平成 28 年度

卒業論文

鉄道車両用材料の燃焼性試験方法に関する研究

―その１　発熱性と着火性に関する考察―

東京理科大学

工学部第二部建築学科

辻本研究室

5112047　寺岡　潤

＜目次＞

第１章　　序論.....1
1.1　日本の鉄道車両の火災対策基準.....2
1.1.1　近年の鉄道火災事故について.....2
1.1.2　鉄道車両の火災対策基準とその変遷.....3
1.1.3　現行の鉄道車両材料の火災対策基準.....13
1.2　欧州における火災対策規格.....16
1.2.1　EN45545（鉄道車両の火災防護に関する規格）について.....16
1.2.2　EN 規格における基準値.....16
1.2.3　各材料の分類.....18
1.3　研究目的.....34
1.4　本論文の構成.....35

第２章　　実験.....37
2.1　実験目的.....38
2.2　本研究で用いた材料の概要.....38
2.3　実験概要.....39
2.3.1　ISO5660-1 コーンカロリーメータ試験について.....40
2.3.2　45°法試験について.....42
2.3.3　EN 規格における発熱性の評価方法 45

第３章　　実験結果.....47
3.1　発熱速度と総発熱量の補正.....48
3.1.1　ISO5660-1 コーンカロリーメータ試験の発熱速度と総発熱量.....48
3.1.2　45°法試験の発熱速度と総発熱量.....63
3.1.3　各材料の評価結果.....75
3.2　試験結果の比較検討.....77
3.2.1　発熱性に関する比較検討.....77
3.2.2　着火性に関する比較検討.....82
3.3　各材料における燃焼特性の分析について.....83

第４章　　総括.....85

参考文献・引用文献.....87
謝辞.....88
付録.....89

第１章　序論

1.1　日本の鉄道車両の火災対策基準

1.1.1　近年の鉄道火災事故について

現在、日本における鉄道車両の火災防護に関する規制は、過去の鉄道火災事故を踏まえて整備された火災対策基準により行われている。しかし、2011 年には石勝線のトンネル内での脱線火災事故、2015 年には東海道新幹線の放火事件が発生し、列車火災による大規模な被害が生じた。石勝線の脱線火災事故では、火災対策基準で難燃性以上と評価されている座席を含めた車内の内装のほぼ全てが焼失したと言われている。

以下に、石勝線脱線火災事故の概要を示す。

＜石勝線脱線火災事故＞[1)]

発生日時　平成２３年５月２７日（金）22時頃

発生場所　石勝線清風山信号場構内

（住所：勇払郡占冠村字ニニウ２９５３番地）

列　　車　特急気４０１４Ｄ列車

（釧路駅発札幌駅行きスーパーおおぞら１４号６両編成）

概　　況

本列車は、清風山信号場付近で３号車に乗務していた車掌が異音を感知するとともに横揺れを感じたため、運転士に連絡し、運転士は直ちに非常停止手配を取り、当信号場構内の第１ニニウトンネル(685m)内に停止した。停止後、車掌は３～６号車の車内点検を行い、３号車に戻った際、２号車から白煙を認めたため、客室乗務員と協力して１～３号車の乗客を４～６号車に案内した。

一方、運転士は指令と打合せを行い、トンネルから脱出するため、力行を試みたが、走行不能であった。その後、車掌は降車し、トンネルの札幌方出口まで徒歩で１０分程度であることを確認した後、列車に戻ったところ、乗客がすでにドアから降りて避難を始めていた。運転士及び客室乗務員が最後尾となり車両からの避難を完了した。なお、この事故で、トンネル内で充満した煙により 79 名が負傷したが、幸い 1 人も死者を出すことなく乗客・乗員全員が生還した。事故後の調査により、列車の脱線原因や燃料タンクの損傷が明らかとなった。

図 1.1.1　事故後の車両

図 1.1.2　事故後の車内

1.1.2　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、過去の事故を踏まえて整備された「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（車両の火災対策に関わる部分を抜粋）＞[2)]

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。

＜鉄道に関する技術上の基準を定める解釈基準（車両の火災対策に関わる部分を抜粋）＞[2)]

［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。

表の赤字は平成 15 年 2 月に発生した大邱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関係の改正部分である。

部 位		一般旅客車	地下鉄等旅客車及び新幹線旅客車	特殊鉄道（備考 10）					
					モ	ア	ム	サ	フ
屋根	屋　根（備考 1）	金属製又は、金属と同等以上の不燃性（備考 2）		不燃性	○	モ準			モ準
				金属製又は金属と同等以上の不燃性			○		
	屋　根上面	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）				○	○		

	屋根上に取付けられた機器及び金具類	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）				○	○		
外板	妻部	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。	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
	妻部以外	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
	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※a 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

※a 耐溶融滴下性は、上記の鉄道車両用非金属材料の試験方法で、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。

以下に、過去の鉄道火災事故および火災対策基準の変遷について記す。特に死傷者数が多かった西成線列車脱線火災事故、桜木町事故、北陸トンネル列車火災事故は、車両の設計に大きな影響を与えたと考えられる。

現在の鉄道車両用材料は、平成 14 年に施工された技術基準を定める省令に規定しており、韓国の大邱地下鉄火災事件 (2003 年)を受けて、平成 16 年に技術基準を定める省令が改正されて現在に至っている。

表 1.1.1　過去の鉄道火災事故、燃焼試験及び火災対策基準の変遷 [3)4)]

年月	名称	概要
1940 年 1 月	国鉄西成線 安治川口駅火災事故	出火原因：脱線・転覆 出火物：燃料のガソリン（気動車） 被害：車両 1 両、死者 191 名、負傷者 92 名 事故後の対策：気動車の発動機を引火性の低い軽油を用いるディーゼルに転換。
1945 年	福知山線 火災事故	出火原因：タバコによる引火 出火物：揮発油 被害：全車両全焼、死者 8 名、負傷者 65 名
1947 年 4 月	近鉄奈良線 生駒山トンネル火災事故	出火原因・出火物：主抵抗器の過熱 被害：車両 3 両、死者 64 名、負傷者 28 名
1949 年	名古屋鉄道線 火災事故	出火原因：タバコによる引火 出火物：タバコ 被害：死者 55 名
1949 年	近鉄宇治山田線 火災事故	出火物：可燃物 被害：車両 2 両、死者 9 名
1951 年 4 月	国鉄京浜東北線 桜木町事故	出火原因：架線・パンタグラフの短絡 出火物：屋根 被害：車両 2 両（うち 1 両全焼、 1 両半焼）、死者 106 名、負傷者 92 名 問題点：被災した車両に可燃性材料（壁・床・座席は木材、屋根はベニヤ、可燃性の塗料）が多用されていた。 事故後の対策：車両の難燃化、パンタグラフおよび屋根の絶縁強化。
1951 年 10 月	国鉄 木造客車の燃焼試験	名古屋工場豊川分工場にて、木造車（ナハフ 24000 形客車）の燃焼試験を実施。この試験で、木造車体に用いる防火処理材料の耐火性を確認。

1956 年 5 月	南海高野線 高野山トンネル火災事故	出火原因・出火物：主抵抗器の過熱 被害：全車両全焼、死者 1 名、負傷者 42 名 問題点：車両の骨組みは鋼製であったが、屋根・床・内装は木製であった。
1956 年 6 月	電車の火災事故対策について（鉄運 39 号）	南海高野線の火災事故を契機に制定。 電車の構造を極力不燃化にすること等を通達。
1956 年 8 月	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 年 1 月	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、地下鉄道等電車を A 様式、その他を B 様式として車両区分を通達。
	電車の火災事故対策に関する処理方の注釈について（鉄運 6 号）	
1957 年 7 月	大阪市地下鉄御堂筋線 西田辺停留場構内火災事故	出火原因・出火物：集電装置 被害：車両全焼
1957 年 12 月	電車の火災事故対策に関する処理方の一部改正について（鉄運 136 号）	御堂筋線の火災を契機に改正。 新たに、A-A 様式を追加し、地下を走行する車両の火災対策を強化。（地下を走行する車両に対する不燃化構造を規定）
	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ついて（鉄運 137 号）	
1968 年 1 月	営団地下鉄日比谷線 火災事故	出火原因・出火物：主抵抗器の過熱 被害：車両２両（うち１両全焼、１両半焼）、負傷者 11 名 問題点：不燃化の最高基準に該当していた A-A 基準の車両が全焼した。
1969 年 5 月	電車の火災事故対策について（鉄運 81 号）	日比谷線の火災を契機に制定。 車両区分を見直し、新たに A-A 基準、A 基準および B 基準を規定。 電熱等を発生させる機器に対する防護および使用材料の燃焼性試験方法等（燃焼性規格を含む）を明確化。

1970 年	運輸省および消防庁による車両燃焼試験	営団中野工場内にて、模擬トンネルを建設し、従来の A-A 基準の車両および新たに防火対策を施した車両を試験し、防熱板の性能調査等を実施。 結果として、抵抗器過熱による火災に対する防止効果等を確認。
1971 年	国鉄山陽線 火災事故	出火原因：タバコによる引火 出火物：洗面所の屑物入れ 被害：車両 1 両、死者 4 名、負傷者 1 名
1972 年 11 月	国鉄北陸線 北陸トンネル火災事故	出火原因：電気暖房器配線の接触不良 出火物：床木材 被害：車両 1 両、死者 30 名、負傷者 714 名
1972 年 12 月	国鉄 大船工場 車両燃焼試験	北陸トンネル火災事故を契機に実施。 事故車と同じ構造の客車（ナハ 11 形）を用いた定置状態の燃焼試験を実施。 試験は、火源（新聞紙にアルコール 200mL をしみこませたもの）を座席に置き、着火する方法で実施。 不燃対策未実施の車両の燃焼性状を確認するために実施された。着火後 2 分で火炎は天井に達し、約 10 分でフラッシュオーバーが発生し、約 30 分で焼け落ちた。
1973 年 -1974 年	国鉄 狩勝実験線 車両燃焼試験 国鉄 宮古線 猿峠トンネル 車両燃焼試験	北陸トンネル火災事故を契機に実施。 フラッシュオーバー発生後の車両の走行に関する影響等の調査を目的として、動物実験を含めて実施された。火源はアルコール 400mL とした。 試験の結果、難燃化を施した車両は局部的に損傷した程度で自然鎮火し、動物の生存も確認。トンネル内で列車火災が発生した場合、走行を継続し、トンネル外に脱出することが有効であることが確認された。
1973 年 10 月	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
1975 年 1 月	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。
1975 年 2 月	地下鉄道の火災対策の基準の取り扱いについて（鉄士 9 号）	

1982 年 4 月	地下鉄道の火災対策の基準の取り扱いの改正について（鉄士 70 号）	排煙設備の設計方法等を通達。
1987 年 3 月	普通鉄道構造規則（運輸省令 14 号）	国鉄の分割民営化に伴い、関係省令の整備が図られ、従来の通達内容を鉄道構造規則の中に盛り込み、省令として、火災対策基準を規定。A-A 基準等の呼称を廃止。
	特殊鉄道構造規則（運輸省令 19 号）	
1987 年 4 月	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 年 3 月	JR 東日本 上越線火災事故（アルカディア号火災事故）	出火原因・出火物：排気管の過熱 被害：車両 1 両全焼、死傷者 0 名 事故後の対策：長期アイドル運転の中止、煙突部断熱強化。
1991 年 11 月	日本鉄道技術協会による燃焼試験	（後述）
1993 年	東京消防庁による燃焼試験	（後述）
2001 年 12 月	鉄道に関する技術上の基準を定める省令（国交省令 151 号）	普通鉄道構造規則の廃止。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 年 3 月	鉄道に関する技術上の基準を定める省令の解釈基準（国交技 157 号）	具体的な解釈基準について規定。
2003 年 2 月	韓国・大邱都市鉄道公社 地下鉄１号線 中央路駅放火事件	出火原因：放火（焼身） 出火物：床材（ガソリン） 被害：２列車（対向列車含む）全焼、死者 192 名、負傷者 146 名
2003 年 8 月	JR 東海 中央線 放火事件	出火原因：放火（焼身） 被害：座席、床等一部損傷、死者 1 名
2003 年 9 月	地下鉄道の火災対策検討会による燃焼試験	（後述）
2004 年 12 月	鉄道に関する技術上の基準を定める省令の解釈基準の改正	新たに大火源火災を考慮し、天井材に対する試験項目に ISO 5660-1 コーンカロリーメータ試験を追加。

2011 年 5 月	JR 北海道石勝線 第一ニニウトンネル	車両部品脱落、脱線破損。 被害：負傷者 79 名
2015 年 6 月	JR 東海　東海道新幹線 放火事件	出火原因：放火 被害：負傷者 28 名　死者 2 名

〇1991 年 11 月　日本技術協会による燃焼試験について

（試験概要）

つくば市建設省土木研究所内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営団丸ノ内線 400 形車両（不燃化改修済）を用いた車内燃焼試験を実施した。火源は、持ち込み火源を想定し、エタノール 300mL または 600mL、新聞紙および灯油 400mL を組み合わせて実施（本燃焼試験以降に実施された燃焼試験は、すべて持ち込み火源を想定）。また、点火位置は座席とした。

（試験結果）

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見られなかった。

車内燃焼試験では、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。また、燃焼生成ガスについても人体にとっては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。

〇1993 年　東京消防庁による燃焼試験について

（試験概要）

建設省建築研究所において、可燃物そのものの試験および座席等の単体設備の試験を行うとともに、営団行徳検車区にて、実車両を用いた燃焼試験を行った。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、過去の試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。

（試験結果）

実車両試験では、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、材料試験では、大規模な火源で内壁全体が加熱された場合は、燃焼が拡大する可能性が否定できないものとされた。

煙濃度については、$C_s = 0.1\ 1/\mathrm{m}$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解放の状態で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、実験の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、隣接車両での影響はほとんどなかった。

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。

〇2003 年 9 月　地下鉄道の火災対策検討会による燃焼試験について

（試験概要）

韓国・大邱の地下鉄火災を契機に、消防研究所の大規模実験棟・主試験場において、当時の火災対策基準に適合した地下鉄車両（営団 5000 系電車、長手方向の中間で切断したもの）を用いた燃焼試験を実施した。火源には、韓国・大邱地下鉄火災の火災事故に相当する、ガソリン 4L 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および開口条件を変えることで試験が行われた。

（試験結果）

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。天井面に加わる熱流束は 120kW/m^2～150kW/m^2 と、通常の建物火災で生じる 100kW/m^2 を超える熱流束を記録した。

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、壁面および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難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、一酸化炭素濃度は 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。

1.1.3　現行の鉄道車両材料の火災対策基準

現在の日本の鉄道車両の火災対策は、2002 年 3 月に施工された「技術基準を定める省令」で規定されており、鉄道車両用材料の燃焼試験方法は、第 8 章第 5 節第 83 条の解釈基準に定められている。ここでは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と規定されており、その材料の燃焼性を「不燃性」、「難燃性」、「極難燃性」の 3 つのカテゴリーで評価している。

＜日本の鉄道車両用材料の燃焼試験方法＞

日本における鉄道車両用材料の燃焼試験方法(以下、45°法試験)では、図に示すように、B5 判の試験体(182㎜×257㎜)を 45 度に傾斜して保持し、アルコールを入れた容器の底の中心が、試験体の下面中心の垂直下方 1 インチ(25.4㎜)に位置するように設置する。このとき、試験体はコルク等のような熱伝導率が低い材料の台にのせ、準エチルアルコール 0.5cc に着火し、燃え尽きるまで継続する。

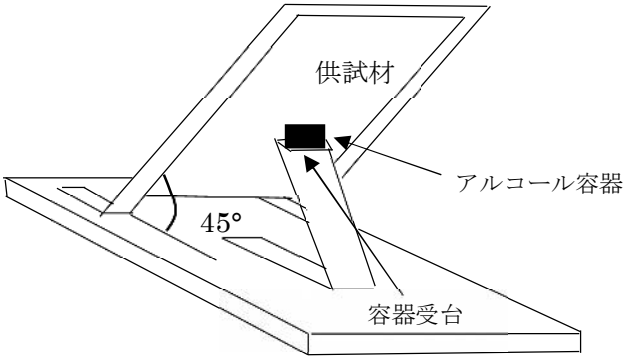


図 1.1.3　45°法試験概略図

燃焼性状の判定は、表に示すようにアルコールの燃焼中と燃焼後に分けて、燃焼中は試験体への着火、着炎、発煙状態及び火炎の状態を評価し、燃焼後は、残炎、残塵、炭化及び変形状態を評価する。

表 1.1.2　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	−	−	−	100㎜以下の変色	100㎜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	150㎜以下の変形
	あり	あり	少ない	弱い	なし	なし	30㎜以下	
難燃性	あり	あり	普通	炎が試験片の上端を超えない	なし	なし	試験片の上端に達する	縁に達する変形、局部的貫通孔

鉄道に関する技術上の基準を定める解釈基準にある「耐燃焼性」は、以下に示す鉄道車両用非金属材料に関する方法により試験し、性能の判定は表に示す評価基準に基づく。この試験方法は ISO 5660-1 に準じた方法であり、試験体は 100mm×100mm、厚さ 50mm 以下で表面が平坦なものとする。試験体はコーンカロリーメータを用いて加熱する。このとき、試験体の燃焼状況が観察できるとともに、試験体の発熱量が計測できる。規格では、放射加熱強度 50kW/m²で 10 分間加熱した時の着火時間、最大発熱速度(kW/m²)及び総発熱量(MJ/m²)等の計測が規定されている。ここで、着火時間は試験体から火炎が確認されてから 10 秒以上火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。

表 1.1.3　鉄道車両用材料の耐燃焼性評価基準

総発熱量（MJ/m²）	着火時間（sec.）	最大発熱速度（kW/m²）
8 以下	—	300 以下
8 を超え 30 以下	60 以上	

以上のように、日本においては、鉄道車両に用いられる材料は、使用される区分ごとに燃焼性規格、不燃性、極難燃性、難燃性を定め、独自の試験方法によりこれらを評価し、鉄道車両の防火対策に努めている。

1.2　欧州における火災対策規格

1.2.1　EN45545（鉄道車両の火災防護に関する規格）について

EN45545（以下、EN 規格）は、欧州における鉄道車両の国家間相互運用を考慮し、従来、各国独自の規制で運用されていた鉄道車両の防火性能に関する要求事項を欧州域内で統一することを目的に開発された規格である。これは、2013 年から欧州域内の鉄道車両用部材の防火性能を規制するために用いられている。現状は、BS(英)、NF(仏)、DIN(独)など各国の防火規格と併存しているが、近い将来、EU 加盟国は、自国の鉄道車両防火規格をこの規格に置き換える予定である。 当該規格では、鉄道車両に用いられるケーブル、壁材、床材、シート材等の各種部材の防火性能の要求として、車両の区分毎に各部材に要求される着火性、発熱性、延焼性、発煙性及び煙の毒性等についての基準値が定められている。そのため、日本の鉄道車両を海外に輸出する際に満たさなければならない重要な規格である。

EN 規格は、車両火災時の鉄道車両の乗客及びスタッフを保護することを目的としており、以下の通り第 1 部から第 7 部で構成されている。

第 1 部：一般要求事項
第 2 部：材料及び部品の火災挙動に対する要求事項
第 3 部：火災バリアーに対する対火要求事項
第 4 部：鉄道車両設計のための火災安全要求事項
第 5 部：トロリーバス、軌道ガイドバス、マグレブを含む電気機器の火災安全要求事項
第 6 部：火災制御、管理システム
第 7 部：可燃性液体及びガス積載に対する火災安全要求事項

要求事項が各パートに詳細に記載されている。
このうち鉄道車両材料の満たすべき基準と試験方法について、第 1 部および第 2 部に記載されている。

1.2.2　EN 規格における基準値

鉄道車両のデザインと用いられた製品は、万が一車内で火災が発生した場合に乗客乗員が安全に避難できる許容レベルに達するように火災成長を制限する目的を取り入れなければならない。

ハザードレベル(以下、HL)は、表 1.2.1 に記述されているような、EN 45545-1 で定義されている車両区分と路線区分という 2 つの面から車両の種類を分類し、EN45545-2 で、これらのカテゴリーを組み合わせてどの要求事項を適用するかを判断している。HL は、材料の火災安全要件の等級付けのための表 1.2.3 に用いられる。製品の評価は、最も低い HL に該当するものが評価結果となる。(20 頁の表 1.2.3 における要件 R1 および R2 の T10.01 の場合、試験結果が 400 ならば HL2 の 300 を超えているため、評価結果は HL1 となる。) なお、HL は HL1 が最も緩く、HL3 が最も厳しい条件である。

表 1.2.1　ハザードレベルの分類

路線区分※b)	車両区分			
	N：一般車両	A：乗務員不在の自動運転車両	D：二階建て車両	S：寝台車両
1	HL1	HL1	HL1	HL2
2	HL2	HL2	HL2	HL2
3	HL2	HL2	HL2	HL3
4	HL3	HL3	HL3	HL3

※b) 路線区分

1）地上走行車両：トンネル及び高架部がなく車両外への避難が可能。

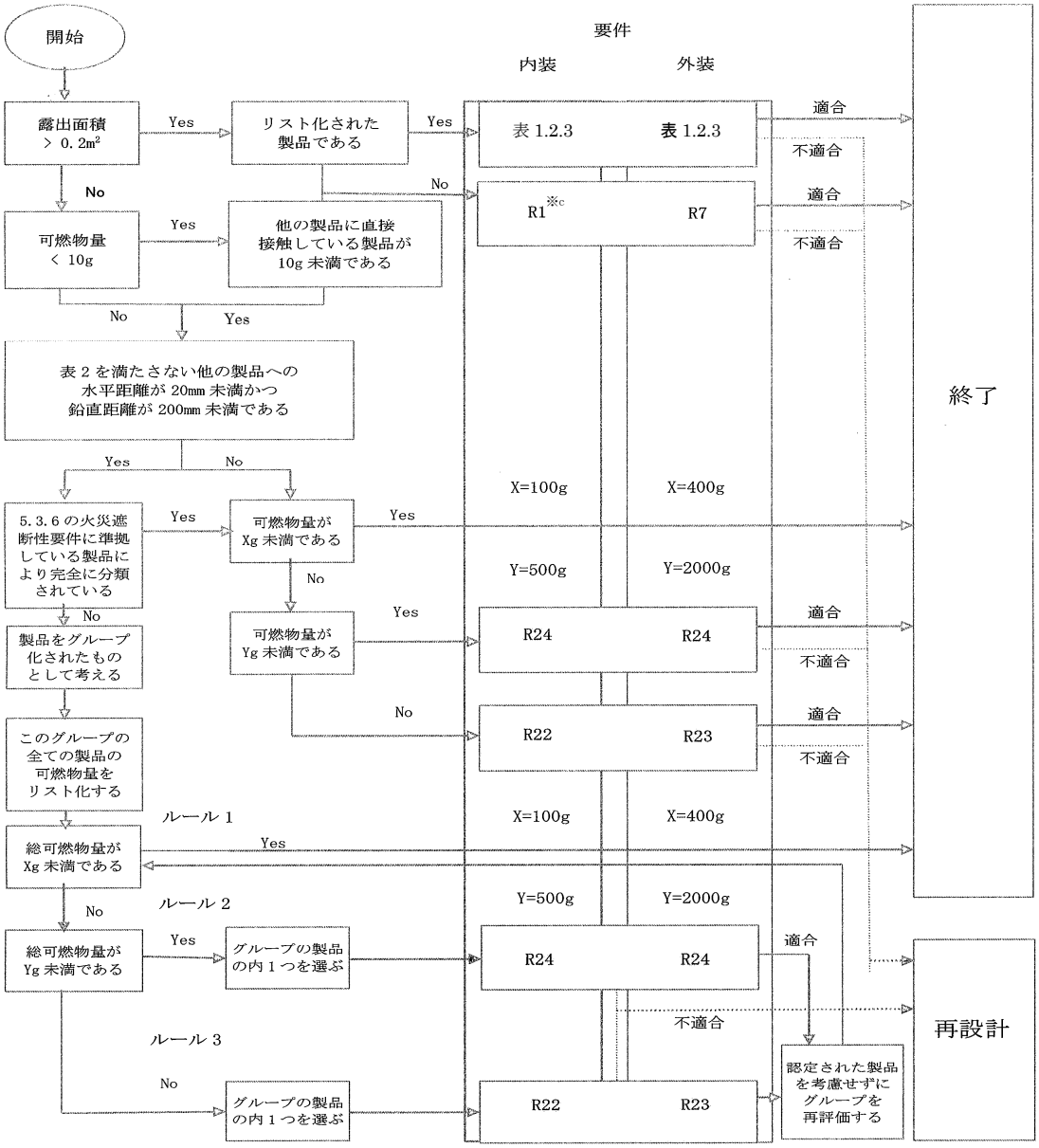
2）トンネルまたは高架部を走行：車両外への避難が可能で、安全な地点へ短い時間で到達可能。

3）トンネルまたは高架部を走行：車両外への避難が可能で、安全な地点へ到達するのに時間がかかる。

4）トンネルまたは高架部を走行：車両外への避難が不可能で、安全な地点へ短い時間で到達可能。

1.2.3　各部材の分類[5)]

EN 規格では、図 1.2.1 の示す手順に沿って、鉄道車両用材料を細かく分類（以降、グルーピング）し、それぞれにおいて規定されている要件を満たすように複数の試験が定めされている。設計した材料が、要件を満たしていれば使用することが可能になる。しかし、要件を満たすことが出来ない場合は再設計となる。要件については、以下に示す通りである。なお、要件の詳細は表 1.2.3 に記す。



※c 図の R○○は、各材料で規定されている要件を表す。

図 1.2.1　フローチャート

＜リストに記載されている製品＞

材料と部材の防火性能要件に対する（燃焼）挙動は、それらの固有の性質だけでなく、以下の 3 点にも依存する。

①デザイン（設計）における、材料または部材の配置
②材料の形状やレイアウト
③暴露表面や材料の相対質量、厚さ

この基礎に基づき、リストに記載されている製品は分類されて、さらに以下の④⑤のようにサブグループに分類される。

④それらの一般的な配置（内装 or 外装）
⑤それらの具体的な用途（家具（ファニチャー）、電気設備または機械設備）

サブグループ内では、それぞれのリストに記載されている製品に対して、配置や暴露表面、それらの形状（ジオメトリー）、一般的な性質を考慮し、適切な度合いで火災成長を抑制するための製品の能力を定義する要件のセットが与えられる。リストに記載されている製品への要件のセットは、表 1.2.3 で与えられ、R1～R26 で指定されている。それぞれの要件のセットの内容は、表 1.2.3 および表 1.2.4 に記載されている。

リストに記載されている材料は、以下の表に示す 5 つのグループに分類される。

表 1.2.2　リストに記載されている製品の分類条件

製品番号	名称	要件
IN	①　内装	R1～5, 7, 10, 22
EX	②　（車両）外部に配置される製品	R7～9, 17, 23
F	③　備品	R1, 6, 18～21
EL	④　電気基準設備	R7, 11～16, 22～26
M	⑤　機械設備	R9, 22, 23

表 1.2.3　リストに記載されている製品と評価項目および基準値（1/7）

製品番号	対象材料	要件	参照	評価項目	基準値		
					HL1	HL2	HL3
IN1A	断熱材	R1	T02	延焼性	20 [a]		
IN1B	天井パネル						
IN1D	キャビティ内の内部温度						
IN1E	ボディシェルの内部に設置された収納装置		T03.01	発熱性、着火性	-	90	90
IN4	荷物保管エリア						
IN5	運転台						
IN6A	貫通路膜の室内側		T10.01	発煙性	600	300	150
IN7	窓枠						
IN8	乗務員室用区切り						
IN9B	テーブル		T10.02	発煙性	1200	600	300
IN11	灰皿						
IN12A	空気ダクト-内部表面						
IN12B	空気ダクト-外部表面		T11.01	ガス毒性	1.2	0.9	0.75
IN14	旅客情報装置						
F5	寝台およびベッドの裏面						
IN2	面積が 0.02m² 以下の表面	R2	T02	延焼性	13 [a]		
IN9A	化粧室の洗面台		T03.01	発熱性・着火性	- [a]	- [a]	90
			T10.01	発煙性	600	300	150
IN10	コンテナ（槽）		T10.02	発煙性	1200	600	300
			T11.01	ガス毒性	1.2	0.9	0.75

表 1.2.3　リストに記載されている製品と評価項目および基準値（2/7）

製品番号	対象材料	要件	参照	評価項目	基準値		
					HL1	HL2	HL3
IN3A	最長片・条片（幅が 200mm 以下）	R3	T02	延焼性	13 [a]		
			T03.01	発熱性・着火性	-[a]		
			T10.01	発煙性	-	480	240
			T10.02	発煙性	-	960	480
			T11.01	ガス毒性	1.2	0.9	0.75
IN3B	ライトディフューザー	R4	T02	延焼性	13		
			T05	火炎伝播	150（60 秒以内）		
			T05	燃焼液滴	0		
			T11.01	ガス毒性	1.2	0.9	0.75
IN13	エアーフィルター	R5	T05	火炎伝播	150（60 秒以内）		
			T03.02	発熱性・着火性	50		
			T10.03	発煙性	300	250	200
			T11.02	ガス毒性	1.2	0.9	0.75
F1C	旅客座席のシェル-底面	R6	T03.01	発熱性・着火性	90	90	60
			T10.01	発煙性	600	300	150
F1D	旅客座席のシェル-背面		T10.02	発煙性	1200	600	300
			T11.01	ガス毒性	1.2	0.9	0.75

表 1.2.3　リストに記載されている製品と評価項目および基準値（3/7）

製品番号	対象材料	要件	参照	評価項目	基準値		
					HL1	HL2	HL3
IN6B	貫通路の内装表面	R7	T02	延焼性	20 [a]		
IN12C	機関車の空気ダクト						
EX1A	外部ボディシェルの壁		T03.01	発熱性・着火性	-[a]	90	60
EX1C	技術装置を囲う収納装置の外部表面						
EX3	外部ボディシェルの台枠						
EX4	外部ダクト		T10.04	発煙性	-	600	300
EX5	外部の設計特注						
EX6A	台枠に取り付けられたコンテナ						
EX7	貫通路の外部表面		T11.01	ガス毒性	-	1.8	1.5
EX8	台車の構造体と部品						
EL3C	アーク飛沫防護材料						
EX2	外部ボディシェルの屋根	R8	T02	延焼性	20		
			T03.01	発熱性・着火性	-	90	60
EX6B	屋根上のコンテナ		T10.04	発煙性	-	600	300
			T11.01	ガス毒性	-	1.8	1.5
EX9	空気ばね懸架の空気袋	R9	T03.02	発熱性・着火性	90		
EX10	駆動部分		T10.03	発煙性	-	600	300
EX11	タイヤ		T11.02	ガス毒性	-	1.8	1.5
M1	フレキシブルメタル						

表 1.2.3　リストに記載されている製品と評価項目および基準値（4/7）

製品番号	対象材料	要件	参照	評価項目	基準値		
					HL1	HL2	HL3
IN1C	断熱材、ボックス、天井パネル	R10	T04	延焼性	4.5	6	8
			T03.02	発熱性・着火性	-	-	-
IN15	複合床材		T10.03	発煙性	600	300	150
			T11.02	ガス毒性	1.2	0.9	0.75
EL3A	耐アーク絶縁材料タイプ A	R11	T02	延焼性	30 [a]		
			T03.01	発熱性・着火性	90	90	60
			T10.01	発煙性	600	300	150
			T10.02	発煙性	1200	600	300
			T11.01	ガス毒性	1.2	0.9	0.75
EL3B	耐アーク絶縁材料タイプ B	R12	T02	延焼性	40 [a]		
			T03.01	発熱性・着火性	60		
			T10.01	発煙性	600	300	150
			T10.02	発煙性	1200	600	300
			T11.01	ガス毒性	1.2	0.9	0.75
EL8	ブレーキ抵抗器	R13	T14	耐火等級	A1	A1	A1
EL4	可燃性絶縁液	R14	T08	発火点	300		
EL1A	内装用ケーブル	R15	T09.01	未燃焼長さ	燃焼部≦540 かつ、未燃焼部>50		
			T09.02	前面および背面の炭化領域長さ	2.5		

表 1.2.3　リストに記載されている製品と評価項目および基準値（5/7）

製品番号	対象材料	要件	参照	評価項目	基準値		
					HL1	HL2	HL3
EL1A	内装用ケーブル	R15	T09.03	前面および背面の炭化領域長さ	2.5		
			T09.04	前面および背面の炭化領域長さ	1.5		
			T13		25	50	75
			T15		10	10	6
EL1B	外装用ケーブル	R16	T09.01	未燃焼長さ	燃焼部≦540 かつ、未燃焼部>50		
			T09.02	前面および背面の炭化領域長さ	2.5		
			T09.03				
			T09.04		1.5		
			T13		-	25	50
			T15		10	10	6
EX1B	運転室のハウジング-外装面	R17	T02	延焼性	13 [a]		
			T03.01	発熱性・着火性	- [a]	90	60
			T10.04	発煙性	-	600	300
			T11.01	ガス毒性	-	1.8	1.5
F1	旅客座席一式	R18	T06	発熱性・着火性	75	50	20
		[b]	T06		350		
F2	乗務員室の座席	R19	T03.02	発熱性・着火性	75	50	50

表 1.2.3　リストに記載されている製品と評価項目および基準値（6/7）

製品番号	対象材料	要件	参照	評価項目	基準値		
					HL1	HL2	HL3
F4	緩い座席の椅子張り材、寝台およびベッド	R20	T07	燃焼後の時間	10		
			T03.02	発熱性・着火性	50		
			T10.03	発煙性	200		
			T11.02	ガス毒性	0.75		
F1A	旅客座席の椅子張り材およびヘッドレスト	R21	T03.02	発熱性・着火性	75	50	50
F1B	旅客座席のシェル		T10.03	発煙性	300	300	200
F1E	取り外し可能なヘッドレスト		T11.02	ガス毒性	1.2	0.9	0.75
F3	マットレス						
IN16	内装用シール	R22	T01	酸素含有量	28	28	32
EL2	ケーブル格納容器（線形の製品）		T10.03	発煙性	600	300	150
EL6A	供給管路システム装置および高出力装置-内部						
EL7A	チョークおよびコイル-外部		T12	ガス毒性	1.2	0.9	0.75
M2	ホース-内部						
EX12	外装用ケーブル	R23	T01	酸素含有量	28	28	32
EL2	ケーブル格納容器（線形の製品）						
EL5	供給管路システム装置-外部		T10.03	発煙性	600	300	150
EL6B	供給管路システム装置および高出力装置-外部						
EL7B	チョークおよびコイル-外部		T12	ガス毒性	1.2	0.9	0.75
M3	ホース-外部						

表 1.2.3　リストに記載されている製品と評価項目および基準値（7/7）

製品番号	対象材料	要件	参照	評価項目	基準値		
					HL1	HL2	HL3
		R24	T01	酸素含有量	28	28	32
L9	プリント基板	R25	T16	グローワイヤー温度	850		
EL10	小型電気技術製品	R26	T17	小規模垂直炎試験	V0		

