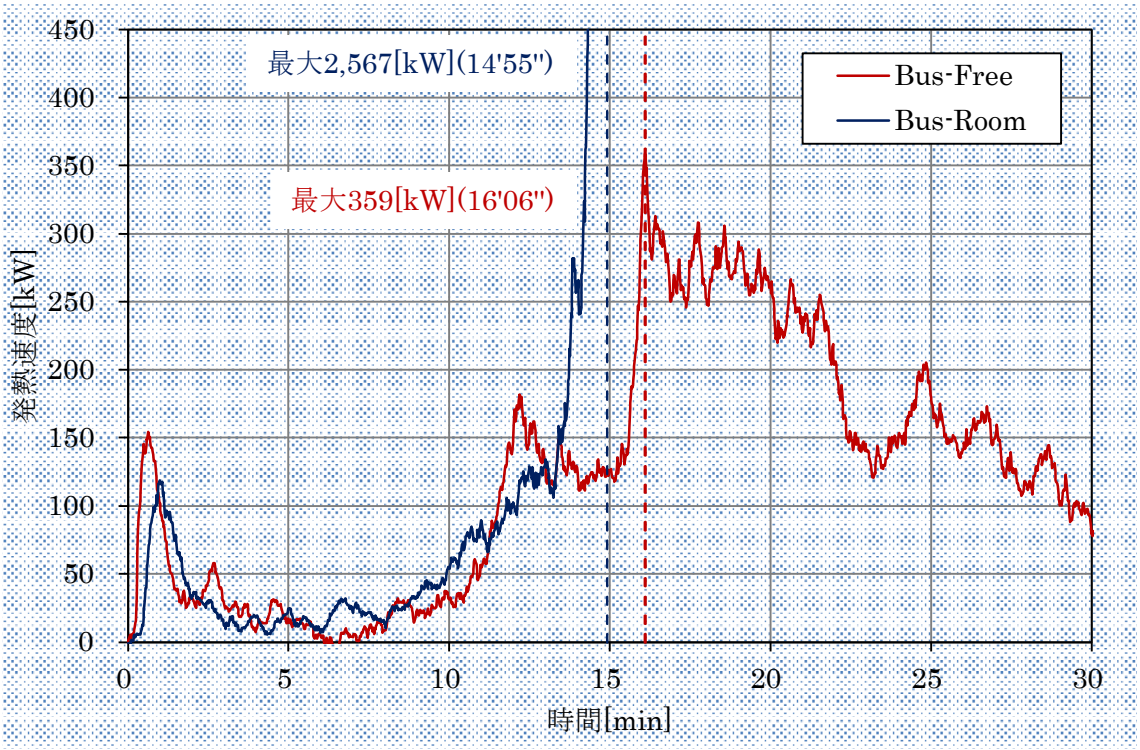


図 3.3.8.4　Bus-Free/Room 発熱速度(参考)