＜試験方法の概要＞

下記の表 1.2.4 に参照文書の試験条件の概要について示す。

表 1.2.4　試験方法の概要（1/6）

参照	規格	簡単な説明	パラメーター［単位］	試験基準	補足説明
T01	EN ISO 4589-2	酸素指数による燃焼性状の定量分析 Part 2: 室温における試験	*OI* ［通常は％で報告］	最小限度	*OI* は、酸素指数（Oxygen Index）の略語。
T02	ISO 5658-2[a]	横方向の火災伝播（延焼性）	*CFE*［kW/m^2］	最小限度	*CFE* は、消火時の臨界流束（Critical Flux at Extinguishment）の略語
T03.01	ISO 5660-1	火炎に対する反応試験 － 発熱速度、発煙速度および質量減少速度 － Part 1: 発熱速度（コーンカロリーメータ法）	*MARHE*[kW/m^2]	最大限度	*MARHE* は、最大平均発熱速度（Maximum Average Rate of Heat Emission）。 データ収集間隔は２秒とし、データ収集は 20 分で停止することとする。放射加熱強度は 50kW/m^2 とする。 *ARHE* と *MARHE* の結果は、kW/m^2 の単位で表される。（単位面積あたりの発熱速度）

表 1.2.4　試験方法の概要（2/6）

参照	規格	簡単な説明	パラメーター［単位］	試験基準	補足説明
T03.02	ISO 5660-1	火炎に対する反応試験 － 発熱速度、発煙速度および質量減少速度 － Part 1: 発熱速度（コーンカロリーメータ法）	*MARHE*[kW/m^2]	最大限度	*MARHE* は、最大平均発熱速度（Maximum Average Rate of Heat Emission）。 データ収集間隔は２秒とし、データ収集は 20 分で停止することとする。放射加熱強度は 25kW/m^2 とする。 *ARHE* と *MARHE* の結果は、kW/m^2 の単位で表される。（単位面積あたりの発熱速度）
T04	EN ISO 9293-1	床材の水平方向の延焼性に対する放射パネル試験	*CHF*[kW/m^2]	最小限度	*CHF* は、消火時の臨界熱流束（Critical Heat Flux at extinguishment）。
T05	EN ISO 11952-2[a]	火炎に直接曝された時の着火	30 秒の火炎接触	60 秒以内に 150mm 以上延焼しないこと	

表 1.2.4　試験方法の概要（3/6）

参照	規格	簡単な説明	パラメーター［単位］	試験基準	補足説明
T06	ISO/TR 9705-2	切り裂かれた座席のファニチャーカロリーメータ試験	*MARHE*[kW/m^2]	最大限度	*MARHE* は、最大平均発熱速度（Maximum Average Rate of Heat Emission）。 Annex B を参照のこと。 *MARHE* の結果は、kW の単位で表される。
T07	EN ISO 12952-2	繊維製品 － 寝具製品の着火性の評価 － Part 2: 着火源：マッチの炎と同等のもの	燃焼後の時間［s］	最大限度	着火なしは、以下のように定義される。 － 燃焼の持続が 10 秒未満。 － 火炎がいずれの試験片の端を超えない。
T08	ISO 2592 ISO 2719	発火点と引火点の測定 － クリーブランド開放法	クラス K 発火点［℃］	最小限度	
T09.01	EN 60332-1-2	電気ケーブルおよび光ファイバーケーブルの火災条件下における試験 － Part 1-2: 単一の絶縁電線および絶縁ケーブル用の垂直延焼性試験 － 1kW の予混合火炎の方法	炭化領域の高さおよび未燃焼領域の高さ［mm］	ケーブルの未燃焼長さ >50mm	全てのケーブルに対する予備試験。 「燃焼部」および「未燃焼部」の定義は、試験方法の Annex A で与えられる。

表 1.2.4　試験方法の概要（4/6）

参照	規格	簡単な説明	パラメーター [単位]	試験基準	補足説明
T09.02	EN 60332-3-24	火災条件下におけるケーブルの一般的な試験方法	前面および背面の炭化領域の高さ[m]	最大限度 2.5	直径が 12mm 以上（$D \geq 12mm$）のケーブルの試験。
T09.03	EN 50305:2002, 9.1.1	鉄道への適用 － 特殊な火災特性を有する鉄道車両用ケーブル － 試験方法	前面および背面の炭化領域の高さ[m]	最大限度 2.5	直径が 6mm を超過し、12mm 未満（$6mm < D < 12mm$）のケーブルの試験。
T09.04	EN 50305:2002, 9.1.2	鉄道への適用 － 特殊な火災特性を有する鉄道車両用ケーブル － 試験方法	前面および背面の炭化領域の高さ[m]	最大限度 1.5	直径が 6mm 以上（$D \leq 6mm$）のケーブルの試験。
T10.01	EN ISO 5659-2	プラスチック － 煙の発生 － Part 2: シングルチャンバー試験による光学濃度の測定	D_s [無次元]	最大限度	放射加熱強度 50kW/m^2、口火なし。試験時間は 10 分。 D_s (4)は、4 分間後におけるテストチャンバー内の光学密度に、計器および試験片の大きさに依存する係数を乗じたもの。（4 分後間の比光学密度）

表 1.2.4　試験方法の概要（5/6）

参照	規格	簡単な説明	パラメーター［単位］	試験基準	補足説明
T10.02	EN ISO 5659-2	プラスチック － 煙の発生 － Part 2: シングルチャンバー試験による光学濃度の測定	VOF_4［無次元］	最大限度	放射加熱強度 50kW/m^2、口火なし。試験時間は 10 分。 VOF_4 は、試験の最初の 4 分間の比光学密度（D_S）の累積値。
T10.03	EN ISO 5659-2	プラスチック － 煙の発生 － Part 2: シングルチャンバー試験による光学濃度の測定	D_S max［無次元］	最大限度	D_S max は、テストチャンバー内の最大光学密度。試験時間は 10 分。 放射加熱強度 25kW/m^2、口火あり。
T10.04	EN ISO 5659-2	プラスチック － 煙の発生 － Part 2: シングルチャンバー試験による光学濃度の測定	D_S max［無次元］	最大限度	D_S max は、テストチャンバー内の最大光学密度。試験時間は 10 分。 放射加熱強度 50kW/m^2、口火なし。
T11.01	EN 45545-2:2013 Annex C	FTIR 技術を用いた EN ISO 5659-2 スモークチャンバーのガス分析	4 分間後および 8 分間後における GIT_G［無次元］	最大限度	CIT_G は、毒性の従来の指数（Conventional Index of Toxicity）。 放射加熱強度 50kW/m^2、口火なし。試験時間は 10 分。
T11.02	EN 45545-2:2013 Annex C	FTIR 技術を用いた EN ISO 5659-2 スモークチャンバーのガス分析	4 分間後および 8 分間後における GIT_G	最大限度	CIT_G は、毒性の従来の指数（Conventional Index of Toxicity）。 放射加熱強度 25kW/m^2、口火あり。試験時間は 10 分。

表 1.2.4　試験方法の概要（6/6）

参照	規格	簡単な説明	パラメーター［単位］	試験基準	補足説明
T12	NF X70-100-1 NF X70-100-2	3.1.5 に記載されている 8 種類のガスに対するガス分析	GIT_{NLP}	最大限度	炉内温度 600℃。 リスト外の製品の毒性。
T13	EN ISO 5659-2	限定条件下におけるケーブルの燃焼による煙濃度の測定 – Part 2: 試験手順と試験条件	透過率 ［無次元 透過率は%で報告］	最小限度	使用される装置は EN 61034 に記載されている。
T14	EN 13501-1	EN 13501-1、建造物と建築材料の耐火等級 – Part 1:火炎に対する反応試験によるデータを用いた等級	表 1 ［無次元等級］	最小限度	EN ISO 1182 および EN ISO 1716:2010 の A.1、A.2 に準拠する等級。
T15	EN 50305	鉄道への適用 – 特殊な火災特性を有する鉄道車両用ケーブル – 試験方法	*ITC* ［無次元等級］	最大限度	
T16	EN 60695-2-11	火災危険性試験 – Part 2-11: 赤熱した線／熱線に基づく試験 – 最終製品のためのグローワイヤー燃焼性試験方法	グローワイヤー温度 ［℃］	最小限度	
T17	EN 60695-11-10	火災危険性試験 – Part 11-10: 試験炎 – 50W の水平および垂直燃焼試験方法	小規模垂直炎試験 ［無次元等級］	最小限度	

＜表 1.2.3、表 1.2.4 の注釈＞

[a]（20～24 頁、27,28 頁）

ISO5658-2 の試験中の燃焼液滴/燃焼粒子が燃焼の持続を呈する液滴/粒子として報告された[※に]、あるいは、ISO5658-2 において着火せず、さらに分類不能と報告された材料のような特殊なケースの場合、以下の要件を追加する。

EN ISO 11925-2 の要件の 30 秒の火炎接触試験。

合格要件は、以下のとおり。

-60 秒以内に火炎伝播が 150mm 未満であること。

-燃焼液滴/燃焼粒子がないこと。

[b]（24 頁）

－ 試験中、火炎伝播が座面あるいは背もたれの端を超えないこと。

－ 試験中、座席表面の最高点より上の火炎高さが 1000mm を超えないこと。

－ 発熱速度の最高点が、試験装置の安全上高すぎる場合、その製品は適合していないこととする。

[※に] 燃焼液滴（溶融滴下）/燃焼粒子の評価

燃焼の持続を呈する液滴/粒子（ISO 5658-2:2006 の 11 条と 13 条を参照）のみ報告しなければならない。燃焼の持続とは、床に置かれたきれいなケイ酸カルシウム板の上で、試験片が 10 秒以上燃え続けることであると解釈されている。

a）床の上へ液滴が流れる/粒子が落ちる時に障害となるもの（試験片の下のスチール板や枠組みの棒といったもの）は、試験器具から取り除かなければならない。

b）ケイ酸カルシウム板の仕様は、EN 13238 におけるケイ酸カルシウム板の基材と同じものでなければならない。

c）試験片の中央点から床への距離は、1200mm ± 100mm でなくてはならない。

1.3　研究目的

これまで、日本と欧州の鉄道車両用材料の火災対策基準について検討を行った結果、以下に示すように 3 つの相違点を見出すことができた。

(1) 火災対策の分類の相違

(2) 燃焼性評価の考え方の相違

(3) 燃焼試験方法の相違

(1) 火災対策の分類の相違について

日本では普通鉄道車両、地下鉄及び新幹線旅客車両に分類して火災対策を設定している。一方、欧州（EN 規格）では路線区分及び車両区分の組み合わせにより、火災の危険性に対して幅広い状況を想定したハザードレベル(HL)により分類し、様々な列車が運行される欧州の運行形態に合致する火災対策が規定されている。

(2) 燃焼性評価の考え方の相違について

日本の燃焼性規格では、難燃性、極難燃性、不燃性の 3 つのカテゴリーに分類することで主に材料の耐熱性を評価していると考えられる。それに対して EN 規格では、発熱性や発煙性、火災発生時に避難するうえで脅威となるガス毒性など、総合的な視点で評価を行っている。

(3) 燃焼試験方法の相違について

日本では、天井材を除く全ての材料に対して同一の試験（45°法試験）を実施しており、評価基準も、「着火性では、着火の有無、発煙性では、煙の量が普通、少ない、僅少」など目視によるものが多く、実施者によって差異が生じやすい点が課題と考えられる。

これに対し、EN 規格では材料ごとに異なる複数の試験を実施しており、試験項目についても日本では規制の対象外である煙の毒性も含まれており、評価基準も定量化されている。

以上の 3 点を踏まえて本研究は、45°法試験における材料の燃焼性状を定量化し、EN 規格において規定されている各試験における材料の燃焼性状との比較により、現行の燃焼性評価手法の課題を抽出することを目的とする。なお、本論文では特に材料の発熱性及び着火性に着目した。

１．４　本論文の構成

本論文は第１章から第４章で構成され、各章の概要は下記の通りである。

第１章では、研究背景・研究目的について述べる。

第２章では、EN 規格において規定されている試験および 45°法試験の概要、燃焼試験に使用した材料について述べる。

第３章では、EN 規格において規定されている試験および 45°法試験の試験結果と両試験の比較検討および各材料の燃焼性状の分析について述べる。

第４章では、本研究の総括を述べる。

第 2 章　実験

2. 実験

2.1　実験目的

本研究の目的である現行の燃焼性評価手法の課題を抽出するために、EN 規格で定められている試験および 45°法試験を実施し、各材料の燃焼特性値を計測する。次に、計測した燃焼特性値を比較し、それぞれの評価基準により評価する。そして、評価結果より、両試験でどれくらい差があるのかを検討する。

2.2　本研究で用いた材料の概要

本研究では、実際に走っている鉄道車両（在来線、地下鉄、高速鉄道）の材料を用いた。各材料の詳細を下記の表 2.2.1 に、各材料の写真および評価結果を表 2.2.2 に示す。なお、これ以降各材料を表 2.2.2 に示した略称で呼ぶこととする。

表 2.2.1　試験を実施する鉄道車両用材料一覧

車種	試験体名称	材料詳細
在来線 一般車両	表地 B	パイル糸：アンゴラゴートウール　地タテ糸：ポリエステル/レーヨン 地ヨコ糸：ポリエステル/レーヨン
	表地 C	ポリエステル 100%
	仕切壁	メラミン樹脂含浸化粧板、フェノール樹脂含浸コア層、アルミ板
地下鉄 車両	地下鉄　床敷物	SBR 系ゴム組成物から成るゴム床材、塩素系有機難燃剤、 無機難燃剤添加混合
海外車両	海外　床敷物	塩化ビニル樹脂、石英粒混合（滑り止め材） （内部）：結合剤入熱処理グラスウール
高速鉄道 車両	側天井	塗装表地、アルミ上板、ウレタン樹脂系接着剤、炭酸カルシウム 発砲材、ウレタン樹脂系接着剤、アルミ下板
共通	断熱材 A	ピッチ系炭素繊維、ポリエステル繊維
	断熱材 B	（表面および側面）：アクリル酸化繊維不織布

表 2.2.2　各材料の写真および評価結果

材料名	座席表地(難燃性)※d		床敷物（難燃性）	
各材料の写真				
略称	表地 B	表地 C	地下鉄床	海外床
材料名	断熱材（不燃性）		内装パネル（不燃性）	
各材料の写真				
略称	断熱材 A	断熱材 B	仕切壁	側天井

※d 表の（）は、各材料の評価結果を表す。

2.3　実験概要

2.2 で示した実際に使用されている鉄道車両用材料に対して、EN 規格で定められている試験および 45°法試験を実施した。なお本論文では、材料の着火性、発熱性に焦点を当てているため、これらの燃焼性状の評価を行う試験についてのみ示すこととする。

＜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試験室

＜実験実施日＞

2016 年 7 月 4 日（月）、6 日（水）、8 日（金）、11 日（月）、13 日（水）、15 日（金）、18 日（月）、20 日（水）22 日（金）、25 日（月）、27 日（水）、29（金）

＜実験予備日＞

2016 年 7 月 9 日（土）、16 日（土）、23 日（土）、30 日（土）

2.3.1　ISO5660-1 コーンカロリーメータ試験について

（1）試験概要

ISO5660-1 コーンカロリーメータ試験を実施することで、各材料の発熱性・着火性を評価する。

試験は、規定の大きさ（100mm×100mm、厚さ 50mm 以下）の試験体を、円錐形状のコーンヒーターにより、一定の強度（0～50kW/m^2 の間で任意の値に設定）で加熱し、加熱により試験体から発生した熱分解ガスをスパークプラグにより着火することで、材料を燃焼させ、材料の着火時間および発熱速度を計測するものである。

発熱速度は、ガス分析装置により、試験体の燃焼で発生した燃焼生成ガスの酸素濃度を記録し、酸素消費法に基づき、酸素の減少量から発熱速度を算定することで得られる。酸素消費法とは、「広範囲の一般的な燃料において、消費される酸素の単位質量あたりの燃焼熱がほぼ一定（約 13kJ/g）である」という方法である。なお、試験は各材料につき 3 回ずつ行った。

図 2.3.1　試験装置（左）と試験状況（右）

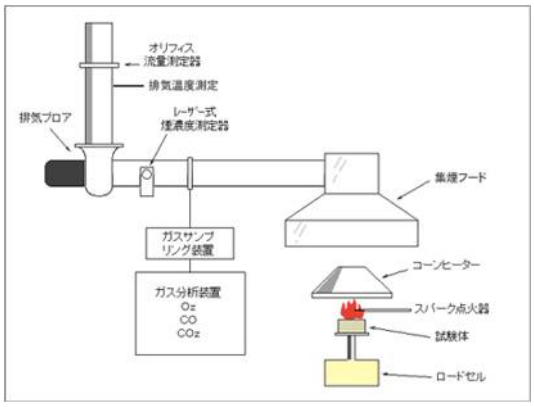


図 2.3.2　コーンカロリーメータ装置の概略図

(2) 試験条件

下記の表 2.3.1 に各材料のコーンカロリーメータ試験の試験条件を示す。

表 2.3.1　コーンカロリーメータ試験条件

<table>
<tr><th rowspan="2">部位</th><th rowspan="2">試験体名称</th><th rowspan="2">要件</th><th rowspan="2">実施試験</th><th rowspan="2">試験条件</th><th rowspan="2">計測パラメータ</th><th rowspan="2">評価パラメータ</th><th colspan="3">基準値</th></tr>
<tr><th>HL1</th><th>HL2</th><th>HL3</th></tr>
<tr><td>座席表地</td><td>在来線表地 B
在来線表地 C</td><td>R21</td><td rowspan="4">ISO 5660-1 コーンカロリーメータ試験</td><td rowspan="2">放射加熱強度 25kW/m²
試験時間 20 分</td><td rowspan="4">発熱速度 [kW/m²]</td><td rowspan="4">MARHE [kW/m²]</td><td>75</td><td>50</td><td>50</td></tr>
<tr><td>床敷物</td><td>地下鉄　床敷物
海外　床敷物</td><td>R10</td><td>－</td><td>－</td><td>－</td></tr>
<tr><td>内装パネル</td><td>在来線 仕切壁
高速鉄道 側天井</td><td rowspan="2">R1</td><td rowspan="2">放射加熱強度 50kW/m²
試験時間 20 分</td><td rowspan="2">－</td><td rowspan="2">90</td><td rowspan="2">60</td></tr>
<tr><td>断熱材</td><td>断熱材 A
断熱材 B</td></tr>
</table>

(3) 計測項目

計測項目は以下の通りである。

・試験体の寸法および質量

・発熱速度

・着火時間

・消炎時間

・燃焼性状の変化が見られる時間

・試験前および試験後の試験体の状態

・試験中の試験体（燃焼）の状態

(4) 試験手順

(試験準備)

◯試験装置の立ち上げ、各種キャリブレーション。

◯各試験体の寸法および質量の計測・記録。

◯アルミホイル裁断。

◯温湿度の記録。

◯インターバル撮影用カメラの設置。

（試験開始前～試験終了後）

１．試験体をホルダーにセット。

２．試験前の試験体写真の撮影。

３．試験体データの入力、試験体ホルダーを装置に設置。

４．試験開始。発熱速度の記録、インターバル撮影およびストップウォッチ開始。

５．試験体の着火時、着火時間の記録、スパークプラグ OFF。

６．試験体の消炎時、消火時間の記録。

７．試験終了。発熱速度の記録、インターバル撮影停止および試験データの保存。

８．試験後の試験体写真の撮影。

９．（必要に応じて）90㎜ フィルター、アスカライト、ドライライトの交換。

１０．次の試験へ。

(5) テストルール

本実験では、以下の点に留意して試験を実施する。

・試験体の着火確認後、瞬間的な着火現象が連続する場合、燃焼が安定した後に、点火器（スパークプラグ）を引き上げる。

・試験開始後 10 分で試験体の着火が確認できない（燃焼生成ガスの発生が確認できない）場合、その時点で点火器（スパークプラグ）を引き上げる。

2.3.2　45°法試験について

(1) 試験概要

省令 83 条に記載されている試験方法に従い実施した。発熱速度の計測には、2.3.1 に示したコーンカロリーメータ試験装置を用いることで実施した。試験は、コーンカロリーメータ試験と同じく各材料につき 3 回ずつ行った。

(2) 試験手順

45°法試験の試験方法は、3.3.2 に示した方法に準じる。以下、試験手順について述べる。

<u>１）試験体の設置</u>

45°法試験装置（図 1.1.3 参照）に、試験体を設置する。このとき、試験体の長辺方向の両端をクリップで留めることで、固定する。

<u>２）アルコール容器台の高さ調整</u>

アルコール容器の底の中心が、試験片の下面中心の垂直下方 25.4㎜（1 インチ）のところにくるように、アルコール容器台の高さを調整する。

３）グラスウールの準備

アルコールの燃焼を安定させるため、グラスウールを計量し、燃料容器に詰める。このとき、グラスウールの質量が 125.0mg～130.0mg となるように、電子天秤を用いて計量する。

４）アルコールの注入

グラスウールを詰めた燃料容器に、燃料となるアルコールを 0.5cc 計量し、注入する。エタノールの計量には、オートビューレットを用いる。

５）アルコール容器の設置および着火

エタノールを注いだアルコール容器を、アルコール容器台に乗せ、点火棒を用いて着火し、試験を開始する。

（3）発熱速度の計測

１）計測方法

発熱速度の計測は、コーンヒーターを外したコーンカロリーメータ試験装置の集煙フード下に 45°法試験装置を設置し、2.3.2 に記載した手順に従って 45°法試験を実施し、同時にコーンカロリーメータ試験で発熱速度を記録する方法で行う。なお、発熱速度の計測時に、表 2.3.3 に示した判定基準に従った各材料の燃焼性の評価を行う。

図 2.3.3　45°法試験装置設置状況

２）計測項目

計測項目は、以下の通りである。

・試験体の寸法および質量

・着火時間

・消炎時間

・試験後の試験片の質量

・試験前および試験後の試験片の状態

・試験中の試験片の状態

３）計測手順

（試験準備）

◯コーンカロリーメータ試験装置の立ち上げ、各種キャリブレーション。

◯各試験体の寸法および質量の計測・記録。

◯温湿度の記録。

◯インターバル撮影用カメラの設置。

◯グラスウールの計量。

（試験開始前～試験終了後）

１．試験前の試験体写真の撮影。

２．試験体を 45°法試験装置に設置。

３．45°法試験装置をコーンカロリーメータ試験装置に設置。

４．コーンカロリーメータ試験装置の計測準備。

５．グラスウール、アルコールを容器に入れ、容器を装置に設置、容器台の高さを調整。

６．試験開始。容器への着火、発熱速度の記録、インターバル撮影およびストップウォッチ開始。

７．試験体の着火時、着火時間の記録。

８．試験体の消炎時、消炎時間の記録。

９．試験終了。発熱速度の記録、インターバル撮影、ストップウォッチ停止および試験データの保存。

１０．試験後の試験体写真の撮影。

１１．（必要に応じて）90㎜ フィルター、アスカライト、ドライライトの交換。

１２．次の試験へ。

2.3.3　EN 規格における発熱性の評価方法

EN 規格では発熱性を評価するために、表 2.3.3 に示す MARHE といわれる基準値を採用している。

表 2.3.3　EN 規格における基準値

部材	基準値（MARHE, kW/m²）		
	HL1	HL2	HL3
座席表地	75	50	50
床敷物	－	－	－
断熱材 内装パネル	－	90	60

表 2.3.3 の基準値 MARHE は、各材料の 3 回の試験における 20 分間の ARHE のうち、最大の値を示す。

＜ARHE＞

ARHE は、以下のように生じる。

tを時間とし、qを発熱速度としたときの最初のデータポイントを（t_1, q）とし、発熱速度のデータが一対のデータポイントから与えられるとき、ARHE は以下の式(2.1)より与えられる。（台形の面積の仮定を用いる。）

$$\mathrm{ARHE}(t_n) = \frac{\sum_2^n (t_n - t_{n-1}) \times \frac{\dot{q}''_n + \dot{q}''_{n-1}}{2}}{t_n - t_1} \qquad \cdot\cdot\cdot (2.1)$$

t：時間[s]　　$\dot{q}''$：発熱速度[kW/m²]

一般に、$t_1 = 0, q_1 = 0$ あるいは、少なくともtは、この条件を満たすように再設定することができ、上記の式はさらに簡略化することが出来る。

各時間要素の発熱（h_n）は、2 秒のスキャンレートと仮定して計算される。(ISO5660-1)。最初の発熱要素は、データポイント 1 と 2 から得られ、データポイント 2 をh_2として割り当てると、

$$h_n = (h_n - h_{n-1}) \times \frac{\dot{q}''_n + \dot{q}''_{n-1}}{2}$$

n = 2 から n = n までのこれらの要素の総和を、t_1からt_nまでの時間で割ると、

$$\mathrm{ARHE}(t_n) = \frac{\sum_2^n h_n}{t_n - t_1}$$

第 3 章　実験結果

3　実験結果

3.1 発熱速度と総発熱量の補正

コーンカロリーメータ試験と 45°法試験の発熱速度(以下、HRR)と総発熱量(以下、THR)の結果をそれぞれ 3.1.1 および 3.1.2 に示す。また、各材料の点火前と着火後で酸素減少量が正になっていたため、計測した HRR、THR に影響が出ないよう、下記の式(3.1)を用いて補正を行った。そのため、補正後の結果を示す。

＜補正手順＞

以下の 3 つの手順により補正を行った。

① O_2ベースラインの補正

② 補正として用いる値（消火後の安定した酸素濃度）

③ 酸素濃度から HRR を求める。

$$HRR\,[\mathrm{kW}] = 13100 \times 1.1048 \times \dot{m}_e \times \frac{\frac{x_{O_2}^0}{100} - \frac{x_{O_2}}{100}}{1 + 0.5 \times \frac{x_{O_2}^0}{100} - 1.5 \times \frac{x_{O_2}}{100}} \quad \cdots$$

(3.1)

$\dot{m}_e$：ダクト質量流量[kg/s]　$x_{O_2}^0$：O_2ベースライン[%]　x_{O_2}：試験中の酸素濃度[%]

13100：コンバージョンファクタ[kJ/kg]　1.1048：$\frac{O_2\mathrm{mol}}{RoomAir\,\mathrm{mol} \times \frac{x_{O_2\mathrm{d}}}{0.2095}} + (1\frac{x_{O_2\mathrm{d}}}{0.2095}) \times N_2\mathrm{mol}$

$$CH_4 + 2O_2 \rightarrow CO_2 + 2H_2O$$

$$1 + 1.5 \times \left(\frac{x_{O_2}^0}{100} - \frac{x_{O_2}}{100}\right) - \frac{x_{O_2}^0}{100} = 1 + (1.5 - 1)\frac{x_{O_2}^0}{100} - 1.5 \times \frac{x_{O_2}}{100}$$

$$= 1 + 0.5 \times \frac{x_{O_2}^0}{100} - 1.5 \times \frac{x_{O_2}}{100} \quad (=\text{分母})$$

$$\frac{CO_2}{O_2} + \frac{H_2O}{O_2} = 1.5$$

3.1.1　ISO5660-1　コーンカロリーメータ試験の発熱速度と総発熱量

各材料の試験前と試験後の様子を図 3.1.1 から図 3.1.8 に示す。なお、左から 1,2,3 回目とする。次に、試験結果のまとめを表 3.1.1、3.1.2 に、計測した各材料の HRR と THR、ARHE の結果を図 3.1.9 から図 3.1.24 に示す。

＜座席表地＞

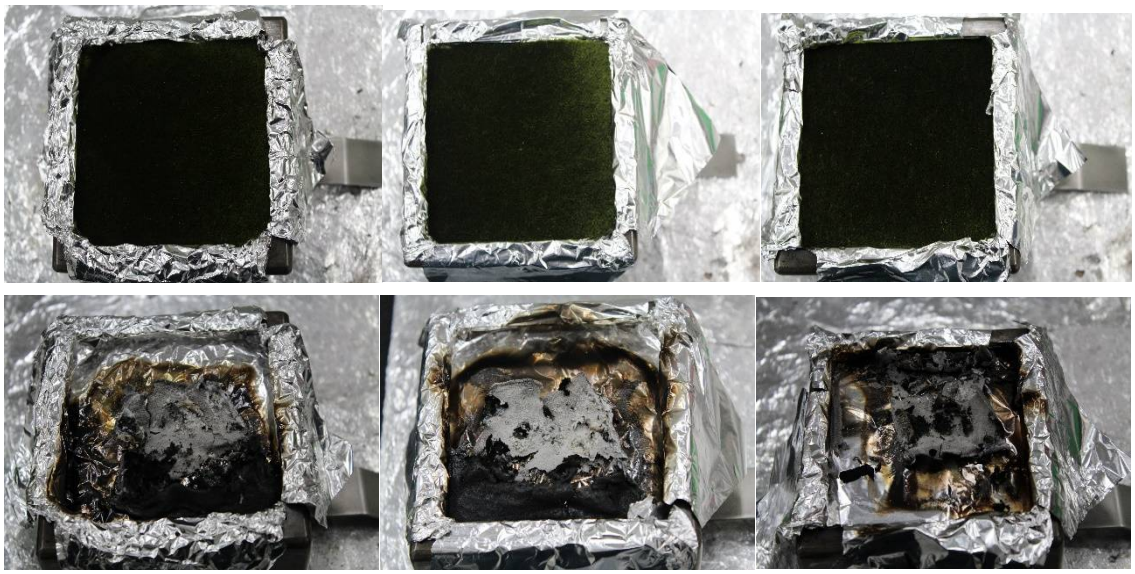


図 3.1.1　表地 B　試験前と試験後の様子

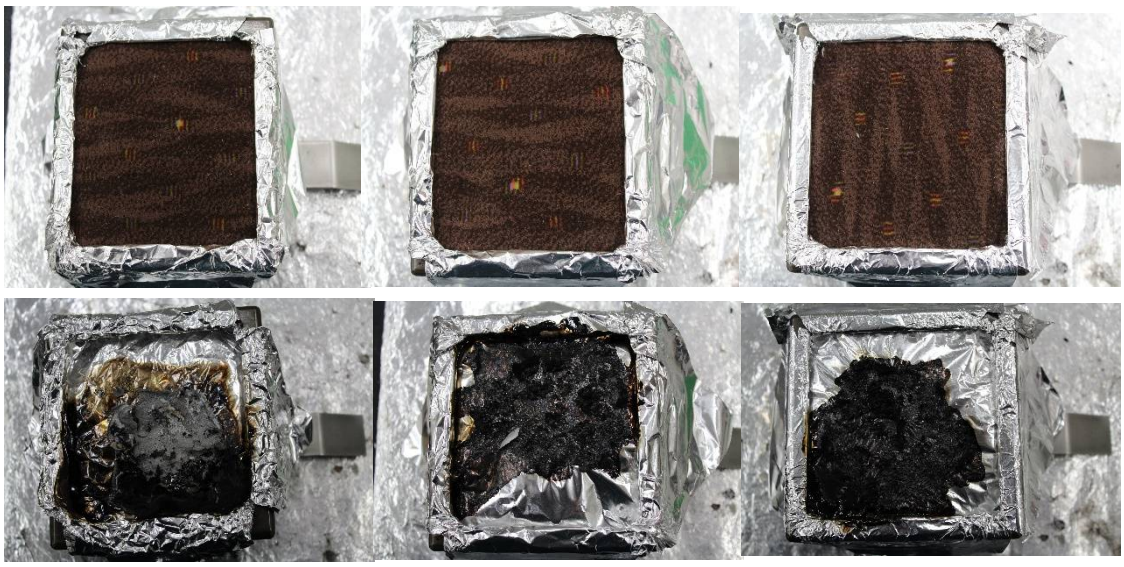


図 3.1.2　表地 C　試験前と試験後の様子

1）表地 B

1 回目および 2 回目の試験では、試験開始後に表面が捲れ上がり、捲り上がった部分のみ着火した。3 回目の試験では熱収縮による試験体の隆起を確認した。

2）表地 C

1 回目および 3 回目の試験では、着火後全体的に燃焼した。2 回目の試験では着火後に瞬

間的な着火を数回確認した。

＜床敷物＞

図 3.1.3　地下鉄床　試験前と試験後の様子

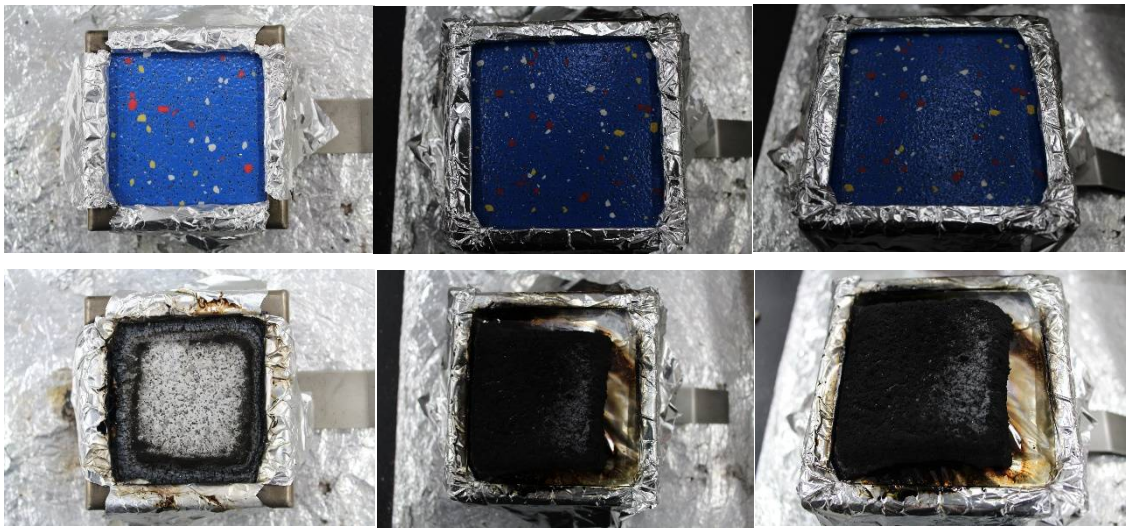


図 3.1.4　海外床　試験前と試験後の様子

3）地下鉄床

3 回の試験ともプラグ付近で小さく燃焼し、その後徐々に燃焼が拡大し、試験体表面が膨張した。

4）海外床

1 回目および 3 回目の試験では、試験体表面の膨張・収縮が確認された。2 回目の試験では、膨張・収縮に加え、融解を確認した。着火は 3 回の試験とも全体的であった。

＜断熱材＞

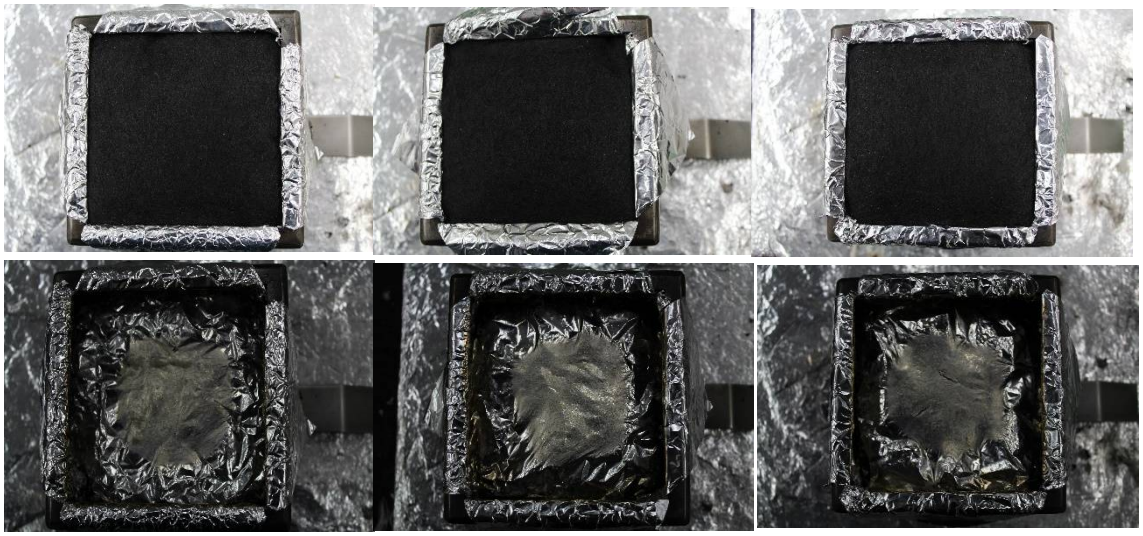


図 3.1.5　断熱材 A　試験前と試験後の様子

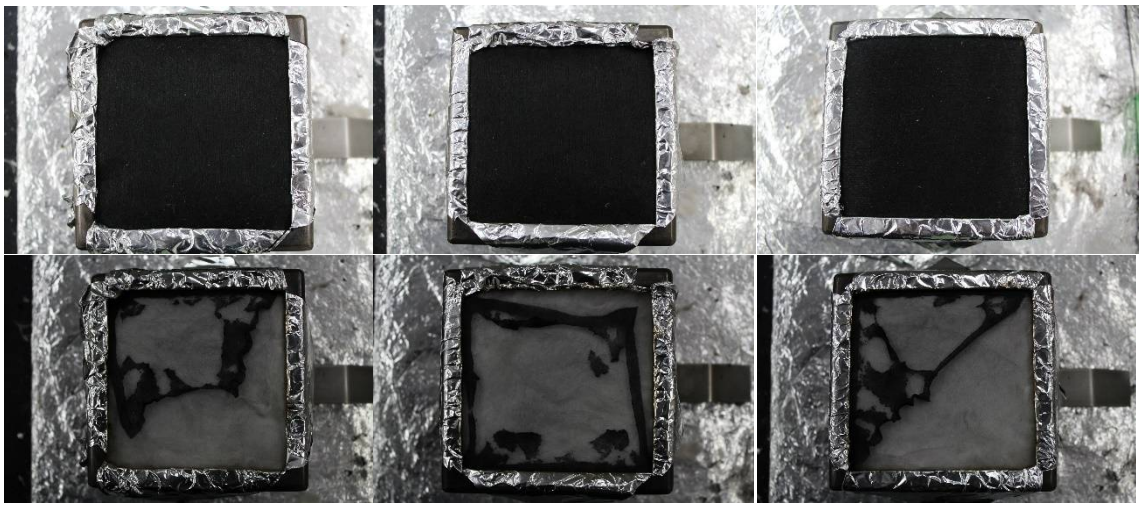


図 3.1.6　断熱材 B　試験前と試験後の様子

5）断熱材 A

3 回の試験ともに、全ての試験体の中で、最も早く着火が確認された。表面を這うように燃焼し、消炎（着火時の炎が見えなくなった時点）後は少し膨張してから徐々に収縮し、表面が陥没した。

6）断熱材 B

3 回の試験ともすぐに着火し、数秒で消炎した。全ての試験体の中で最も燃焼時間が短かった。試験後の状態より、試験体のフェルト（不織布）部分のみが燃えたことが分かる。

＜内装パネル＞

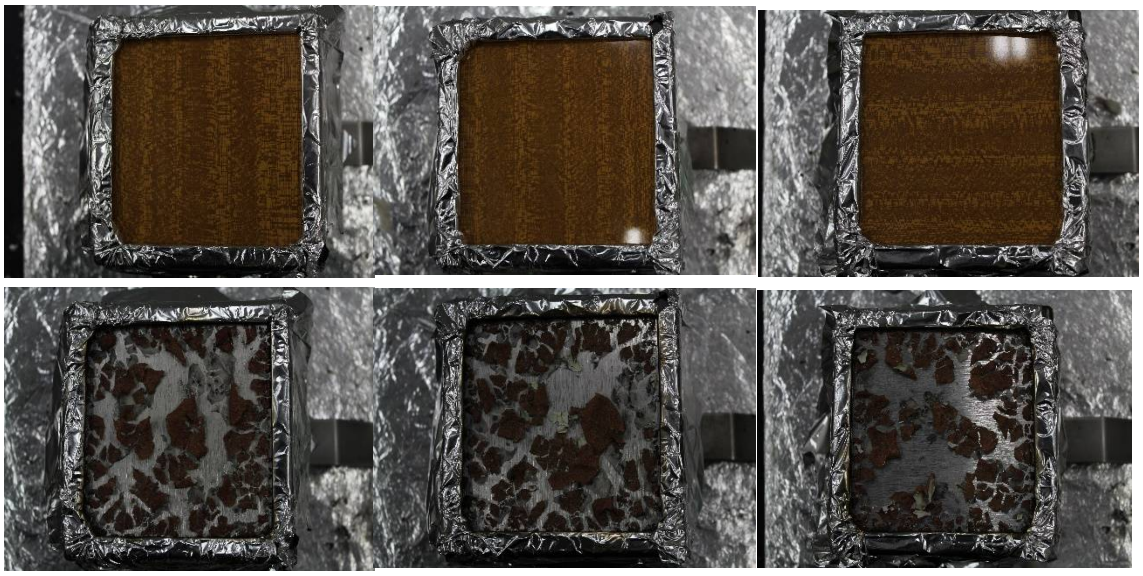


図 3.1.7　仕切壁　試験前と試験後の様子

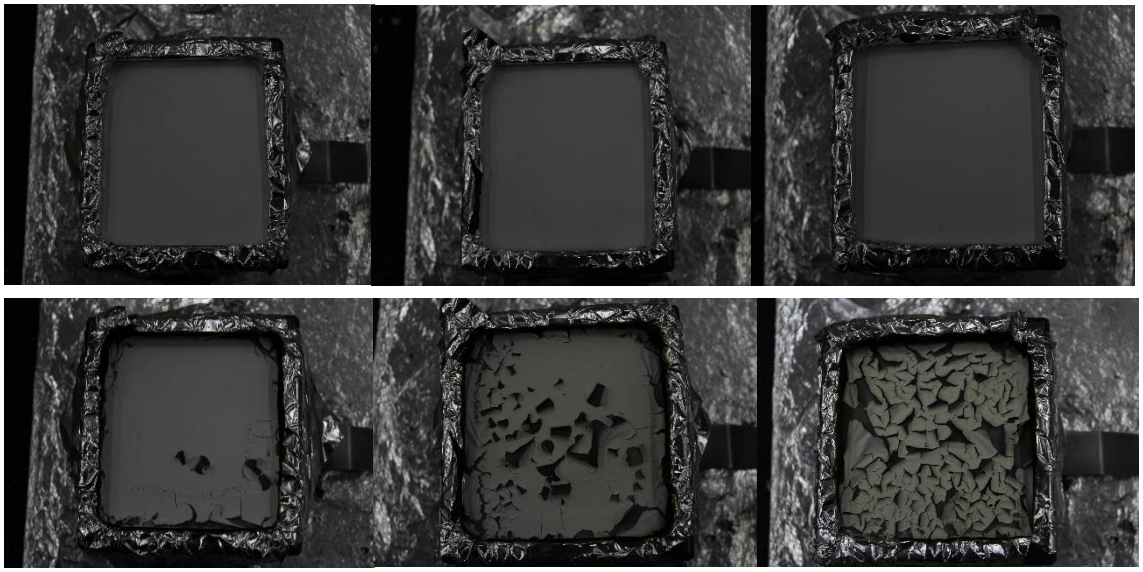


図 3.1.8　側天井　試験前と試験後の様子

7）仕切壁

試験開始後、表面が捲れ上がり、ひび割れが発生し、着火に至った。1 回目の試験では瞬間的な着火が確認された。着火は、3 回の試験ともに中心部分に集中していた。試験後の状態から、試験体表面が粉々になっているのが分かる。

8）側天井

3 回の試験ともに表面上の変化がみられないまま約 50 秒で着火に至った。着火は四隅から徐々に中心に向かって拡大した。試験後の状態から、表面がひび割れているのを確認した。

表 3.1.1　コーンカロリーメータ試験の試験結果(1/2)

試験体名称	寸法[mm]	厚さ[mm]	質量[g]	質量(アルミ)[g]	着火時間[sec.]	消火時間[sec.]	ARHE[kW/m2]	MARHE[kW/m2]	総発熱量[MJ/m2]
在来線 表地B 1回目	104.61×102.20	4.19	7.6149	9.8607	47.225	313.335	51.86		12.16
在来線 表地B 2回目	104.97×99.36	4.18	7.3574	9.563	52.609(66.319)※e	259.46	47.30	51.86	11.45
在来線 表地B 3回目	102.93×100.25	4.11	7.3567	9.5038	44.613(92.515)	219.809	46.86		10.68
地下鉄 表地C 1回目	101.59×100.10	2.71	6.2094	8.3878	85.642	146.78	37.93		5.76
地下鉄 表地C 2回目	100.94×100.94	2.86	6.2393	8.443	74.856(81.750) ※e	134.412	40.08	42.72	5.50
地下鉄 表地C 3回目	101.60×101.47	2.68	6.3157	8.5094	90.654	172.902	42.72		6.41
地下鉄　床敷物（ゴム）1回目	100.36×100.41	2.78	43.2988	45.4919	89.34	380.743	73.71		25.03
地下鉄　床敷物（ゴム）2回目	100.16×100.55	3.17	40.4964	42.6945	74.407	337.015	76.52	76.52	22.93
地下鉄　床敷物（ゴム）3回目	100.57×100.79	3.08	42.587	44.7743	78.77	397.538	76.20		25.09
海外鉄道 床敷物1回目	100.01×100.66	2.2	25.363	27.5638	31.521	184.036	101.98		20.05
海外鉄道 床敷物2回目	100.38×99.89	2.36	25.8614	28.0528	29.674(31.012) ※e	179.701	108.34	108.34	20.30
海外鉄道 床敷物3回目	99.94×99.06	2.32	25.0742	27.2633	29.718	172.173	108.21		20.36

表 3.1.2　コーンカロリーメータ試験の試験結果(2/2)

試験体名称	寸法[mm]	厚さ[mm]	質量[g]	質量(アルミ)[g]	着火時間[sec.]	消火時間[sec.]	ARHE[kW/m2]	MARHE[kW/m2]	総発熱量[MJ/m2]
断熱材 A 1 回目	107.02×107.02	33.16	4.1923	6.4429	2.665	193.984	24.56	24.56	8.53
断熱材 A 2 回目	104.36×103.59	28.68	3.8357	6.1037	1.925	207.724	23.11		7.15
断熱材 A 3 回目	108.16×106.00	30.9	3.9284	6.3629	2.001	184.753	24.18		7.30
断熱材 B 1 回目	104.28×102.71	23.47	5.1369	7.3606	4.395	10.631	29.04	29.04	3.44
断熱材 B 2 回目	104.89×109.28	22.05	5.3942	7.6479	4.085	10.675	28.52		3.72
断熱材 B 3 回目	105.07×105.30	26.38	6.1558	7.4188	3.822	9.719	28.30		3.88
在来線 仕切壁 1 回目	99.89×100.17	1.71	37.2284	39.4904	26.919(37.597) ※e	87.802	24.4	30.25	5.21
在来線 仕切壁 2 回目	99.96×99.97	1.68	37.1959	39.4472	29.658	82.939	29.10		5.77
在来線 仕切壁 3 回目	100.12×100.08	1.66	37.2258	39.4604	約 27.00※f	約 90.00※f	30.25		6.45
高速鉄道 側天井 1 回目	100.08×100.36	7.43	33.9468	36.1882	55.687	281.646	25.65	35.75	7.16
高速鉄道 側天井 2 回目	100.56×100.36	7.35	34.4969	36.7489	50.96	241.672	35.75		8.06
高速鉄道 側天井 3 回目	100.58×100.36	7.03	33.8286	36.0895	41.171	253.401	28.43		6.62

※e 着火時間および消炎時間において（　）内の数値の表記がある試験では、最初の着火時間後、複数回、瞬間的な着火現象が確認できたため、安定した燃焼に至った時の着火時間および消火時間を（　）内に記した。

※f 在来線 仕切壁 3 回目は、不手際により着火時間と消火時間の結果が消えってしまったため、おおよその時間を記してある。

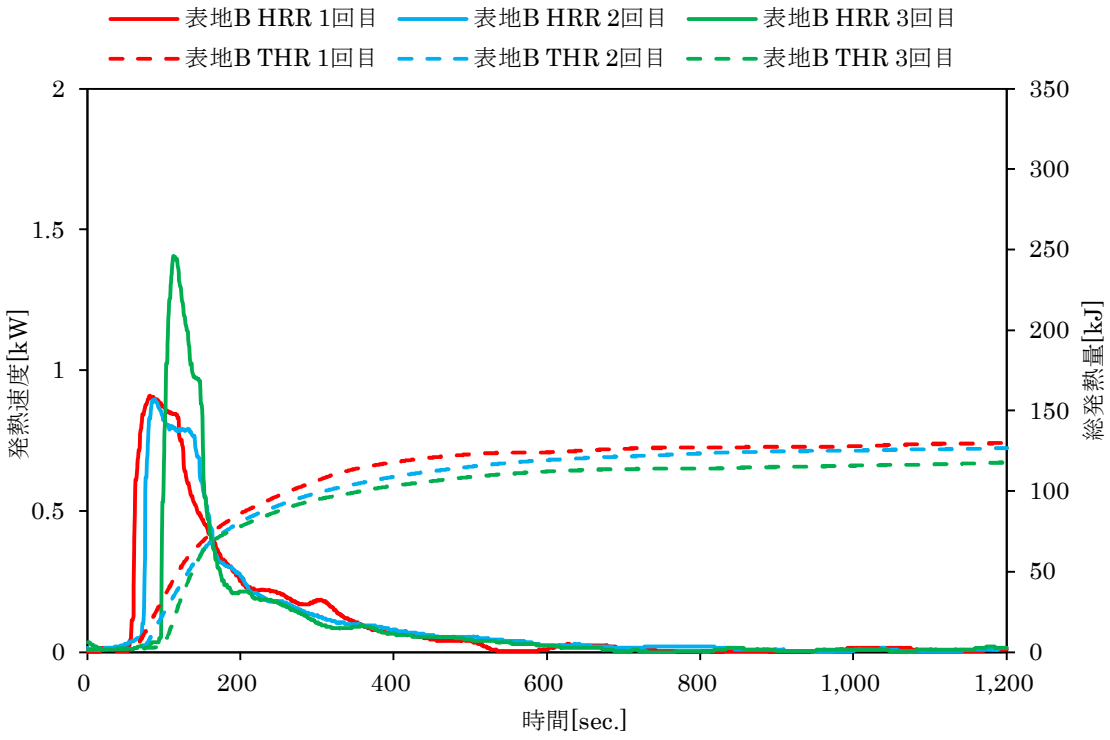


図 3.1.9　表地 B の発熱速度[kW]と総発熱量[kJ]

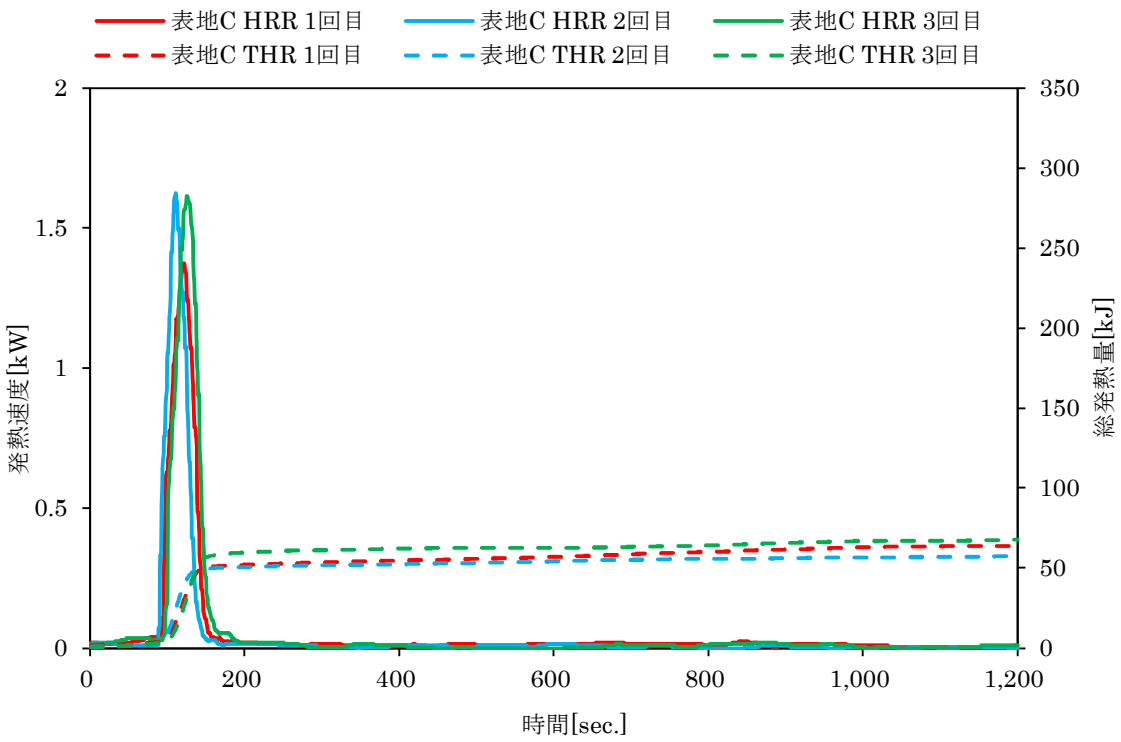


図 3.1.10　表地 C の発熱速度[kW]と総発熱量[kJ]

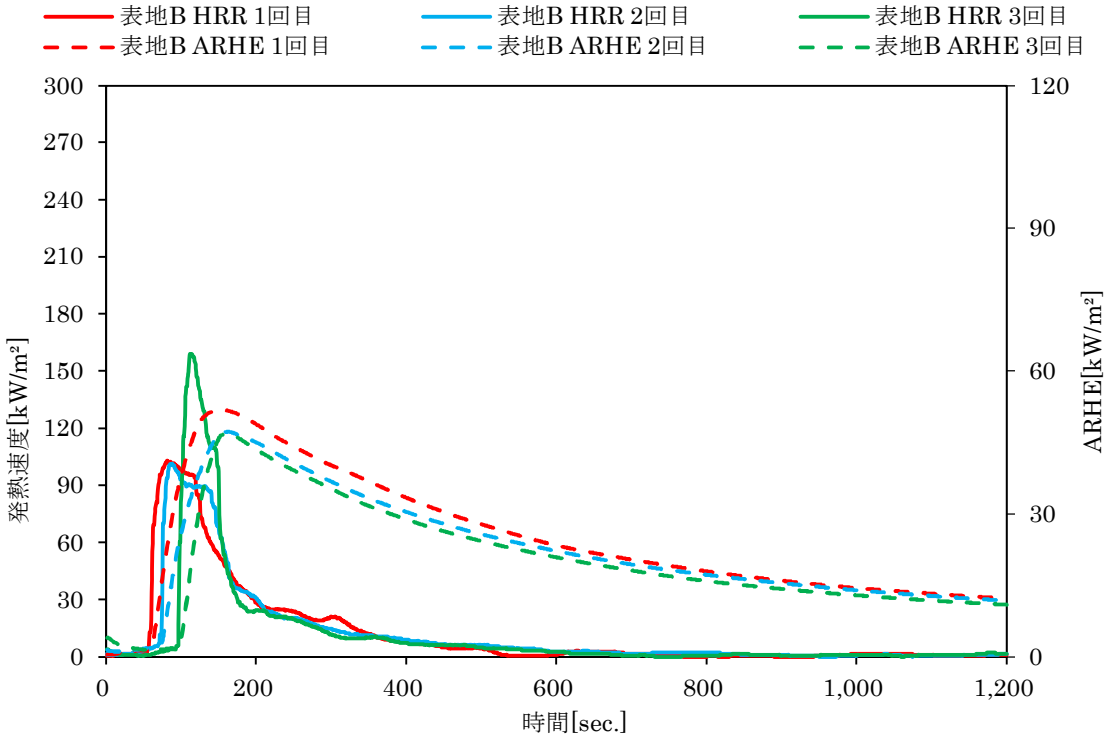


図 3.1.11　表地 B の発熱速度[kW/m²]と ARHE[kW/m²]

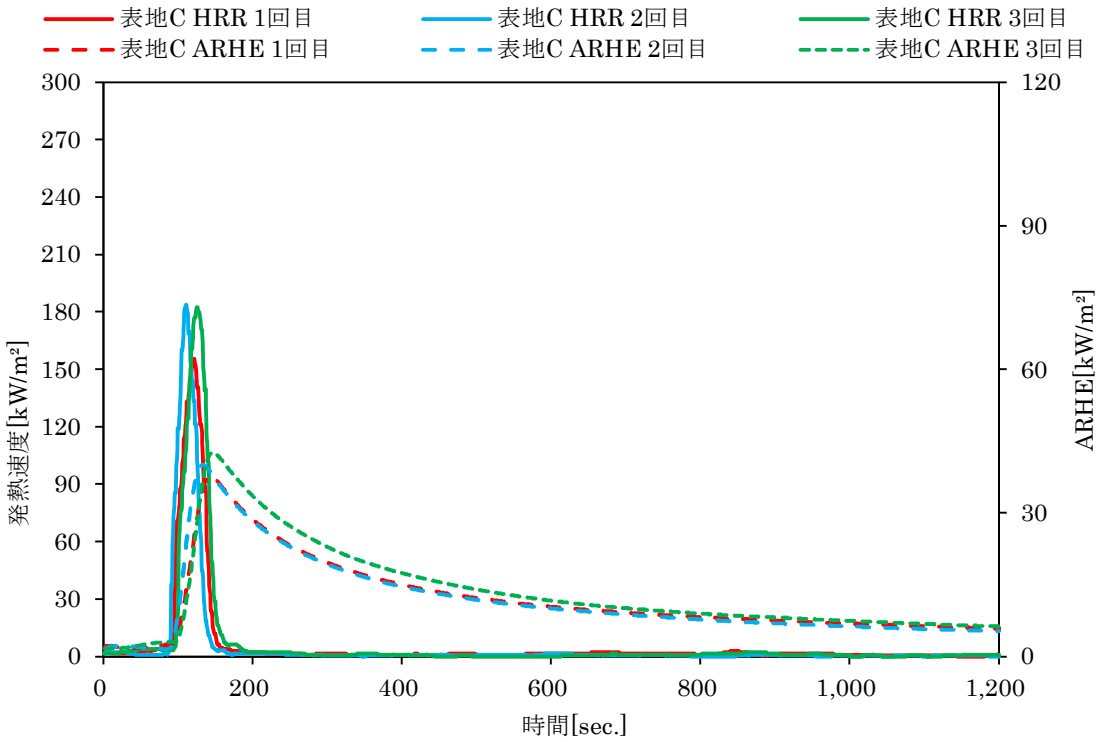


図 3.1.12　表地 C の発熱速度[kW/m²]と ARHE[kW/m²]

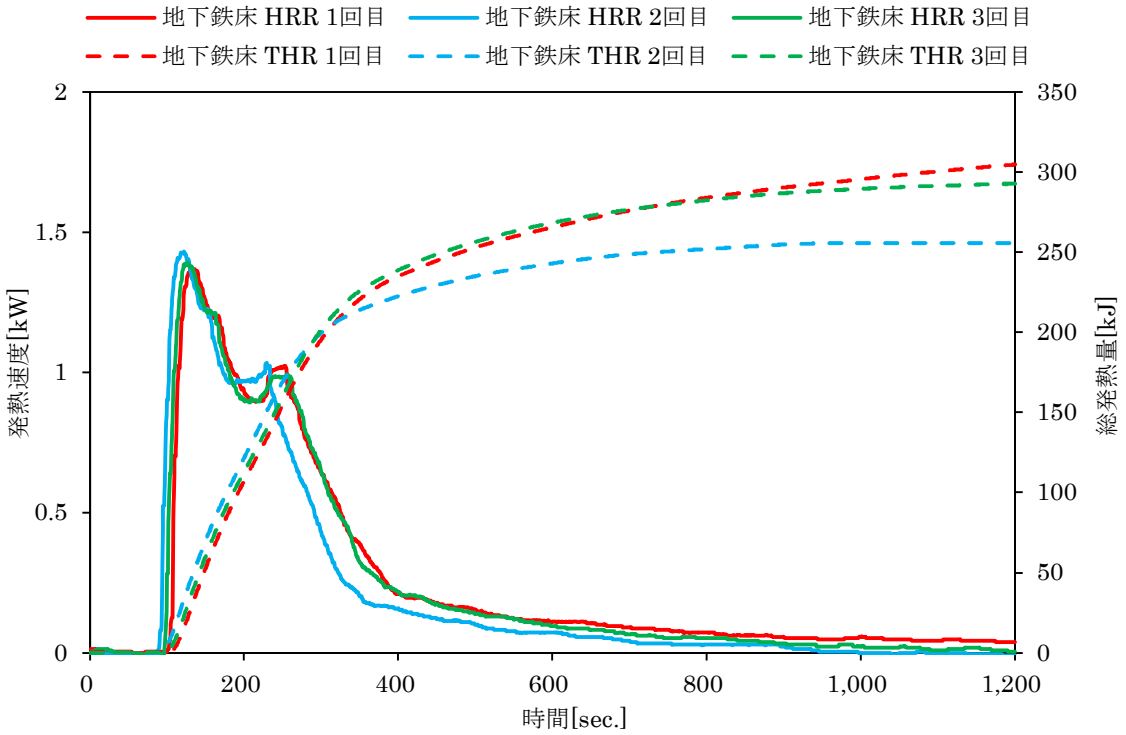


図 3.1.13　地下鉄床の発熱速度[kW]と総発熱量[kJ]

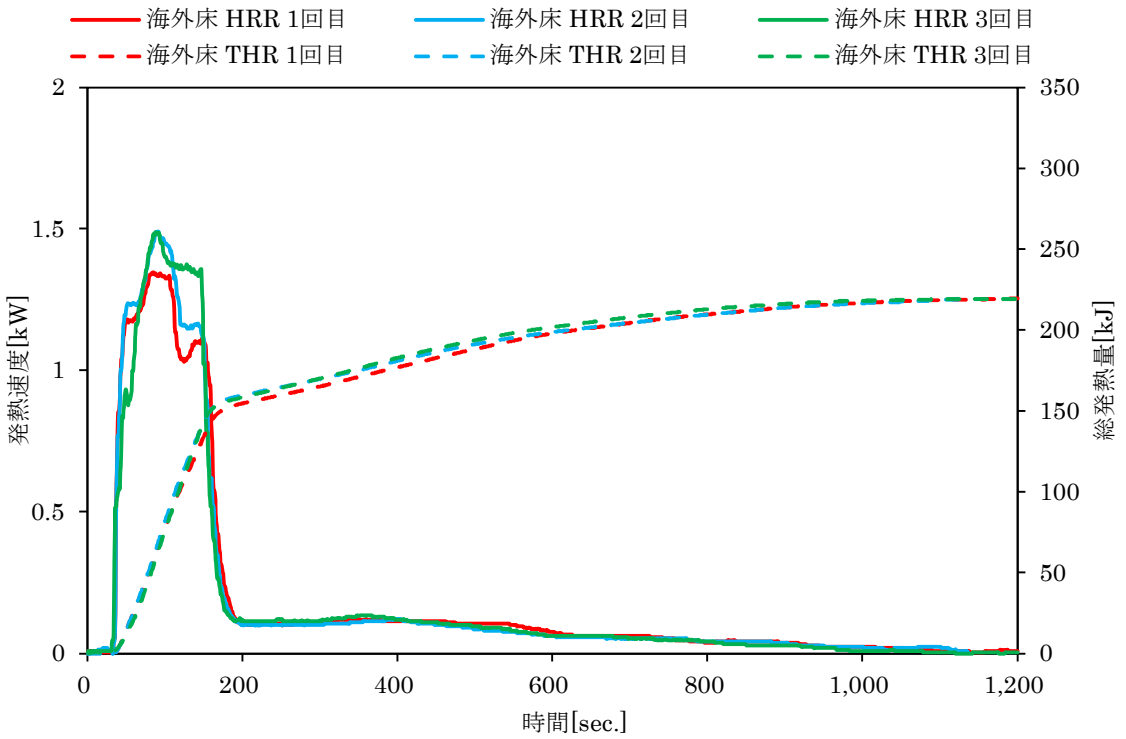


図 3.1.14　海外床の発熱速度[kW]と総発熱量[kJ]

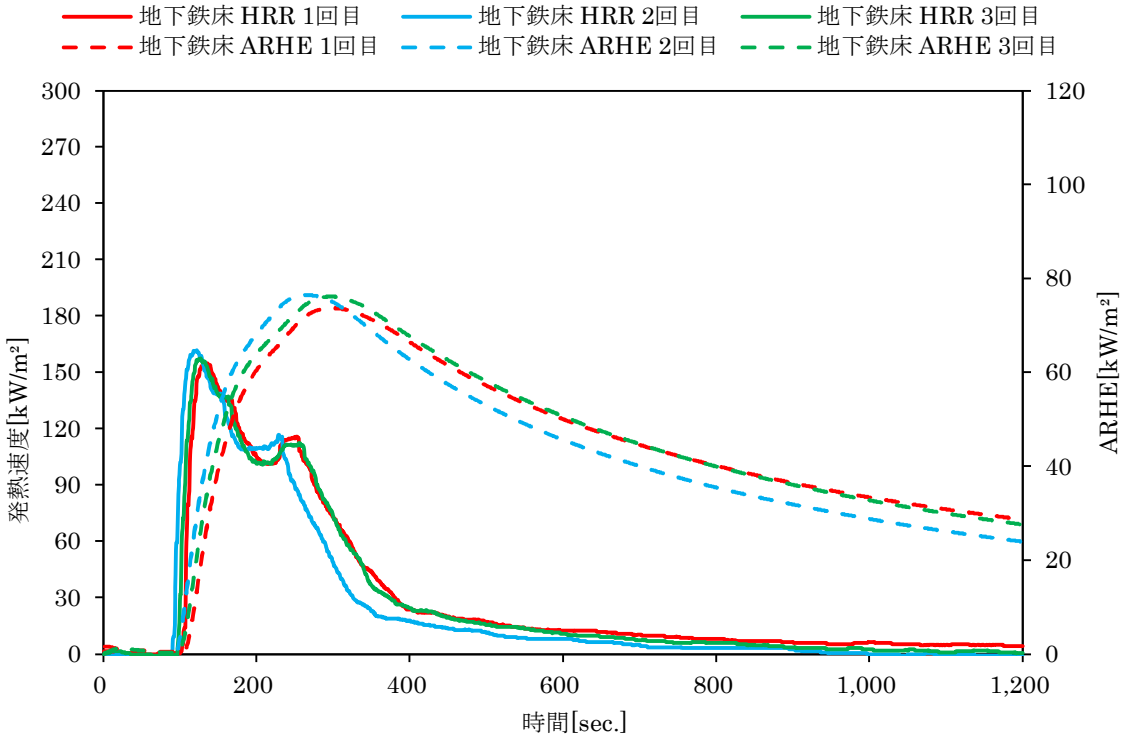


図 3.1.15　地下鉄床の発熱速度[kW/m²]と ARHE[kW/m²]

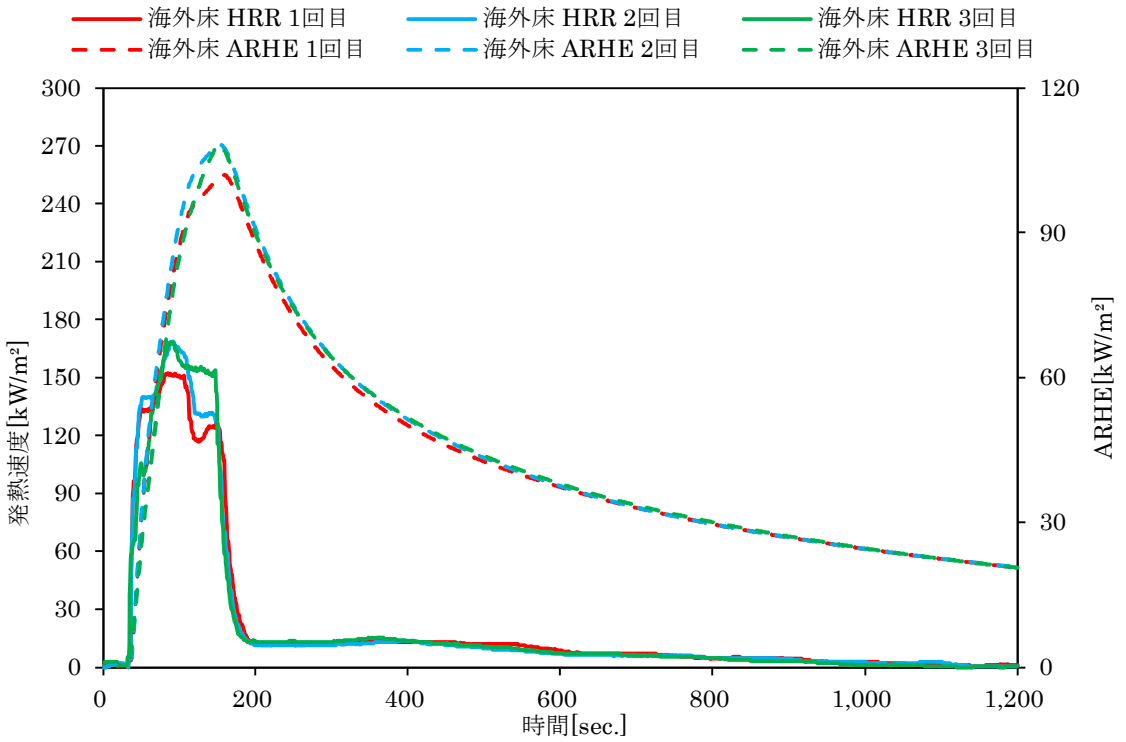


図 3.1.16　海外床の発熱速度[kW/m²]と ARHE[kW/m²]