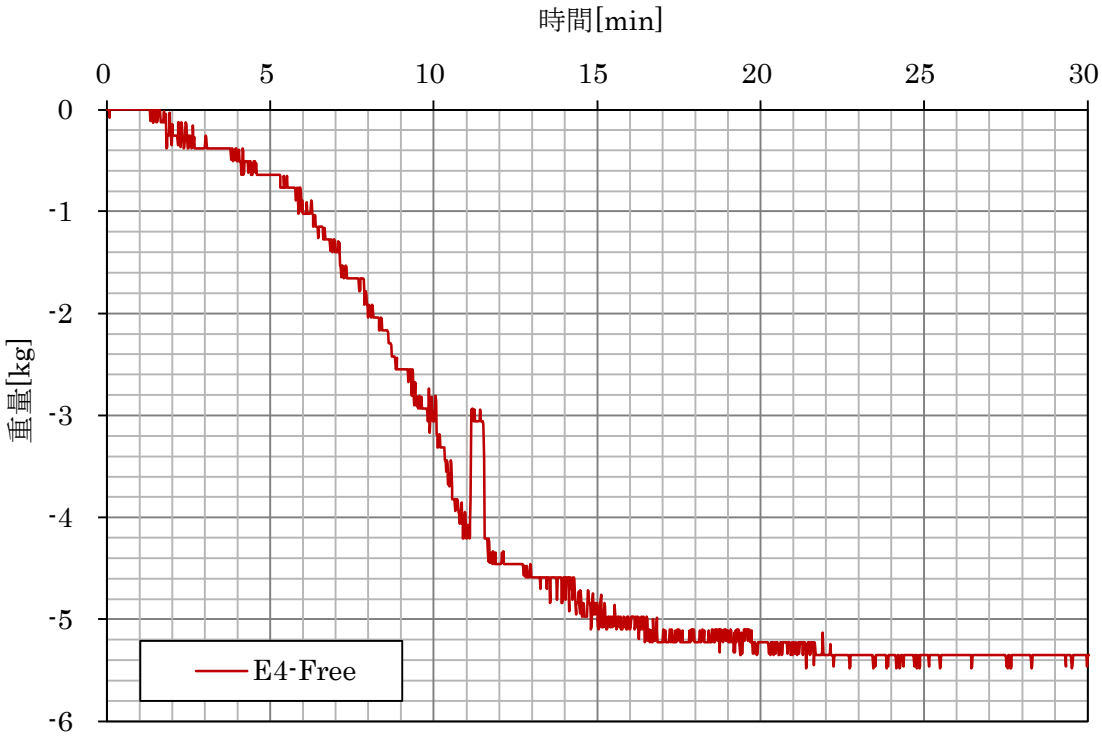


図 3.3.8.5　E4-Free 重量変化

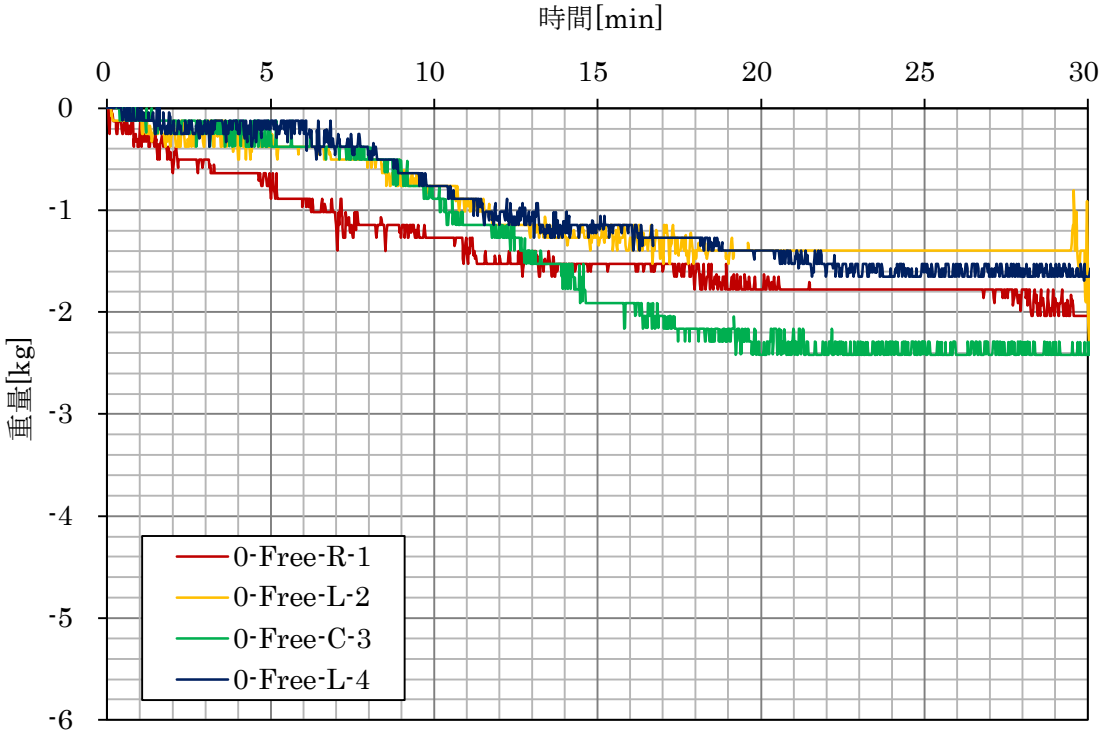


図 3.3.8.6　0-Free 重量変化

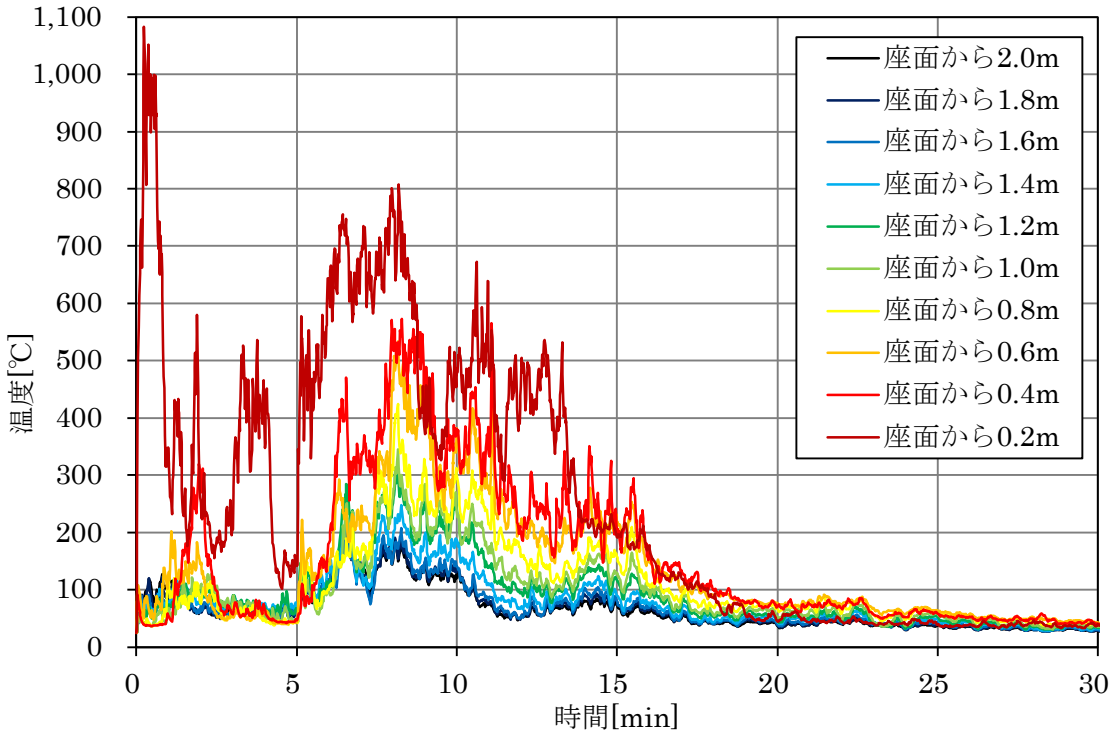


図 3.3.8.7　E4-Free 着火点直上温度

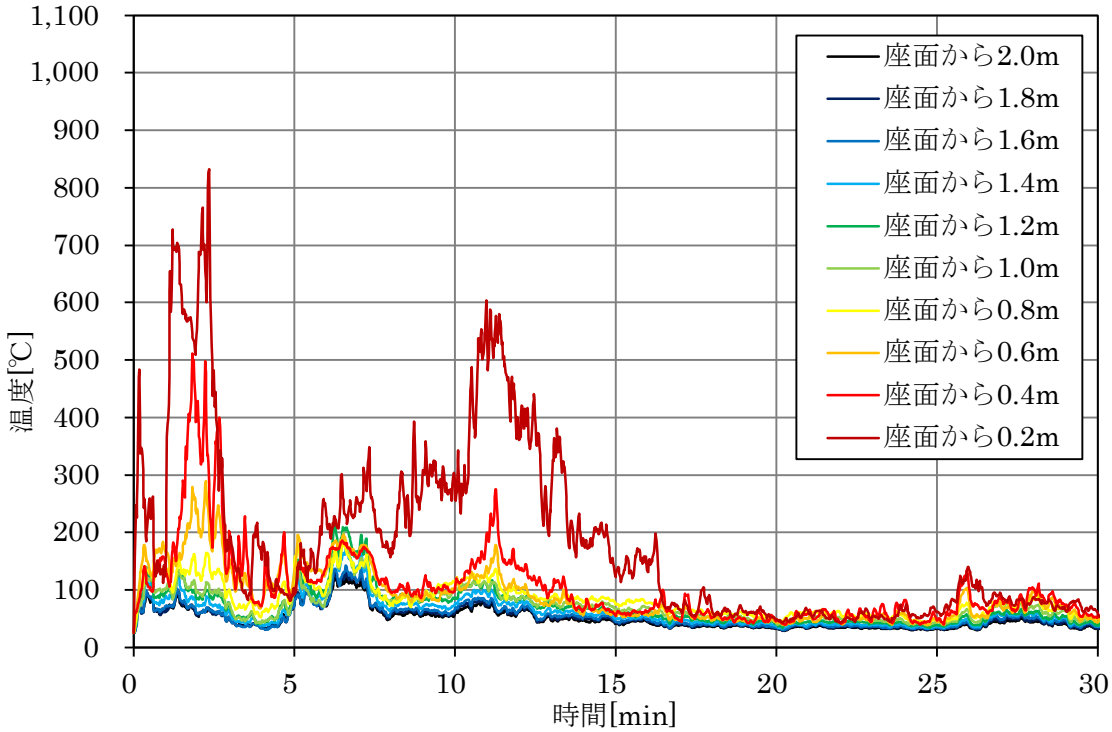


図 3.3.8.8　O-Free-R-1 着火点直上温度

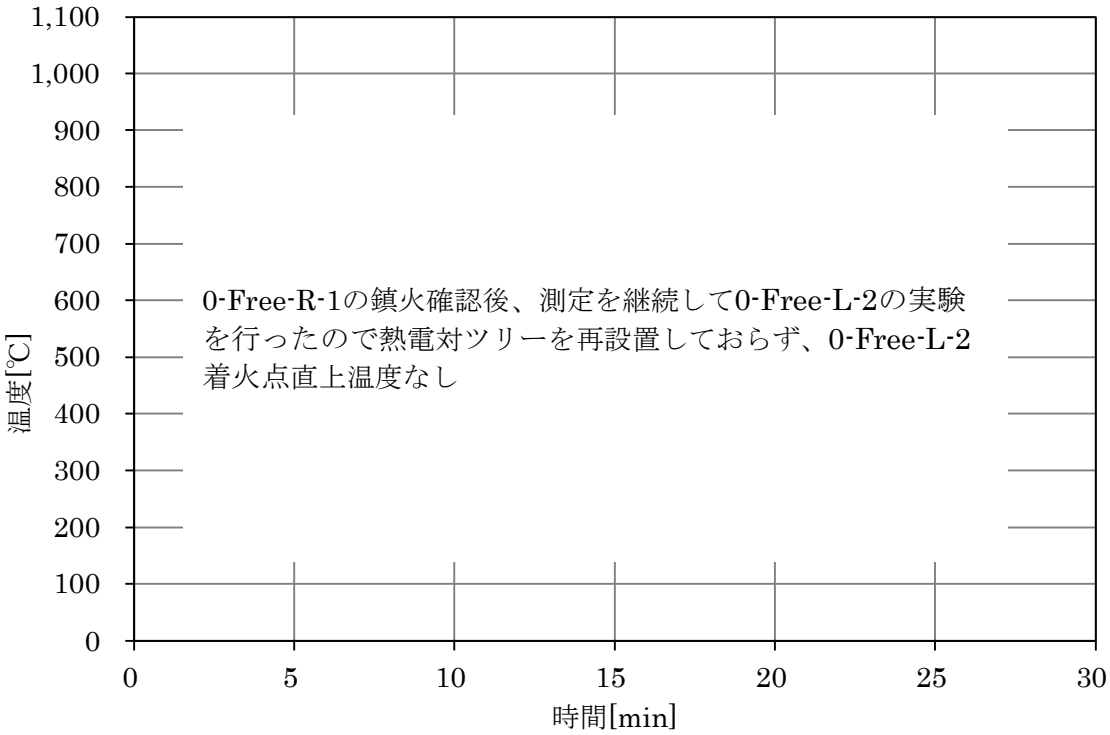


図 3.3.8.9　0-Free-L-2 着火点直上温度

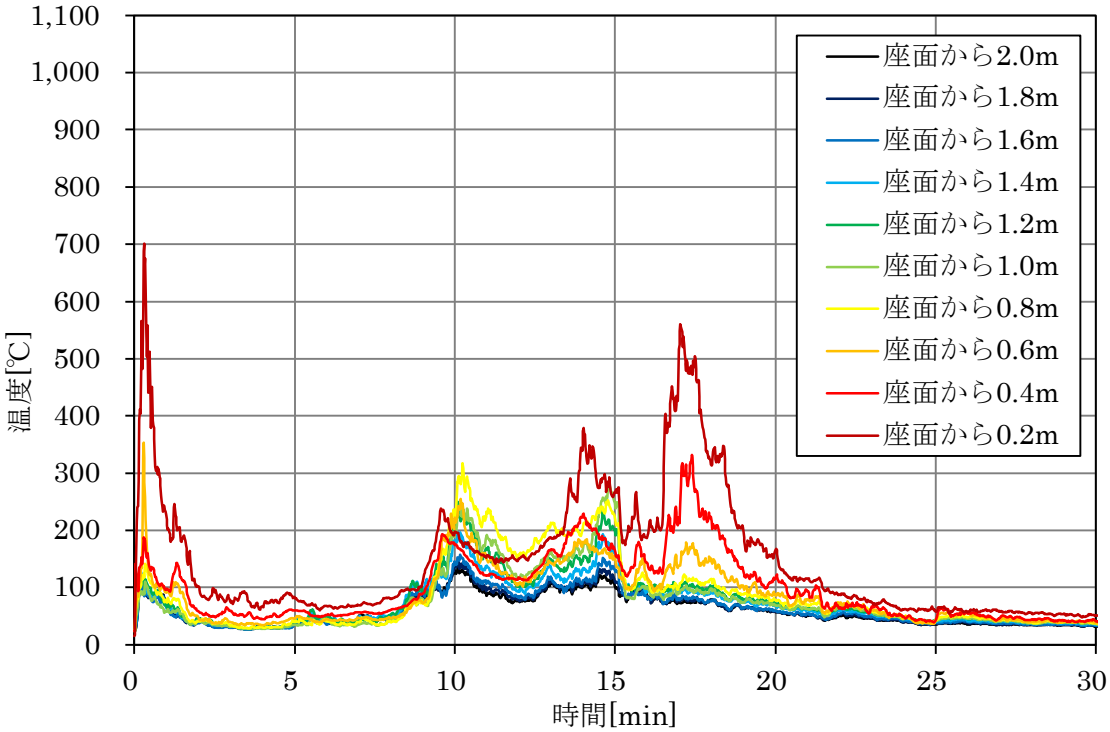


図 3.3.8.10　0-Free-C-3 着火点直上温度

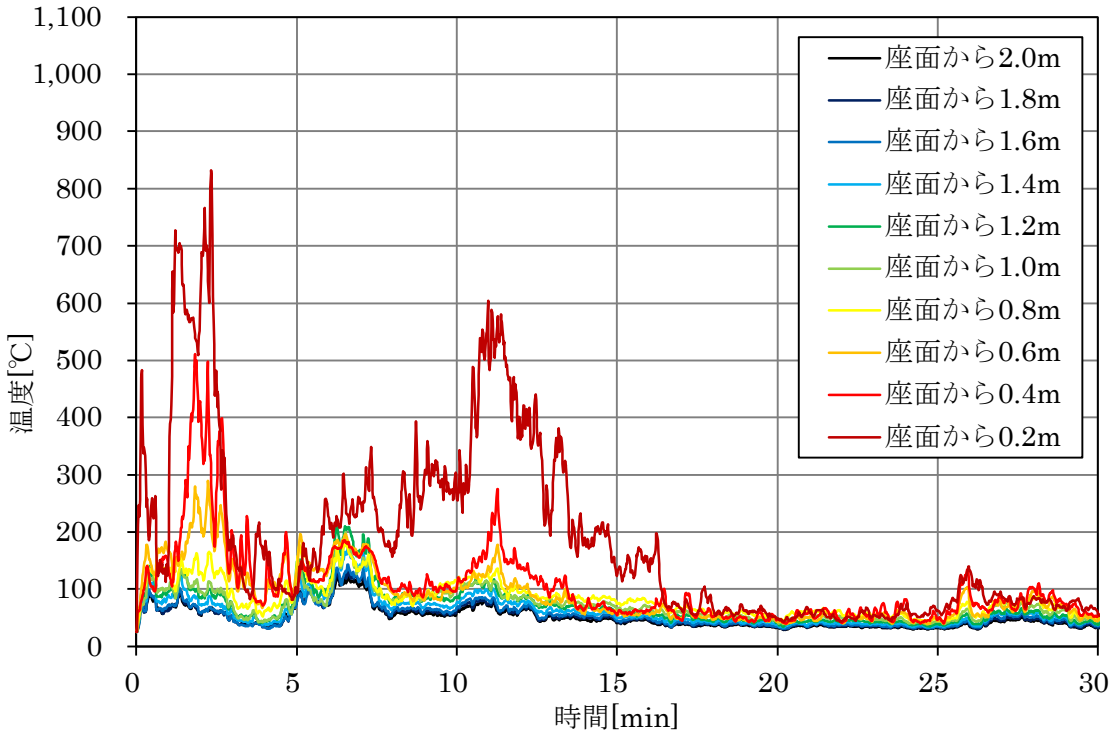


図 3.3.8.11　0-Free-L-4 着火点直上温度

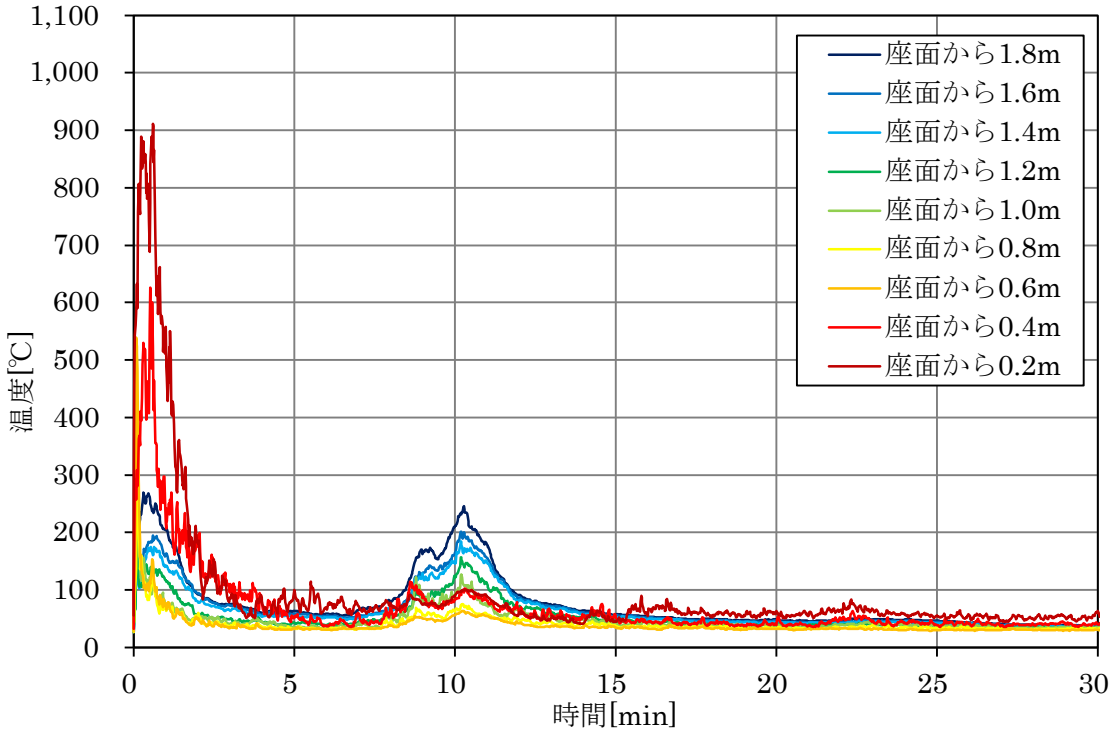


図 3.3.8.12　0-Room-R-1 着火点直上温度

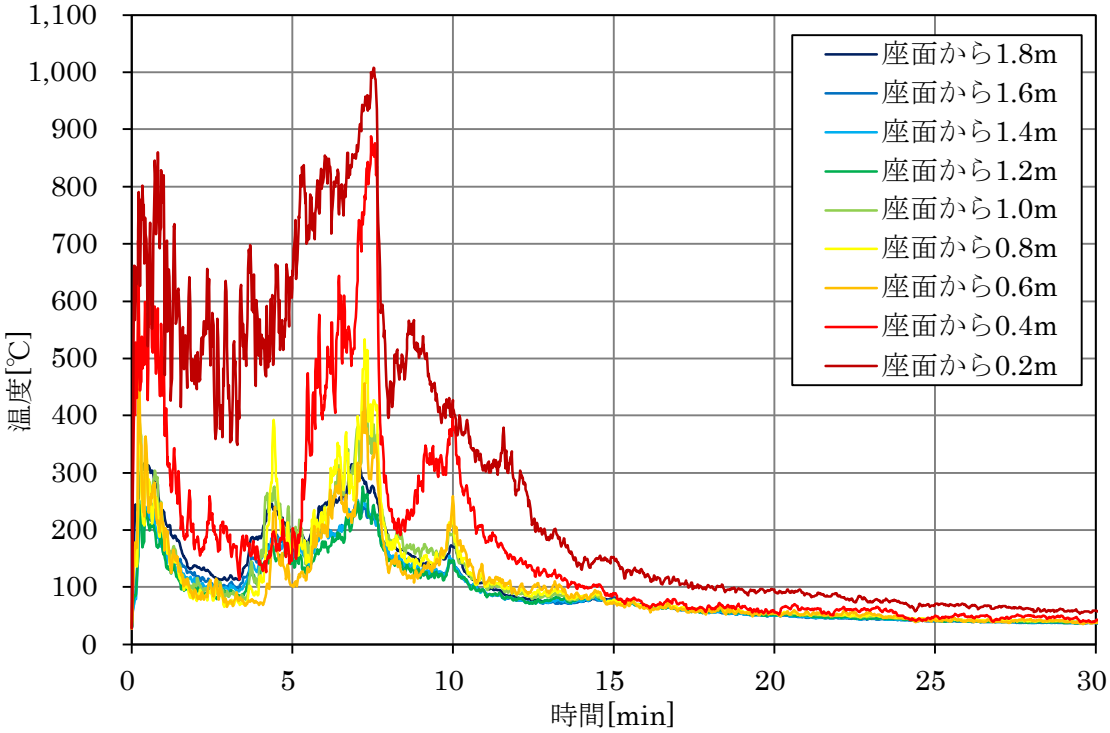


図 3.3.8.13　O-Room-C-2 着火点直上温度

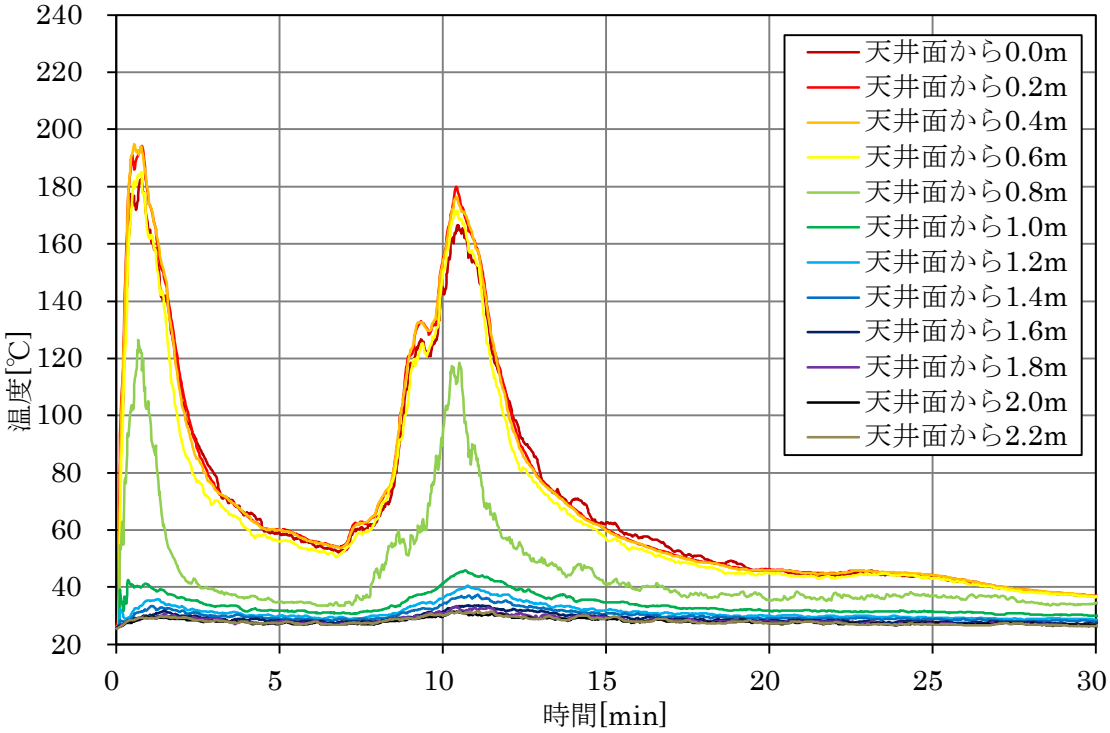


図 3.3.8.14　O-Room-R-1 煙層温度

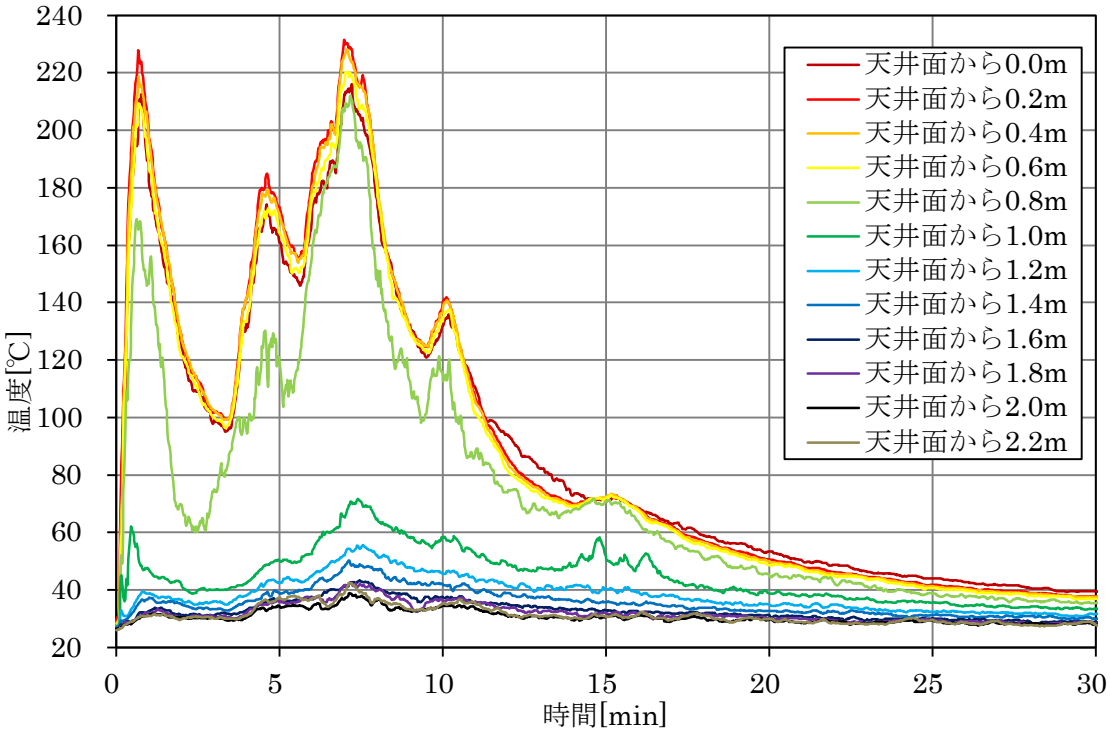


図 3.3.8.15　O-Room-C-2 煙層温度

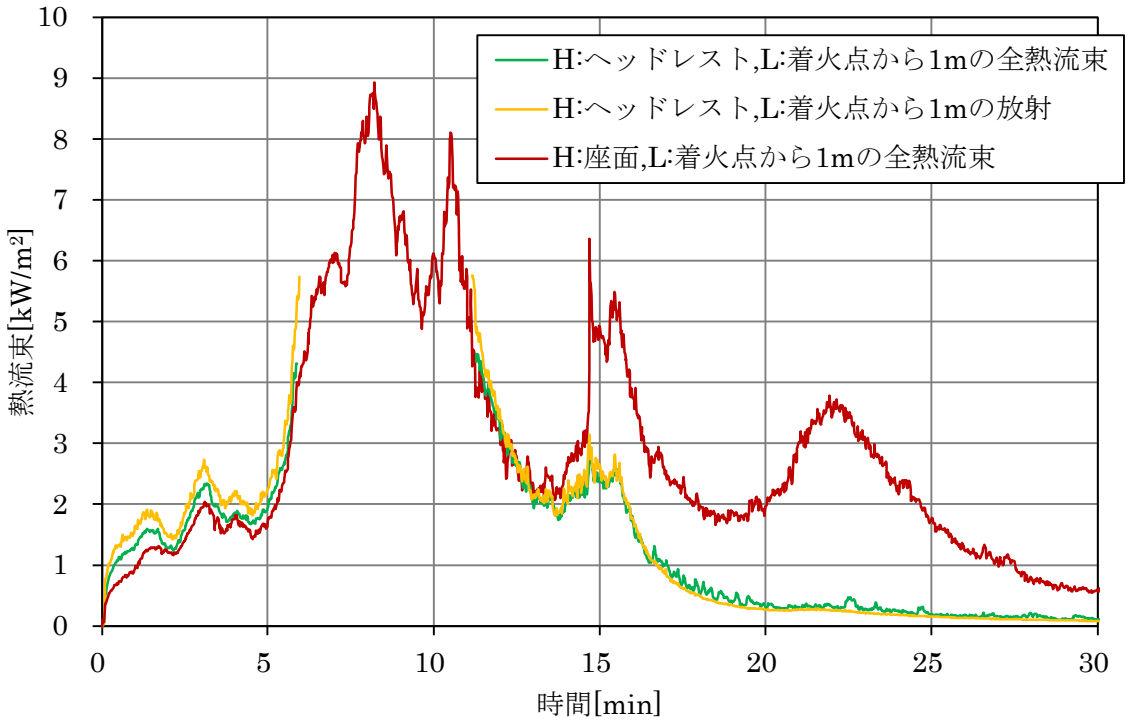


図 3.3.8.16　E4-Free 熱流束

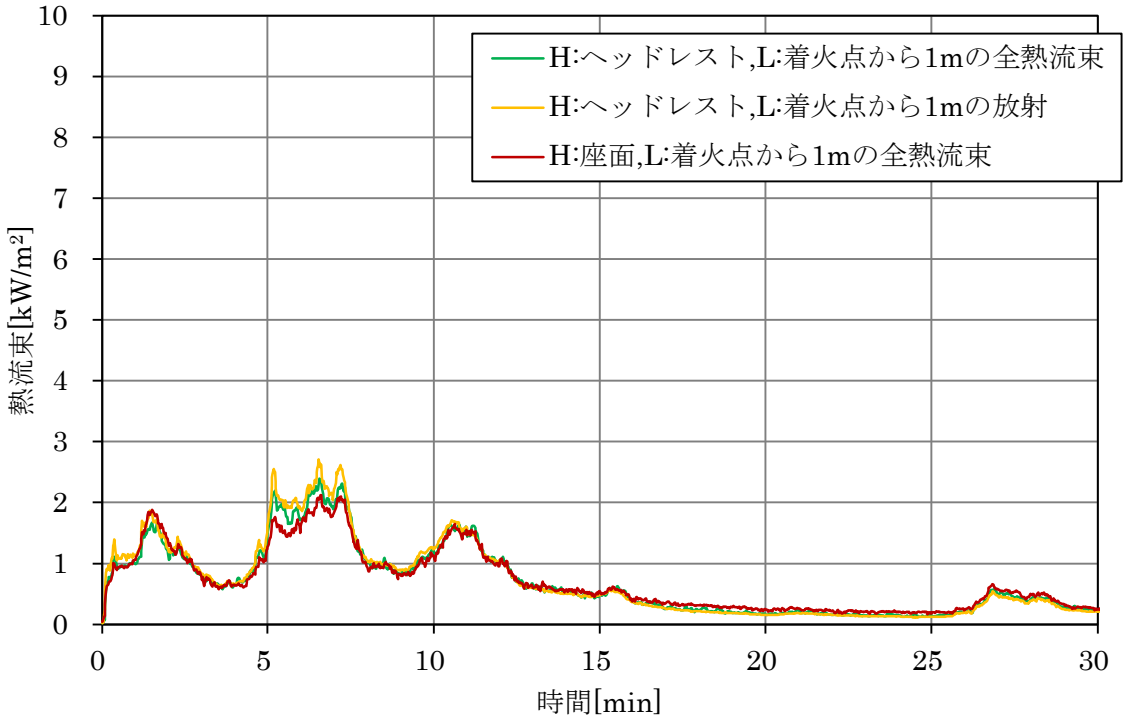


図 3.3.8.17　O-Free-R-1 熱流束

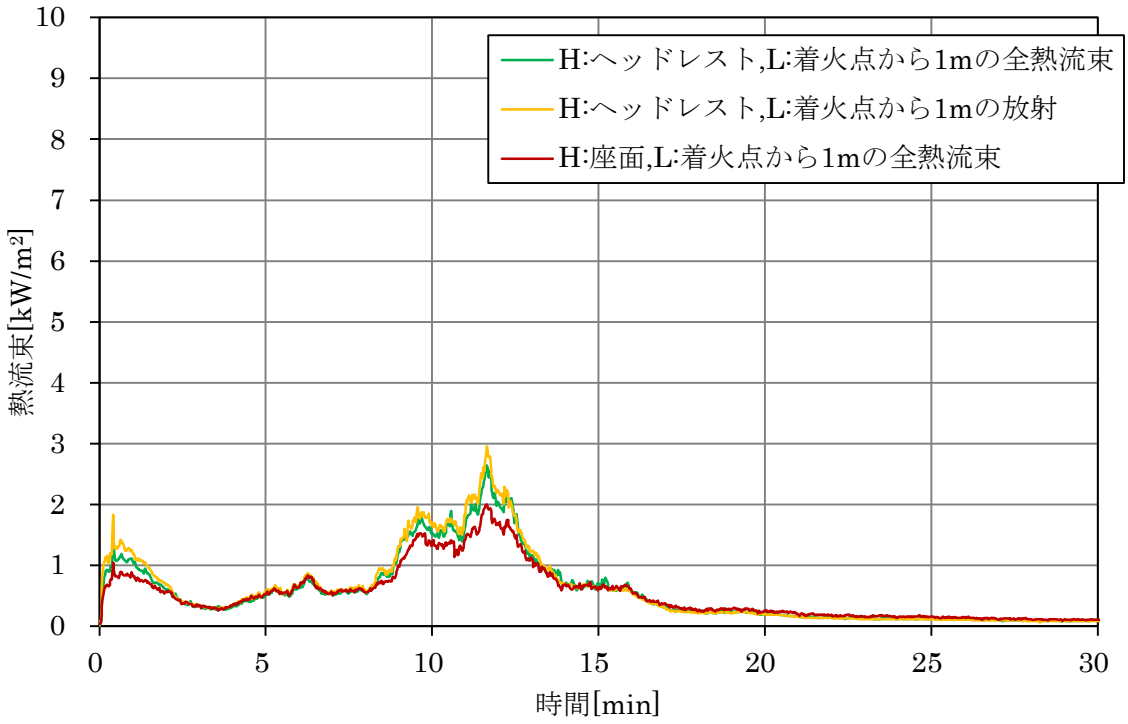


図 3.3.8.18　O-Free-L-2 熱流束

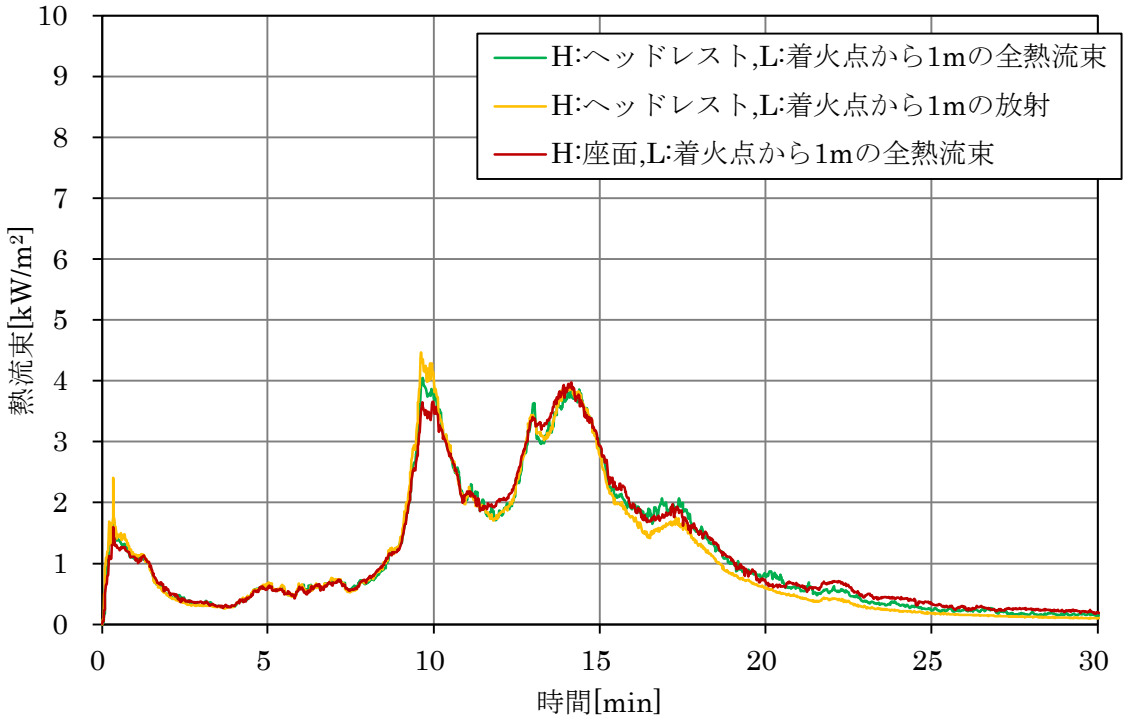


図 3.3.8.19　O-Free-C-3 熱流束

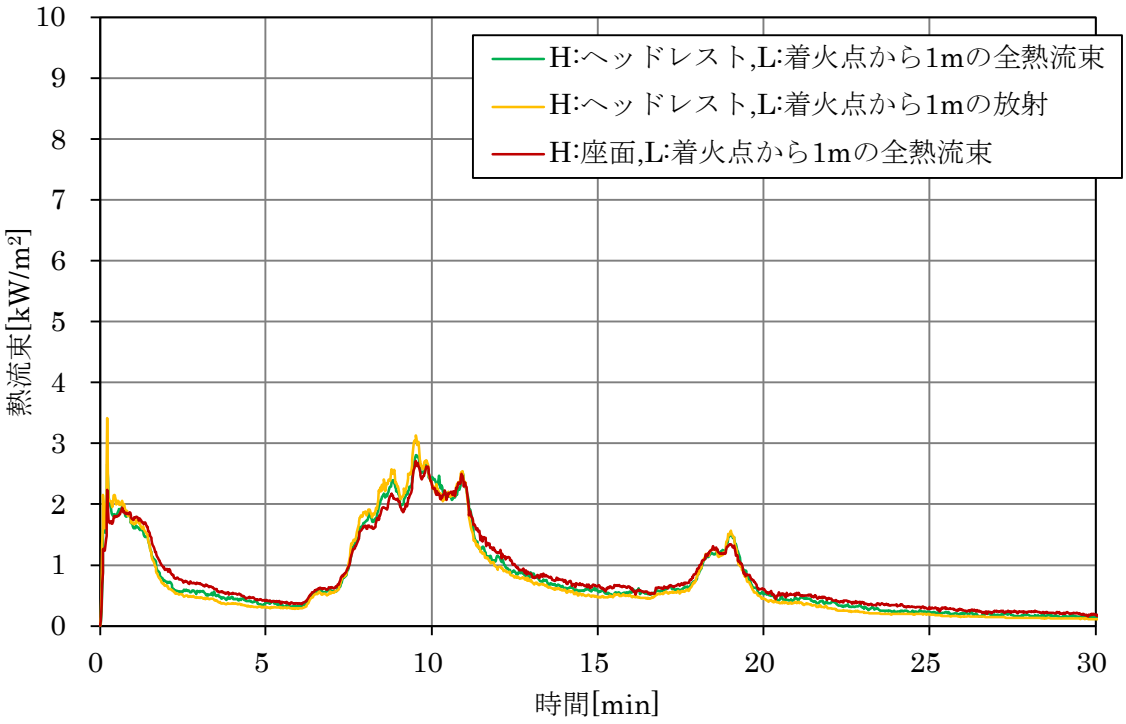


図 3.3.8.20　0-Free-L-4 熱流束

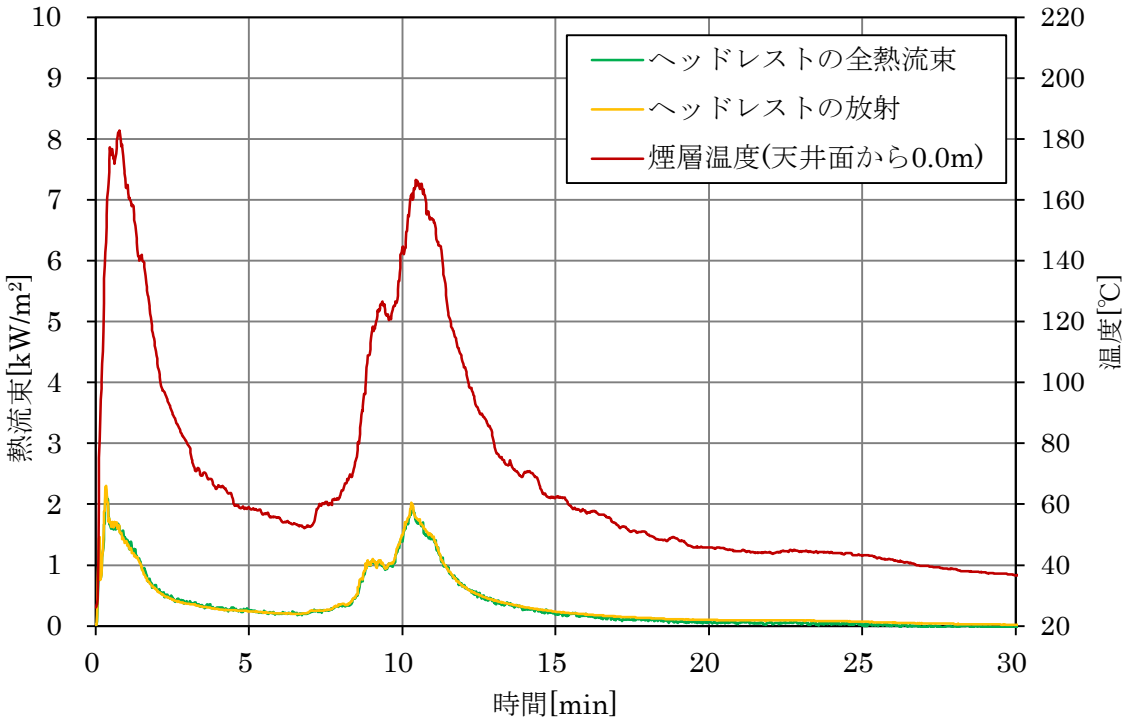


図 3.3.8.21　O-Room-R-1 熱流束

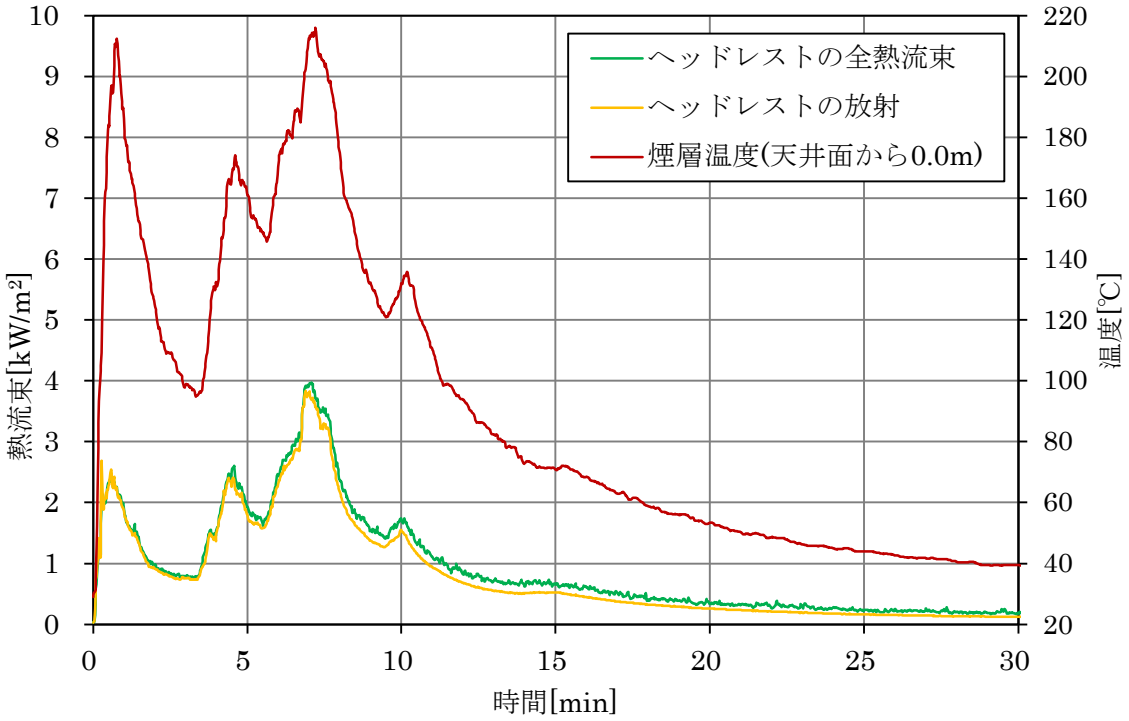


図 3.3.8.22　O-Room-C-2 熱流束

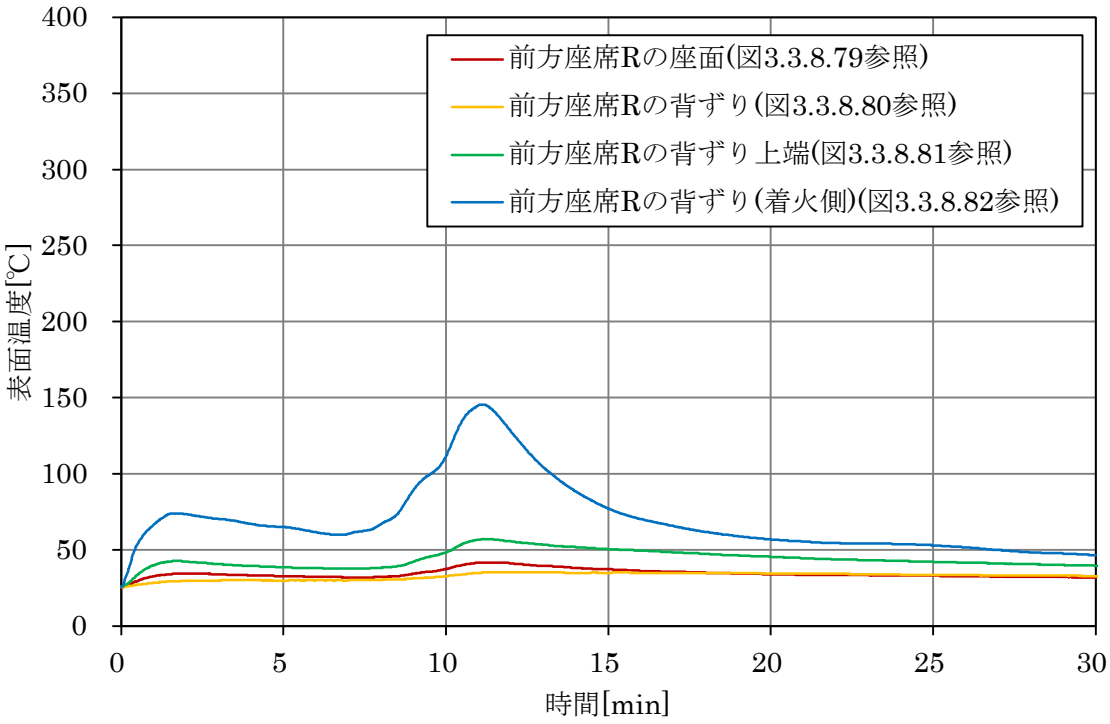


図 3.3.8.23　O-Room-R-1 前方座席の表面温度

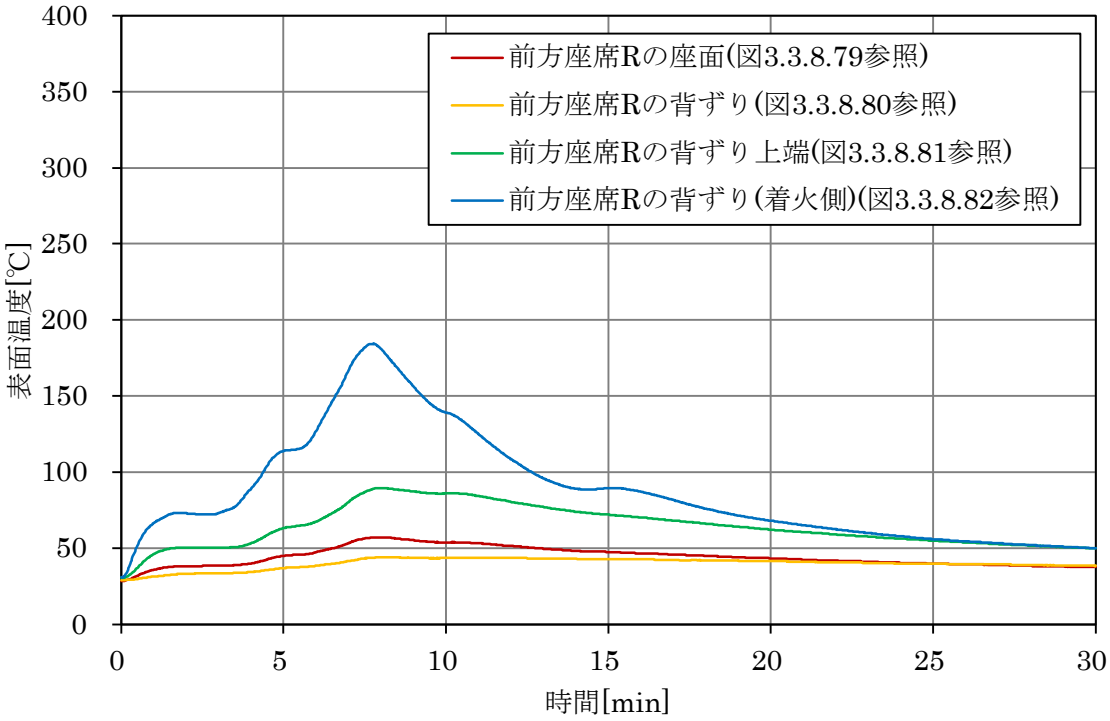


図 3.3.8.24　O-Room-C-2 前方座席の表面温度

E4-Free 実験写真

実験前の座席の状況。
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。

図 3.3.8.25　実験前

実験前の座席の状況。
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)。

図 3.3.8.26　実験前

着火後 6 分 34 秒における座席の状況。
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。

図 3.3.8.27　実験中

着火後 8 分 15 秒における座席の状況。
座席の部材が溶融および滴下し、床面で燃焼。

図 3.3.8.28　実験中

E4-Free 実験写真

着火後 10 分 36 秒における座席の状況。

図 3.3.8.29　実験中

実験後の座席の状況。

図 3.3.8.30　実験後

実験後の座席の状況。

図 3.3.8.31　実験後

実験後の座席の状況。

図 3.3.8.32　実験後

E4-Free 実験写真

実験後の座席の状況。

図 3.3.8.33　実験後

実験後の座席の状況。

図 3.3.8.34　実験後

実験後の座席の状況。

図 3.3.8.35　実験後

実験後の座席の状況。

図 3.3.8.36　実験後

0-Free-R-1 実験写真

実験前の座席の設置状況。

図 3.3.8.37　実験前

実験前の座席の設置状況。

図 3.3.8.38　実験前

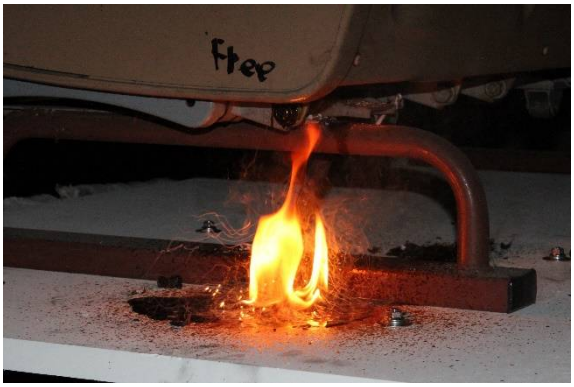
着火後 6 分 18 秒における座席の状況。
散布したエタノールが支配的に燃焼。

図 3.3.8.39　実験中

着火後 9 分 39 秒における座席の状況。
一旦、火勢が弱まる。

図 3.3.8.40　実験中

0-Free-R-1 実験写真



着火後 10 分 14 秒における座席の状況。
座席の部材が溶融、滴下し床面で燃焼。

図 3.3.8.41　実験中

着火後 15 分 52 秒における座席の状況。
座面下から白煙が発生。

図 3.3.8.42　実験中

着火後 34 分 5 秒における座席の状況。
隣席の座面に着火。

図 3.3.8.43　実験中

着火後 41 分 4 秒における座席の状況。
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。

図 3.3.8.44　実験中

0-Free-R-1 実験写真

実験後の座席の状況。
隣接座席への著しい延焼はなかった。

図 3.3.8.45　実験後

実験後の座席の状況。
背ずりの表地が所々で炭化。
座席下部の樹脂が熱で軟化、収縮。