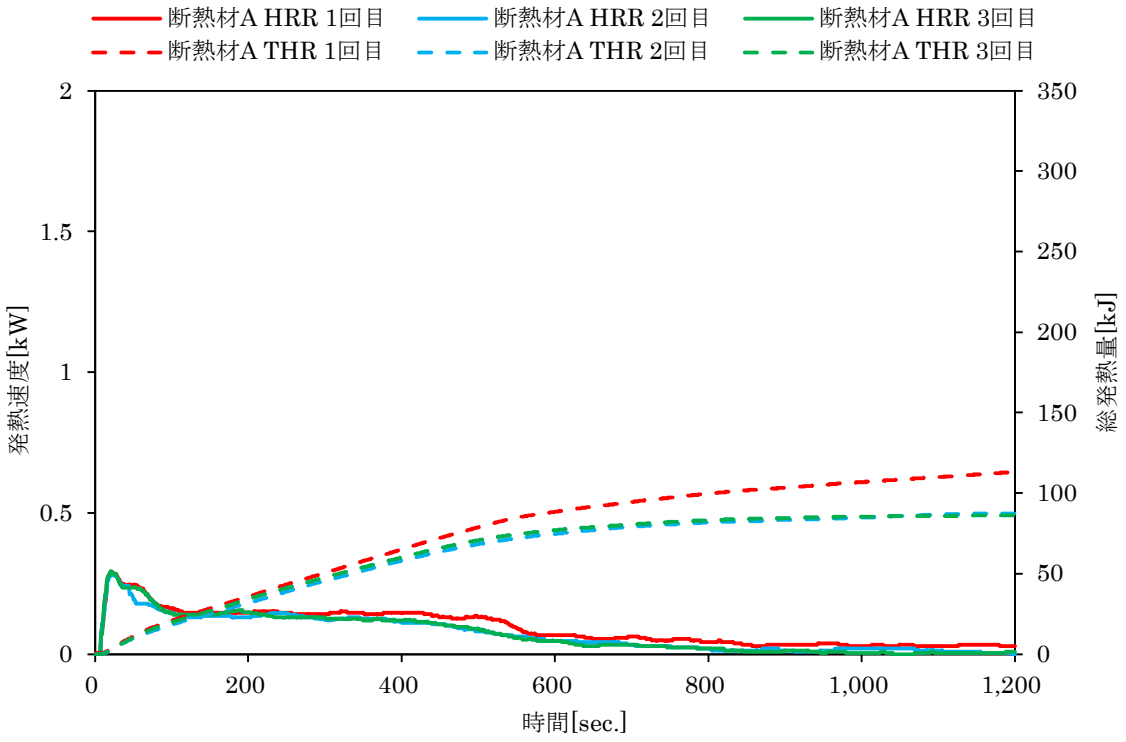


図 3.1.17　断熱材 A の発熱速度[kW]と総発熱量[kJ]

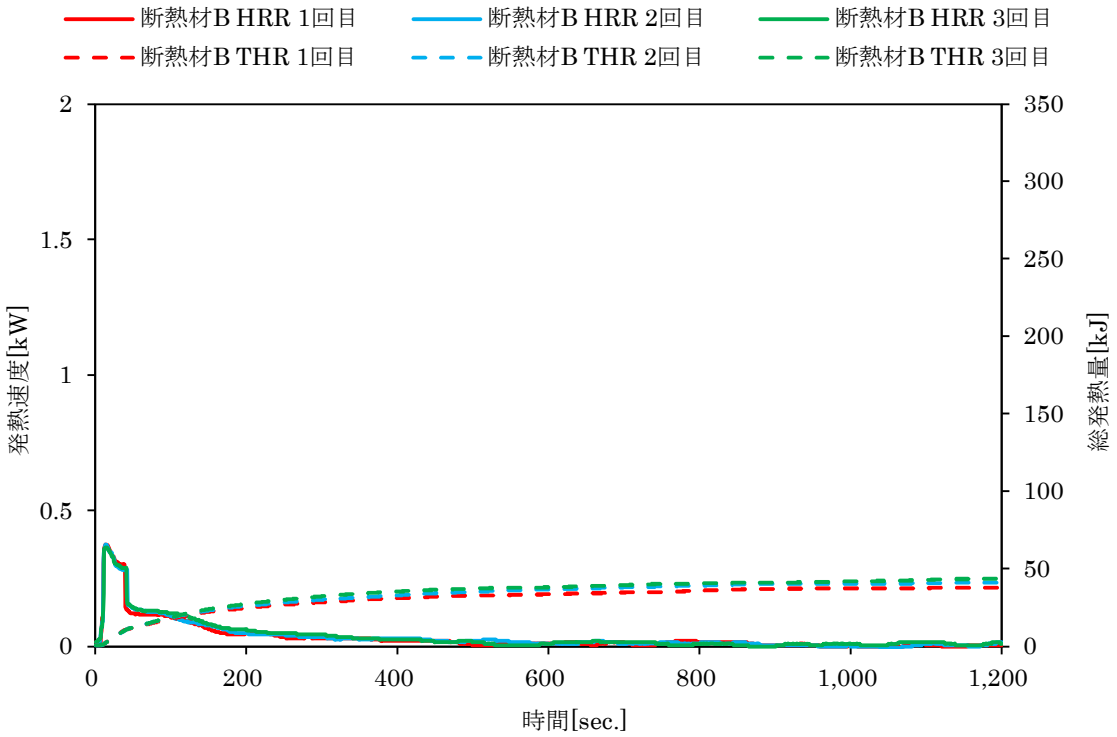


図 3.1.18　断熱材 B の発熱速度[kW]と総発熱量[kJ]

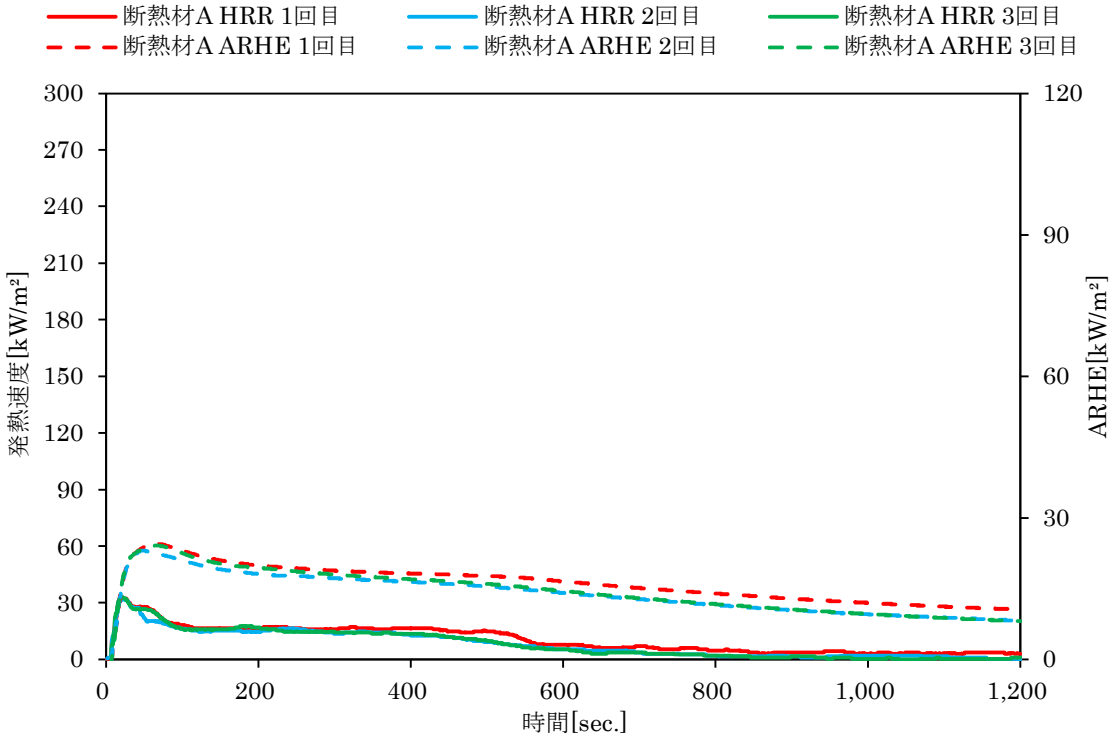


図 3.1.19　断熱材 A の発熱速度[kW/m²]と ARHE[kW/m²]

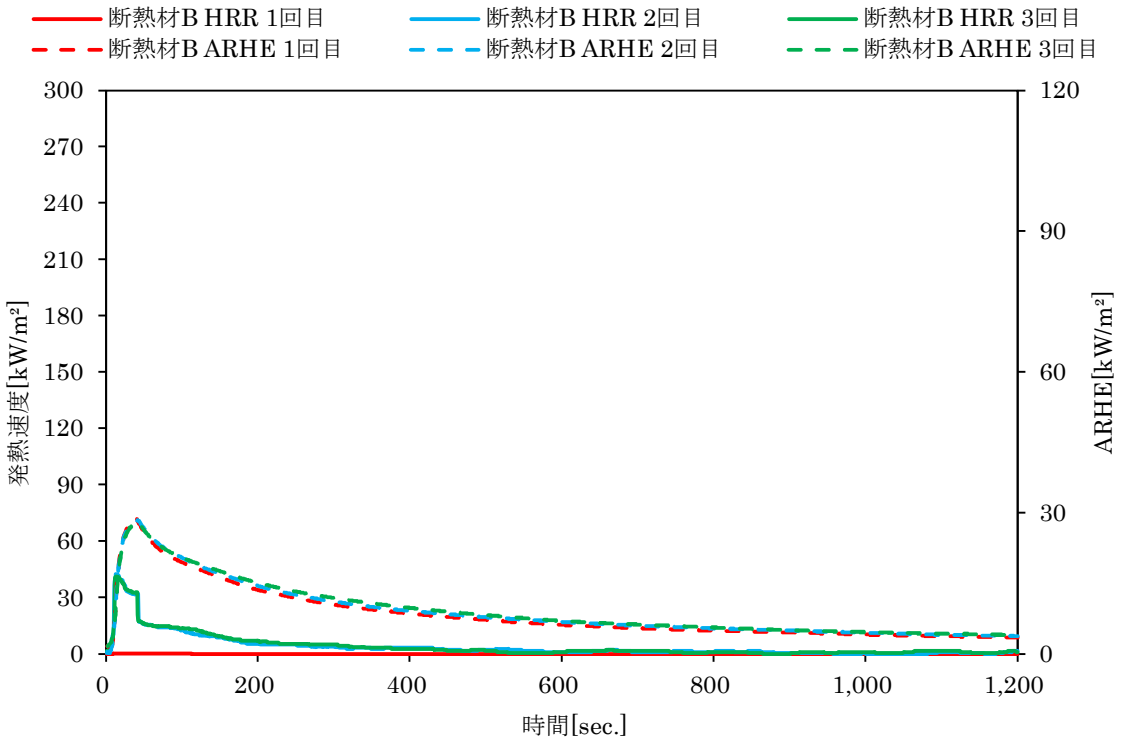


図 3.1.20　断熱材 B の発熱速度[kW/m²]と ARHE[kW/m²]

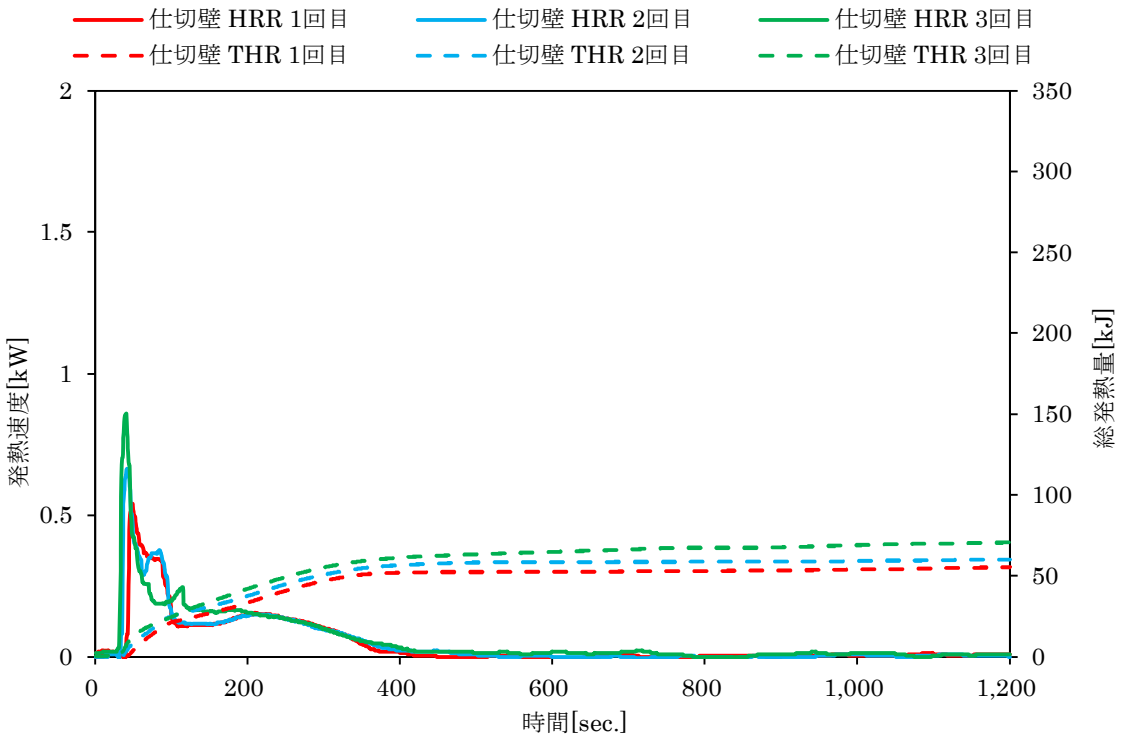


図 3.1.21　仕切壁の発熱速度[kW]と総発熱量[kJ]

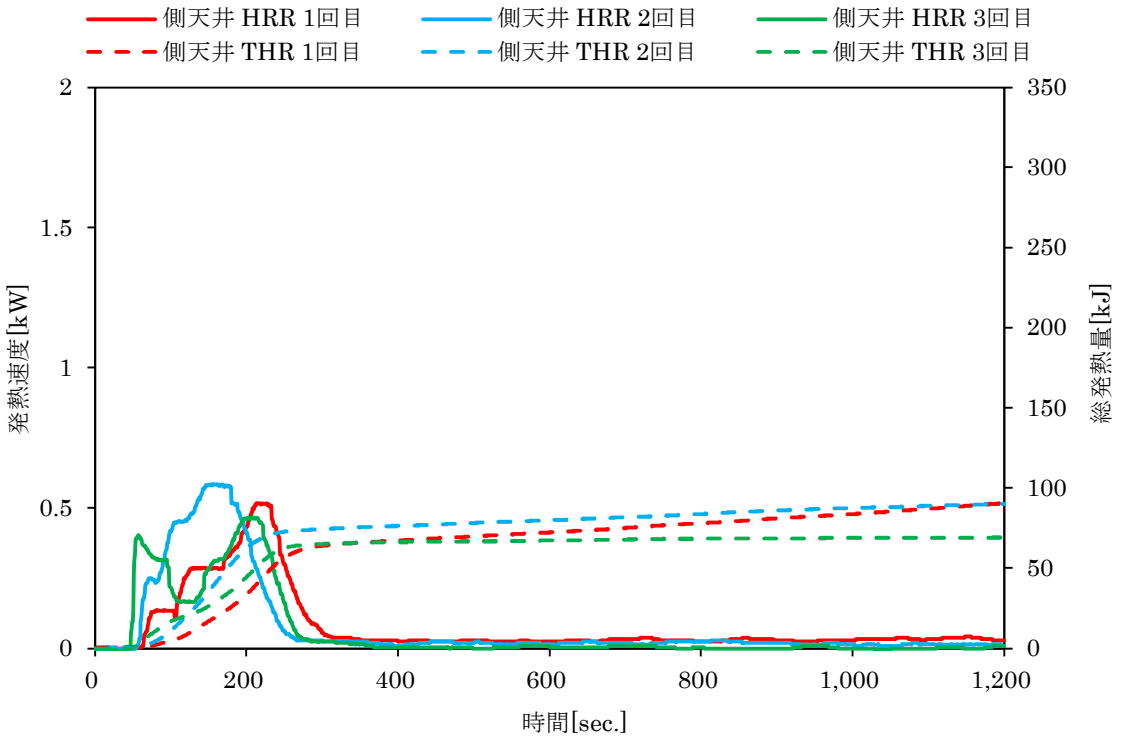


図 3.1.22　側天井の発熱速度[kW]と総発熱量[kJ]

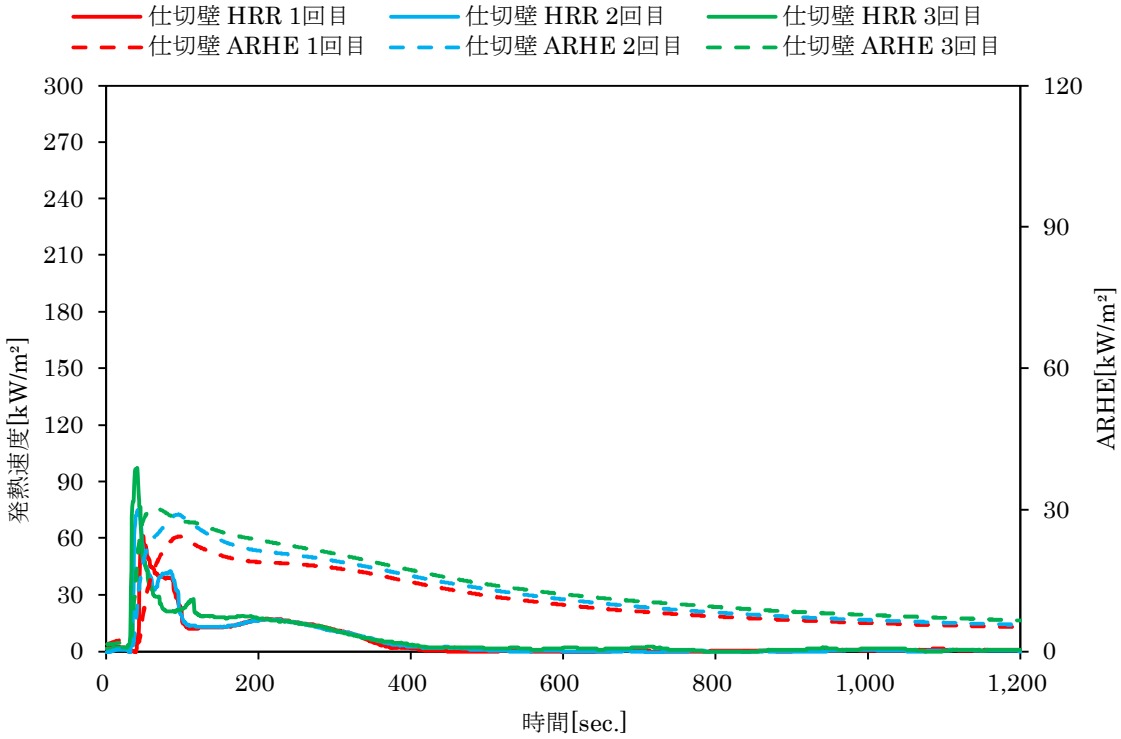


図 3.1.23　仕切壁の発熱速度[kW/m²]と ARHE[kW/m²]

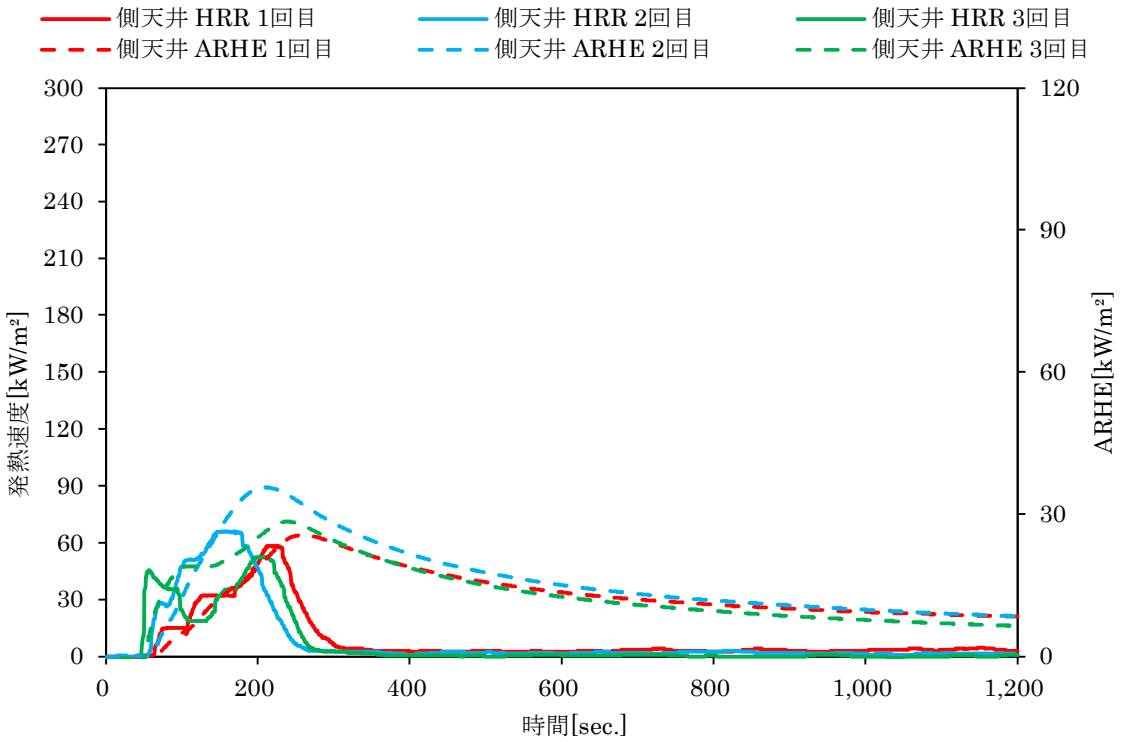


図 3.1.24　側天井の発熱速度[kW/m²]と ARHE[kW/m²]

3.1.2　45°法試験の発熱速度と総発熱量

コーンカロリーメータ試験装置内で試験を行うことで各材料の HRR と THR を計測した。その際、火源であるエタノールの燃焼も含まれるため、エタノール単体の HRR についても計測した。（ブランク試験）

各材料の試験前と試験後の様子を図 3.1.25 から図 3.1.32 に示す。なお、左から 1,2,3 回目とする。次に、実験結果のまとめを表 3. 1. 3、3. 1. 4 に、各材料の計測した HRR を図 3. 1. 33 から図 3. 1. 41、火源であるエタノールの HRR を図 4. 1. 25 に示す。なお、コーンカロリーメータ試験と同様に、本試験結果も補正後の結果を示す。

また、各試験体の HRR のピークとエタノールの HRR のピークは、約 20 秒ほどのズレが生じており、単純に足し引きすることが困難なため、各材料の結果に計測したエタノールの HRR、THR を示す。

＜座席表地＞

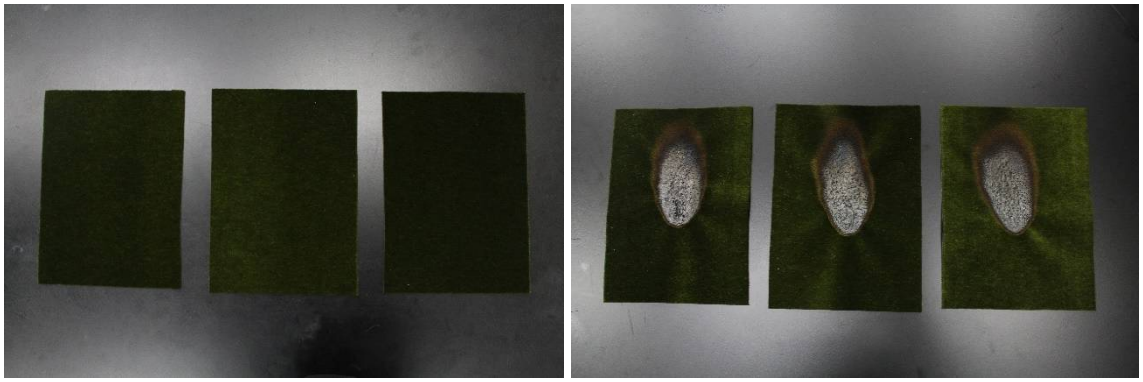


図 3.1.25　表地 B の試験前(左)と試験後(右)の様子

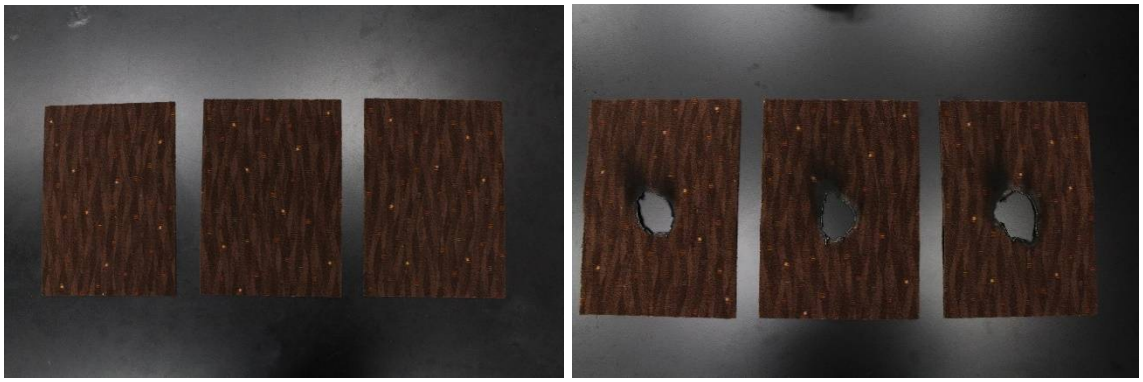


図 3.1.26　表地 C の試験前(左)と試験後(右)の様子

1)座席表地（表地 B・C）

座席表地は両試験体とも約 20 秒で着火に至った。表地 B は点火後、試験体が捲れ上がって着火に至った。表地 C については、瞬間的な着火を数回確認した後、試験体の溶融がみられた。

＜床敷物＞

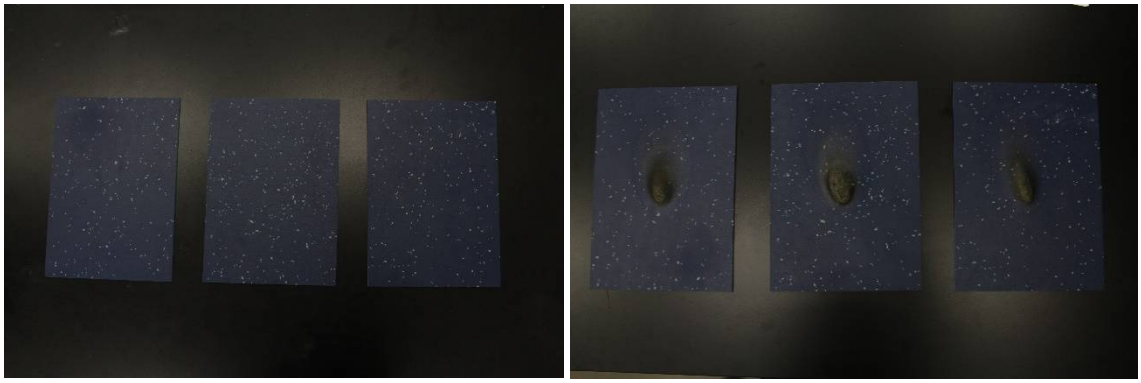


図 3.1.27　地下鉄床の試験前(左)と試験後(右)の様子

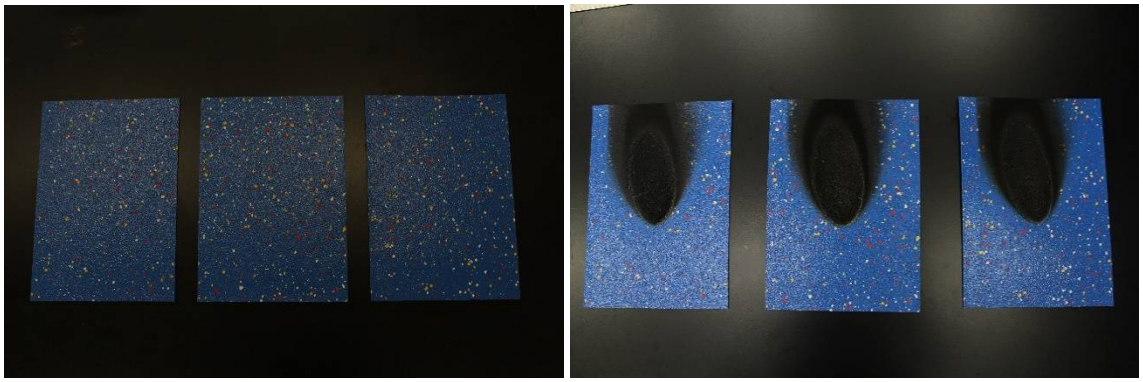


図 3.1.28　海外床の試験前(左)と試験後(右)の様子

2)床敷物（地下鉄床・海外床）

地下鉄床は海外床に比べ着火が遅かったが、消火時間は両試験体ともほぼ同じであった。海外床は、本試験において最も燃焼時間が長い材料であった。両試験体の試験後の炭化面積の違いにより確認することが出来る。

＜断熱材＞

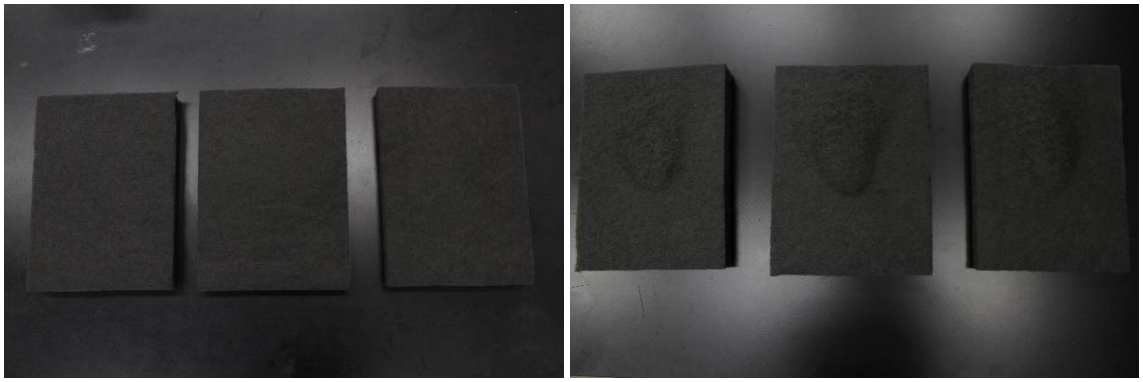


図 3.1.29　断熱材 A の試験前(左)と試験後(右)の様子

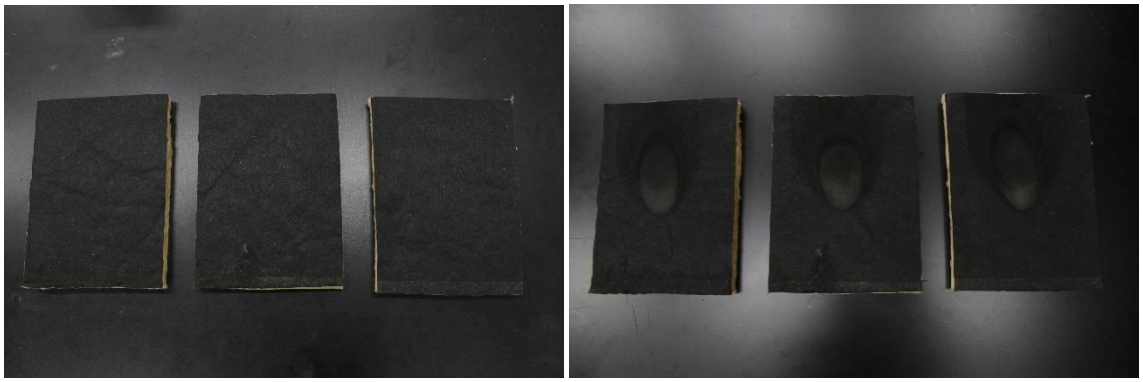


図 3.1.30　断熱材 B の試験前(左)と試験後(右)の様子

＜内装パネル＞

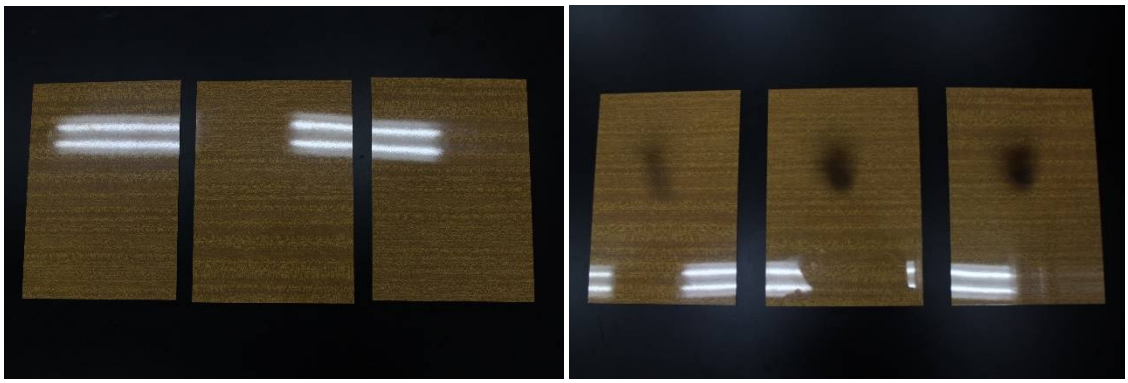


図 3.1.31　仕切壁の試験前(左)と試験後(右)の様子

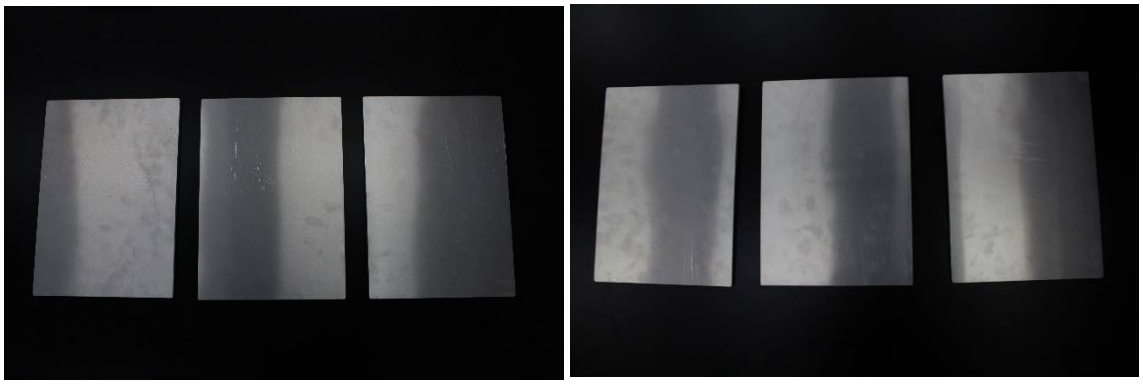


図 3.1.32　側天井の試験前(左)と試験後(右)の様子

3)断熱材・内装パネル（断熱材 A・断熱材 B・仕切壁・側天井）

断熱材・内装パネルについては全ての試験体で着火が確認されなかった。

表 3.1.3　45°法試験の試験結果(1/2)