図 3.3.8.46　実験後

実験後の肘掛の状況。
(※0-Free-C-3 の実験後に撮影)

図 3.3.8.47　実験後

0-Free-L-2 実験写真

図 3.3.8.48　実験中

着火後 1 分 5 秒における座席の状況。
散布したエタノールが支配的に燃焼。

図 3.3.8.49　実験中

着火後 1 分 36 秒における座席の状況。
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 3.3.8.50　実験後

着火後 3 分 57 秒における座席の状況。
一旦、火勢が弱まる。

図 3.3.8.51　実験後

着火後 10 分 51 秒における座席の状況。
C 側の背ずり側面が燃焼。
座面下から白煙が発生。

0-Free-L-2 実験写真

着火後 14 分 26 秒における座席の状況。
座席の部材が落下。

図 3.3.8.52　実験中

着火後 18 分 5 秒における座席の状況。

図 3.3.8.53　実験中

実験後の座席の状況。

図 3.3.8.54　実験後

実験後の座席の状況。

図 3.3.8.55　実験後

O-Free-C-3 実験写真

実験前の座席の設置状況。

図 3.3.8.56　実験前

着火後 50 秒における座席の状況。
散布したエタノールが支配的に燃焼。

図 3.3.8.57　実験中

着火後 4 分 44 秒における座席の状況。
一旦、火勢が弱まる。

図 3.3.8.58　実験中

着火後 10 分 53 秒における座席の状況。
再度、火勢が強まる。

図 3.3.8.59　実験後

0-Free-C-3 実験写真

着火後 18 分 56 秒における座席の状況。
弱火でゆっくりとした速度で表地と内部のウレタンが燃焼。

図 3.3.8.60　実験中

実験後の座席の状況。
左から 0-Free-L-2、0-Free-C-3、0-Free-R-1。
背ずり内部のアルミ板に付着するウレタン等の燃え残り具合から、0-Free-C-3 の焼けが他よりも強かったことがわかる。

図 3.3.8.61　実験後

実験後の座席の状況。
背ずり内部のアルミ板が一部消失。

図 3.3.8.62　実験後

実験後の座席の状況。
背ずり全体が黒く炭化。
座席下部の樹脂が軟化し、垂れ下がっている。

図 3.3.8.63　実験後

0-Free-L-4 実験写真

実験前の座席の設置状況。
隣席への延焼確認の為、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。後の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 が炎症しないようセラミックウールで保護。

図 3.3.8.64　実験前

実験前の座席の設置状況。

図 3.3.8.65　実験前

着火後 1 秒における座席の状況。
散布したエタノールが勢いよく燃焼。

図 3.3.8.66　実験中

着火後 50 秒における座席の状況。
散布したエタノールが支配的に燃焼。

図 3.3.8.67　実験中

0-Free-L-4 実験写真

着火後 2 分 29 秒における座席の状況。
一旦、火勢が弱まる。

図 3.3.8.68　実験中

着火後 9 分 2 秒における座席の状況。
再度、火勢が強まる。

図 3.3.8.69　実験中

着火後 9 分 12 秒における座席の状況。
座面下から大量の白煙が発生。

図 3.3.8.70　実験中

着火後 13 分 45 秒における座席の状況。
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。

図 3.3.8.71　実験中

0-Free-L-4 実験写真

着火後 18 分 43 秒における座席の状況。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 3.3.8.72　実験中

実験後の座席の状況。

図 3.3.8.73　実験後

実験後の座席の状況。

図 3.3.8.74　実験後

実験後の隣接座席の背ずり側面の状況。一度着火し火炎を上げて燃焼したが、表地と、表地と詰め物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。

図 3.3.8.75　実験後

0-Room-R-1 実験写真

座席の設置状況。
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。

図 3.3.8.76　実験前

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 3.3.8.77　実験前

開口部周辺の状況。
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 3.3.8.78　実験前

前方座席 R の座面に設置した熱電対。

図 3.3.8.79　実験前

0-Room-R-1 実験写真

前方座席 R の背ずりに設置した熱電対。

図 3.3.8.80　実験前

前方座席 R の背ずり上端に設置した熱電対。

図 3.3.8.81　実験前

前方座席 R の背ずり(着火側)に設置した熱電対。

図 3.3.8.82　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。

図 3.3.8.83　実験前

O-Room-R-1 実験写真

着火後 4 秒における座席の状況。
着火後、背ずりに散布したエタノールが燃焼。

図 3.3.8.84　実験中

着火後 3 分 25 秒における座席の状況。
背ずりの表地を黒く焦がすものの、一旦火勢が弱まる。

図 3.3.8.85　実験中

着火後 9 分 43 秒における座席の状況。
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 3.3.8.86　実験中