試験体名称	寸法[mm]	厚さ[mm]	質量[g]	質量(後)[g]	グラスウール[mg]	着火時間[sec.]	消火時間[sec.]	試験時間[s]	平均発熱速度[kW/m2]	最大発熱速度[kW/m2]	総発熱量[MJ/m2]
在来線 表地B 1回目	261.50×193.37	2.7	35.83	35.9	126.5/(エタ 396.4)	16.785	54.082	92.46	9.66	9.76	1.10
在来線 表地B 2回目	267.50×191.77	2.89	36.04	36.14	126.3/(エタ 388.9)	17.178	52.258	85.241	9.35		1.10
在来線 表地B 3回目	263.50×190.80	2.72	35.42	35.47	126.3/(エタ 390.2)	21.483	63.679	92.241	9.76		1.10
地下鉄 表地C 1回目	257.50×183.57	2.39	28.3	28.12	126.0/(エタ 385.2)	21.008(21.601)※g	44.609	88.627	11.65	11.65	1.29
地下鉄 表地C 2回目	257.50×183.23	2.52	28.19	27.93	125.7/(エタ 391.0)	19.147(21.654) ※g	54.32	90.001	7.76		0.89
地下鉄 表地C 3回目	257.00×182.38	2.57	28.39	28.01	125.4/(エタ 389.9)	21.834(22.939) ※g	66.144	90.413	11.13		1.25
地下鉄 床敷物（ゴム）1回目	258.00×182.54	3.02	202.72	202.6	127.0/(エタ 393.2)	73.871	84.351	89.963	8.60	8.60	0.87
地下鉄 床敷物（ゴム）2回目	258.00×181.95	3.23	190.46	190.24	126.3/(エタ 393.3)	63.962	86.9	91.439	8.32		0.82
地下鉄 床敷物（ゴム）3回目	257.50×181.99	2.59	198.88	198.79	125.3/(エタ 392.5)	81.087	84.355	91.533	7.75		0.84
海外鉄道 床敷物 1回目	257.50×182.31	1.96	114.93	113.9	126.9/(エタ 390.7)	23.731	83.6	88.27	11.15	12.80	1.26
海外鉄道 床敷物 2回目	258.50×181.78	2.03	117.89	116.47	127.0/(エタ 392.5)	21.421	90.909	91.698	12.80		1.44
海外鉄道 床敷物 3回目	259.00×182.32	1.95	118.77	117.45	127.5/(エタ 392.5)	19.937	84.665	89.785	12.41		1.43

表 3.1.4　45°法試験の試験結果(2/2)

試験体名称	寸法[mm]	厚さ[mm]	質量[g]	質量（後）[g]	グラスウール[mg]	着火時間[sec.]	消火時間[sec.]	試験時間[s]	平均発熱速度[kW/m2]	最大発熱速度[kW/m2]	総発熱量[MJ/m2]
断熱材A 1回目	261.50×187.17	30.03	17.2	17.19	125.5/(エタ390.1)	(着火なし)		92.776	8.73	8.73	0.97
断熱材A 2回目	263.50×185.58	30.09	17.67	17.62	126.3/(エタ390.2)	(着火なし)		77.133	6.82		0.76
断熱材A 3回目	260.50×190.73	29.84	17.06	17.06	126.4/(エタ383.4)	(着火なし)		84.024	6.75		0.82
断熱材B 1回目	257.00×186.00	25.05	25.32	25.26	126.1/(エタ392.2)	(着火なし)		85.283	8.27	9.35	0.98
断熱材B 2回目	257.00×185.65	24.01	22.81	22.72	125.9/(エタ393.7)	(着火なし)		94.78	8.30		0.96
断熱材B 3回目	259.00×185.74	24.35	26.76	26.65	125.7/(エタ393.1)	(着火なし)		76.832	9.35		1.12
在来線 仕切壁 1回目	257.00×181.08	1.6	174.36	174.47	125.8/(エタ395.4)	(着火なし)		103.834	9.82	9.82	0.98
在来線 仕切壁 2回目	257.00×181.07	1.65	170.52	170.49	126.9/(エタ395.3)	(着火なし)		93.732	8.32		0.82
在来線 仕切壁 3回目	257.00×181.30	1.52	170.54	170.68	126.7/(エタ396.5)	(着火なし)		97.827	7.68		0.77
高速鉄道 側天井 1回目	257.50×182.60	7.07	163.67	163.7	126.6/(エタ394.1)	(着火なし)		93.832	7.69	8.09	0.76
高速鉄道 側天井 2回目	257.50×182.58	7.3	165.12	165.32	126.2/(エタ395.4)	(着火なし)		99.651	7.15		0.74
高速鉄道 側天井 3回目	257.50×182.65	7.14	162.58	162.69	126.7/(エタ395.5)	(着火なし)		98.786	8.09		0.79

※g 着火時間および消火時間において（　）内の数値の表記がある試験では、最初の着火時間後、複数回、瞬間的な着火現象が確認できたため、安定した燃焼に至った時の着火時間および消火時間を（　）内に記した。

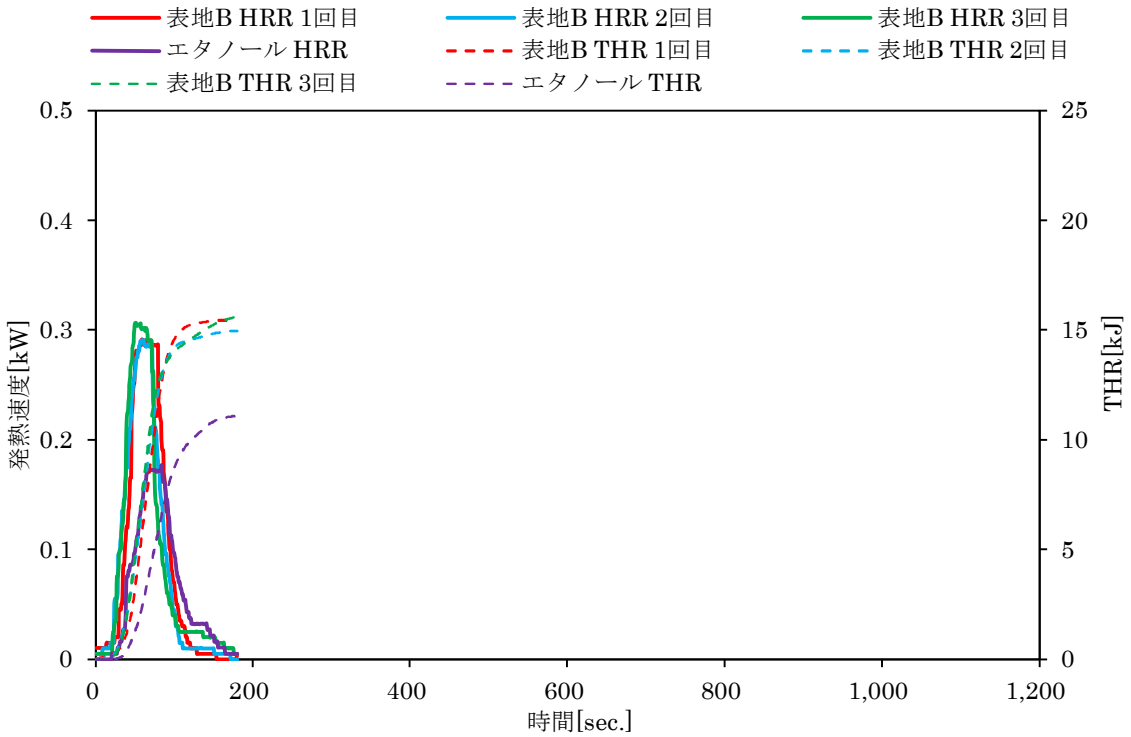


図 3.1.33　表地 B の発熱速度[kW]と総発熱量[kJ]

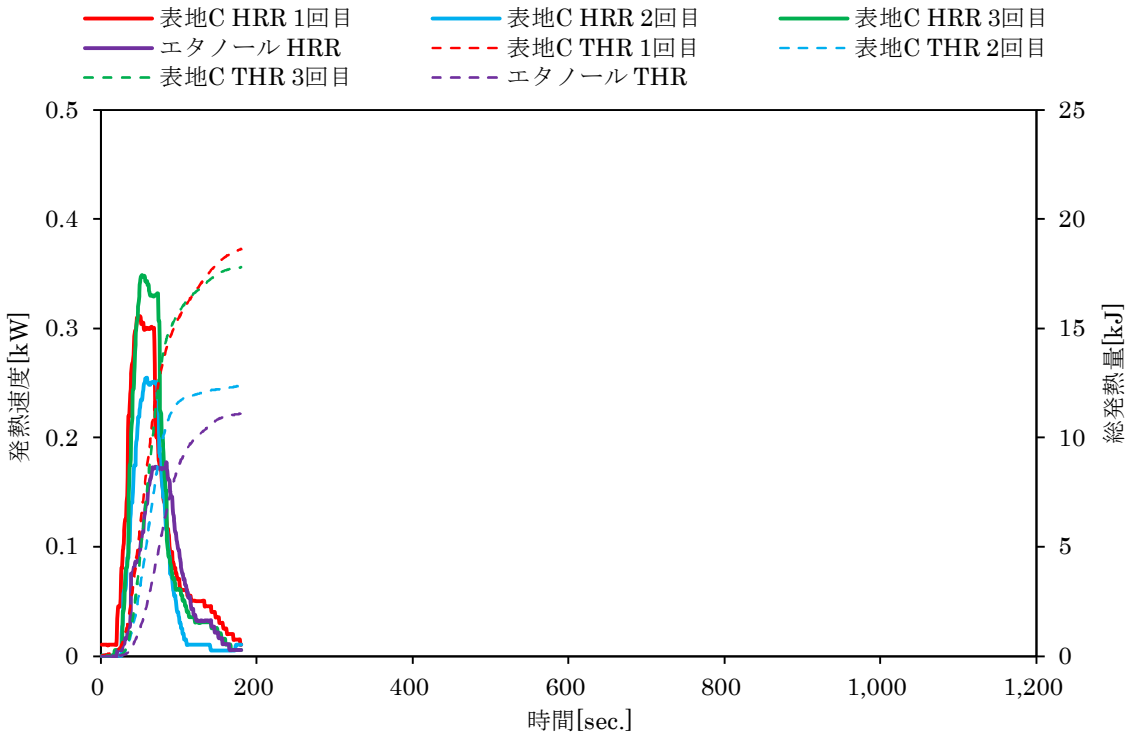


図 3.1.34　表地 C の発熱速度[kW]と総発熱量[kJ]

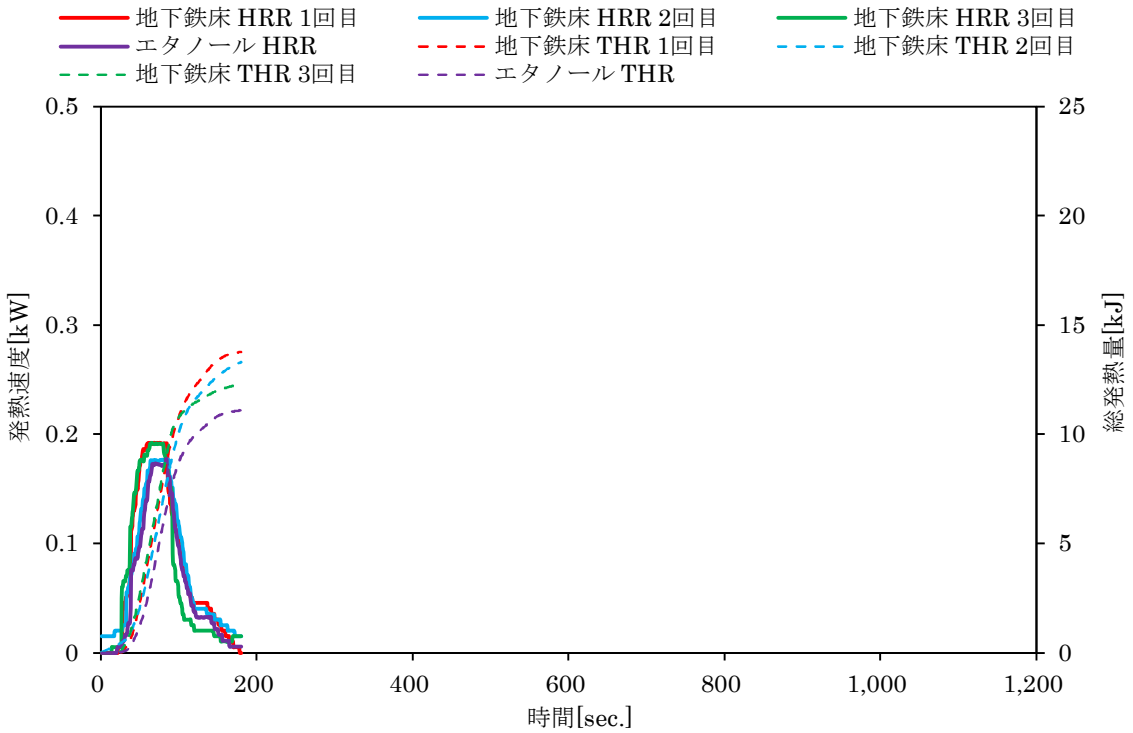


図 3.1.35　地下鉄床の発熱速度[kW]と総発熱量[kJ]

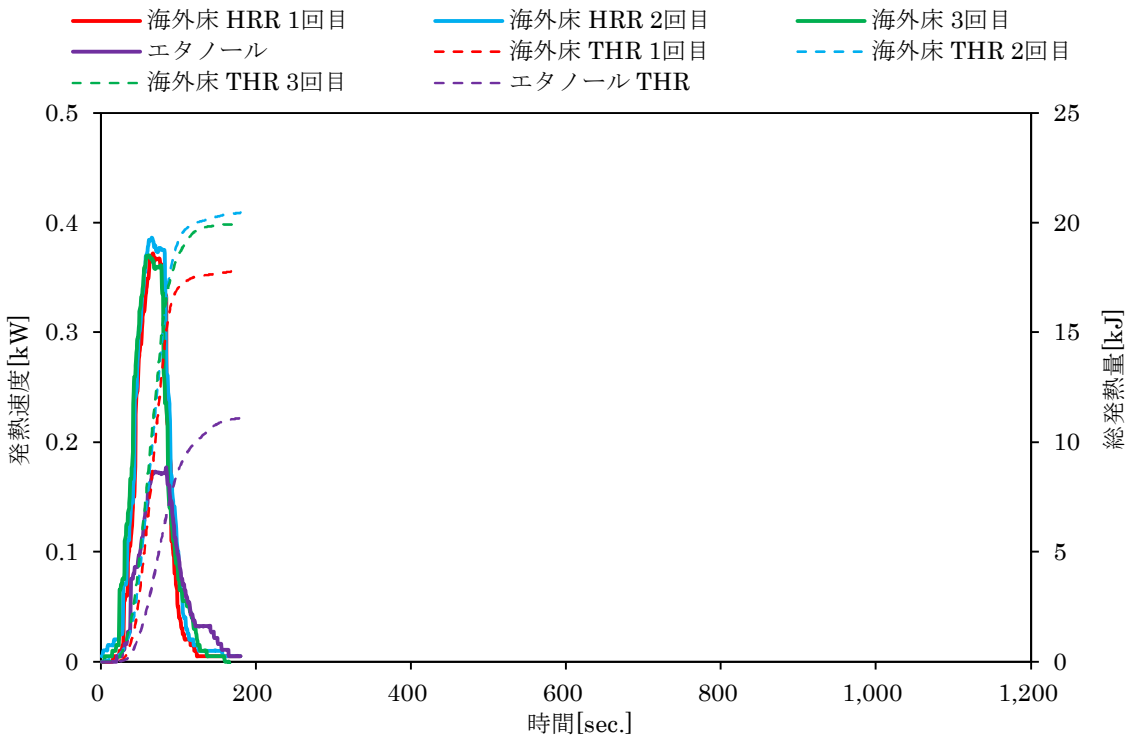


図 3.1.36　海外床の発熱速度[kW]と総発熱量[kJ]

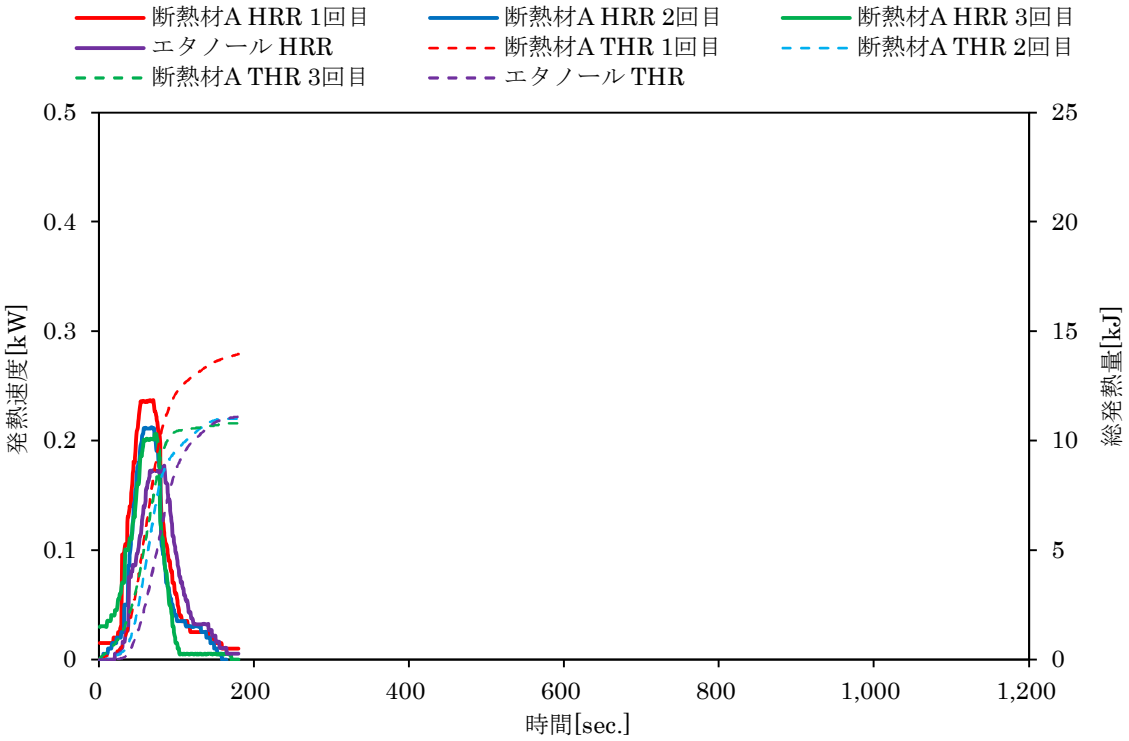


図 3.1.37　断熱材 A の発熱速度[kW]と総発熱量[kJ]

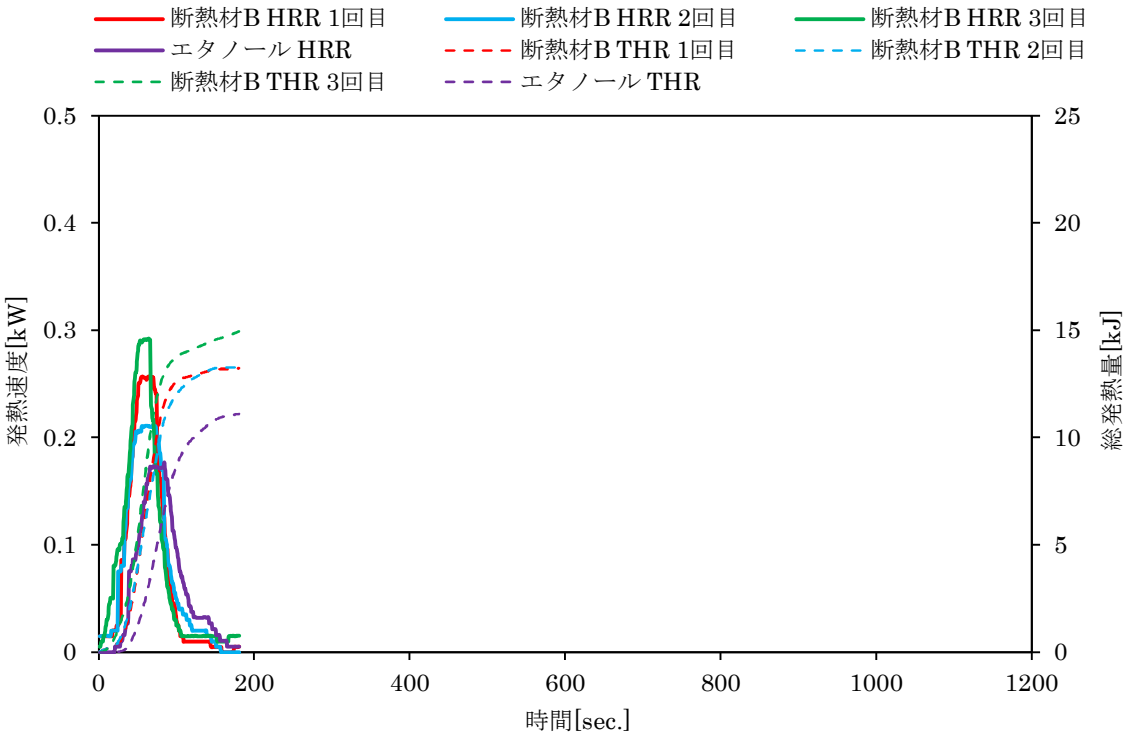


図 3.1.38　断熱材 B の発熱速度[kW]と総発熱量[kJ]

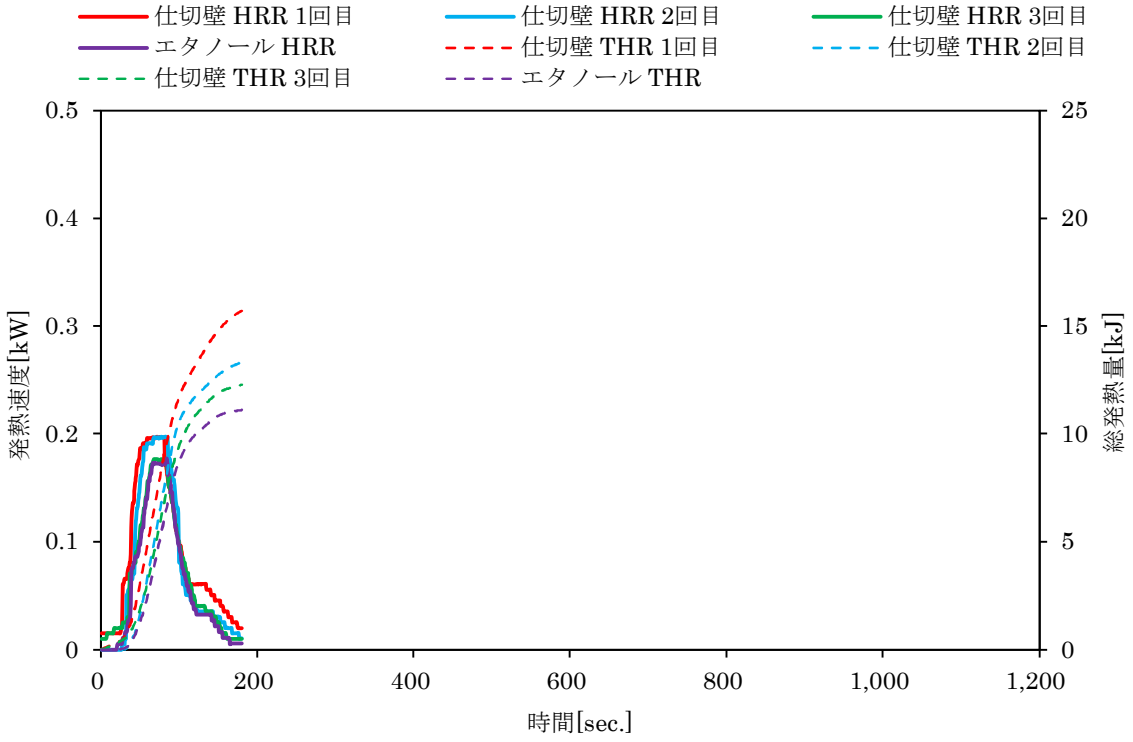


図 3.1.39　仕切壁の発熱速度[kW]と総発熱量[kJ]

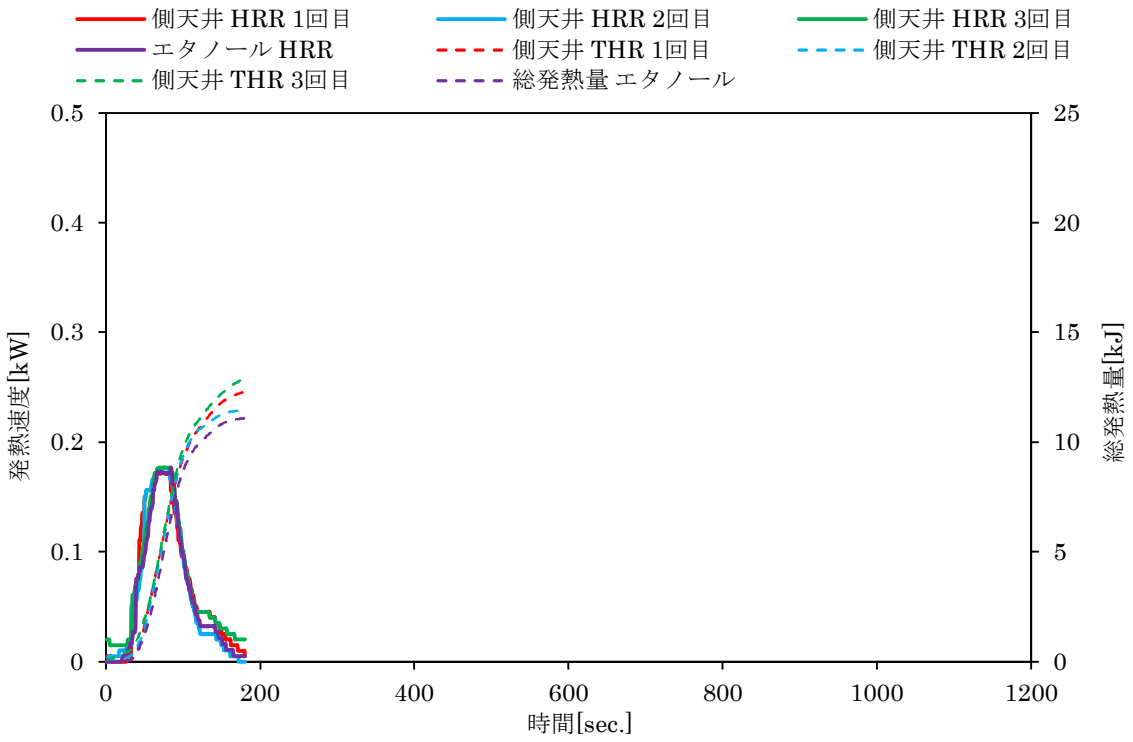


図 3.1.40　側天井の発熱速度[kW]と総発熱量[kJ]

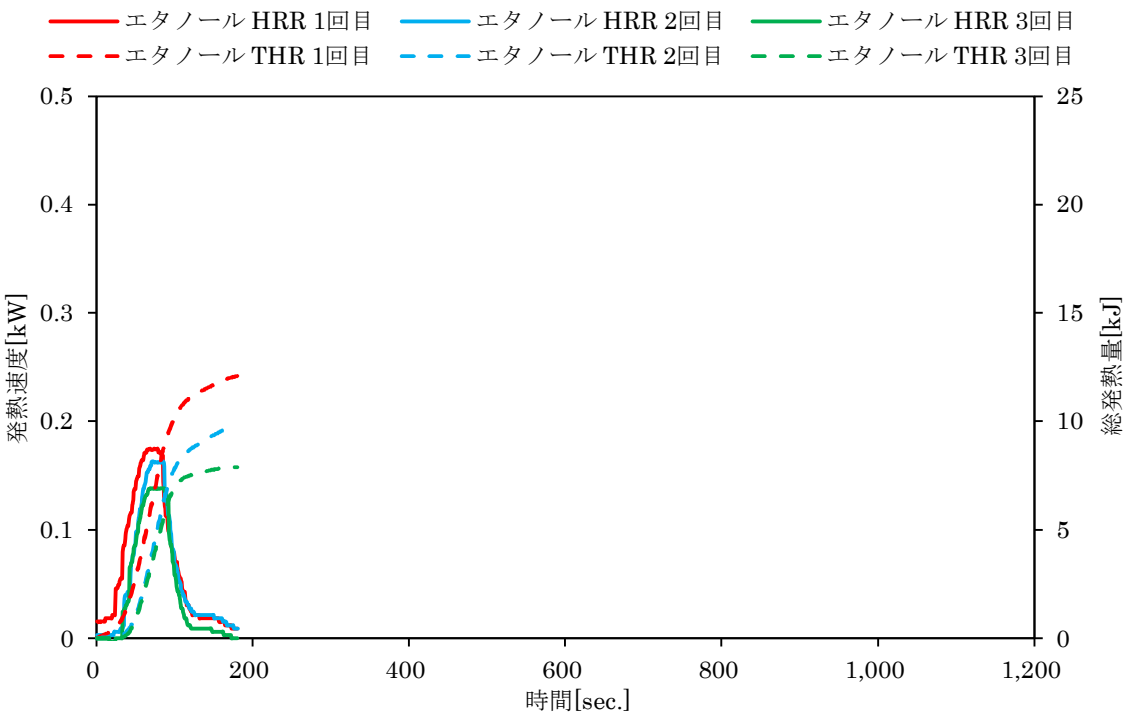


図 3.1.41　エタノールの発熱速度[kW]と総発熱量[kJ]

3.1.3　各材料の評価結果

コーンカロリーメータ試験と 45°法試験の各材料の評価結果を示す。

(1) コーンカロリーメータ試験

表 2.3.3 の基準値を用いて各材料の評価を行った結果、下記の表 3.1.5 の結果になった。

表 3.1.5　各材料の評価結果

部位	座席表地		床敷物※h		断熱材		内装パネル	
材料	表地 B	表地 C	地下鉄床	海外床	断熱材 A	断熱材 B	仕切壁	側天井
MARHE	51.86	42.72	76.52	108.34	24.56	29.04	30.25	35.75
評価結果	HL1	HL2	HL1	Over※i	HL3	HL3	HL3	HL3

※h 床敷物については、表 2.3.3 より基準値がないため、45°法試験で同じ評価（難燃性）だった座席表地と同じ基準値で評価を行った。

※i 表の over は、HL1 を超えたことを表す。

① 座席表地

座席表地は、HL2,3 が同じ基準値のため、表地 C は表 1.2.1 の規定に従い HL2 という結果になった。これは寝台車両を除いて、路線区分 4 以外を満たす結果となった。表地 B については HL1 で、寝台車両を除いて路線区分 1 のみ満たす結果となった。

② 床敷物

座席表地と同じ基準値を用いた結果、地下鉄床・海外床ともに HL1 の 75kW/m² を上回り、基準値を超えた（over）。よって、座席表地と同じ評価を行った場合、地下鉄床・海外床ともに火災発生時の危険性が非常に高い材料だと推測される。

③ 断熱材・内装パネル

断熱材・内装パネルは最も厳しい条件である HL3 の 60 を大きく下回り、表 1.2.1 における全ての路線区分を満たす結果となった。これより、高架区間や鉄橋の多い新幹線や、路線の大半がトンネルである地下鉄など、火災時に避難の難しい状況下に陥りやすい路線でも概ね使用できる材料だと推測される。

(2) 45°法試験

各材料の最大発熱速度を EN 規格の MARHE に見立てて評価を行った場合、全ての材料で HL3 という結果になった。また、各材料の発熱速度は火源であるエタノールの発熱量を含んでいるため、仮にエタノールの発熱量を差し引けた場合、各材料のみの発熱速度は極めて小さいと考えられる。

3.2　試験結果の比較検討

3.2.1　発熱性に関する比較検討

3.1.1 および 3.1.2 で計測したコーンカロリーメータ試験（CCM 試験）と 45°法試験の各材料における発熱速度の比較結果を図 3.2.1 から図 3.2.8 に示す。各試験結果より、両試験で発熱速度に大きな差がみられた。これは、両試験の加熱強度の違いであると考えられる。コーンカロリーメータ試験は、試験体全体を一定の強度で加熱するのに対して、45°法試験では試験体中心部分を局所的に加熱するため、材料の燃焼が大きくなる前に消炎してしまうので、両試験の発熱速度にこのような差が生じたと考えられる。

また、45°法試験では、火源であるエタノールの燃焼が、各材料の大半を占めていることから、材料の正味の発熱量は極めて小さいものであると考えられる。

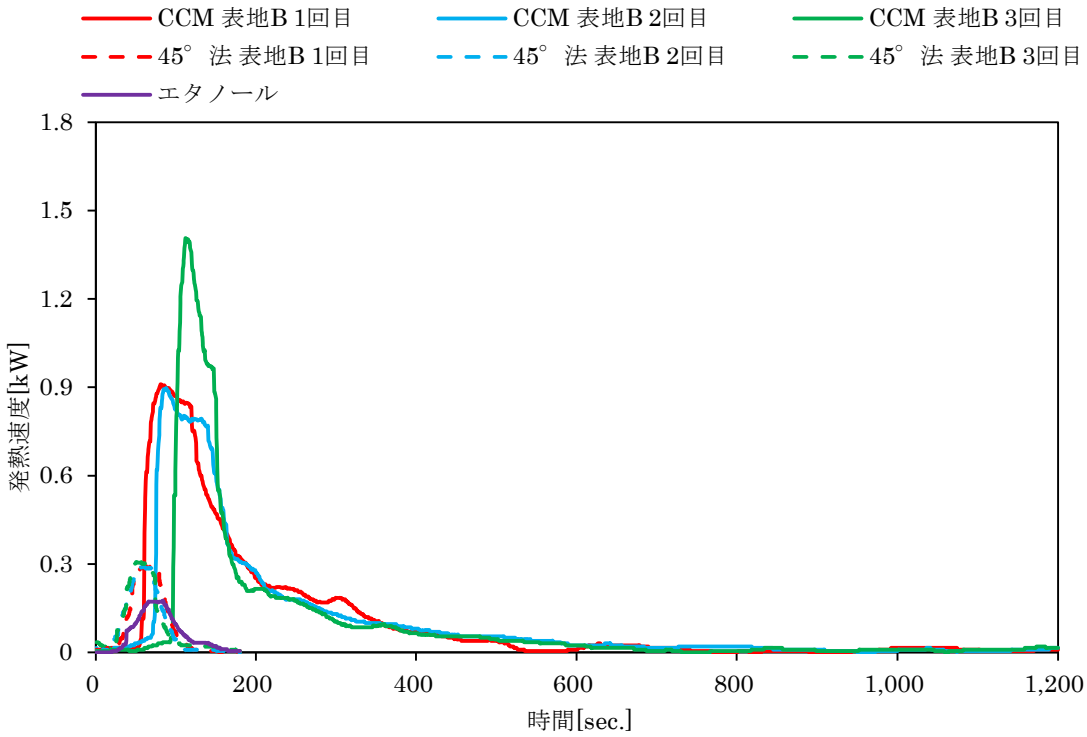


図 3.2.1　表地 B の発熱速度の比較

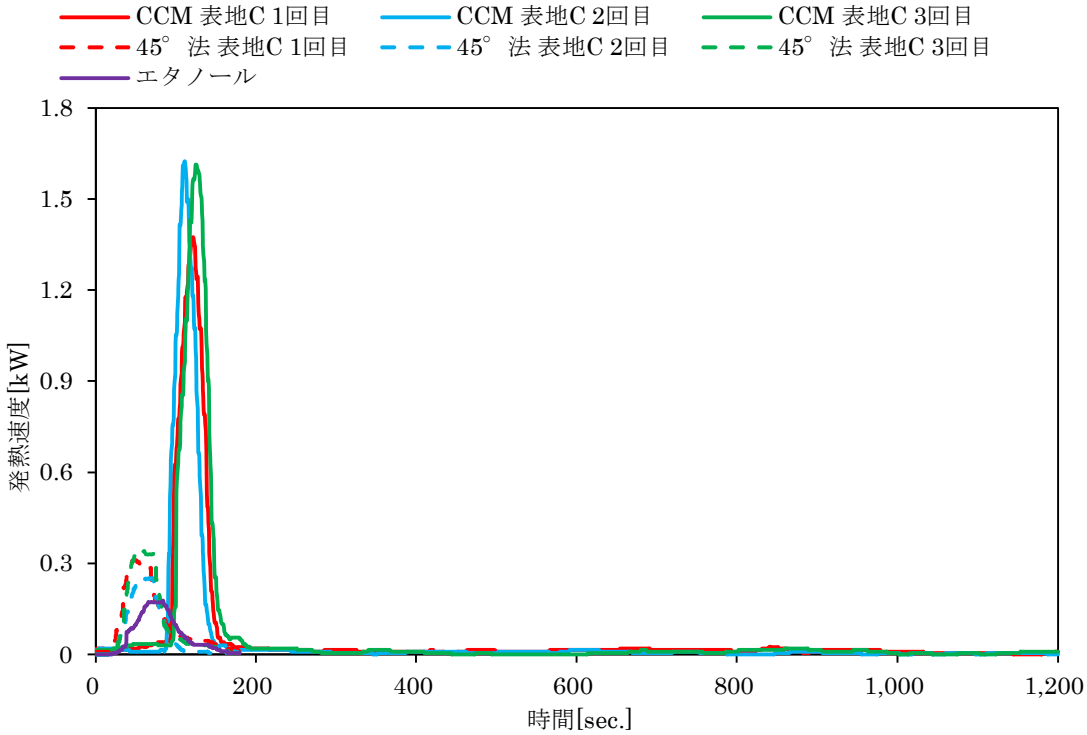


図 3.2.2　表地 C の発熱速度の比較

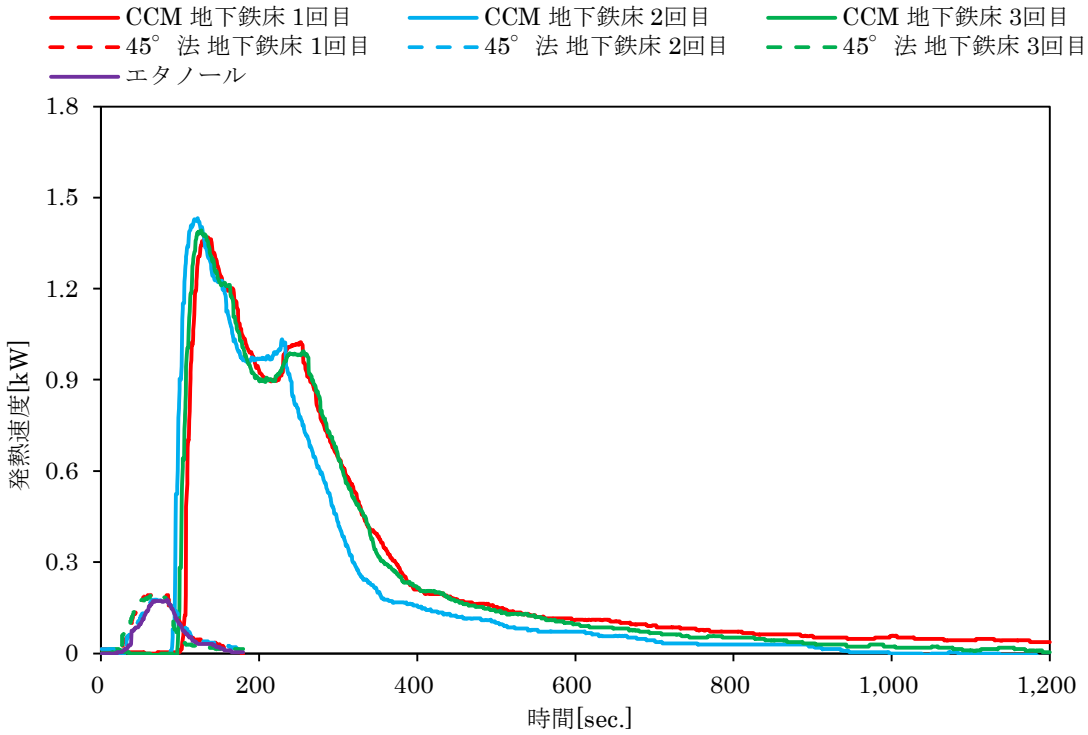


図 3.2.3　地下鉄床の発熱速度の比較

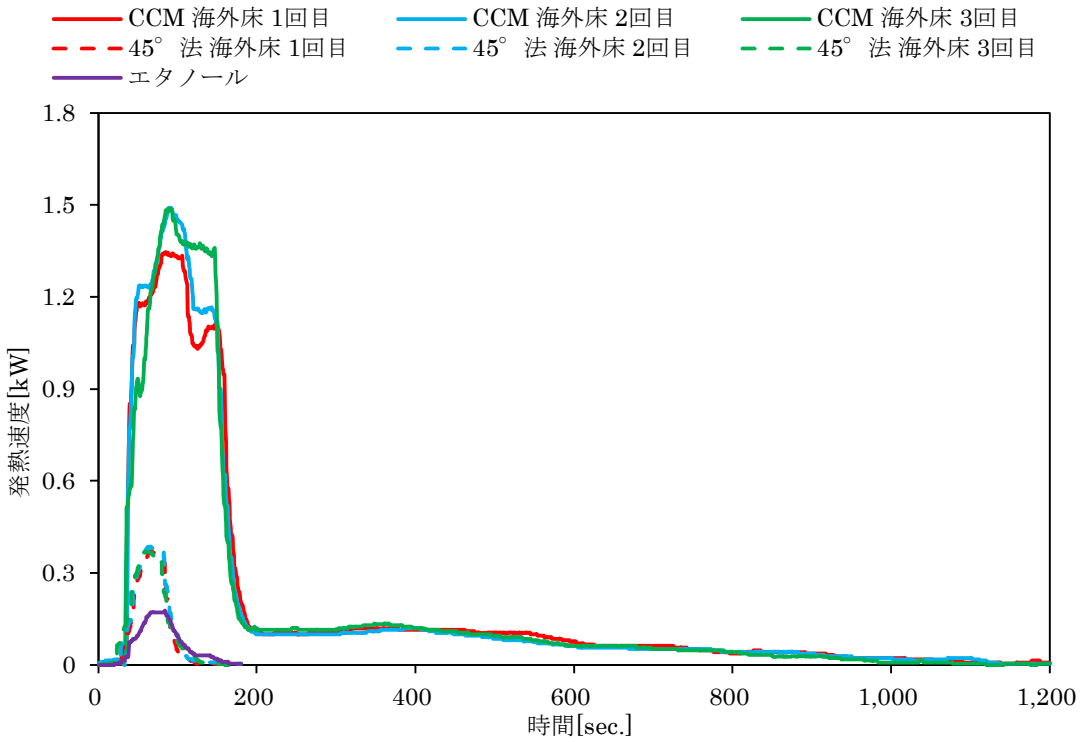


図 3.2.4　海外床の発熱速度の比較

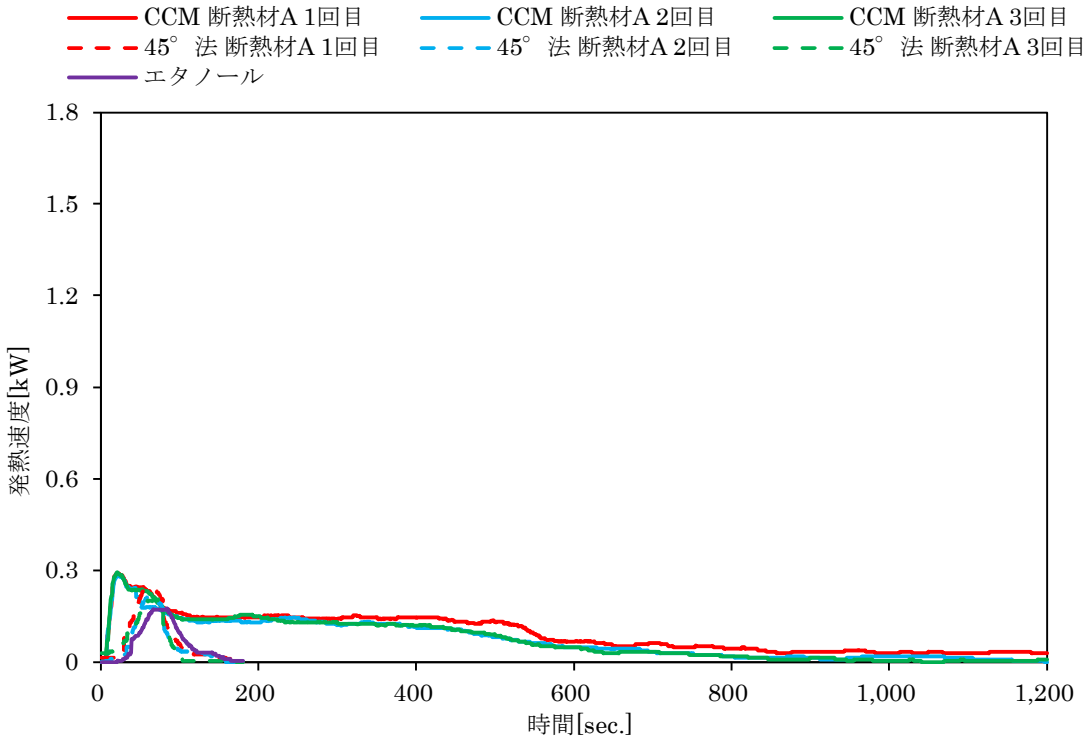


図 3.2.5　断熱材 A の発熱速度の比較

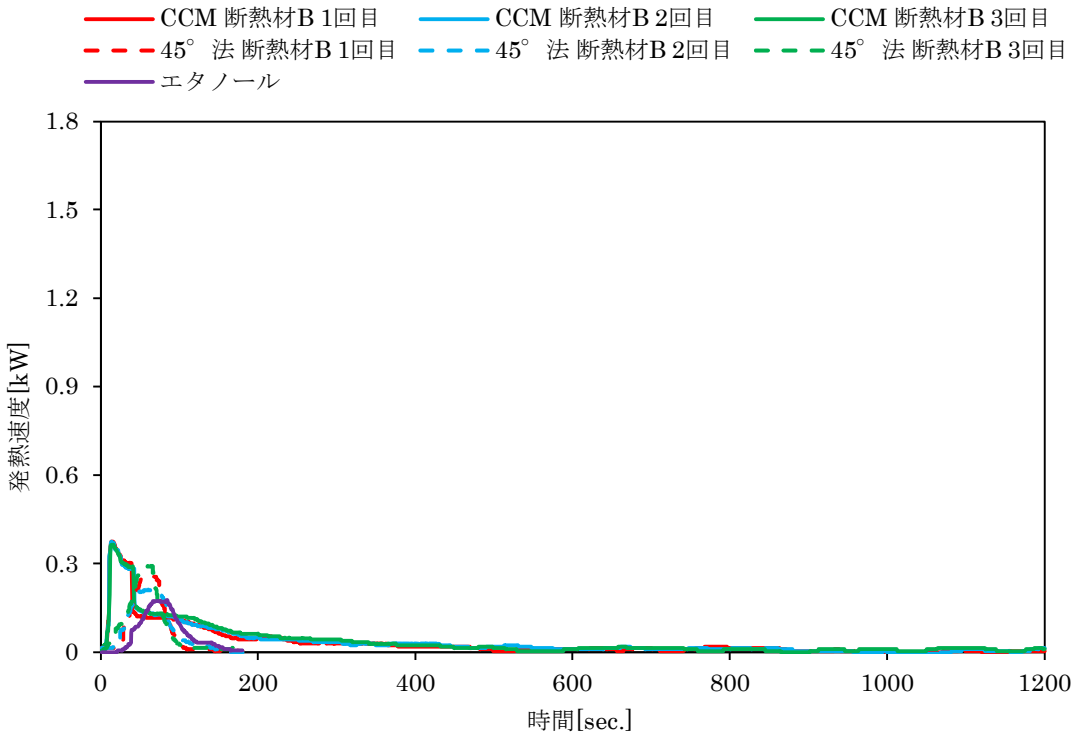


図 3.2.6　断熱材 B の発熱速度の比較

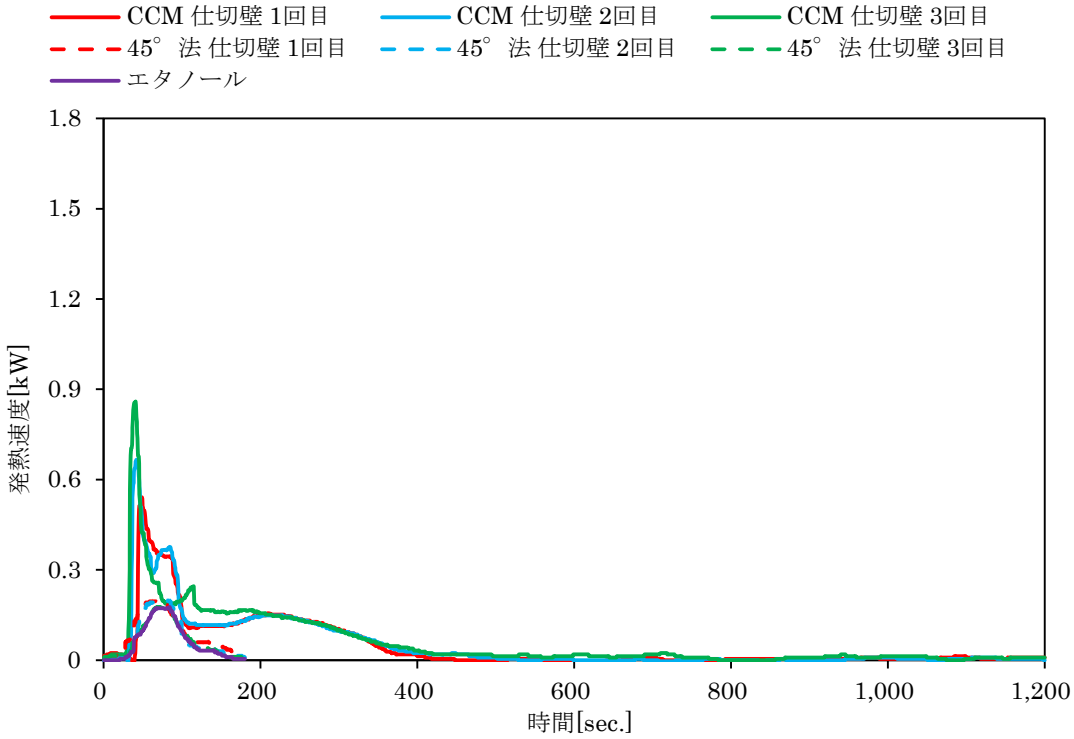


図 3.2.7　仕切壁の発熱速度の比較

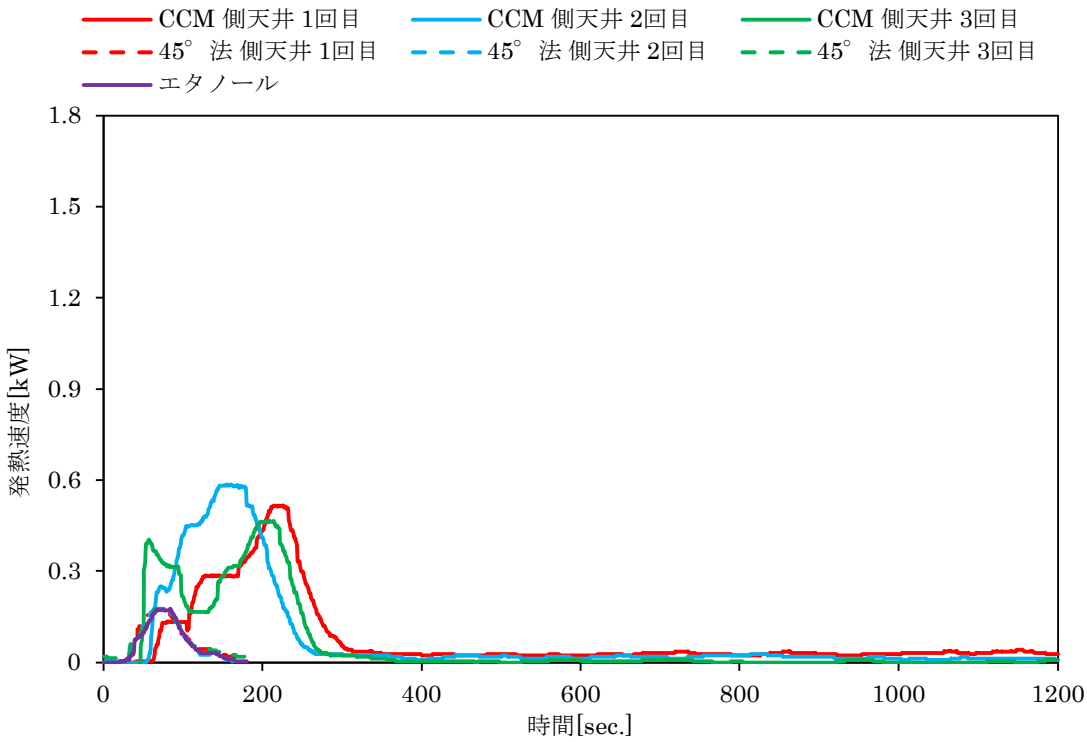


図 3.2.8　側天井の発熱速度の比較

3.2.2　着火性の比較検討

計測した各材料の着火時間を用いて、コーンカロリーメータ試験および 45°法試験における着火時間の比較を図 3.2.9 に示す。なお、対象とする材料は、両試験において着火を確認した材料のみとし、着火時間は各試験の平均値を用いた。

コーンカロリーメータ試験では、材料につき着火時間にばらつきがみられるが、45°法試験では概ね 20 秒程度で着火する結果となった。これは、45°法試験は中心部分が局所的に強く加熱されるため、コーンカロリーメータ試験と比べて材料の表面温度の上昇に要する時間が短いと考えられる。

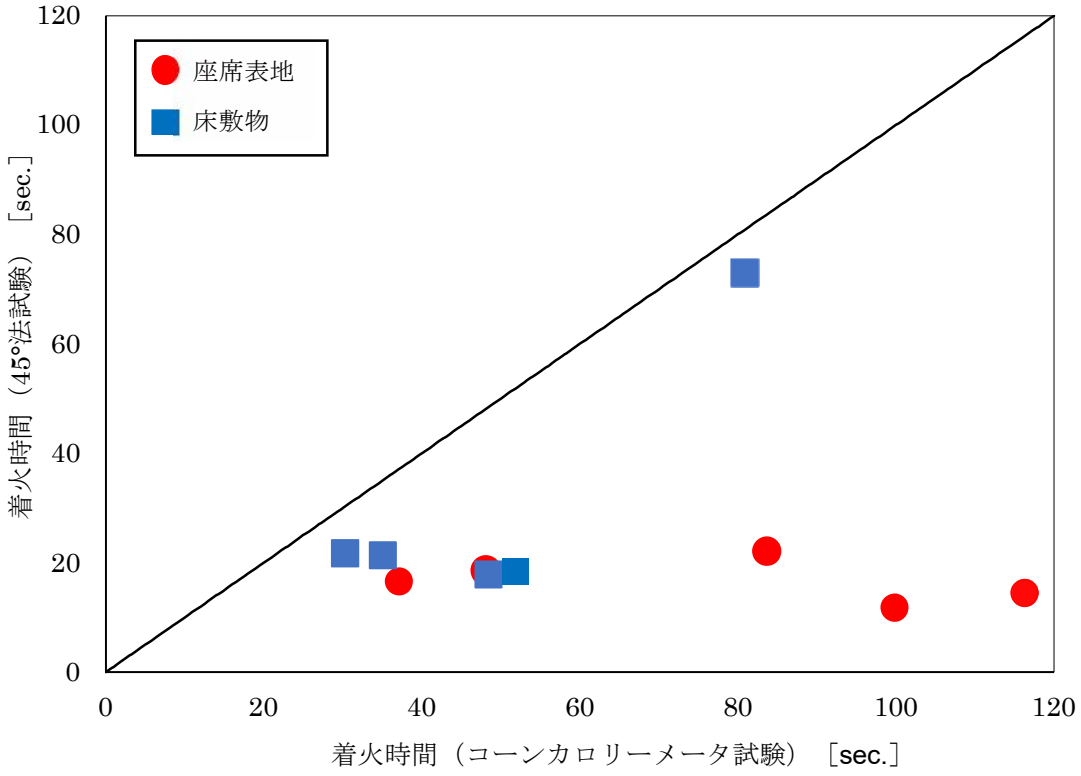


図 3.2.9　着火時間の比較

3.3　各材料における燃焼特性の分析

ISO9705 ルームコーナー試験は、実規模レベルで内装の燃焼拡大性状を確認することができる。しかし、この試験は労力・経費が著しく、回数を重ねることが困難である。そこで、コーンカロリーメータ試験の結果を用いて、ルームコーナー試験におけるフラッシュオーバー発生時間を予測し、各材料の燃焼特性の分類を試みた。下記に示す一般化 SQW 方程式(3)は、材料の着火時間、総発熱量、燃焼継続時間によって、いくつかのパターンに分類することができる。

$$V_p(t) = [K\{\dot{Q}_0(t) + x_{p0}W\dot{q}''(t) + \int V_p(\xi)d\xi W\dot{q}''(t-\xi)\} + \{\int V_p(\xi)d\xi + x_{p0}\}U_0(t-t_b) - \{X_{p0} + \int V_p(\xi)d\xi\}] \quad \cdots (3.2)$$

$V_p(t)$:火炎伝播速度 t:時間　K:比例定数　$\dot{Q}_0(t)$:火源燃焼発熱速度

x_{p0}:初期熱分解領域高さ　W:火源幅（=1m）　$\dot{q}''(t)$:熱分解領域燃焼発熱速度（単位面積あたり）

$U_0(t)$:Heaviside 単位関数　$\dot{q}''_{max}$:$\dot{q}''(t)$のピーク値　τ:材料着火時間　t_b:燃え尽き時間

以下に用いた式(4)を示す。また、各領域の状況を表 3.3.1 に、各材料の分類状況を図 3.3.1 に示す。

$$\mathrm{F} = \frac{t_{ig}/\tau}{\int K\dot{q}''(t)dt/\tau - 1} \quad \cdots (3.3)$$

F：火炎伝播を定量的に表すパラメータ

t_{ig}:着火時間[s]　τ:燃焼継続時間[s] $\dot{q}''$:発熱速度[kW/m²] K:比例定数 1/50

分類番号は、フラッシュオーバー発生に要する時間が長いのが①、短いのが③である。

表 3.3.1　分類結果と各領域の状況

分類	該当材料	各領域の状況
① F<0 および F≧2.4	断熱材・内装パネル	燃焼拡大しない
② 0.44<F<2.4	座席表地	燃焼拡大する
③ 0.15≦F≦0.44	床敷物	予熱条件を満たすと燃焼拡大する

表 2.3.2 より、45° 法試験で不燃性と評価された断熱材・内装パネルについては領域①に分類され、概ね妥当な結果となった。しかし、座席表地・床敷物については、45° 法試験で同じ難燃性と評価されているが、座席表地は概ね領域②に、床敷物については領域③に分類された。そのため、45° 法試験の難燃性材料は広い範囲の燃焼特性をもつものであることが分かった。

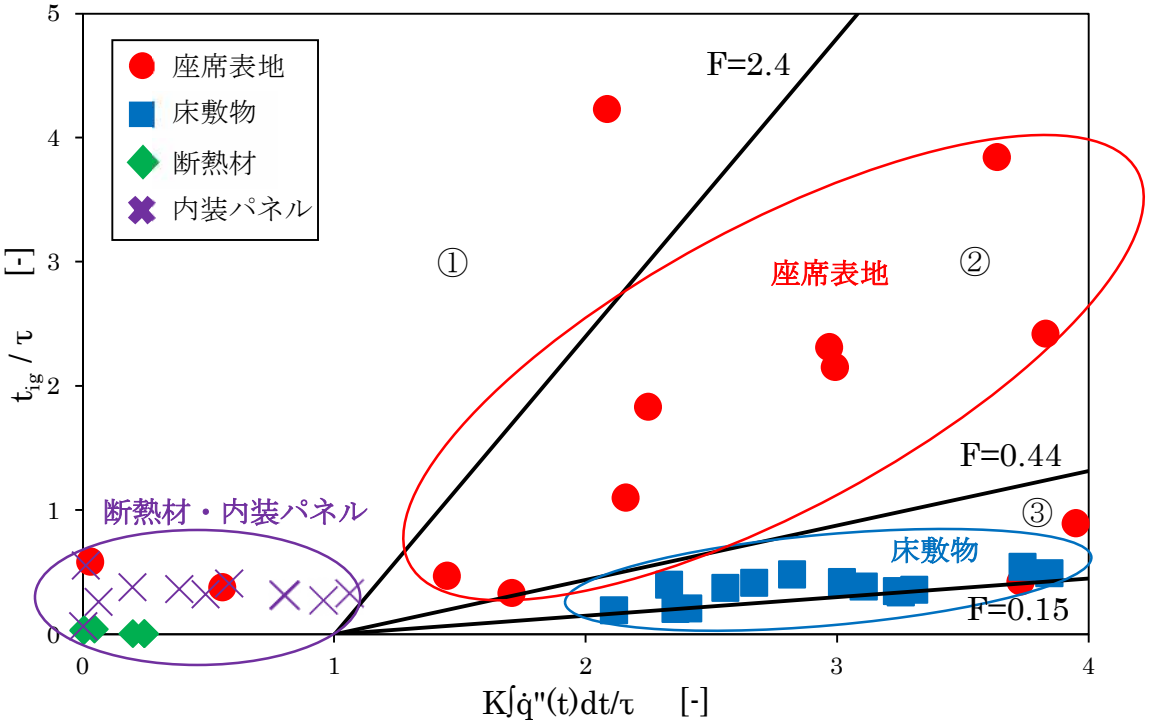


図 3.3.1 各材料の分類状況

第 4 章　総括

4. 総括

実際に使用されている鉄道車両用材料の発熱性と着火性に着目し、45°法試験の定量化を試み、EN 規格試験との比較を行った。実験結果より、コーンカロリーメータ試験と 45°法試験で発熱速度、着火時間に大きな差があることが確認された。これは、両試験の加熱条件の違いによるもので、コーンカロリーメータ試験は、試験体全体を一定の強度で均等に加熱しているのに対し、45°法試験は中心部分を局所的に加熱しているためだと考えた。45°法試験は、試験体中心部分の表面温度の上昇に要する時間が短いため、着火に至るのが早いが、着火面積は小さく、材料の燃焼が大きくなる前に消炎するため、このような差が生じていると考えられる。

また、各材料の燃焼特性を分析した結果、45°法試験で不燃性と評価された断熱材、内装パネルについては概ね妥当な結果となったが、難燃性の評価を受けた座席表地、床敷物については結果に差が出た。このことから、45°法試験における難燃性材料は、広い範囲の燃焼特性を持つことが分かった。

参考文献

・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、2013.03
・有馬毅、小和瀬敦也、浪岡佑太朗　「鉄道車両用材料の燃焼性試験の妥当性の検討」東京理科大学工学部第二部建築学科卒業論文、2015.03
・James G. Quintiere、大宮喜文・若月薫 訳「基礎　火災現象原論」 共立出版株式会社、2009
・大場正直「鉄道車両の床構造の耐火試験」東京理科大学工学研究科建築学先行修士論文、2013.03
・「日欧の鉄道車両用材料燃焼規格の比較検討並びに今後の対応法の検　調査 報告書」、東京理科大学 火災科学研究センター,2016.03
・「EN45545-2 Railway applications」,Fire protection on railway vehicles,2013
・Sito,K.,Quintiere,J.G. and Williams, F. W.「Turbulent Upward Flame Spread」: 1st International Symposium on Fire Safety Science 1986

引用文献

1）今 和俊、小澤竜也　「石勝線第一ニニウトンネル火災の検証」 東京理科大学第二部建築学科、2011
2）総務省消防庁、「「鉄道に関する技術上の基準を定める省令等の解釈基準」のうち地下鉄道の火災対策に関する解釈基準の解説」
3）地下鉄道の火災対策検技術委員会「地下鉄道の火災対策検討会報告書」、2004.03
4）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」、1975.04
5）EN45545-2 Railway applications-Fire protection on railway vehicles、2013
6）長谷見雄二、吉田正志、薮田孝敏、若松孝旺、林吉彦、時田岳大：コーンカロリーメータ計によるルームコーナー試験におけるフラッシュオーバー発生時間の簡易予測、日本建築学会大会芸術講演会梗概集、pp.213-214、1999

謝辞

本研究を進めるにあたり、東京理科大学の辻本誠教授、松山賢教授には大変お世話になりました。先生方の熱心なご指導のおかげで研究を進めることができました。厚く御礼申し上げます。前川結字理様には、研究で悩んでいた時にご相談をお願いし、貴重なご意見を頂き、感謝しております。

そして、本研究の指導をしてくださった東京理科大学大学院の清水晃平さん、今泉諭喜男さんには、研究に対する考え方や試験結果の考察の方法など終始適切なアドバイスを頂き、どうにか論文を書き上げることが出来ました。ここまで私を支えてくださった皆様に感謝の意を表します。本当にありがとうございました。

付録

付録

2016 年 2 月に実施したコーンカロリーメータ試験と 45° 法試験の各材料の概要および HRR・THR・ARHE・MARHE の結果を示す。

1. 研究で用いた材料

研究で用いた材料を下記の表 1 に示す。

表 1　各材料の写真

材料写真			
在来線	在来線 表地 A	在来線 床敷物	在来線 側天井
材料写真			
地下鉄	地下鉄 表地	地下鉄 床敷物	地下鉄 内装
材料写真			
高速鉄道	高速鉄道 表地	高速鉄道 床敷物	高速鉄道 仕切壁

2. コーンカロリーメータ試験の結果

表 2.1,2.2 に試験結果のまとめを、各材料の発熱速度（HRR）、総発熱量(THR)、ARHE の結果を図 2.1 から図 2.18 に示す。

表 2.1　コーンカロリーメータ試験 試験結果(1/2)

試験片名称、試験回数	寸法 [mm]	厚さ [mm]	質量 [g]	質量減少量 [g]	着火時間 [sec.]	消炎時間 [sec.]	平均発熱速度 [kW/m²]	最大発熱速度 [kW/m²]	総発熱量 [MJ/m²]
在来線 表地A 1回目	100.50×100.00	2.00	6.31	3.60	155.40	236.00	3.84	132.83	4.88
在来線 表地A 2回目	100.25×100.30	2.00	6.30	4.85	86.80	178.00	6.67	258.79	8.12
在来線 表地A 3回目	100.20×100.50	2.00	6.36	4.48	106.49(128.70)※ち	106.49 (238.43)	5.67	203.28	7.25
地下鉄 表地1回目	101.20×102.09	4.15	8.54	6.12	98.08	448.11	5.01	52.15	6.74
地下鉄 表地2回目	101.01×104.00	4.15	8.56	6.45	101.57	464.51	8.71	39.93	10.46
地下鉄 表地3回目	101.00×101.85	4.15	8.47	5.57	(着火なし)		1.88	7.68	2.30
高速鉄道 表地1回目	103.00×101.00	3.00	5.82	5.66	42.63	124.95	8.14	236.12	11.23
高速鉄道 表地2回目	101.50×99.50	3.00	5.86	5.71	47.08	124.55	10.71	292.92	12.94
高速鉄道 表地3回目	99.50×104.50	3.00	5.71	5.43	21.70	103.02	9.40	238.21	12.11
在来線 床敷物1回目	100.25×101.00	3.00	36.69	26.79	50.07 (93.76)	50.07 (519.31)	32.54	181.02	39.10
在来線 床敷物2回目	100.00×100.75	3.00	36.73	25.49	43.57 (102.42)	43.57 (490.91)	27.99	171.62	33.73
在来線 床敷物3回目	100.05×100.25	3.00	36.64	26.16	51.70 (88.48)	51.70 (491.03)	33.32	203.45	40.06
地下鉄 床敷物1回目	101.00×100.50	3.00	47.13	26.26	55.66 (94.16)	55.66 (519.84)	36.79	205.84	44.28
地下鉄 床敷物2回目	100.25×100.50	3.00	47.00	26.35	51.47 (81.86)	51.47 (558.00)	39.52	176.52	47.47
地下鉄 床敷物3回目	100.25×100.50	3.00	46.77	24.98	48.35 (83.19)	48.35 (476.78)	35.90	168.04	43.11
高速鉄道 床敷物1回目	100.50×100.00	2.00	25.96	21.08	36.51 (51.17)	36.51 (259.35)	27.49	207.40	33.01
高速鉄道 床敷物2回目	101.25×100.25	2.00	25.97	19.90	36.12 (51.36)	36.12 (264.38)	25.61	209.87	30.76
高速鉄道 床敷物3回目	101.00×100.25	2.00	25.92	20.97	32.71 (50.33)	32.71 (257.80)	27.40	222.59	32.91

表 2.2　コーンカロリーメータ試験 試験結果(2/2)

試験片名称、試験回数	寸法 [mm]	厚さ [mm]	質量 [g]	質量減少量 [g]	着火時間 [sec.]	消炎時間 [sec.]	平均発熱速度 [kW/m²]	最大発熱速度 [kW/m²]	総発熱量 [MJ/m²]
在来線 側天井 1回目	99.75×99.75	3.00	58.14	6.22	(着火なし)		0.22	0.60	0.02
在来線 側天井 2回目	99.75×100.25	3.00	58.15	7.56	(着火なし)		1.02	3.44	1.20
在来線 側天井 3回目	100.25×99.75	3.00	58.21	7.21	(着火なし)		0.63	1.87	0.43
地下鉄 内装1回目	99.75×99.50	1.40	32.50	4.73	37.37	95.24	5.90	75.49	7.09
地下鉄 内装2回目	100.25×99.75	1.40	32.57	4.62	85.37	108.44	3.76	31.73	4.62
地下鉄 内装3回目	99.50×100.25	1.40	32.58	4.68	(着火なし)		3.59	15.93	4.45
高速鉄道 仕切壁 1回目	100.00×99.75	1.60	33.59	7.28	28.79	36.67	10.13	131.27	12.17
高速鉄道 仕切壁 2回目	99.75×100.00	1.60	33.49	7.58	29.40	35.50	7.87	26.30	9.45
高速鉄道 仕切壁 3回目	100.00×99.75	1.60	33.54	7.35	29.90	36.30	7.01	90.73	8.93

※ち着火時間および消炎時間において（　）内の数値の表記がある試験では、最初の着火時間後、複数回、瞬間的な着火現象が確認できたため、安定した燃焼に至った時の着火時間および消炎時間を（　）内に記した。