着火後 9 分 57 秒における座席の状況。
この後(着火後 10 分 36 秒)85kW に達する。

図 3.3.8.87　実験中

0-Room-R-1 実験写真

着火後 17 分 39 秒における座席の状況。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。

図 3.3.8.88　実験中

実験後の背ずりの状況。
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。

図 3.3.8.89　実験後

実験後の肘掛周辺の状況。
(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 3.3.8.90　実験後

実験後の背ずり背面の状況。
(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。

図 3.3.8.91　実験後

O-Room-C-2 実験写真

着火後 6 秒における座席の状況。
散布したエタノールが勢いよく燃焼。

図 3.3.8.92　実験中

着火後 1 分 46 秒における座席の状況。
一旦、火勢が弱まる。

図 3.3.8.93　実験中

着火後 4 分 37 秒における座席の状況。
再度、火勢が強まる。

図 3.3.8.94　実験中

着火後 4 分 54 秒における座席の状況。
僅かに火勢が弱まる。

図 3.3.8.95　実験前

O-Room-C-2 実験写真

着火後 6 分 47 秒における座席の状況。
この後(着火後 7 分 3 秒)61kW に達する。

図 3.3.8.96　実験中

着火後 8 分 33 秒における座席の状況。

図 3.3.8.97　実験中

着火後 9 分 49 秒における座席の状況。
隣席の背ずり側面に着火し火炎が上がる。

図 3.3.8.98　実験中

着火後 10 分 54 秒における座席の状況。
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。

図 3.3.8.99　実験中

0-Room-C-2 実験写真

実験後の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。

図 3.3.8.100　実験後

実験後の隣席の背ずり側面の状況。
一度着火し火炎を上げた隣席の背ずり側面は表地が炭化している。

図 3.3.8.101　実験後

実験後の背ずり下部の状況。
背ずり下部のアルミ板の一部が焼失している。

図 3.3.8.102　実験後

実験後の背ずり背面の状況。
表地が焼失して内部の枠組みが露出している。

図 3.3.8.103　実験後

３．３．９　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 102kW 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 143kW で F.O.は発生しなかった。

E4 新幹線座席の最大発熱速度は着火後 10 分 23 秒後に 425kW 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。本実験にあたり、E4 系新幹線座席は 1 人掛け 1 脚のみが入手可能であった為、0 系新幹線と同様のルームコーナー試験装置内での実験は出来なかったが、単純に F.O.が発生したバスの座席を基準に E4 系新幹線の F.O.の有無を検討すれば、十分に F.O.の発生は考えられる。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り、F.O.発生のリスクが高ま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。

参考文献

1) 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

フラッシュオーバーの予測

４．フラッシュオーバーの予測

本章では、第３章で行った各種の実験で得られた結果から、車内と仮定したルームコーナー試験装置におけるフラッシュオーバーの有無を予測する。本研究におけるフラッシュオーバーは「着火した座席の燃焼で生じる火炎と空間に蓄積する煙層の放射熱により、着火座席の前方に設置した座席が着火に至ること」と定義した。このように定義した理由は、着火座席の前方座席の着火がフラッシュオーバーを誘発すると判断し、これが乗客の安全を大きく左右すると考えられるためである。

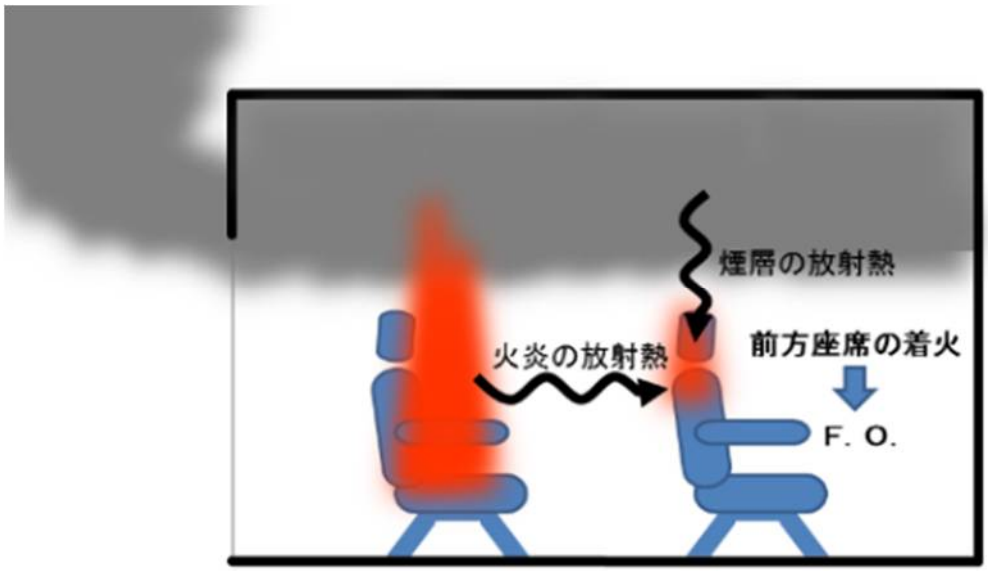


図 4.1　フラッシュオーバーの定義

４．１　表地の着火温度および熱慣性の推定

４．１．１　着火限界熱流束の推定

表地の着火温度および熱慣性の推定にあたって、まず、着火限界熱流束すなわち「どのくらいの放射加熱強度が最低あれば材料が着火する可能性があるか」を、コーンカロリーメーター試験で得られた放射加熱強度と着火時間の関係から熱着火理論[1)]に基づき推定する。

（１）熱着火理論

可燃性の固体表面が加熱されて温度が上昇し、表面温度が着火温度に達すれば着火の危険が生じる。そのプロセスは、熱伝導解析に基づいた熱着火理論で整理がなされており、工学的な取扱いが可能である。図 4.1.1.1 に示すような、半無限固体を仮定した場合、時間的に一定の放射熱q[kW/m²]を受ける固体表面の温度は、表面での熱収支と内部における熱伝導の関係から式(1)が提案されている。

$$\frac{1}{\sqrt{t}} = \frac{1.18\varepsilon}{\sqrt{k\rho c}(T_0 - T_{air})}\left(q - \frac{h(T_0 - T_{air})}{\varepsilon}\right) \cdot\cdot\cdot (1)$$

ただし、hは固体表面と周辺空気との間の熱伝達率[kW/(m²・K)]、T_0は材料の表面温度[℃]、

T_{air}は雰囲気温度[℃]、εは材料の放射率[-]及び$\sqrt{k\rho c}$は材料の熱慣性[kW・s$^{1/2}$/(m^2・K)]で、材料の熱慣性は材料表面の温まりにくさを表す物性値であり、熱伝導率k[kW/(m・K)]、密度ρ[kg/m^3]及び比熱c[kJ/(kg・K)]の積の平方根により表される。また、tは時間[sec]で、材料の表面温度が着火温度T_{ig}[℃]に達する時間を着火時間t_{ig}[sec]とすれば式(2)が得られる。

$$\frac{1}{\sqrt{t_{ig}}} = \frac{1.18\varepsilon}{\sqrt{k\rho c}(T_{ig}-T_{air})}\left(q - \frac{h(T_{ig}-T_{air})}{\varepsilon}\right) \cdot\cdot\cdot (2)$$

式(2)において$q \leq h(T_{ig}-T_{air})/\varepsilon$の時$T_{ig} = \infty$となり、無限時間の加熱を受けても着火に至らない。この時のqを着火限界熱流束q_{cr}[kW/m^2]と表すと式(3)が得られる。

$$q_{cr} \equiv h(T_{ig} - T_{air})/\varepsilon \cdot\cdot\cdot (3)$$

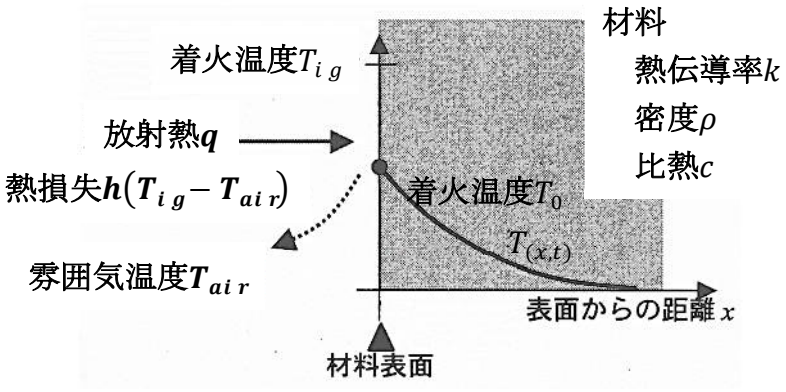


図 4.1.1.1　熱着火理論（一定の放射熱を受ける半無限固体の温度上昇）

以上で示したように、着火温度そのものではなく、着火限界熱流束と熱慣性が大きな材料ほど着火の危険性が低い。コーンカロリーメーター試験装置により種々の放射熱の強さに対して着火時間を測定し、結果を図 4.1.1.2 のように表せば、近似直線の傾きは$1.18\varepsilon/\sqrt{k\rho c}(T_{ig}-T_{air})$であり、横軸の切片から着火限界熱流束$q_{cr}$を求めることができる。

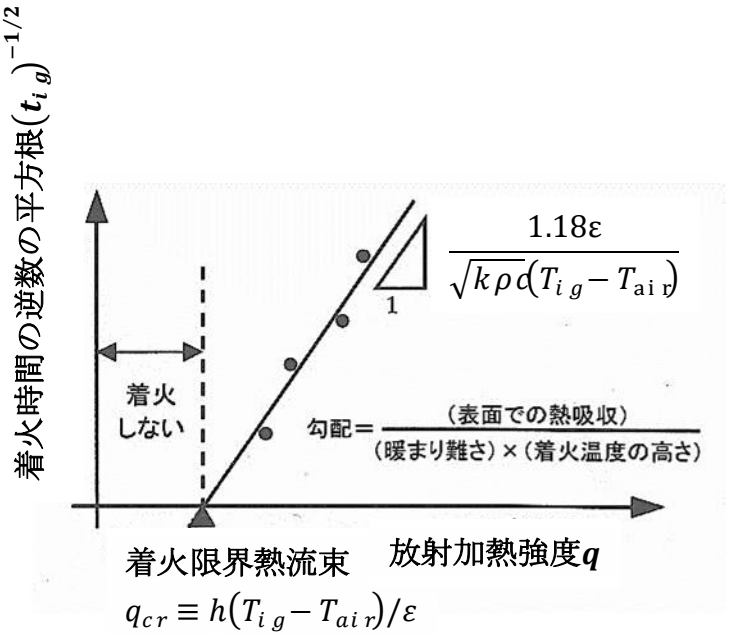


図 4.1.1.2　着火性試験結果から材料の着火特性値を求める方法

（2）熱着火理論に基づく着火限界熱流束の算定結果

図 4.1.1.3 に 0 系および E4 系新幹線座席の表地の着火限界熱流束を、図 4.1.1.4 に 0 系および E4 系新幹線座席のウレタンの着火限界熱流束を示す。また、参考として、2013 年に辻本研究室が実施したバス座席の表地およびウレタンの着火限界熱流束 [3)]を図 4.1.1.5 および図 4.1.1.6 に示す。

・表地

プロット点の近似直線から算定した 0 系新幹線座席の表地の着火限界熱流束は 7.58kW/m² となった。放射加熱強度 10kW/m² の試験条件では、3 体中 2 体が着火に至らず、残り 1 体は着火に 6 分程時間を要したことから、算定した着火限界熱流束の妥当性は高いと考える。一方、E4 系新幹線座席の表地の着火限界熱流束 7.91kW/m² となった。放射加熱強度 15kW/m² の試験条件では、3 体の全てが着火に至らなかったことから、実際の着火限界熱流束は 15～20kW/m² と考えられる。0 系および E4 系新幹線座席の表地にはそれぞれ材料固有の特徴があるためか、プロット点と近似直線の相関は決して高いとは言えず、この熱着火理論の言う「横軸に放射加熱強度、縦軸に着火時間の逆数の平方根の関係は線形である」とは言い難い。

・ウレタン

プロット点の近似直線から算定した 0 系および E4 系新幹線座席のウレタンの着火限界熱流束は 9.89kW/m² および 8.65kW/m² となった。表地とウレタンの試験実施数は異なるため単純に比較することはできないが、プロット点と近似直線の相関は表地に比べウレタンが高く、この熱着火理論の適応性は認められる。ただし、同様のウレタンであってもバス座席のウレタンは着火限界熱流束が負の値となり、着火限界熱流束の算定は困難であったため、ウレタン全てにこの熱着火理論の適応性があるとは言えず、材料ごとにこの熱着火理論の適応性を検証する必要がある。

・着火限界熱流束の算定結果のまとめ

表地およびウレタンの近似直線に着目すると、ウレタンに比べ表地の傾きは緩やかであることがわかる。また、着火限界熱流束に相当する横軸切片は、ウレタンに比べ表地が小さいことがわかる。これは、50kW/m² といった比較的強い放射加熱強度ではウレタンに比べ表地の着火には時間を要するが、10kW/m² といった比較的弱い放射加熱強度になると逆転し、表地に比べウレタンの着火に時間を要することを表している。実験結果のところでも述べたが、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ず、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性は判断し難い。

結果として得られた着火限界熱流束の多くは、実験では全試験体が着火に至らなかった放射加熱強度よりも小さい値を示した。これは、近似直線を最小二乗法によって求めているためで、プロット点の数、結果のばらつき等によって、実際には着火に至らなかった放射加熱強度よりも小さい値が着火限界熱流束となることがある。このような結果を避けるためには、着火に至らなかった試験体の着火時間の逆数の平方根を負の値として取り扱うなど工夫が必要と考える。

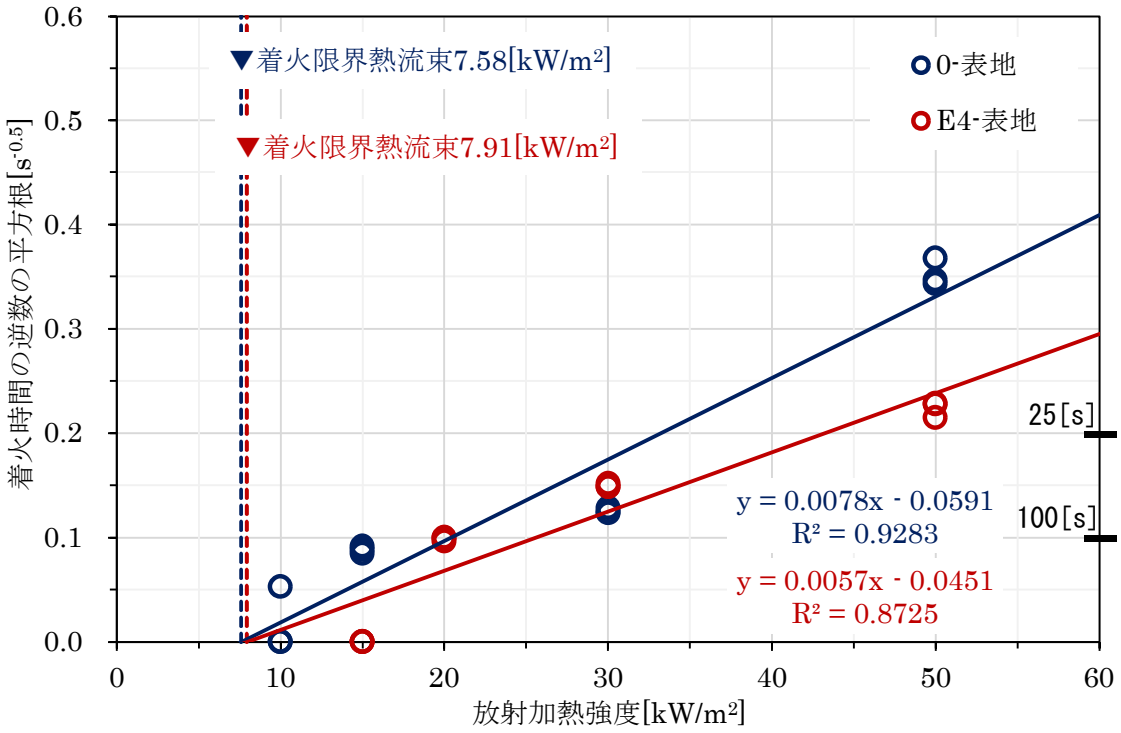


図 4.1.1.3　表地の着火限界熱流束

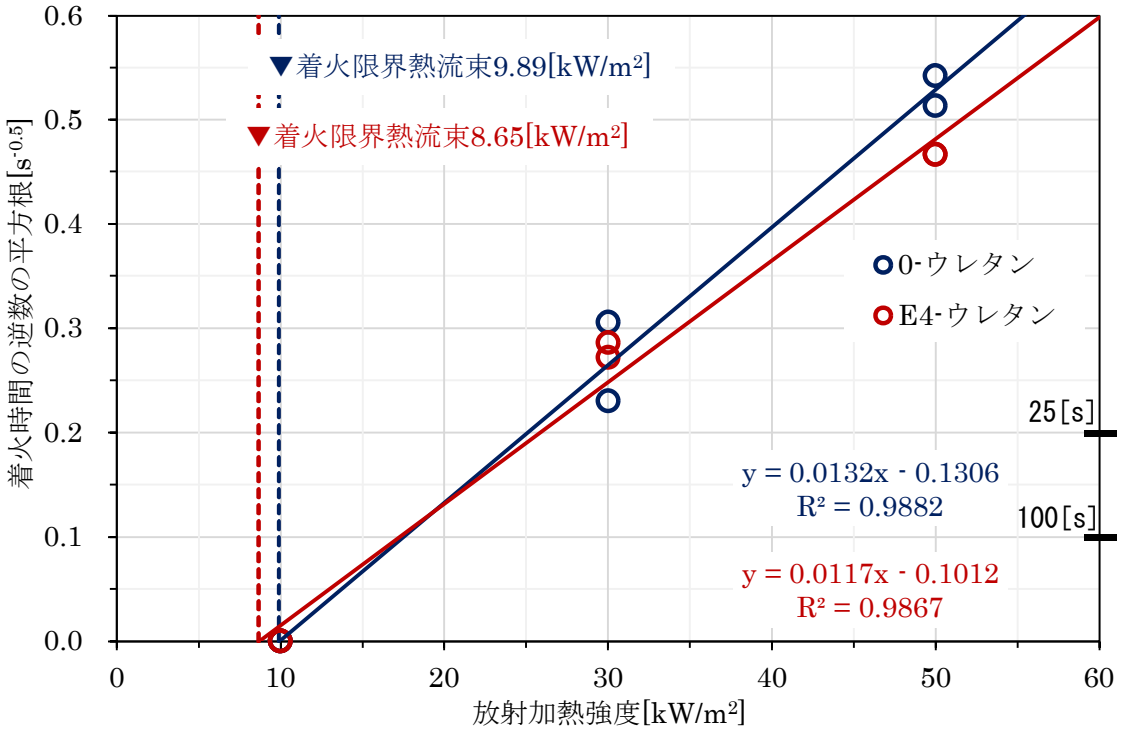
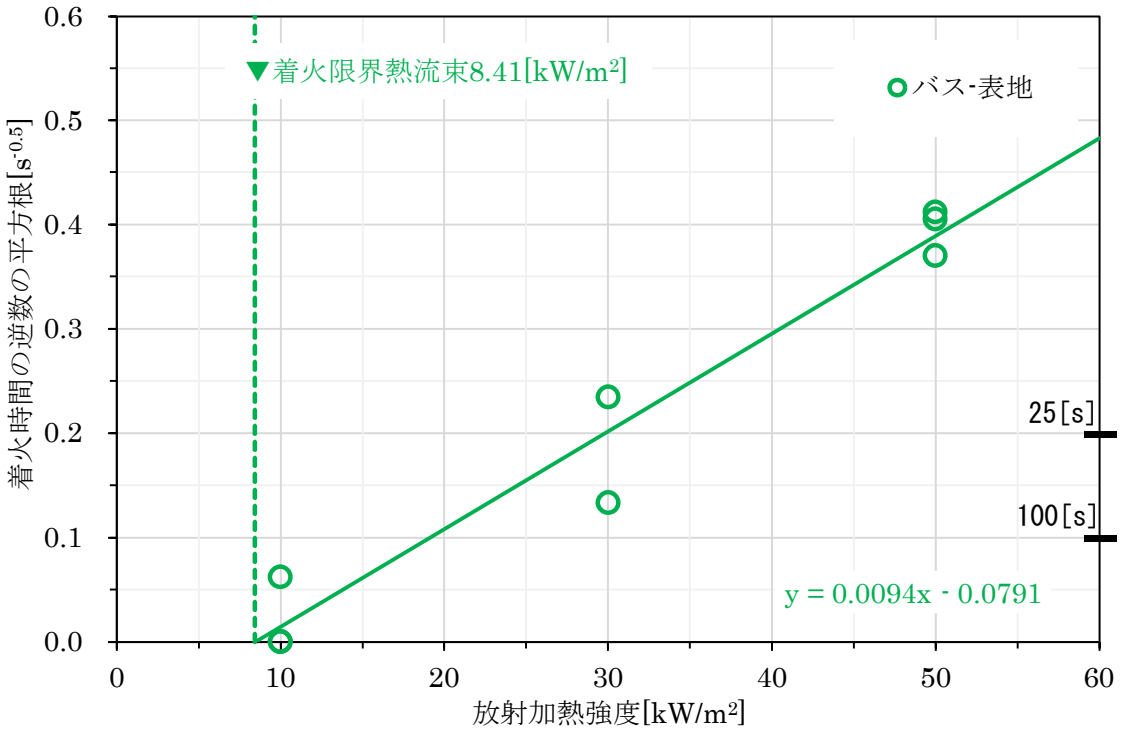