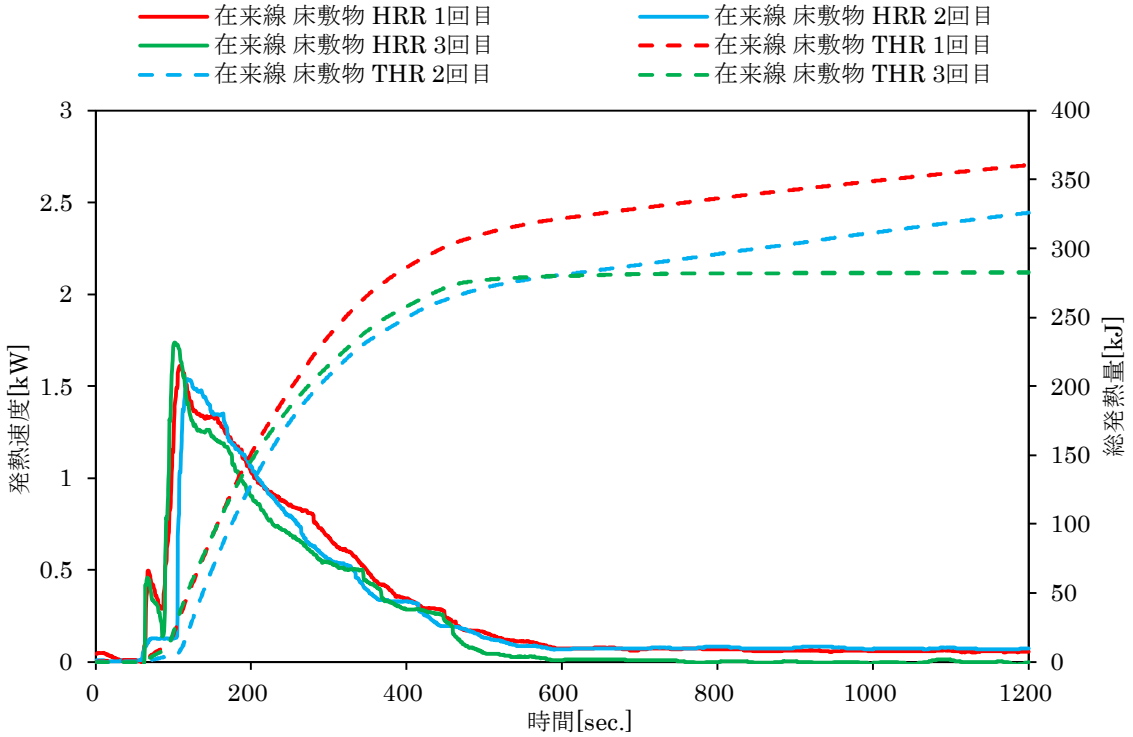


図 2.1　在来線 床敷物の発熱速度[kW] と総発熱量[kJ]

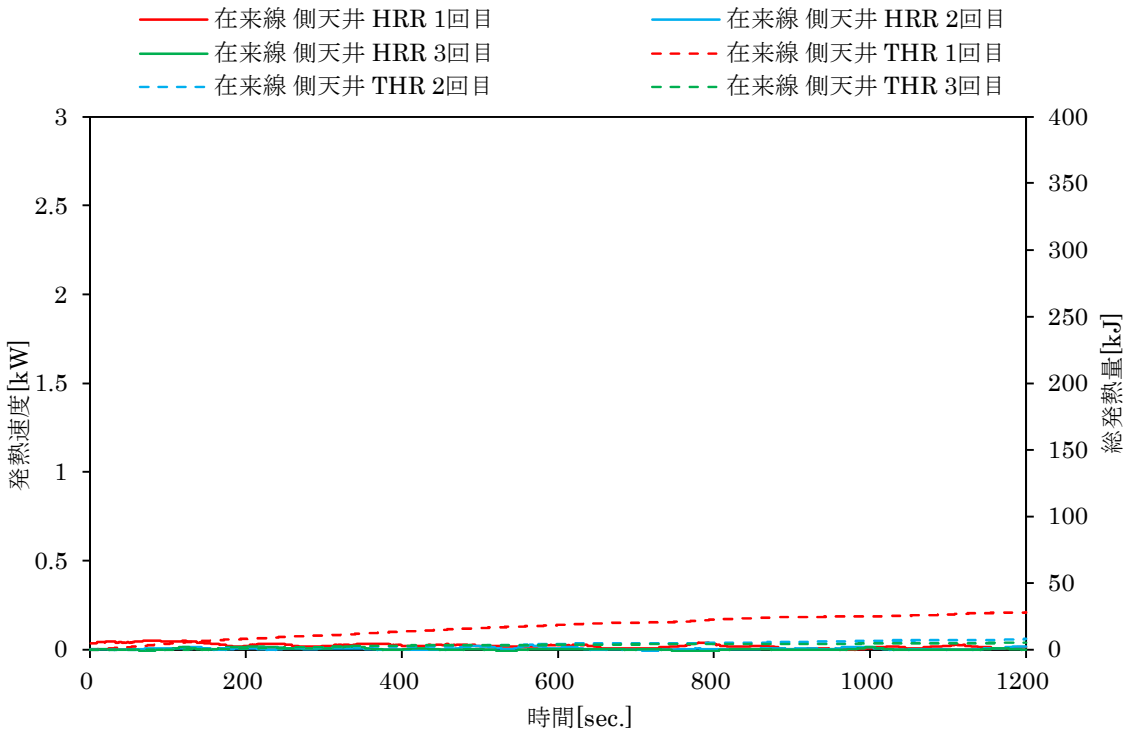


図 2.2　在来線 側天井の発熱速度[kW] と総発熱量[kJ]

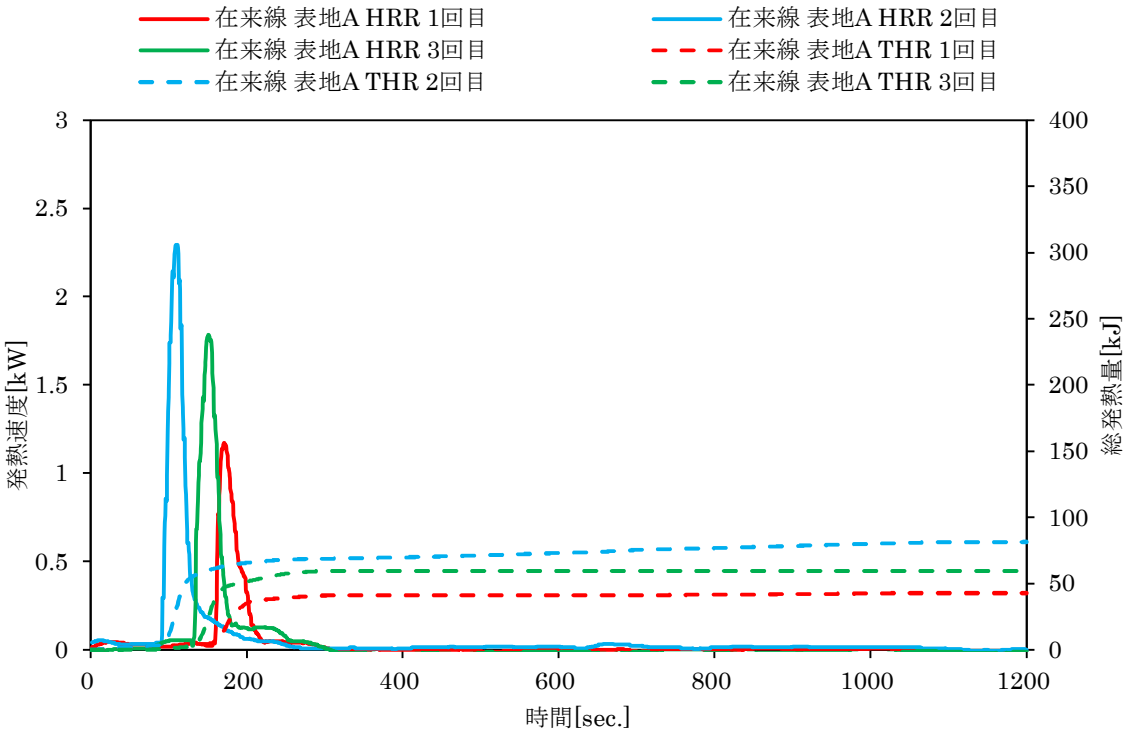


図 2.3　在来線 表地 A の発熱速度[kW] と総発熱量[kJ]

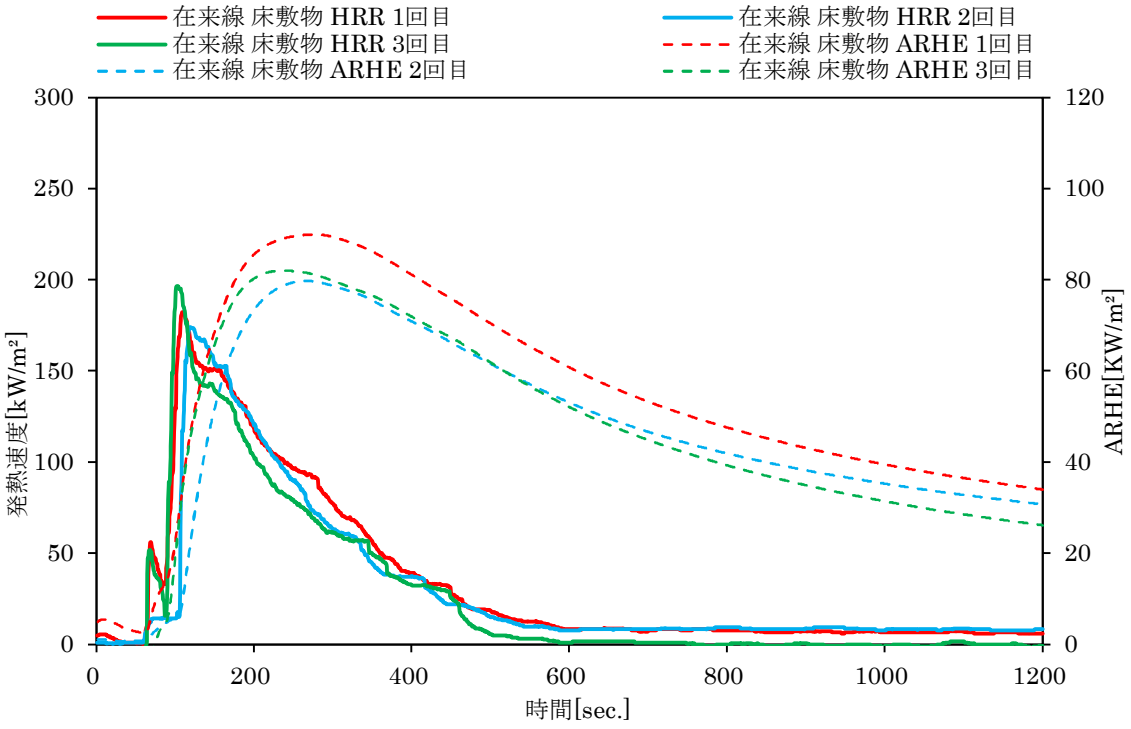


図 2.4　在来線 床敷物の発熱速度[kW/m²]と ARHE[kW/m²]

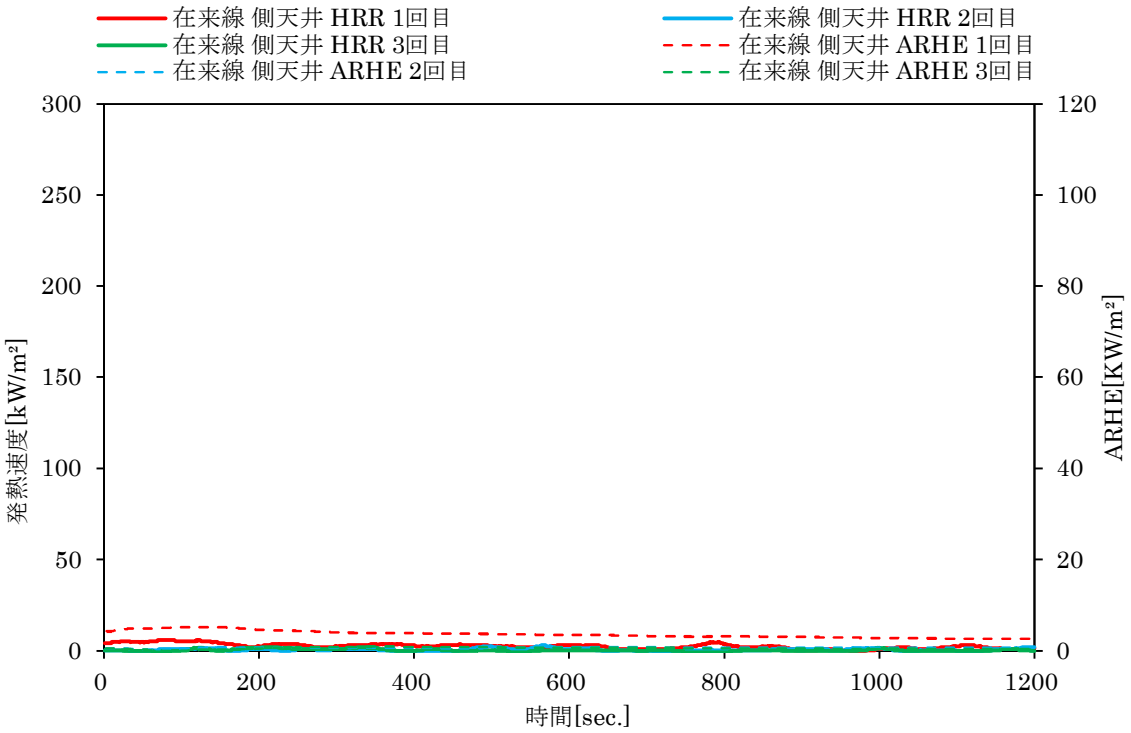


図 2.5　在来線 側天井の発熱速度[kW/m²]と ARHE[kW/m²]

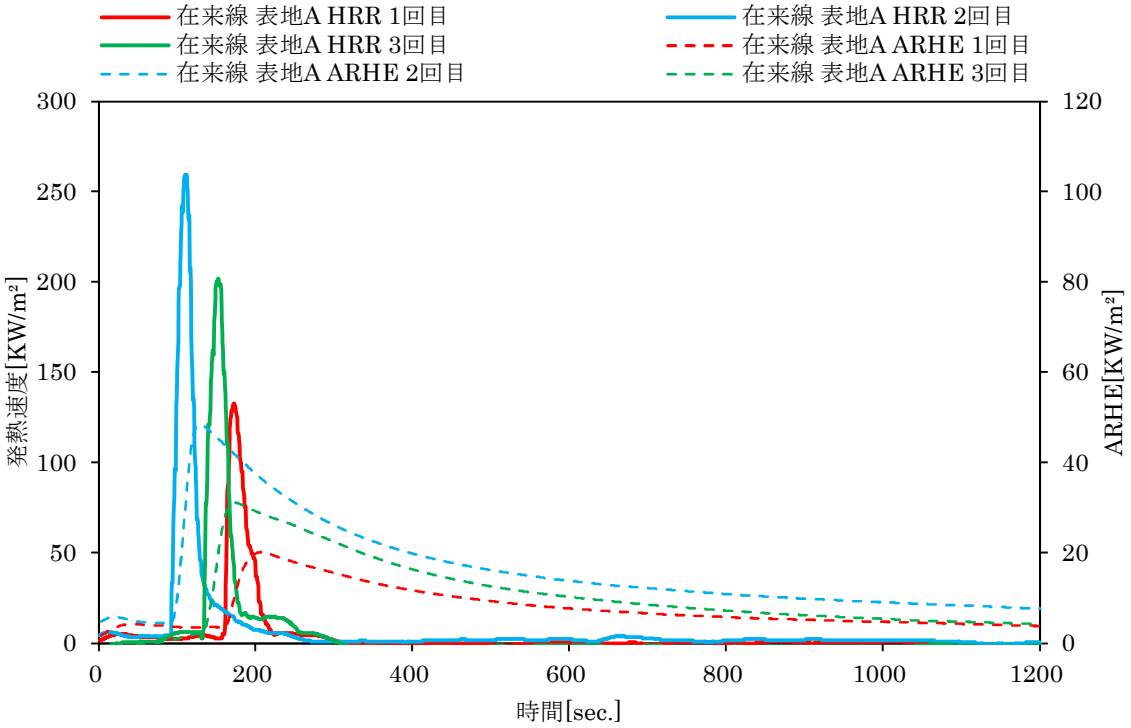


図 2.6　在来線 表地 A の発熱速度[kW/m²]と ARHE[kW/m²]

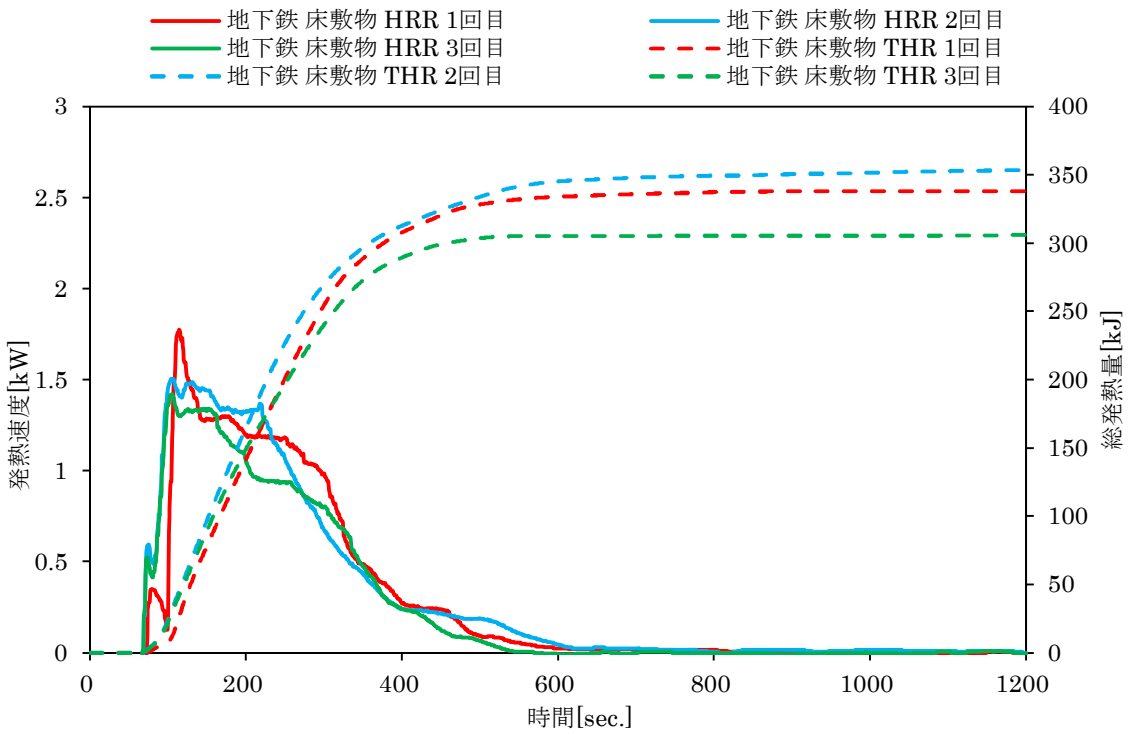


図 2.7　地下鉄 床敷物の発熱速度[kW] と総発熱量[kJ]

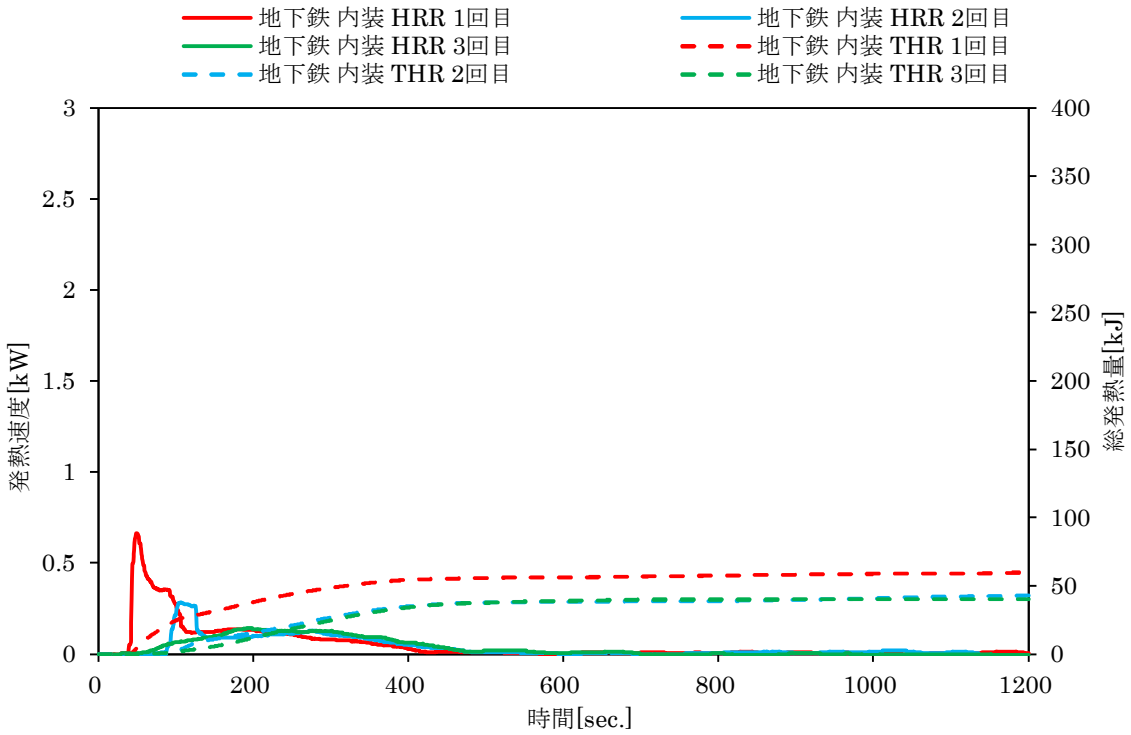


図 2.8　地下鉄 内装の発熱速度[kW] と総発熱量[kJ]

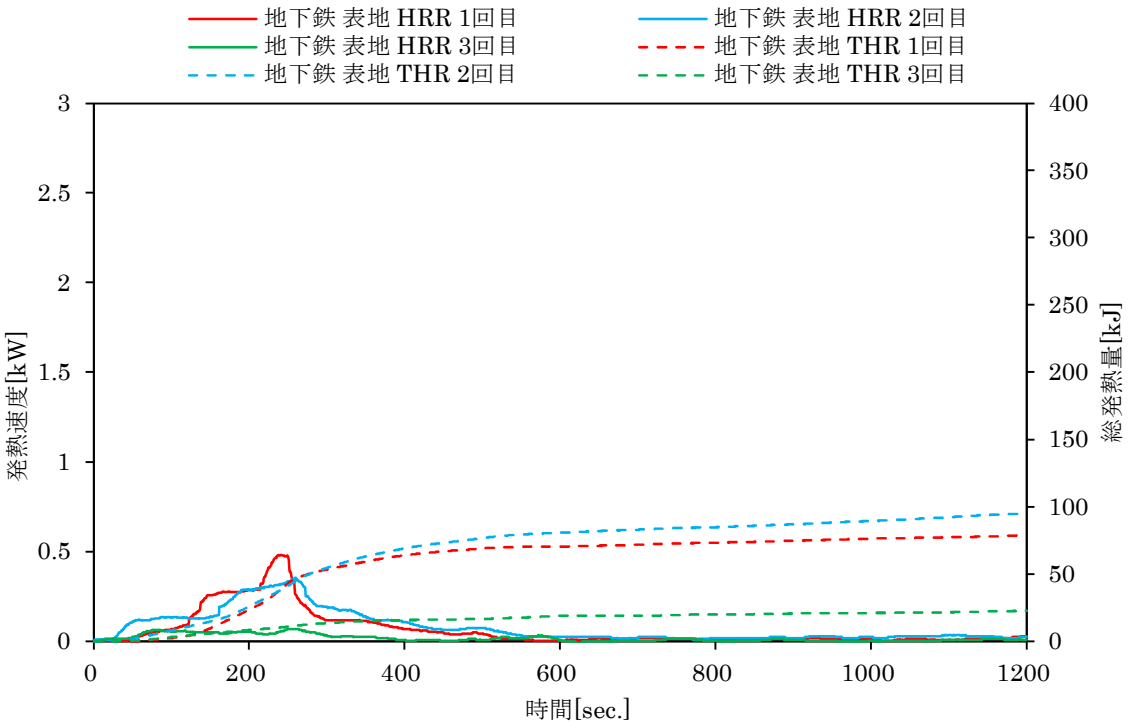


図 2.9　地下鉄 表地の発熱速度[kW] と総発熱量[kJ]

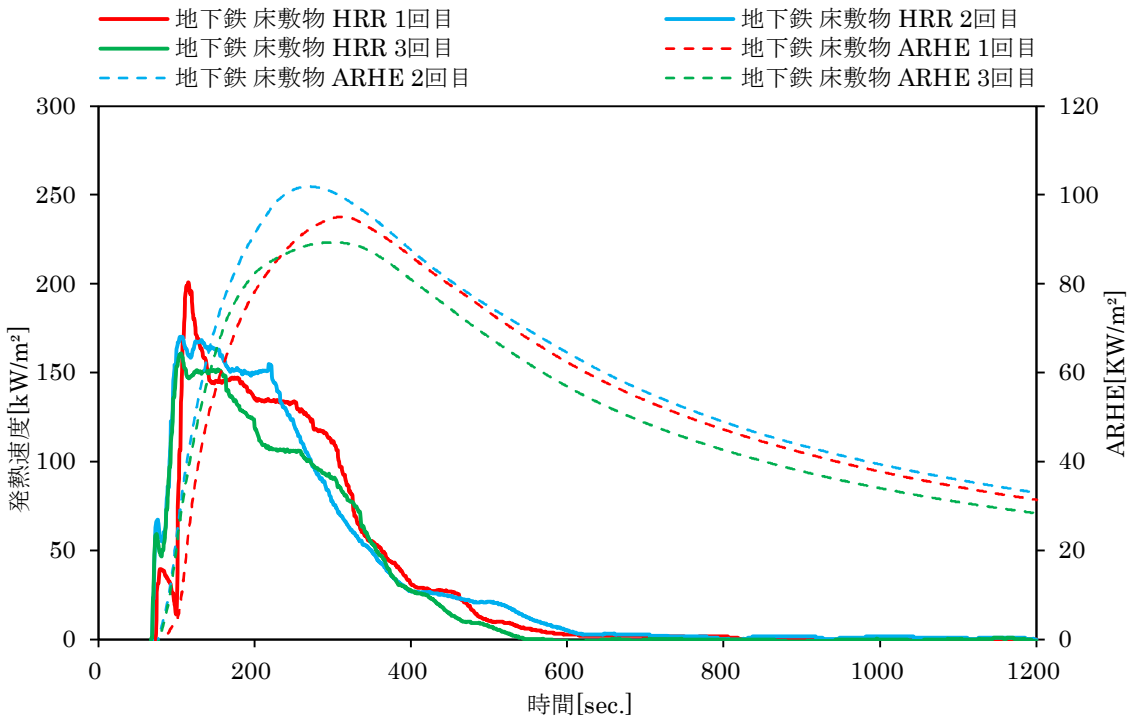


図 2.10　地下鉄 床敷物の発熱速度[kW/m²]と ARHE[kW/m²]

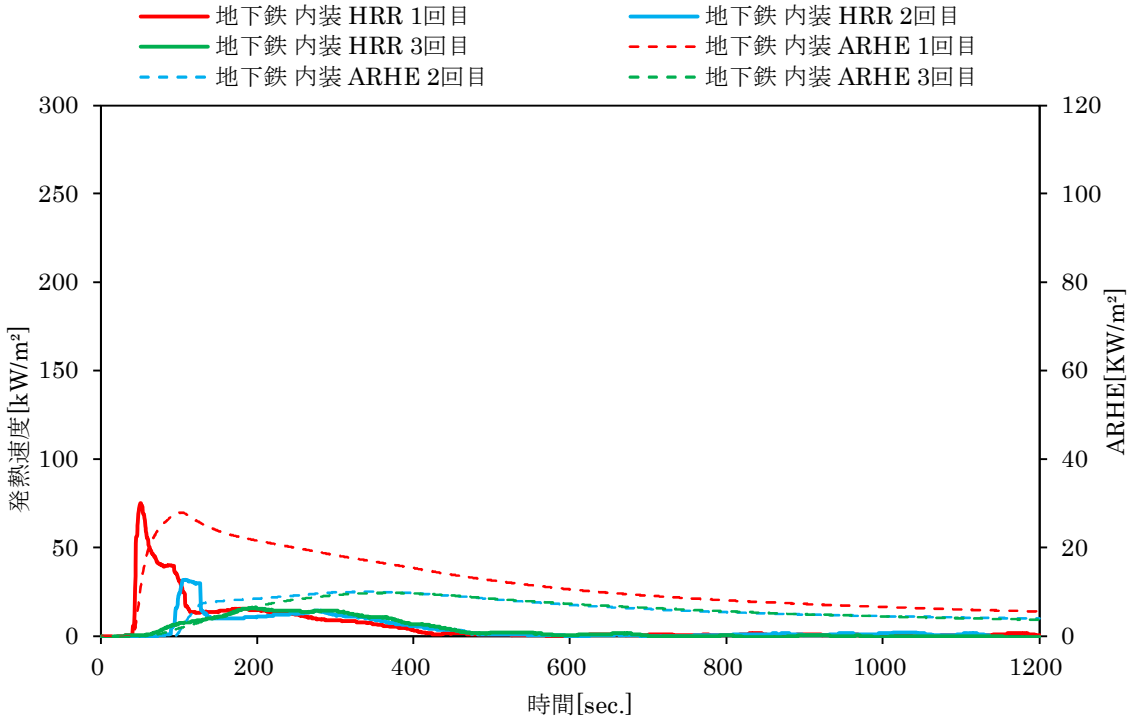


図 2.11　地下鉄 内装の発熱速度[kW/m²]と ARHE[kW/m²]

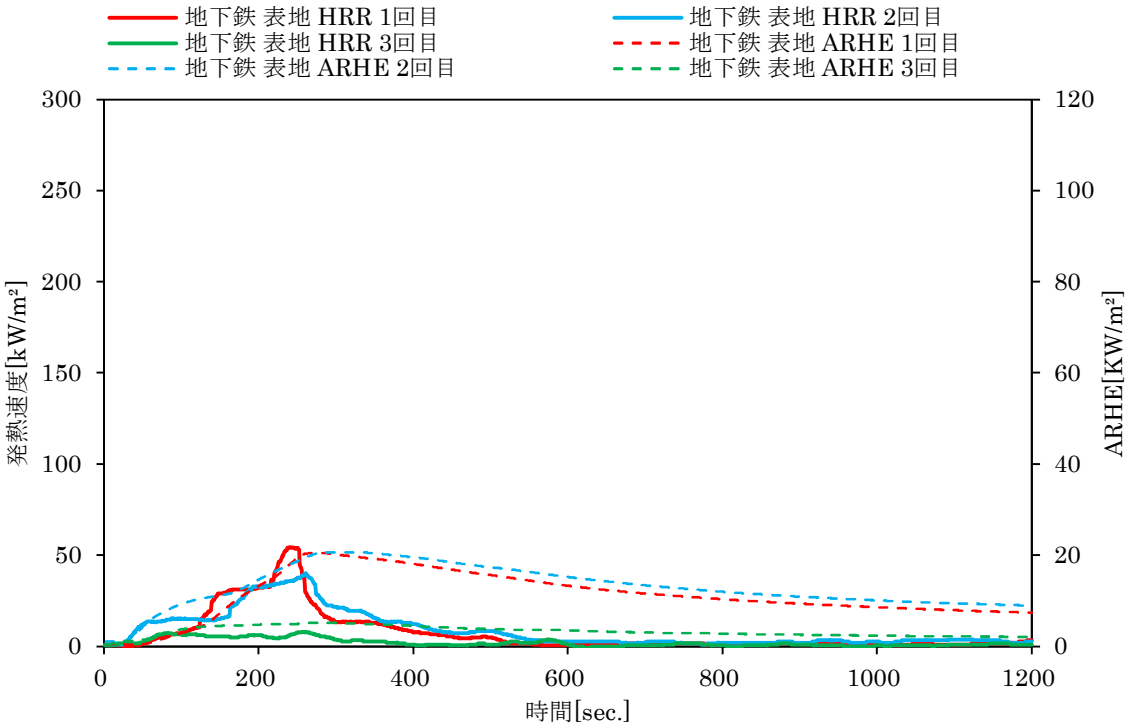


図 2.12　地下鉄 表地の発熱速度[kW/m²]と ARHE[kW/m²]

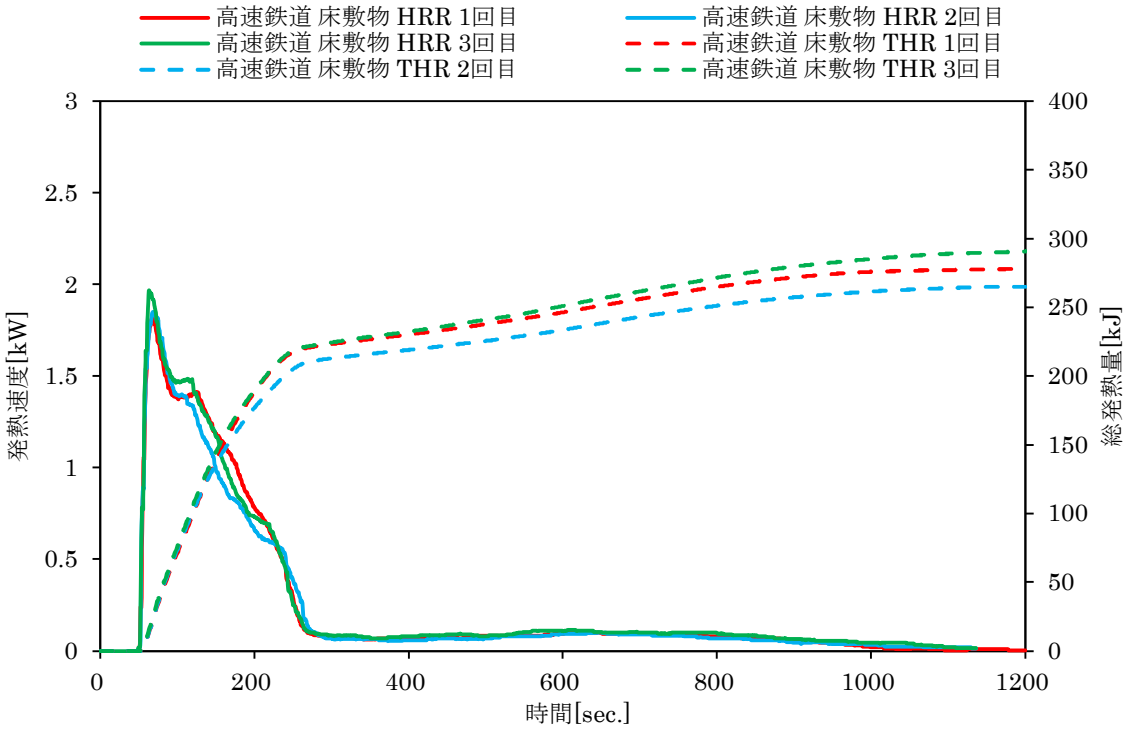


図 2.13　高速鉄道 床敷物の発熱速度[kW]と総発熱量[kJ]