図 4.1.1.4　ウレタンの着火限界熱流束



4.1.1.5　バス座席の表地の着火限界熱流束（参考）

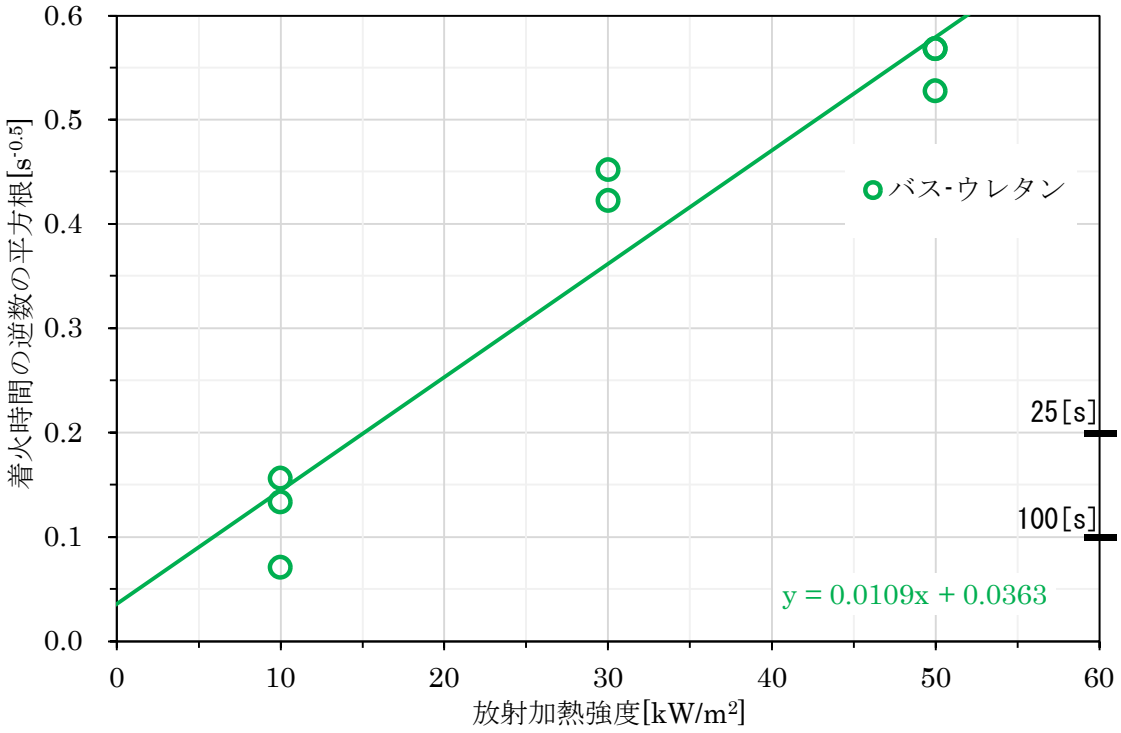


図 4.1.1.6　バス座席のウレタンの着火限界熱流束（参考）

４．１．２　表地の着火温度及び熱慣性の推定

式(3)において、q_{cr}は図 4.1.1.3 に示す表地の着火限界熱流束であり、T_{air}はコーンカロリーメーター試験を行った際の雰囲気温度 20℃で既知ある。ここに熱伝達率と放射率を仮定すれば、表地の着火温度を推定することができる。ここではh=0.02[kW/(m²・K)]、ε=1.0[-]と仮定し表地の着火温度を推定した。さらに、推定した着火温度を$1.18\varepsilon/\sqrt{k\rho c}(T_{ig}-T_{air})$に代入し、表地の熱慣性を推定した。その結果を表 4.1.2.1 に示す。

表 4.1.2.1　表地の着火温度及び熱慣性の推定結果

	着火温度T_{ig}[℃]	熱慣性$\sqrt{k\rho c}$[kW・sec$^{1/2}$/(m²・K)]
0	399	0.399
E4	416	0.523
Bus	441	0.299

推定した表地の着火温度と、第３章で行った表地の着火温度の測定実験で得られた結果とを比較してみると、0 系および E4 系新幹線座席ともに 20kW/m² の放射加熱強度における表地の平均着火温度より 12℃低い値となった。仮定する熱伝達率および放射率によって得られる結果には差異があるが、概ね妥当な値と判断した。

参考文献

1) 原田和典「建築火災のメカニズムと火災安全設計」(財)日本建築センター、2007 年 12 月
2) 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、2014 年 3 月
3) 小澤竜也「バスの座席の燃焼性に関する実験的研究」東京理科大学工学研究科建築学専攻修士論文 2014 年 3 月

４．２　火炎からの熱流束

自由空間における燃焼実験の発熱速度から、座席燃焼時の火炎をモデル化し、受熱面(ここでは、着火座席の前方に設置した座席)が受ける火炎からの熱流束を検討する。

受熱面が曝される放射物体(ここでは火炎)からの放射熱流束は、次式で与えられる。

$$\dot{q}'' = \varepsilon\sigma T^4 F$$

$\dot{q}''$　：放射熱流束[kW/m²]

ε　：放射率[-]

σ　：ステファン=ボルツマン定数 5.67×10^{-11}[kW/m²K⁴]

T　：温度[K]

F　：形態係数[-]

火炎の放射率は火炎の厚みに依存するとされ、文献[1)]において火炎の放射を扱うときの一般的な値は 0.8±0.2 としている。ここでは 0.8 を放射率に採用する。また、火炎の温度は 1,073[K](800[℃])とし、形態係数の算定に必要な火炎高さは連続火炎高さとする。次の「火炎高さと火炎温度について」で基礎的知識を記す。

火炎高さと火炎温度について[2)]

一言で火炎といってもその形態は様々であるため、火炎は次のように分類される。

まず火炎は可燃物(可燃性ガス)と酸化剤(酸素)の混合の仕方に応じて予混合火炎と拡散火炎に分類できる。予混合火炎は、あらかじめ可燃性ガスと酸素が混合し、可燃性混合物の状態で燃焼反応が生じることによって形成される火炎で、その代表例にはガスコンロの火炎が挙げられる。また予混合火炎は、可燃物ガスと酸素を適当な割合で混合した場合に限って形成され、可燃性混合物の反応によって火炎の中心で活発な燃焼をする。一方の拡散火炎は、可燃性ガスが周囲の空気から酸素を巻き込み、燃焼反応が生じることによって形成される火炎で、その代表例にはロウソクの火炎や火災時の火炎が挙げられる。また拡散火炎は可燃性ガスが空気と接する火炎の外縁で燃焼するため、火炎の中心では酸欠となって不活発に燃焼する。さらに火炎はその形状により層流火炎と乱流火炎に分類できる。ガスコンロやロウソクの火炎のように、一定の火炎形状が保たれているものを層流火炎といい、火災時の火炎のように、火炎形状に乱れのあるものを乱流火炎という。日頃、我々が目にする火災時の火炎は、上記二つの分類によって乱流拡散火炎と呼ばれている。

実験の際に生じた火炎も火災時の火炎であり、乱流拡散火炎と判断できる。乱流拡散火炎をモデル化する時に、変動する火炎の高さをどこと定義するか、また、火炎温度を何度とするかによって火炎からの放射の算定結果に差異が生じてくる。

一般には、乱流拡散火炎の常に火炎が存在する領域を連続火炎領域といい、その高さを連続火炎高さと呼ぶ。また、連続火炎高さから最も火炎高さが高くなるまでの領域を間欠火炎領域といい、その高さを間欠火炎高さと呼ぶ。さらにその上方はプルーム領域という。そし

て、火炎の存在する時間が 50%となる高さを平均火炎高さという。平均火炎高さは、間欠火炎領域のほぼ中央にある。一般に、連続火炎領域の温度はほぼ一定で 800℃、間欠火炎領域の温度は高さに反比例して減少し、間欠火炎領域のほぼ中央にある平均火炎高さの温度はおよそ 500℃、間欠火炎高さの温度は 300℃である。さらに上方のプルーム領域の温度は距離の 5/3 乗で減少する。間欠火炎高さの温度は木材の着火温度 260℃を上回ることから、可燃物への着火の有無を判断する評価指標とされる。その他、火炎からの放射のほとんどは連続火炎から発するとされ、放射熱源として評価する際には連続火炎高さを火炎形状の代表として用いることが多い。

以上から、火炎からの放射を検討する際の火炎高さは連続火炎高さと定義し、連続火炎領域の温度は 800[℃]と定義する。

連続火炎高さは次式で算定できる [2)3)]。

$$L_f = \gamma \cdot \dot{Q}^{*n} \cdot D \quad \text{ここに、} \quad \dot{Q}^* = \frac{\dot{Q}}{1116D^{5/2}}$$

L_f ：連続火炎高さ[m]

γ ：連続火炎の実験定数 1.8 （間欠火炎の実験定数 3.3）

$\dot{Q}^*$ ：無次元発熱速度[-]

n ：実験定数 $\dot{Q}^* \leq 1$のとき$n = 2/3$ ， $1 < \dot{Q}^*$のとき$n = 2/5$

D ：代表火源寸法[m]

ここでは、$D = \sqrt{A \cdot B}$とする。

A：火炎底部の短辺。ここでは、座席の座面奥行き(実測値)とする。

E4 系新幹線の場合 : 0.50[m] , 0 系新幹線座席の場合 : 0.44[m]

B：火炎底部の長辺。ここでは、座席の座面幅(実測値)とする。

E4 系新幹線の場合 : 0.50[m] , 0 系新幹線座席の場合 : 0.45[m]

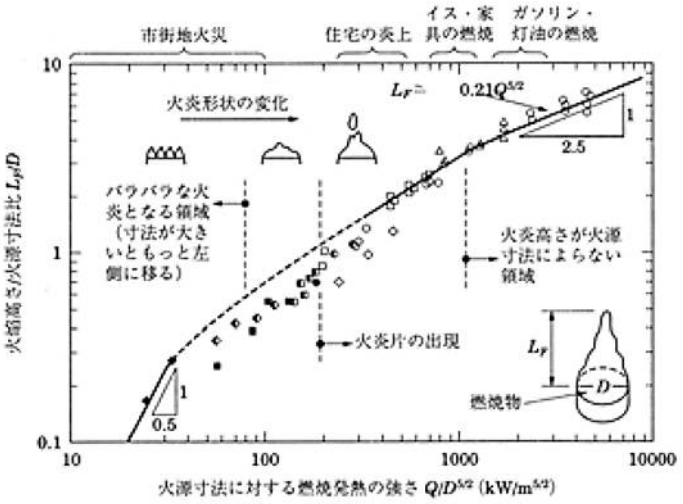


図 4.2.1. $Q/D^{5/2}$とL_f/Dの関係

（１）火炎形状の決定

観察記録から、E4-Free は概ね背ずり及び座面が燃焼し、0-Free は背ずりが主に燃焼していた。このことから、E4-Free の火炎は円柱形に、0-Free の火炎は長方形に仮定が妥当と考えられる。この妥当性を確認するため、E4-Free および 0-Free の発熱速度を用いて放射の算定を行う。放射の算定には前述のとおり形態係数が必要となるため、次に長方形および円柱形の形態係数の算定式を示す。なお、受熱面と放射物体(火炎)の距離（図 4.2.2.内の l）は、放射の算定結果を実験値と比較するため、実験の際に設置した熱流計と同距離の 1m とする。

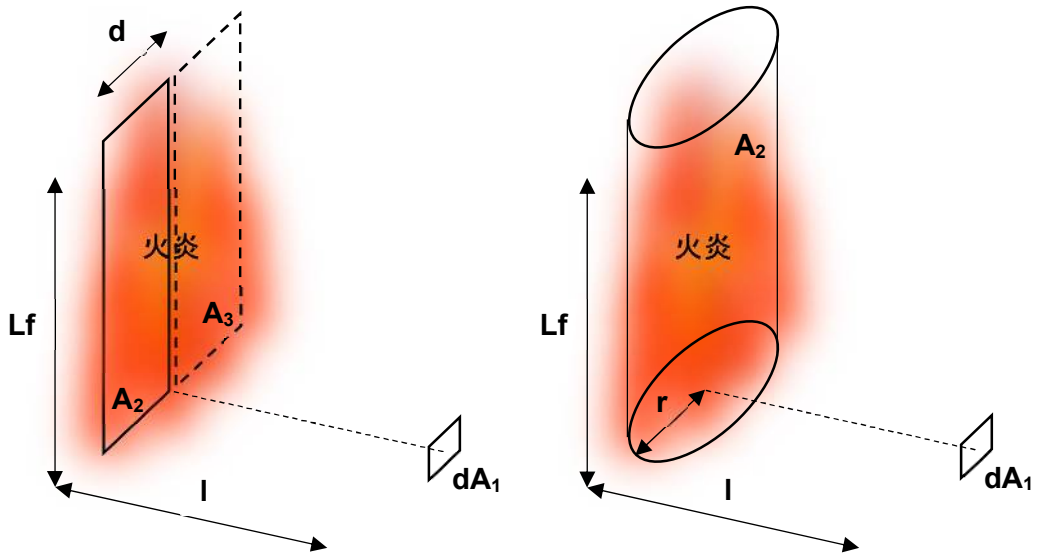


図 4. 2. 2.　微小面から長方形（左）および円柱（右）の形態係数の位置関係

微小面 dA_1 から dA_1 に平行な長方形 A_{2+3} の形態係数算定式

$$X = \frac{d}{l} \quad , \quad Y = \frac{L_f}{l}$$

$$F_{dA_1 \to A_2} = \frac{1}{2\pi}\left(\frac{X}{\sqrt{1+X^2}}\tan^{-1}\frac{Y}{\sqrt{1+X^2}} + \frac{Y}{\sqrt{1+Y^2}}\tan^{-1}\frac{X}{\sqrt{1+Y^2}}\right)$$

$$F_{dA_1 \to A_{2+3}} = F_{dA_1 - A_2} \times 2$$

微小面 dA_1 から一つの底が dA_1 からの法線上にある円柱形 A_2 の形態係数算定式

$$L = \frac{L_f}{r} \quad , \quad H = \frac{l}{r} \quad , \quad X = \left(L_f + H\right)^2 + L^2 \quad , \quad Y = \left(L_f - H\right)^2 + L^2$$

$$F_{dA_1 \to A_2} = \frac{1}{\pi H}\tan^{-1}\frac{L}{\sqrt{H^2-1}} + \frac{L}{\pi}\left[\frac{X-2H}{H\sqrt{XY}}\tan^{-1}\sqrt{\frac{X(H-1)}{Y(H+1)}} - \frac{L}{\pi}\tan^{-1}\sqrt{\frac{H-1}{H+1}}\right]$$

以下に火炎からの放射熱流束の算定結果を示す。

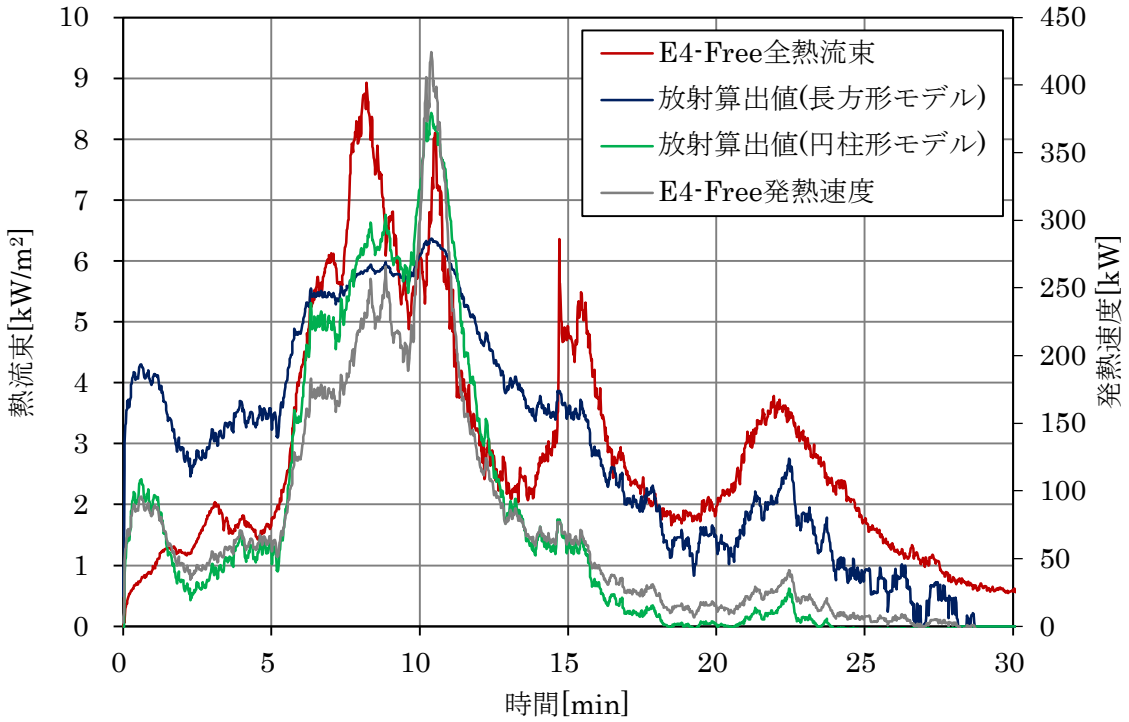


図 4.2.3.　E4-Free の放射算定結果

E4-Free の火炎形状は、図 4.2.3.に示す通り、円柱形モデルの放射算定値が実験値と同様の傾向を示しているため、前述で仮定した円柱形モデルは妥当と判断できる。0-Free の火炎形状については、図 4.2.4.～図 4.2.7. に示す通り、円柱形モデルの放射算定値は時間のほぼ全域で実験値を下回っている。一方の長方形モデルの放射算定値は時間のほぼ全域で実験値を上回っている。隣接座席の着火を危険側に考慮するならば、実験値を上回っている長方形モデルが妥当と判断できる。

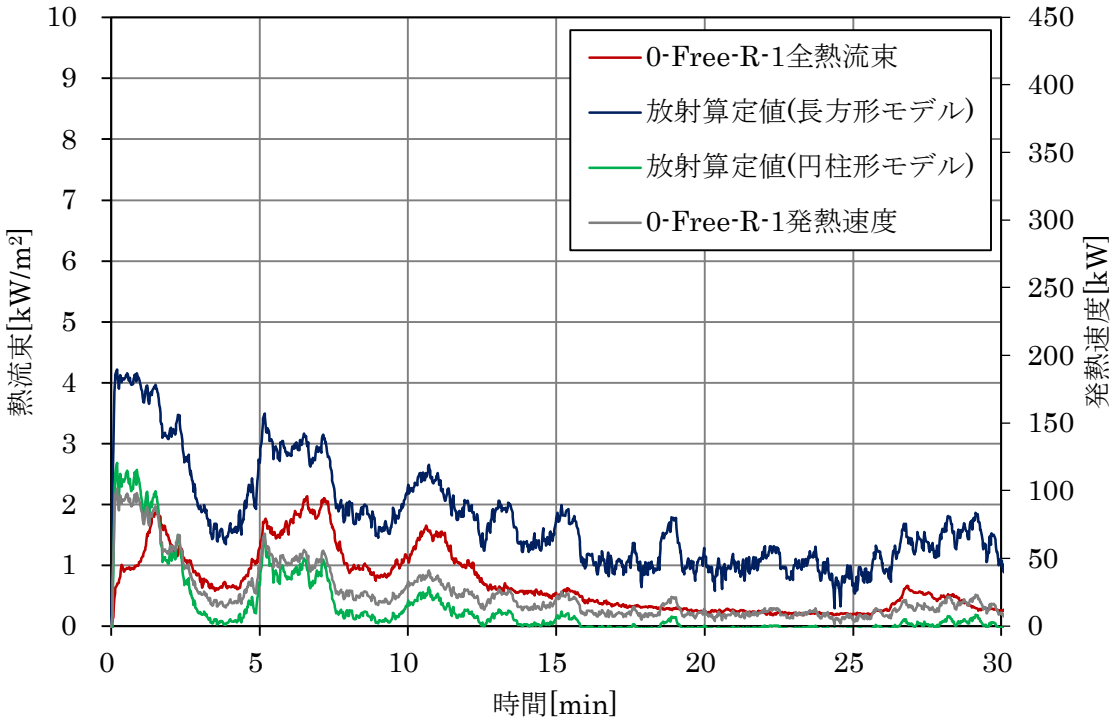


図 4.2.4　0-Free-R-1 の放射算定結果

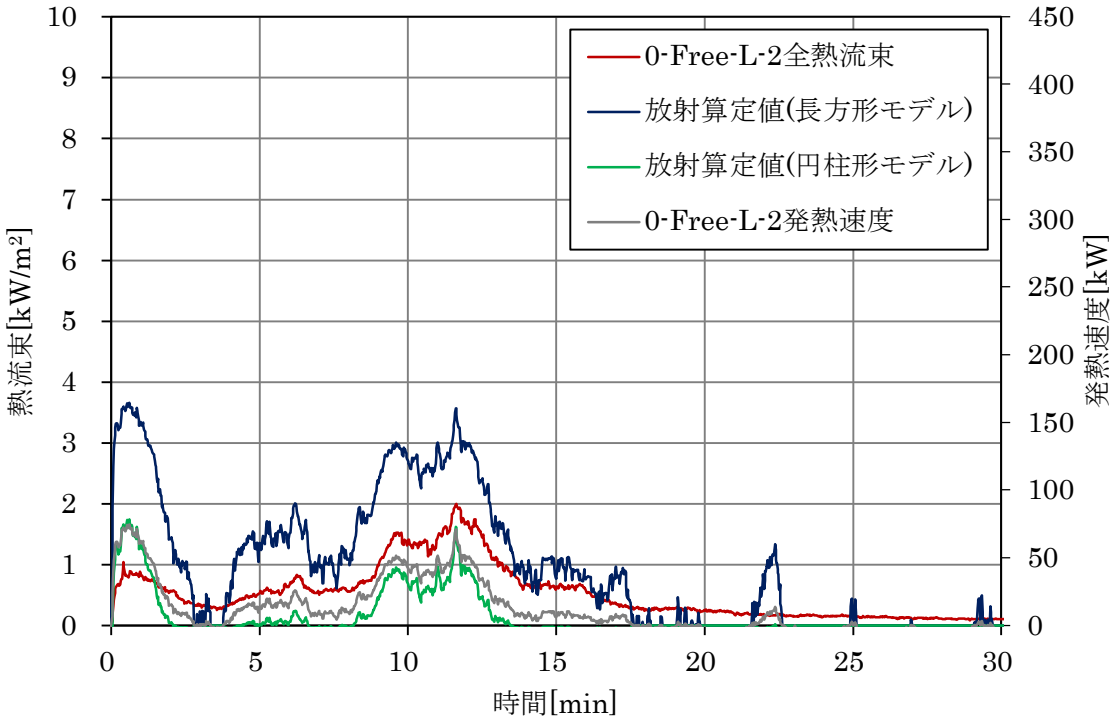


図 4.2.5　0-Free-L-2 の放射算定結果

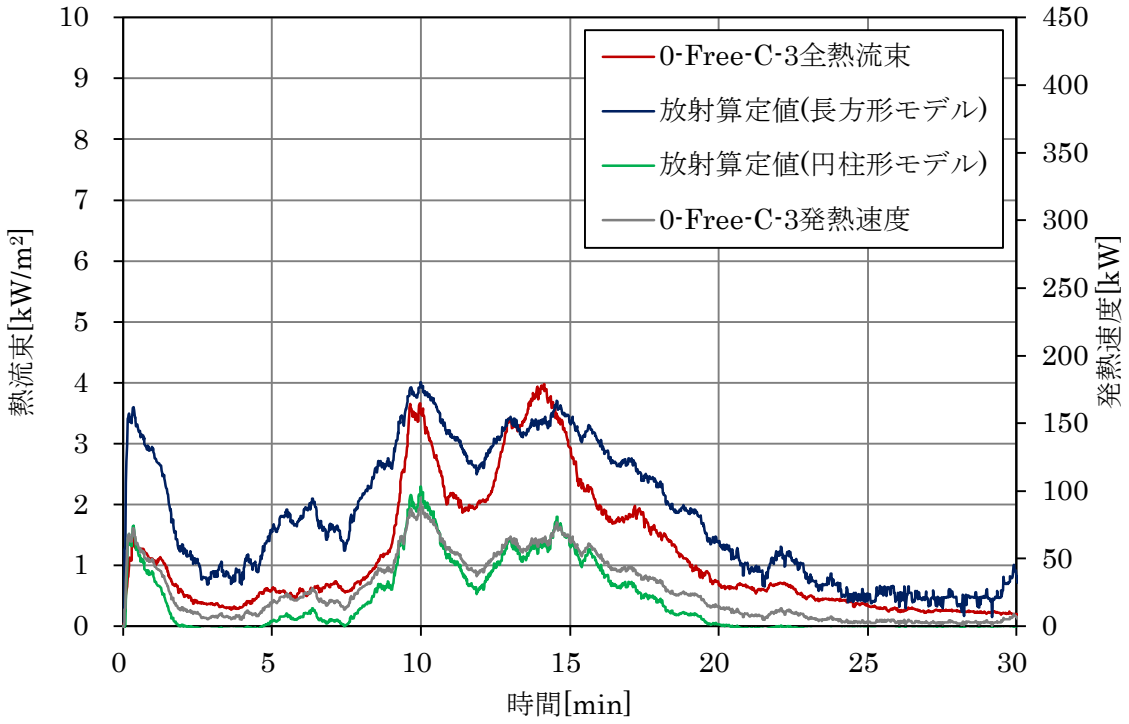


図 4.2.6.　0-Free-C-3 の放射算定結果

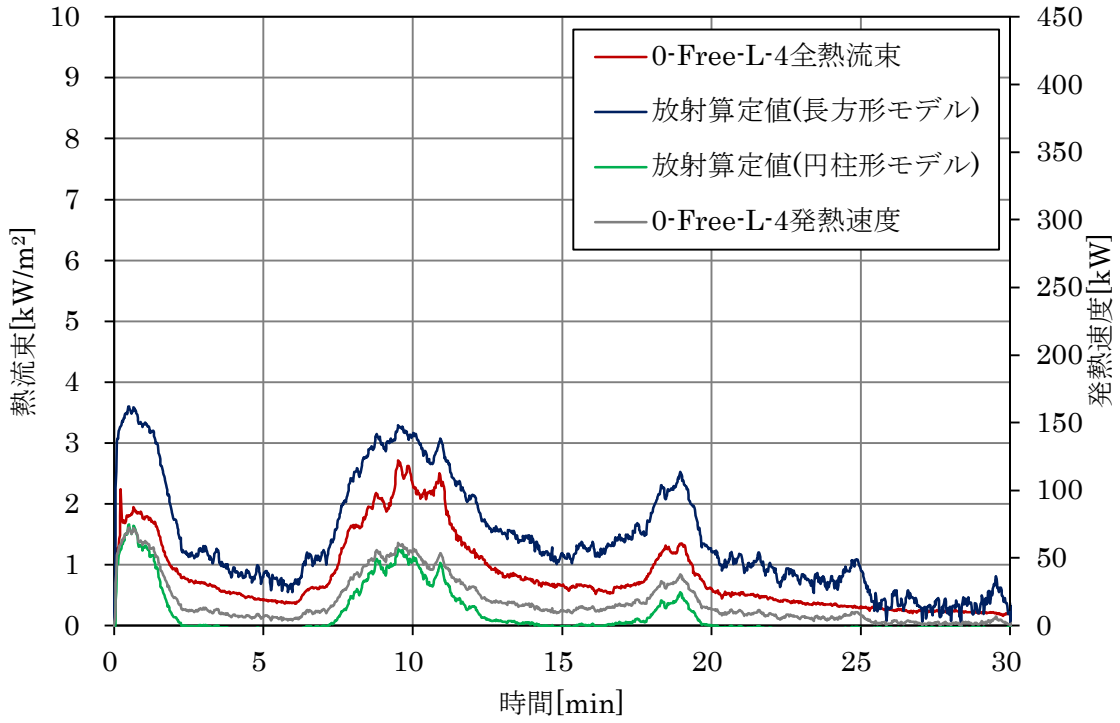


図 4.2.7.　0-Free-L-4 の放射算定結果

（２）火炎形状比の決定

火炎高さL_fと火源寸法Dの比(L_f/D以下、火炎形状比)を決定する。火炎形状比の決定手順は、まず適当な火炎形状比を定め、自由空間における燃焼実験の発熱速度から火源寸法Dを求める。求めた火源寸法Dと任意に決定した火炎寸法比から火炎高さL_fを求め、その火炎寸法における放射熱流束と実験値を比較し、最適な火炎形状比を決定する。以降に火源寸法Dの算定方法を示す。

①$L_f = \gamma \cdot \dot{Q}^{*\cdot n} \cdot D$　を変形し、　$\frac{L_f}{D} = \gamma \cdot \dot{Q}^{*\cdot n}$　・・・①式

②①式に　$\gamma = 1.8$(連続火炎の実験定数)　，　$\dot{Q}^* = \frac{\dot{Q}}{1116D^{5/2}}$　を代入し、

$$\frac{L_f}{D} = 1.8 \cdot \left(\frac{\dot{Q}}{1116D^{5/2}}\right)^n \quad \cdot\cdot\cdot ②式$$

③②式の実験定数nは無次元発熱速度$\dot{Q}^*$により決まるが、その無次元発熱速度$\dot{Q}^*$の算定には発熱速度$\dot{Q}$と未知数の火源寸法Dが必要であるため、この段階で無次元発熱速度$\dot{Q}^*$はわからない。ひとまず$1 < \dot{Q}^*$のとき、$\dot{Q}^* \leq 1$のときの二条件で火源寸法Dを算定する。それぞれの条件の火炎寸法Dは次式により算定する。

<u>$1 < \dot{Q}^*$のとき、$n = 2/5$</u>

$$\frac{L_f}{D} = 1.8 \cdot \dot{Q}^{*\cdot 2/5} = 1.8 \cdot \left(\frac{\dot{Q}}{1116 \cdot D^{5/2}}\right)^{2/5} = 0.11 \cdot \left(\frac{\dot{Q}}{D^{5/2}}\right)^{2/5}$$

$\frac{L_f}{D}$(火炎寸法比)は任意に決定するので、$\frac{L_f}{D} = A$とおき、Dについて整理すると、

$$D = 0.11 \cdot \frac{1}{A} \cdot \dot{Q}^{2/5}$$

<u>$\dot{Q}^* \leq 1$のとき、$n = 2/3$</u>

$$\frac{L_f}{D} = 1.8 \cdot \dot{Q}^{*\cdot 2/3} = 1.8 \cdot \left(\frac{\dot{Q}}{1116 \cdot D^{5/2}}\right)^{2/3} = 0.02 \cdot \left(\frac{\dot{Q}}{D^{5/2}}\right)^{2/3}$$

同様に、$\frac{L_f}{D} = A$とおき、Dについて整理すると、

$$D = \left(0.02 \cdot \frac{1}{A} \cdot \dot{Q}^{2/3}\right)^{3/5}$$

④二条件で算定した火源寸法Dのうち、無次元発熱速度$\dot{Q}^*$の条件式との関係が成り立つ火源寸法Dを選択する。

次に各火炎形状比における放射熱流束の算定結果を示す。

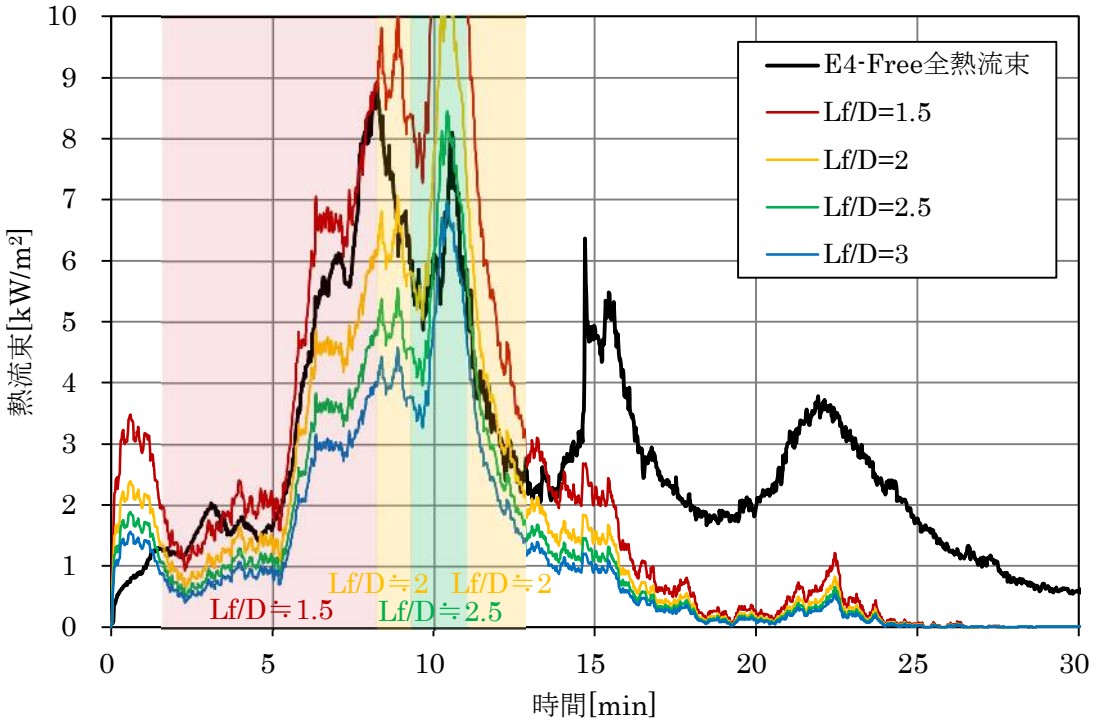


図 4.2.8.　E4-Free の火炎形状比

図 4.2.8.は、E4-Free の各火炎形状比における放射熱流束の算定結果である。放射熱流束の算定にあたり、火炎は円柱形モデルとし、火炎との距離は実験値(図中凡例：E4-Free 全熱流束)と同距離の水平 1m とする。また、火炎形状比は、図 4.2.1.において概ね 1.5 以上で実験値との適合性がとれていることから 1.5 以上とし、0.5 刻みに 3 までとする。

図 4.2.8.から実験値に追従する火炎形状比を判別してみる。着火直後を除き、実験値の最大全熱流束 8.9kW/m² に達する 8 分 13 秒までの火炎形状比は、概ね 1.5 である。以降も同様に判別すると、最大全熱流束到達後から 4.9kW/m²(着火後 9 分 38 秒)に減少する間は火炎形状比 1.5 から 2 に推移している。さらにその後、全熱流束が 8.1kW/m²(着火後 10 分 31 秒)まで再び増加し、約 11 分に 4kW/m² まで減少する間の火炎形状比は 2.5 となっており、約 11 分から 2 kW/m² まで減少する約 12 分の間の火炎形状比は 2 となっている。約 12 分以降の実験値と算定値の大きな狂いは、燃焼物が熱流計の方向へ崩壊したことが要因と考えられる(発熱速度の増加が要因ではない)。

次に、実験ビデオの静止画キャプチャーから判別した火炎形状比の妥当性を検証する。表 4.2.1.に、実験ビデオの静止画キャプチャーと、その時点の火炎形状比と火炎寸法の算定値を示す。最大全熱流束 8.9kW/m² に達する 8 分 13 秒時点の火炎形状の算定値は、火炎形状比 1.5 において、火炎高さ Lf は 0.99m、火源寸法 D は 0.66m となっている。静止画キャプチャー(表 4.2.1.①左)をみると、座面幅 0.5m の全幅で、背ずり長 0.8m を越える位置で火炎が確認でき、算定値と概ね一致している。最大全熱流束到達以降の火炎形状比は時間経過

ごとに 2、2.5、2 と判別したが、静止画キャプチャー(表 4.2.1.②左、③左、④左)をみると、火炎は座面、肘掛、ヘッドレストでまばらに確認でき、判別した火炎形状比に妥当性があるとは言いがたい。しかし、座席の燃焼状況を再度確認してみると、最大全熱流束到達までの燃焼については座席の正面が主であるが、最大全熱流束到達から一旦、全熱流束は減少し、再び 8.1kW/m²(着火後 10 分 31 秒)にまで増加する間においては、主に座席背面が燃焼している。全熱流束の測定は座席正面で行っているため、座席背面の火炎の放射熱流束は、座席自体に遮られることで測定値に反映されなかったと考えられる。（実験の際に座席背面の熱流束を測定すべきだったと反省する。）ここで、最大全熱流束到達から着火後 10 分 31 秒に 8.1kW/m² に到達する間(表 4.2.1.②、③)の火炎形状比は、最大全熱流束到達までの火炎形状比 1.5 を維持するものと仮定してみる。最大全熱流束到達後の 4.9kW/m²(着火後 9 分 38 秒)に減少した時点の静止画キャプチャー(表 4.2.1.②右)をみると、床面(ケイ酸カルシウム板)に広がった火炎が背ずりの中程まであることが確認できる。4.9kW/m²(着火後 9 分 38 秒)に減少した時点の火炎形状の算定値は、火炎形状比 1.5 において、火炎高さ Lf は 0.92m、火源寸法 D は 0.62m となっており、座席幅 0.66m、座席高さ 1.2m から概ね一致している。また、その後の 8.1kW/m²(着火後 10 分 31 秒)に到達する時点の静止画キャプチャー(表 4.2.1.③右)をみると、床面(ケイ酸カルシウム板)に広がった火炎が座席高さ 1.2m を超えていることが確認できる。8.1kW/m²(着火後 10 分 31 秒)に到達する時点の火炎形状の算定値は、火炎形状比 1.5 において、火炎高さ Lf は 1.23m、火源寸法 D は 0.82m となっており、僅かに座席幅 0.66m を超えるものの、火炎高さ Lf は座席高さ 1.2m を考慮すると概ね一致している。

以上をまとめると、E4-Free の火炎形状比は着火後 10 分 31 秒の 8.1kW/m² に達するまで(概ね最大発熱速度に達するまで)は 1.5 と判断できる。

(火炎形状比 1.5 の最大発熱速度到達時の放射は 15.1 kW/m²)

0-Free の火炎形状比については図 4.2.9.～図 4.2.12.をみると概ね 0.3 以下となっている。この結果は、図 4.2.1.の「火炎がばらばらとなる領域」であり、火炎がまとまった形状でないことを示している。実際の座席の燃焼状況からも火炎がばらばらとなっていることを確認しており、火炎形状比の決定は困難であるといえる。この 0-Free のように火炎がばらばらとなる座席は火炎形状比の決定が困難なだけでなく、前方座席の着火、すなわちフラッシュオーバーの可能性が限りなく低いことを示しているのではないか。逆に言えば、E4-Free のように火炎形状比が決定できる座席はフラッシュオーバーの可能性が高いと予測をたてることが可能なのではないか。（なお、放射熱流束の算定にあたり、火炎は長方形モデルとし、火炎との距離は実験値(図中凡例：0-Free 全熱流束)と同距離の水平 1m としている。）

0-Free の火炎形状比の決定が困難であることから、以降のフラッシュオーバーの予測に用いる火炎からの熱流束は、モデル化した火炎からの熱流束ではなく自由空間における燃焼実験で測定した値を使用する。E4-Free に関しても 0-Free と統一を図るため同様とする。

表 4.2.1　実験ビデオ静止画キャプチャーと算定した火炎形状の比較

	実験ビデオ静止画キャプチャー(左：正面、右：背面)	算定値(時間・発熱速度を除く)	
①		時間(着火後)	8 分 13 秒
		発熱速度[kW]	228
		火炎形状比 Lf/D[-]	1.5
		Lf[m]	0.99
		D[m]	0.66
②		時間(着火後)	9 分 38 秒
		発熱速度[kW]	194
		火炎形状比 Lf/D[-]	2
		Lf[m]	0.90
		D[m]	0.45
		火炎形状比 Lf/D[-]	1.5
		Lf[m]	0.92
		D[m]	0.62
③		時間(着火後)	10 分 31 秒
		発熱速度[kW]	396
		火炎形状比 Lf/D[-]	2.5
		Lf[m]	1.20
		D[m]	0.48
		火炎形状比 Lf/D[-]	1.5
		Lf[m]	1.23
		D[m]	0.82
④		時間(着火後)	12 分 01 秒
		発熱速度[kW]	123
		火炎形状比 Lf/D[-]	2
		Lf[m]	0.75
		D[m]	0.38
		火炎形状比 Lf/D[-]	1.5
		Lf[m]	0.77
		D[m]	0.51

※座席幅：0.66m、座席高さ：1.2m、座面幅：0.5m、背ずり長：座面から 0.8m(全て実測)

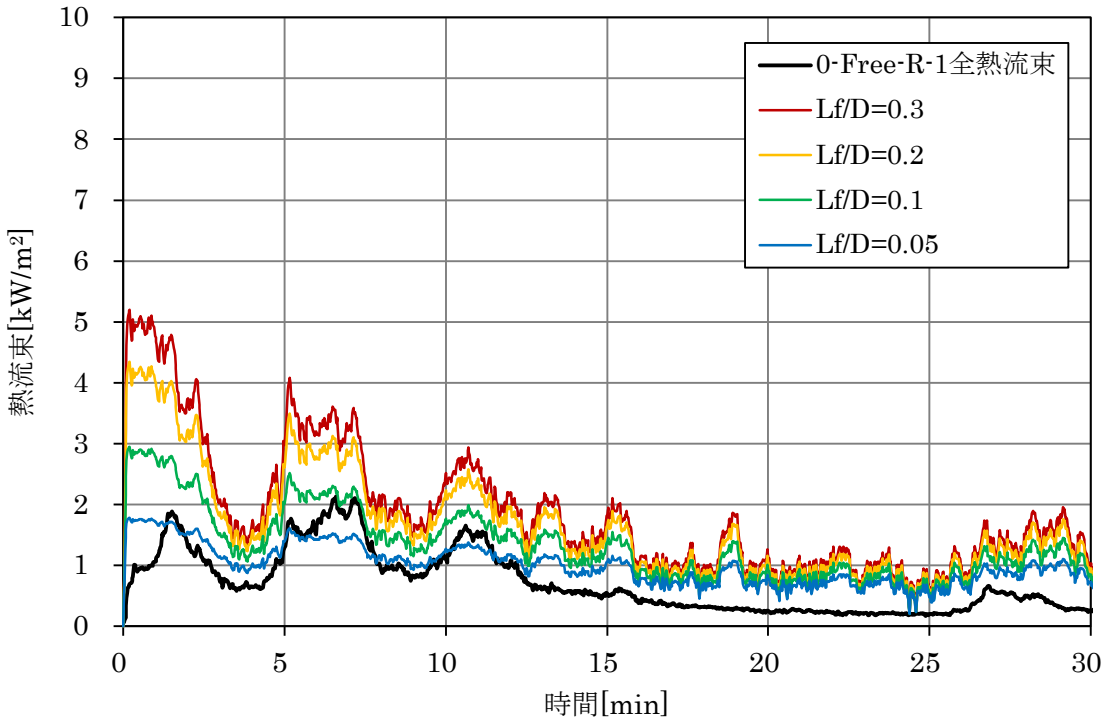


図 4.2.9.　0-Free-R-1 の放射算定結果 2

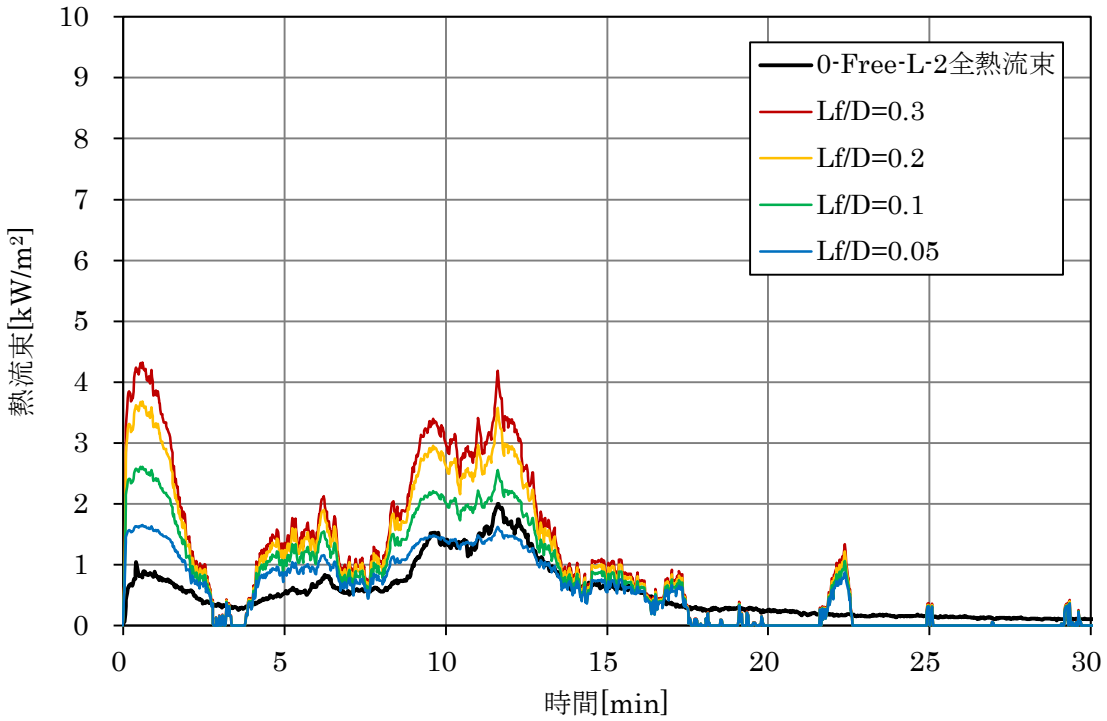


図 4.2.10.　0-Free-L-2 の放射算定結果 2

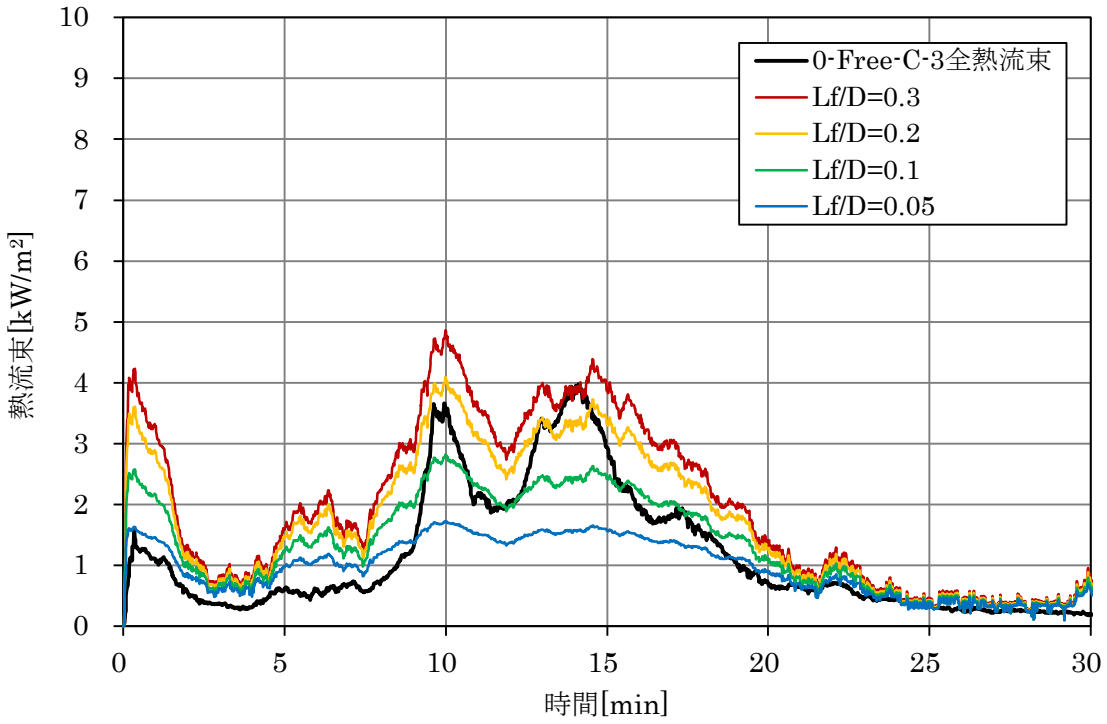


図 4.2.11.　0-Free-C-3 の放射算定結果 2

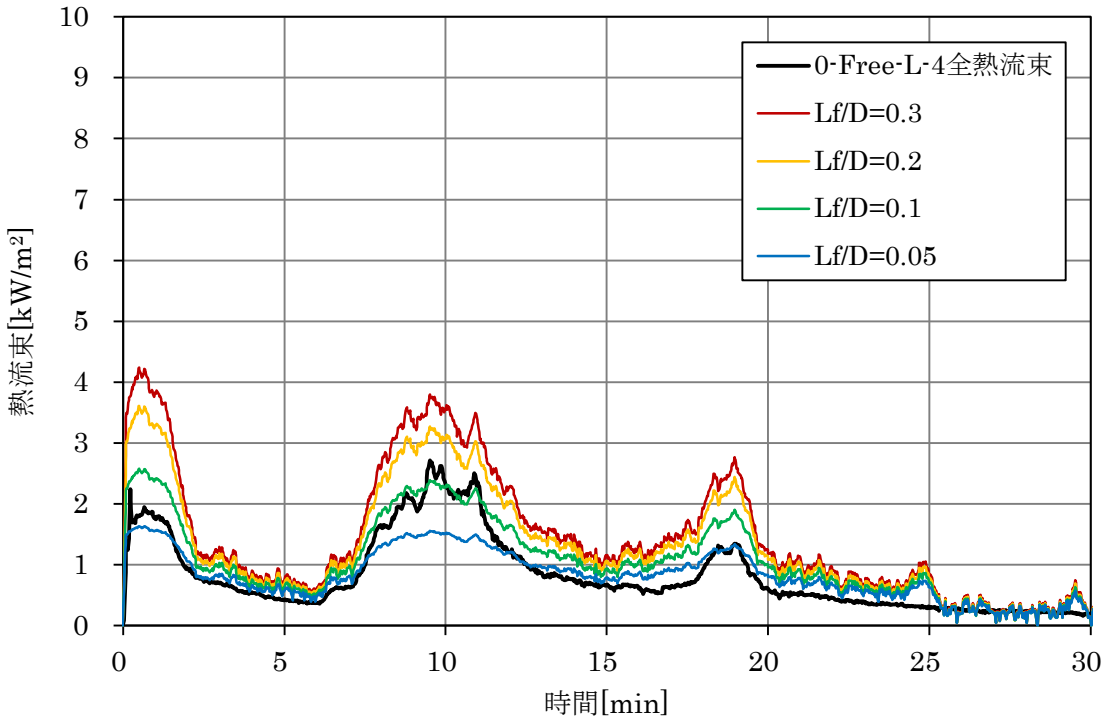


図 4.2.12.　0-Free-L-4 の放射算定結果 2

参考文献

1) James G. Quintiere (訳:大宮喜文,若松薫)「基礎 火災現象原論」共立出版、2009 年 4 月

2) 原田和典「建築火災のメカニズムと火災安全設計」(財)日本建築センター、2007 年 12 月

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、2014 年 3 月

４．３　煙層からの熱流束

フラッシュオーバーの予測に必要となる煙層からの熱流束は、まず、自由空間における燃焼実験で得られた発熱速度を用いて BRI2002 により煙層温度を算出した。

BRI2002 の特性上、発熱速度の推移を 20 点の直線近似で入力する為、計算時間を着火から 20 分までに限定した。BRI2002 に入力した発熱速度を図 4.3.1 に示す。

BRI2002 で算出した煙層温度を用いて座席の表地が受ける熱流束を式(1)により算出した。

$E = \varphi\varepsilon\,\sigma T^4$ ・・・(1)

ただし、Eは座席の表地が受ける熱流束[kW/m^2]、φは形態係数[-]、σはステファン-ボルツマン定数 5.67×10^{-11}[kW/m^{2}K^4]及びTは煙層温度[K]である。ここでは、形態係数及び放射率は 1 とした。

BRI2002 で算出した煙層温度と熱流束の算出結果を図 4.3.2 に示す。

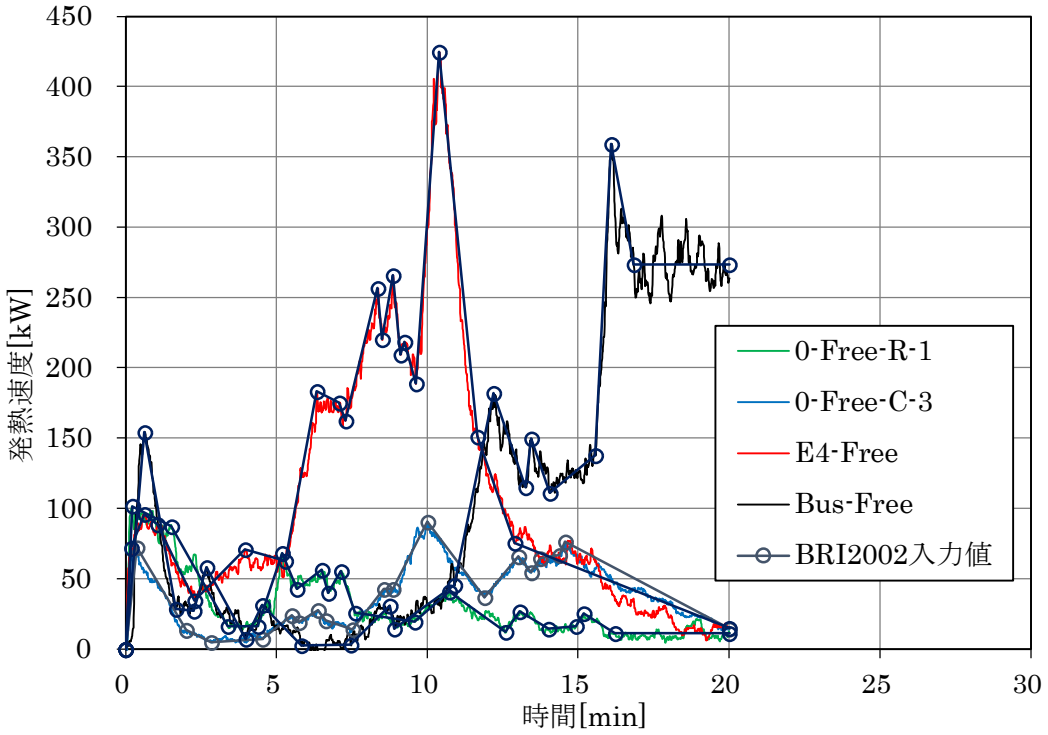


図 4.3.1　BRI2002 に入力した発熱速度

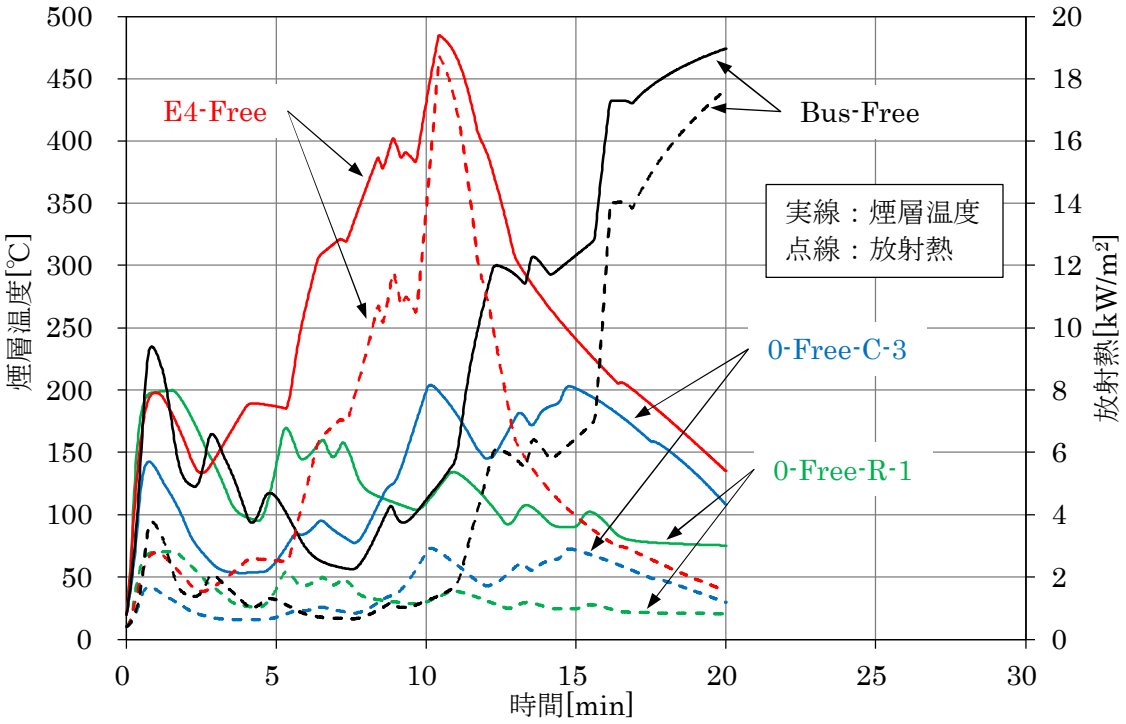


図 4.3.2　BRI2002 による煙層温度と熱流束

ISO9705 ルームコーナー試験装置の壁の仕様について

座席の燃焼実験に使用した ISO9705 ルームコーナー試験装置の壁の仕様（層構成）は、試験装置の施工に携わった三生技研株式会社田中和祥氏から提供された。下図に壁の仕様を示す。この壁の室内側には、高温による壁の損傷を軽減し、試験装置の繰り返し利用を目的として、本来の仕様には無い 25mm 厚のセラミックウールが貼られている（図中、層番号⑦）。

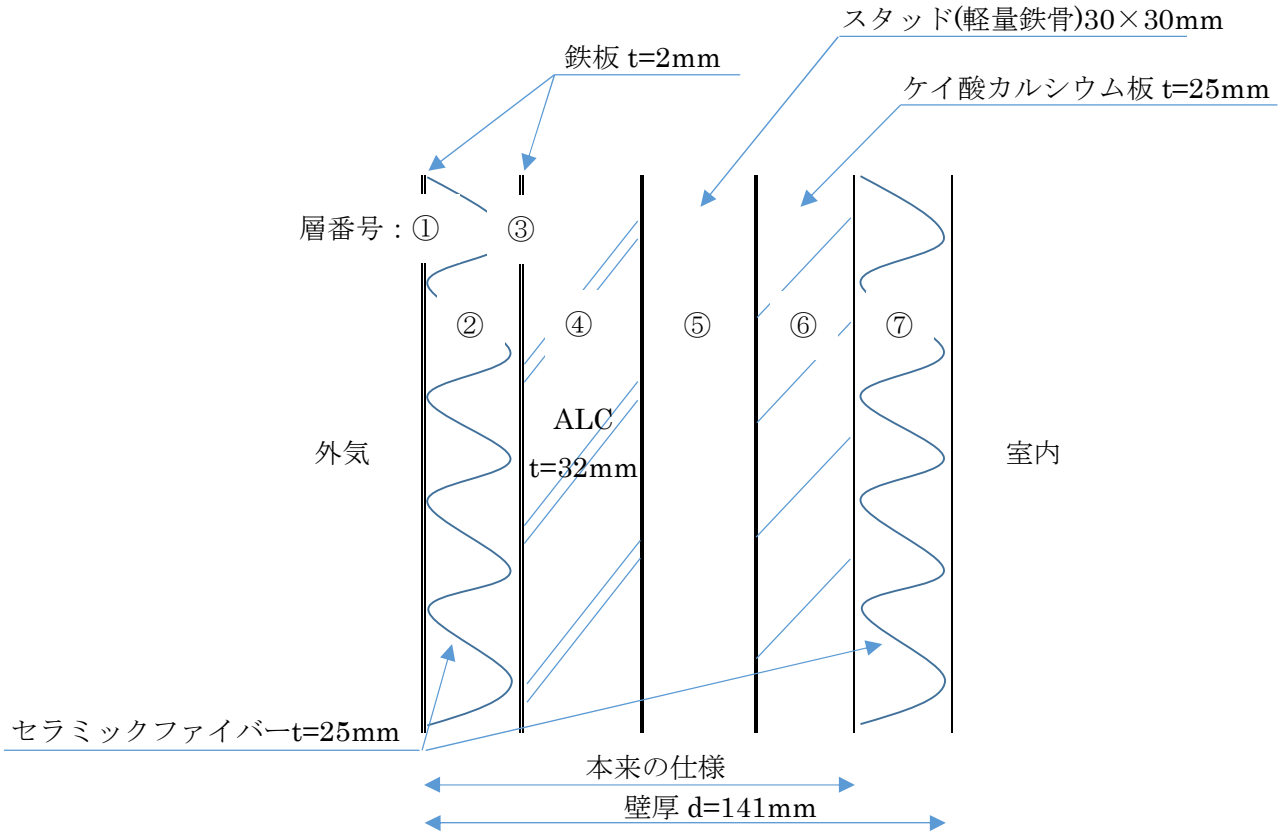


図　ISO9705 ルームコーナー試験装置の壁の仕様

壁を構成する材料の一般的な物性値を下表に示す。なお、層番号⑤のスタッドの取り付け間隔は不明であり、本章では空気層として扱う。

表　壁を構成している各材料の物性値

層番号	材　　料	熱伝導率λ [W/(m・K)]	密度ρ [kg/m³]	比熱c [kJ/(kg・K)]	引用
①・③	鉄	80	7870	0.44	※1
②・⑦	セラミックファイバー	0.10	128	1.05	※2
④	気泡コンクリート	0.12	500	1.12	※1
⑤	空気(300K)	26.14×10^{-3}	1.1763	1.007	※1
⑥	ケイ酸カルシウム板	0.13	622	0.92	※1

※1：田中哮義『改訂版 建築火災安全工学入門』財団法人 日本建築センター、2002、pp.350-351
※2：イソライト工業株式会社 HP>製品情報>セラミックファイバー>イソウールブランケット URL http://www.isolite.co.jp/in フラッシュオーバー/ceramicfiber/seihin2-2/index.html [Accessed 2014.09.03]

BRI2002 のモデルの特性上、境界条件となる壁の物性値は単層壁として入力せざるを得ない。それ故、複層壁の ISO9705 ルームコーナー試験装置の壁は、単層壁としてみなすことができるよう、各材料の物性値を一つの熱伝導率および密度、比熱に整理する必要がある。下記にその算出過程を示す。

単層壁とみなす場合の熱伝導率λ

①壁を構成する各材料の熱抵抗rを求める。

$$r_1 = \frac{材厚t}{熱伝導率k} = \frac{0.002[m]}{80[W/(m\cdot K)]} = 0.000025[m^2\cdot K/W]$$

$$r_2 = \frac{0.025[m]}{0.10[W/(m\cdot K)]} = 0.25[m^2\cdot K/W]$$

$$r_3 = r_1 = 0.000025[m^2\cdot K/W]$$

$$r_4 = \frac{0.032[m]}{0.12[W/(m\cdot K)]} = 0.26[m^2\cdot K/W]$$

$r_5 = r_{air} = 0.09[m^2\cdot K/W]$・・・中空層(半密閉)の熱抵抗設計値
倉渕隆『初学者の建築講座 建築環境工学』市ヶ谷出版社、2006、p.91

$$r_6 = \frac{0.025[m]}{0.13[W/(m\cdot K)]} = 0.19[m^2\cdot K/W]$$

$$r_7 = r_2 = 0.25[m^2\cdot K/W]$$

②各熱抵抗を合計し熱貫流抵抗Rを求める。

$$\mathrm{R} = r_1 + r_2 + \cdots + r_7 = 1.04[m^2\cdot K/W]$$

③熱貫流抵抗Rを逆数にして、熱貫流率Kを求める。

$$\mathrm{K} = \frac{1}{R} = \frac{1}{1.04[m^2\cdot K/W]} = 0.962[W/(m^2\cdot K)]$$

④熱貫流率Kに壁厚dを掛け、壁全体の熱伝導率λを得る。

$$\lambda = \mathrm{K}\cdot\mathrm{d} = 0.962[W/(m^2\cdot K)] \times 0.141[m] = 0.14[W/(m\cdot K)]$$

単層壁とみなす場合の密度ρ

①壁を構成する各材料の密度に、壁内におけるその材料の容積比率を乗じる。

$$\rho_1 = 7870[\mathrm{kg}/m^3] \times \frac{0.002[m^3]}{0.14[m^3]} = 111.631[\mathrm{kg}/m^3]$$

$\rho_2 = 128[\mathrm{kg}/m^3] \times \frac{0.025[m^3]}{0.14[m^3]} = 22.695[\mathrm{kg}/m^3]$

$\rho_3 = \rho_1 = 111.631[\mathrm{kg}/m^3]$

$\rho_4 = 500[\mathrm{kg}/m^3] \times \frac{0.032[m^3]}{0.14[m^3]} = 113.475[\mathrm{kg}/m^3]$

$\rho_5 = 1.1763[\mathrm{kg}/m^3] \times \frac{0.030[m^3]}{0.14[m^3]} = 0.250[\mathrm{kg}/m^3]$

$\rho_6 = 622[\mathrm{kg}/m^3] \times \frac{0.025[m^3]}{0.14[m^3]} = 110.284[\mathrm{kg}/m^3]$

$\rho_7 = \rho_2 = 22695[\mathrm{kg}/m^3]$

②それぞれを合計し、壁全体の密度ρを得る。

$\rho_1 = \rho_1 + \rho_2 + \cdots + \rho_7 = 493[\mathrm{kg}/m^3]$

<u>単層壁とみなす場合の比熱c</u>

①壁を構成する各材料の比熱に、壁内におけるその材料の密度比率を乗じる。

$\rho_1 = 0.44[\mathrm{kJ}/(\mathrm{kg}\cdot\mathrm{K})] \times \frac{111.631[kg/m^3]}{493[kg/m^3]} = 0.0996[\mathrm{kJ}/(\mathrm{kg}\cdot\mathrm{K})]$

$\rho_2 = 1.05[\mathrm{kJ}/(\mathrm{kg}\cdot\mathrm{K})] \times \frac{22.695[kg/m^3]}{493[kg/m^3]} = 0.0483[\mathrm{kJ}/(\mathrm{kg}\cdot\mathrm{K})]$

$\rho_3 = \rho_1 = 0.0996[\mathrm{kJ}/(\mathrm{kg}\cdot\mathrm{K})]$

$\rho_4 = 1.12[\mathrm{kJ}/(\mathrm{kg}\cdot\mathrm{K})] \times \frac{113.475[kg/m^3]}{493[kg/m^3]} = 0.2576[\mathrm{kJ}/(\mathrm{kg}\cdot\mathrm{K})]$

$\rho_5 = 1.007[\mathrm{kJ}/(\mathrm{kg}\cdot\mathrm{K})] \times \frac{0.250[kg/m^3]}{493[kg/m^3]} = 0.0010[\mathrm{kJ}/(\mathrm{kg}\cdot\mathrm{K})]$

$\rho_6 = 0.92[\mathrm{kJ}/(\mathrm{kg}\cdot\mathrm{K})] \times \frac{110.284[kg/m^3]}{493[kg/m^3]} = 0.2061[\mathrm{kJ}/(\mathrm{kg}\cdot\mathrm{K})]$

$\rho_7 = \rho_2 = 0.0483[\mathrm{kJ}/(\mathrm{kg}\cdot\mathrm{K})]$

②それぞれを合計し、壁全体の比熱 c を得る。

$\mathrm{c} = c_1 + c_2 + \cdots + c_7 = 0.76[\mathrm{kJ}/(\mathrm{kg}\cdot\mathrm{K})]$

ここで、求めた単層壁とみなす場合の物性値を表にまとめる。

表　単層壁とみなす場合の ISO9705 ルームコーナー試験装置の壁の物性値

壁厚[m]	熱伝導率λ[W/(m・K)]	密度ρ[kg/m³]	比熱 c[kJ/(kg・K)
0.141	0.14	493	0.76

上記の算出した物性値の妥当性を、2013 年に辻本研究室が実施したバスの座席の燃焼実験のデータをもとに確認を試みる。バスの座席の燃焼実験は、本論で実施した新幹線の座席の燃焼実験と同一の着火方法かつ、同一の空間条件である自由空間および本論と同一の ISO9705 ルームコーナー試験装置内でバスの座席を燃焼させている。また、ISO9705 ル

ームコーナー試験装置内におけるバスの座席の燃焼実験では、酸素消費法に基づく発熱速度および熱電対による煙層温度（本論の燃焼実験と同位置で測定）の測定を行っている。したがって、バスの座席の燃焼実験のデータは、算出した ISO9705 ルームコーナー試験装置の壁の物性値の妥当性を確認するには十分なデータといえる。

下図に Bus-Room の煙層温度と BRI2002 により算出した煙層温度との比較をしめす。BRI2002 により算出した煙層温度は実験値と概ね一致しており、設定した壁の物性値の妥当性があるといえる。

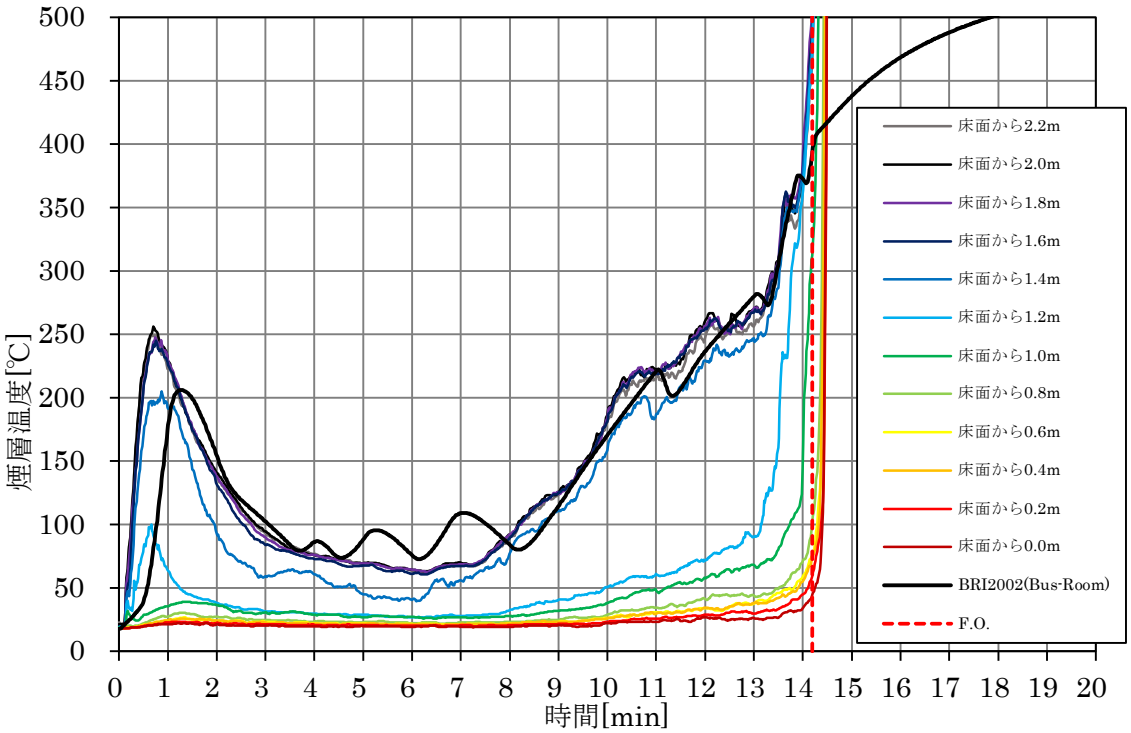


図　Bus-Room の煙層温度と BRI2002 により算出した煙層温度との比較

４．４　非定常熱伝導計算によるフラッシュオーバーの予測

式(5)に示す非定常一次元熱伝導方程式を前進差分し、火炎及び煙層からの熱流束による表地の表面温度の変化を数値計算した[1)]。

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \cdot\cdot\cdot (5)$$

式(5)を式(6)のように差分化する。

$$\frac{T_{i,t+1}-T_{i,t}}{\Delta t} = \alpha \left\{ \frac{\frac{T_{i+1,t}-T_{i,t}}{\Delta x} - \frac{T_{i,t}-T_{i-1,t}}{\Delta x}}{\Delta x} \right\} = \alpha \frac{T_{i-1,t}-2T_{i,t}+T_{i+1,t}}{\Delta x^2} \cdot\cdot\cdot (6)$$

式(6)、左辺の$T_{i,t+1}$について解くと

$$T_{i,t+1} = F\left(T_{i-1,t} - 2T_{i,t} + T_{i+1,t}\right) + T_{i,t} \cdot\cdot\cdot (7)$$

$$F = \frac{\alpha \Delta t}{\Delta x^2} \quad \text{ただし、} 0 < F \leq \frac{1}{2} \cdot\cdot\cdot (8)$$

$$\alpha = \frac{k}{\rho c} \cdot\cdot\cdot (9)$$

式(7) Fは(8)式で与えられるフーリエ数である。式(8) αは熱拡散率[m²/s]で、kは熱伝導率[kW/mK]、ρは密度[kg/m³]、cは比熱[kJ/kgK]である。式(7)を用いて、既知の時間 t における温度から Δt 時間後の温度を求めた。表地表面$T_{0,t}$における伝熱は、火炎及び煙層から加わる熱流束と表地表面から表地内への熱伝導に分けられる。時間間隔 Δt を十分小さくすれば準定常として考えることができるので、火炎及び煙層から加わる熱流束は表地表面から表地内への熱伝導による伝熱量に等しいと考える事ができるから、式(10)のように表せる。

$$\dot{q}''_{flame} + \dot{q}''_{smoke} = -\frac{k}{\Delta x}\left(T_{1,t} - T_{0,t}\right) \cdot\cdot\cdot (10)$$

ここで、$T_{0,t}$について解くと

$$T_{0,t} = T_{1,t} + \frac{\Delta x}{k}\left(\dot{q}''_{flame} + \dot{q}''_{smoke}\right) \cdot\cdot\cdot (11)$$

となる。ここではh=0.02[kW/m²K]、初期温度を 20[℃]、Δxはコーンカロリーメーター試験で測定した表地の厚みの平均値を 4 等分した値、Δt=1[sec]、熱伝導率は参考文献[2)]の羊毛の値(k=1.16×10⁻⁴[kW/(m・K]])、ε=1.0[-]に設定した。ρcは熱慣性の推定により得られた$\sqrt{k\rho c}$と設定したkにより求めた。また、表面からの再放射は考慮せず、表地の裏面は断熱とした。数値計算により求めた表地の表面温度を図 4.4.1 及び図 4.4.2 に示す。

計算の結果、0 系座席は前方座席の表面温度が着火温度には到達せず、着火には至らなかった。この結果は車内における実験でフラッシュオーバーが発生しなかった結果と同じになった。E4 系座席の表面温度は 8 分 36 秒で着火温度に到達した。この結果は、車内における実験を行えばフラッシュオーバーが発生することを表す。この予測法の基本となったバス座席の実験では、表面温度が 15 分 56 秒で着火温度に到達し、車内における実験で得たフラッシュオーバーの発生時間 14 分 12 秒とは 1 分 44 秒の差が生じた。この差は、フラッシュオーバーの予測に自由空間における実験で得た火炎からの熱流束や発熱速度を用いたことで生じたものと考えられる。

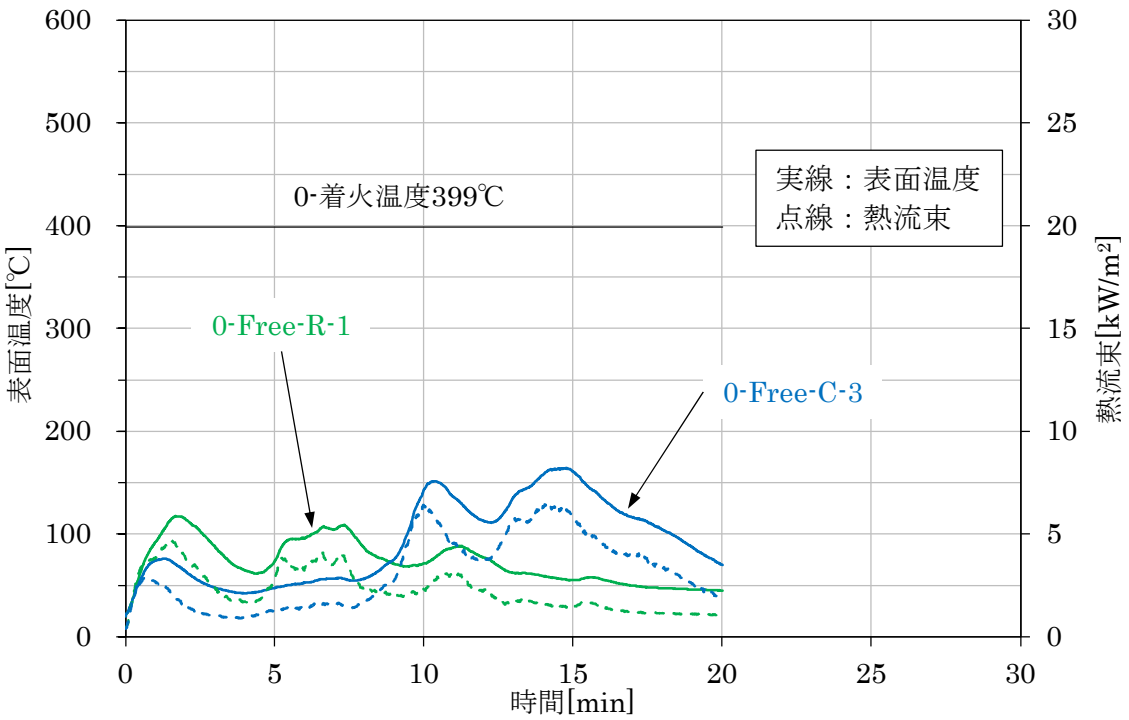


図 4.4.1　0 系座席の表面温度の計算結果

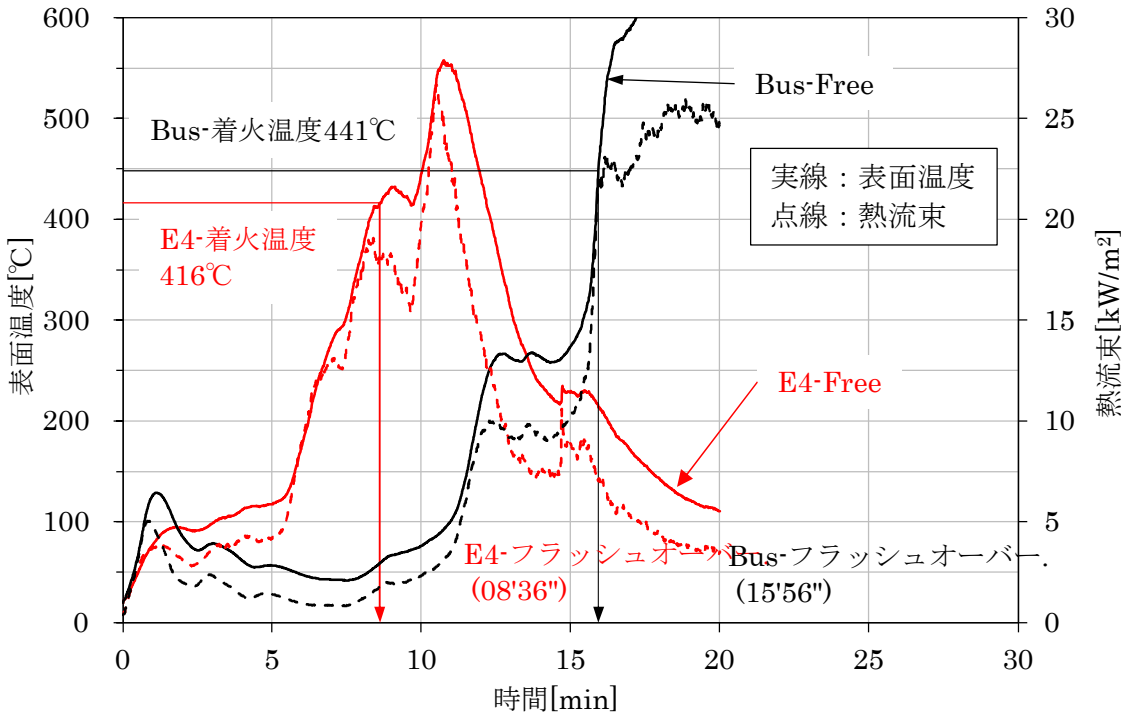


図 4.4.2　E4 系及びバス座席の表面温度の計算結果

参考文献

1) 原田和典「建築火災のメカニズムと火災安全設計」(財)日本建築センター、2007 年 12 月

2) 斎藤平蔵「建築気候」共立出版、1974 年 5 月

3) 小澤竜也「バスの座席の燃焼性に関する実験的研究」東京理科大学工学研究科建築学専攻修士論文 2014 年 3 月

4) 田中哮義「改訂版 建築火災安全工学入門」(財)日本建築センター、2002 年 1 月

5) James G. Quintiere (訳:大宮喜文,若松薫)「基礎 火災現象原論」共立出版、2009 年 4 月

４．５　まとめ

自由空間における燃焼実験では、1981 年以降に製造された 0 系座席の最大発熱速度は 102kW となった。これに対し 1997 年以降に製造された E4 系座席の最大発熱速度は 425kW と、比較的製造年の新しい座席が激しい燃焼となった。

フラッシュオーバーの予測の結果、本研究で用いた設計火源の場合、0 系座席のフラッシュオーバーの発生危険は低くいと考えられる。E4 系座席は 1 脚しか入手できなかった為、0 系座席と同様に車内と仮定した区画内での実験はできなかったが、計算の結果から E4 系座席のフラッシュオーバーの発生危険は高いと考えられる。

実際の E4 系新幹線のグリーン車には、本研究で用いた 1 人掛け座席の設置はわずかで、2 人掛け座席の設置がほとんどである。仮に 2 人掛け座席に着火し燃焼に至れば、その発熱速度は本実験で得た発熱速度を上回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、一般の 1 階建て車両と比較しても空間的に制限がある為、フラッシュオーバーの発生危険が高いだけではなく、階段での移動に避難時間を要することが考えられることから、座席の詰め物に用いられるウレタン等の可燃物を制限するなど、乗客の避難安全性に対する対策が必要と考える。