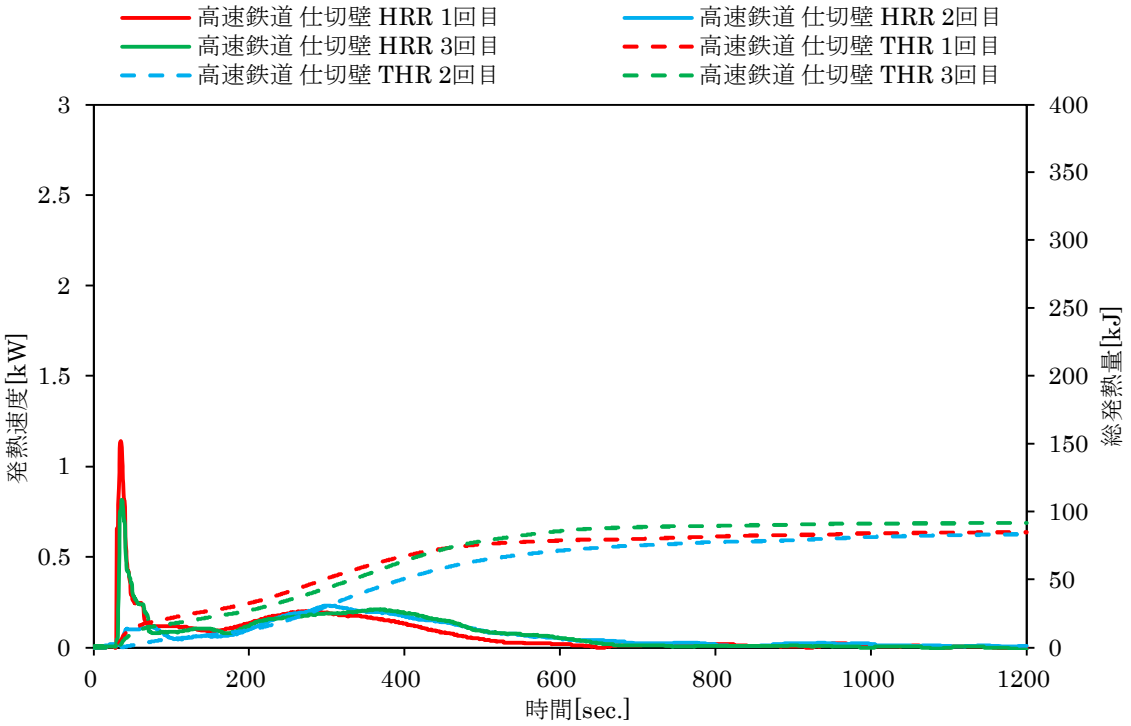


図 2.14　高速鉄道 仕切壁の発熱速度[kW] と総発熱量[kJ]

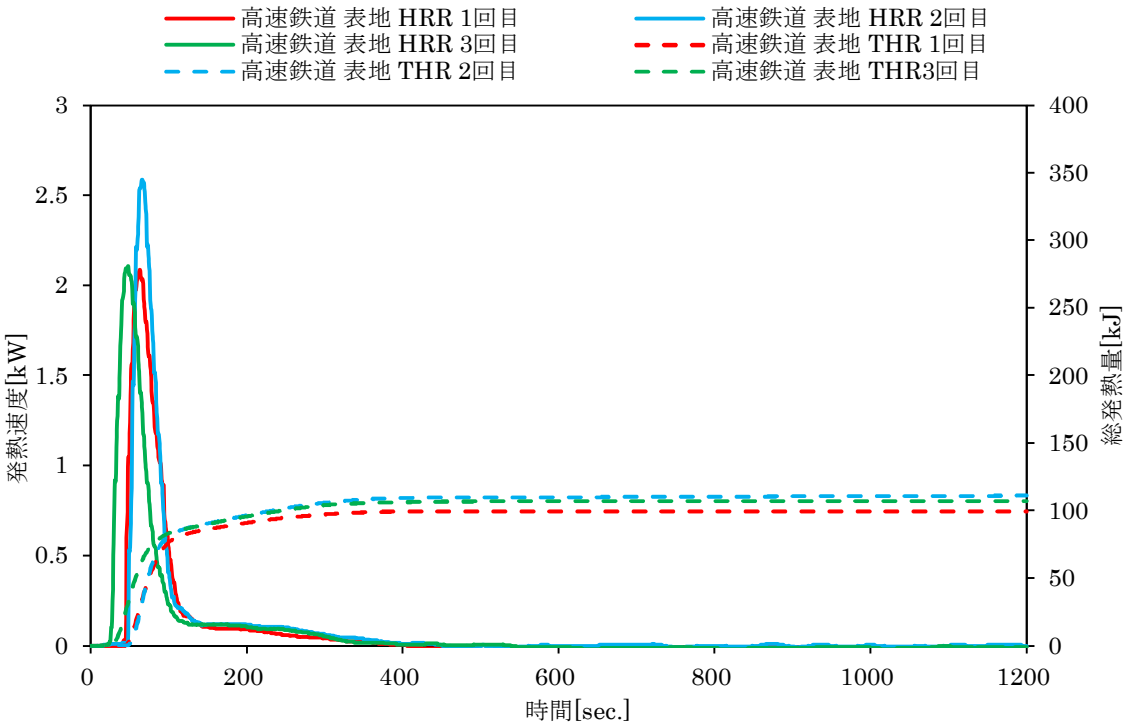


図 2.15　高速鉄道 表地の発熱速度[kW] と総発熱量[kJ]

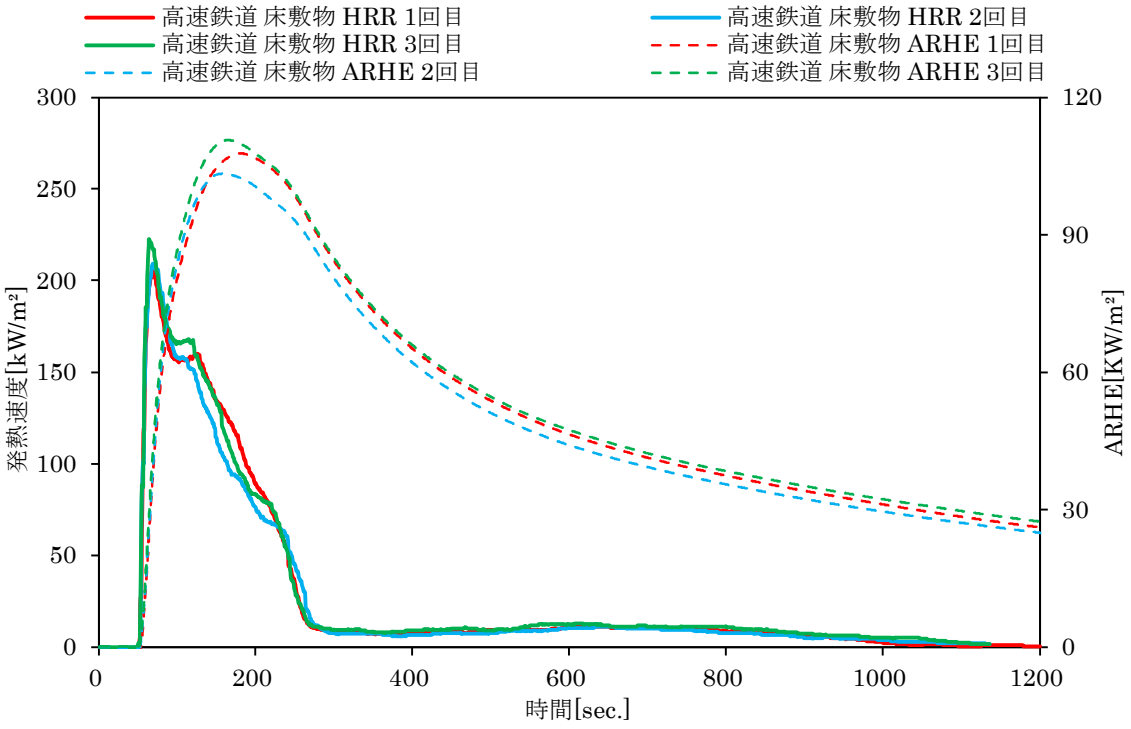


図 2.16　高速鉄道 床敷物の発熱速度[kW/m²]と ARHE[kW/m²]

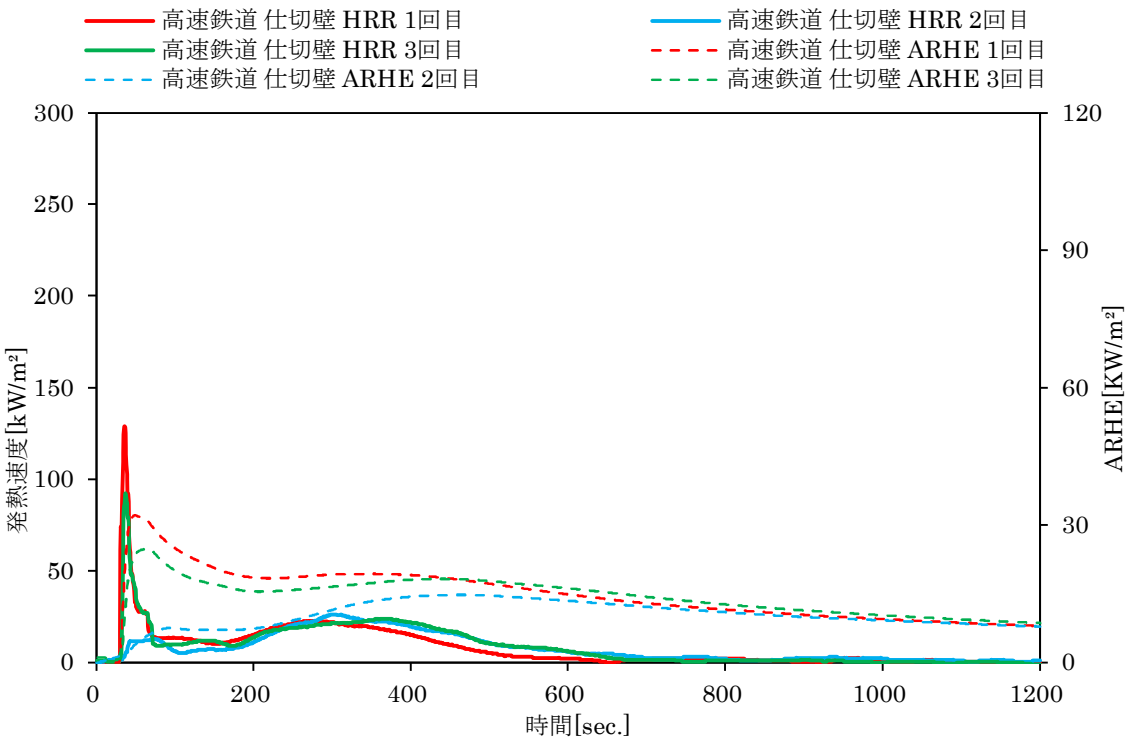


図 2.17　高速鉄道 仕切壁の発熱速度[kW/m²]と ARHE[kW/m²]

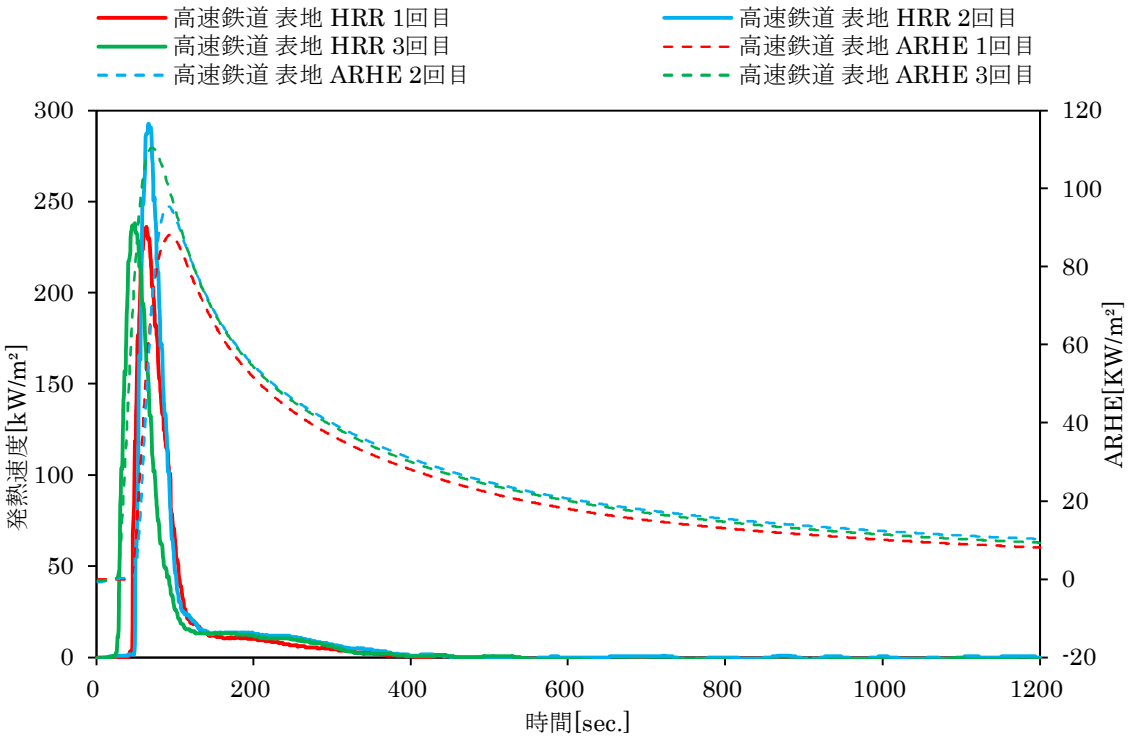


図 2.18　高速鉄道 表地の発熱速度[kW/m²]と ARHE[kW/m²]

＜評価結果＞

各材料の MARHE の評価結果を下記の表 2.1.3 に示す。

高速鉄道 表地を除いてすべての材料で HL3 という結果になった。これは、表 1.2.1 における全ての路線区分を満たし、概ねどの路線でも使用できる材料と考えられる。一方、高速鉄道 表地については基準値を超えたため、火災発生時に危険性が非常に高い材料である。なお、表 2.3.3 より床敷物については基準値がない。

表 2.1.3　各材料の評価結果

車種	在来線			地下鉄			高速鉄道		
材料	床敷物	側天井	表地 A	床敷物	内装	表地	床敷物	仕切壁	表地
MARHE	90.00	5.26	48.48	101.88	27.95	20.70	110.72	32.14	98.07
評価結果	-	HL3	HL3	-	HL3	HL3	-	HL3	over

3.　45°法試験の結果

表 3.1、3.2 に試験結果のまとめを、各材料の発熱速度（HRR）、総発熱量(THR)の結果を図 3.1 から図 3.9 に示す。また、火源であるエタノールの HRR と THR の結果を図 3.10 に示す。

表 3.1　45°法試験　発熱速度　計測結果（1/2）

試験片名称、試験回数	寸法 [mm]	厚さ [mm]	質量 [g]	質量減少量 [g]	着火時間 [sec.]	消炎時間 [sec.]	試験時間 [sec.]	燃焼面積 $\times 10^{-2}$[m^2]	平均発熱速度 [kW]	最大発熱速度 [kW]	総発熱量 [kJ]
在来線 表地１回目	258.00×183.00	3.00	30.13	0.30	13.05	59.25	84.80	0.19	0.11	0.29	19.07
在来線 表地２回目	258.50×182.00	3.00	28.80	0.23	14.94	41.30	99.14	0.18	0.09	0.27	15.79
在来線 表地３回目	258.50×183.00	3.00	30.16	0.60	15.15	62.43	87.99	0.25	0.14	0.46	20.43
地下鉄 表地１回目	263.00×192.00	4.10	42.00	1.05	13.13	67.09	81.86	0.38	0.09	0.32	14.99
地下鉄 表地２回目	263.00×193.00	4.10	42.02	1.09	11.12	63.58	81.86	0.40	0.10	0.34	17.86
地下鉄 表地３回目	261.50×190.00	4.10	41.61	1.09	10.84	69.06	82.42	0.45	0.16	0.36	16.21
高速鉄道 表地１回目	263.00×192.50	3.00	27.98	0.25	14.53	98.90	77.95	0.26	0.09	0.28	13.95
高速鉄道 表地２回目	263.00×193.00	3.00	28.03	0.32	18.22	110.20	86.65	0.24	0.09	0.27	16.27
高速鉄道 表地３回目	262.50×191.00	3.00	27.35	0.17	16.83	108.79	85.59	0.28	0.09	0.27	16.25
在来線 床敷物１回目	257.50×182.00	3.00	168.77	0.61	19.58	75.52	80.95	0.24	0.10	0.34	18.22
在来線 床敷物２回目	257.00×183.00	3.00	169.29	0.81	17.82	86.21	87.95	0.26	0.13	0.37	23.94
在来線 床敷物３回目	257.00×184.50	3.00	170.66	0.91	16.07	86.46	90.48	0.25	0.11	0.30	19.34
地下鉄 床敷物１回目	257.00×182.00	3.00	219.07	0.49	17.33	90.36	87.54	0.32	0.08	0.28	13.81
地下鉄 床敷物２回目	257.25×182.00	3.00	219.26	0.56	16.98	83.76	87.78	0.28	0.08	0.29	15.03
地下鉄 床敷物３回目	256.00×182.50	3.00	216.99	0.54	20.75	82.13	87.23	0.34	0.10	0.32	18.58
高速鉄道 床敷物１回目	258.00×182.00	2.00	120.22	0.95	19.80	72.64	81.32	0.30	0.13	0.40	19.76
高速鉄道 床敷物２回目	257.50×182.50	2.00	121.28	1.23	22.56	81.03	86.37	0.36	0.12	0.39	19.90
高速鉄道 床敷物３回目	258.00×182.50	2.00	120.25	1.34	21.48	80.00	87.91	0.36	0.13	0.41	19.06

表 3.2　45°法試験　発熱速度　計測結果（2/2）

試験片名称、試験回数	寸法 [mm]	厚さ [mm]	質量 [g]	質量減少量 [g]	着火時間 [sec.]	消炎時間 [sec.]	試験時間 [sec.]	燃焼面積 $\times 10^{-2}$[m^2]	平均発熱速度 [kW]	最大発熱速度 [kW]	総発熱量 [MJ]
高速鉄道 内装１回目	257.00×182.00	3.00	274.55	0.03	（着火なし）		81.37		0.09	0.18	9.60
高速鉄道 内装２回目	257.00×182.00	3.00	273.95	(0.03)※り	（着火なし）		93.50		0.07	0.16	8.20
高速鉄道 内装３回目	257.00×182.00	3.00	274.81	0.03	（着火なし）		87.73		0.07	0.17	10.24
エタノール単体１回目	257.00×182.00	1.40	152.40	0.03	（着火なし）		80.56		0.06	0.15	7.76
エタノール単体２回目	257.00×182.00	1.40	152.37	0.12	（着火なし）		86.47		0.06	0.18	9.70
エタノール単体３回目	257.00×182.00	1.40	151.51	0.06	（着火なし）		90.15		0.08	0.19	10.68
高速鉄道 内装１回目	257.00×182.00	1.60	158.38	0.14	（着火なし）		86.70		0.07	0.17	12.14
高速鉄道 内装２回目	257.00×182.00	1.60	158.11	0.09	（着火なし）		90.37		0.08	0.17	9.89
高速鉄道 内装３回目	257.00×182.00	1.60	158.24	0.13	（着火なし）		88.08		0.07	0.19	12.63
エタノール１回目			0.40				90.22		0.06	0.18	9.90
エタノール２回目			0.38				88.79		0.07	0.18	11.10
エタノール３回目			0.36				85.19		0.06	0.19	9.66

※り質量減少量における（　）内の数値は、試験前に対して質量が増加したことを示す。

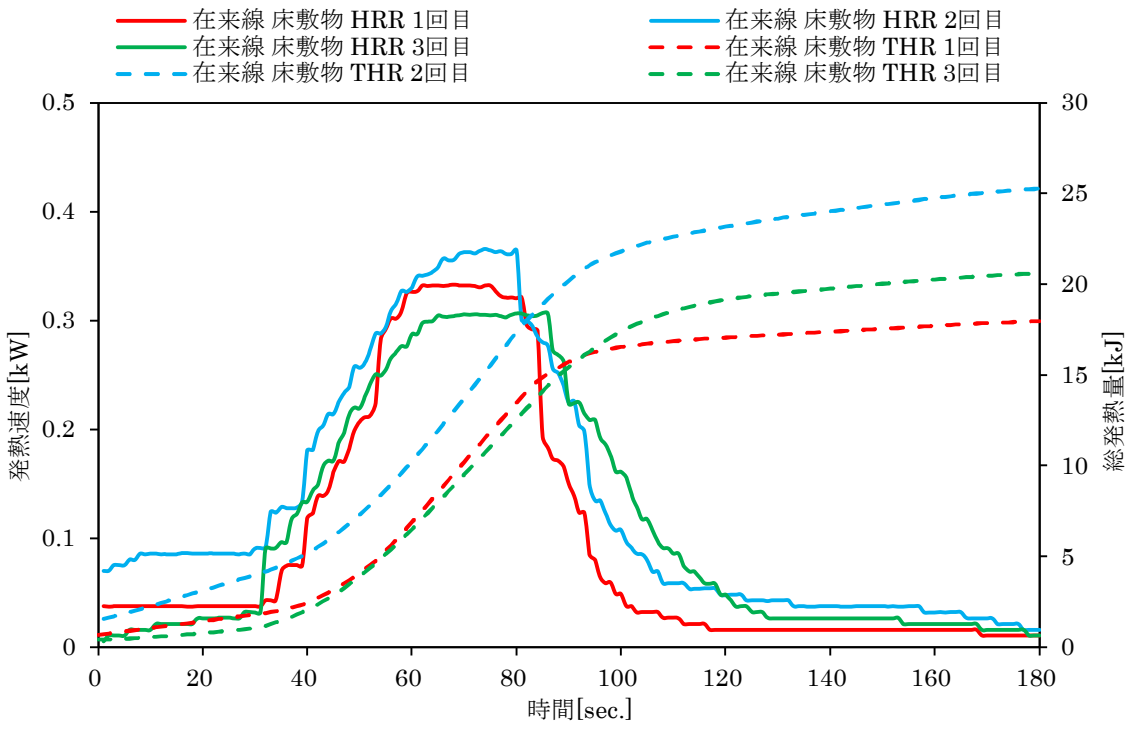


図 3.1　在来線 床敷物の発熱速度[kW] と総発熱量[kJ]

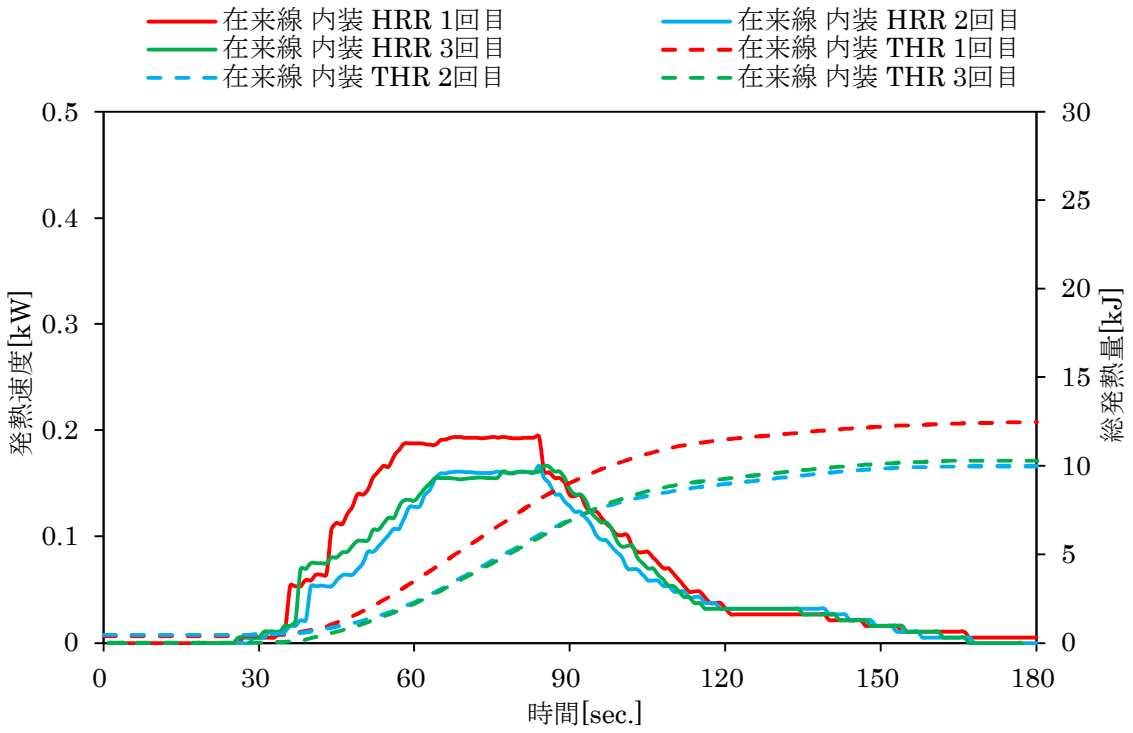


図 3.2　在来線 内装の発熱速度[kW] と総発熱量[kJ]

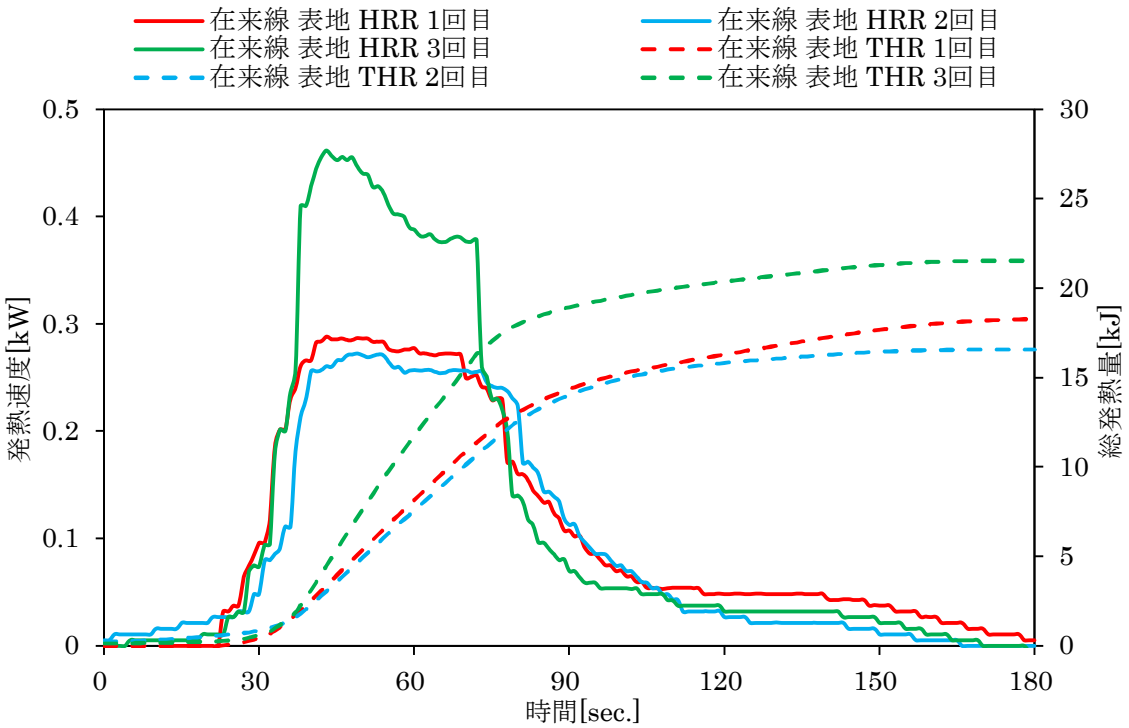


図 3.3　在来線 表地の発熱速度[kW] と総発熱量[kJ]

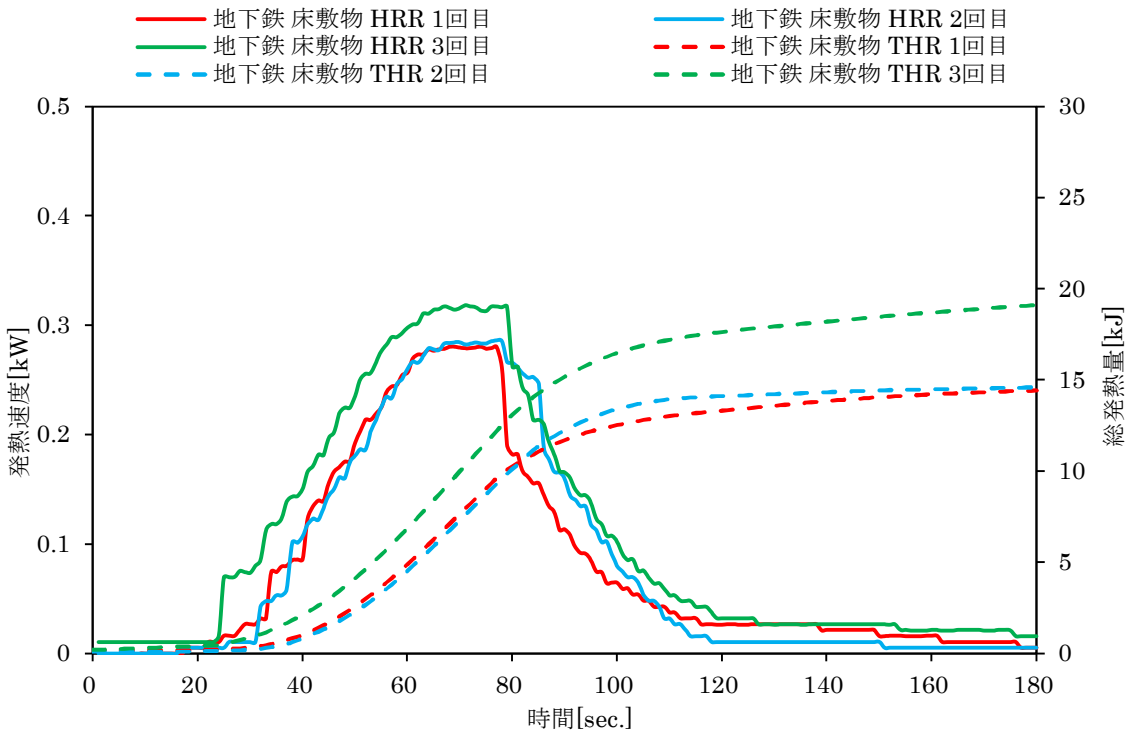


図 3.4　地下鉄 床敷物の発熱速度[kW] と総発熱量[kJ]

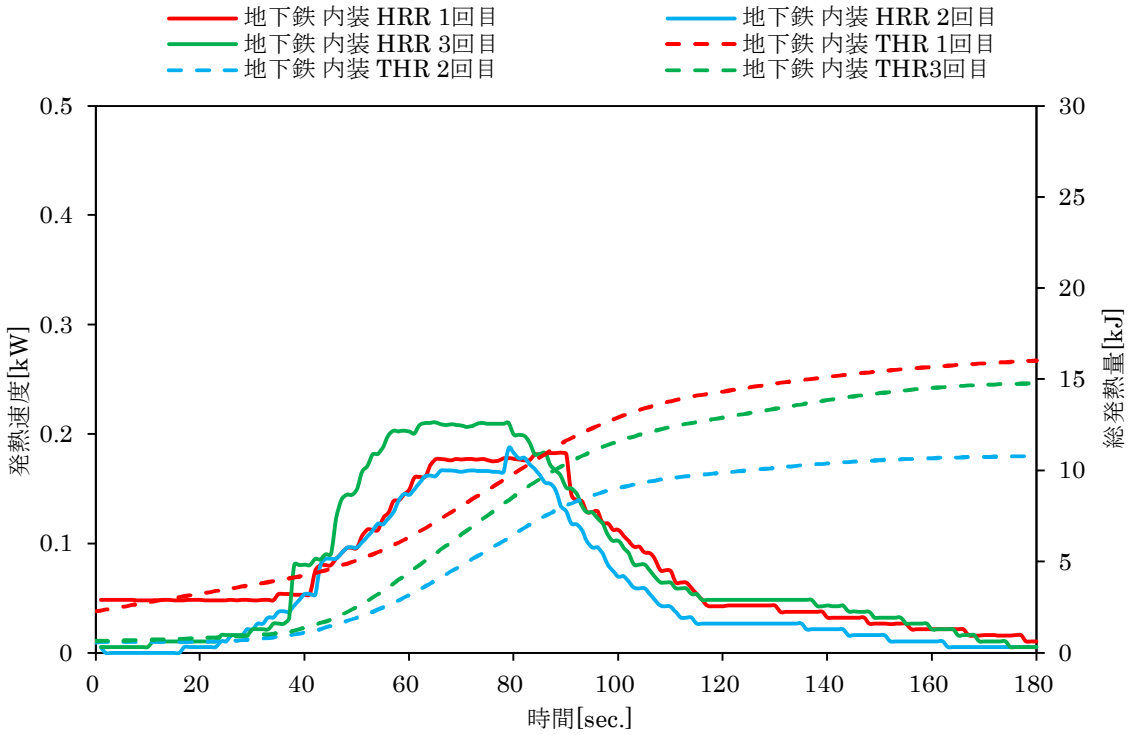


図 3.5　地下鉄 内装の発熱速度[kW] と総発熱量[kJ]

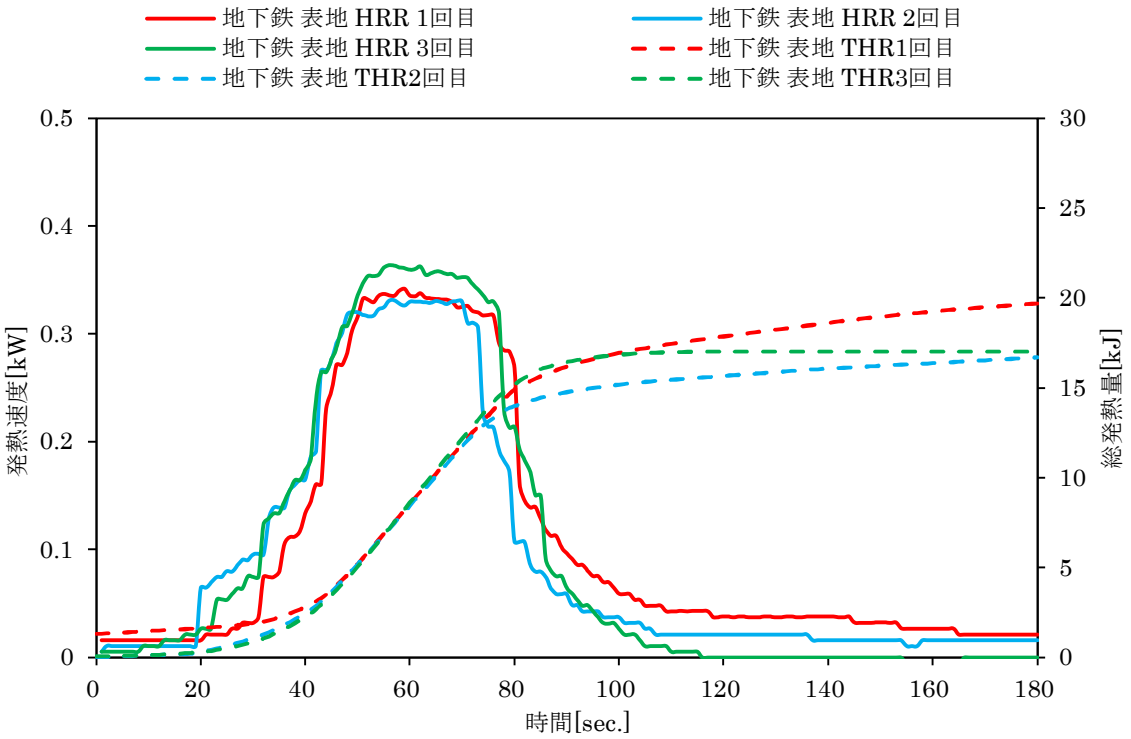


図 3.6　地下鉄 表地の発熱速度[kW] と総発熱量[kJ]

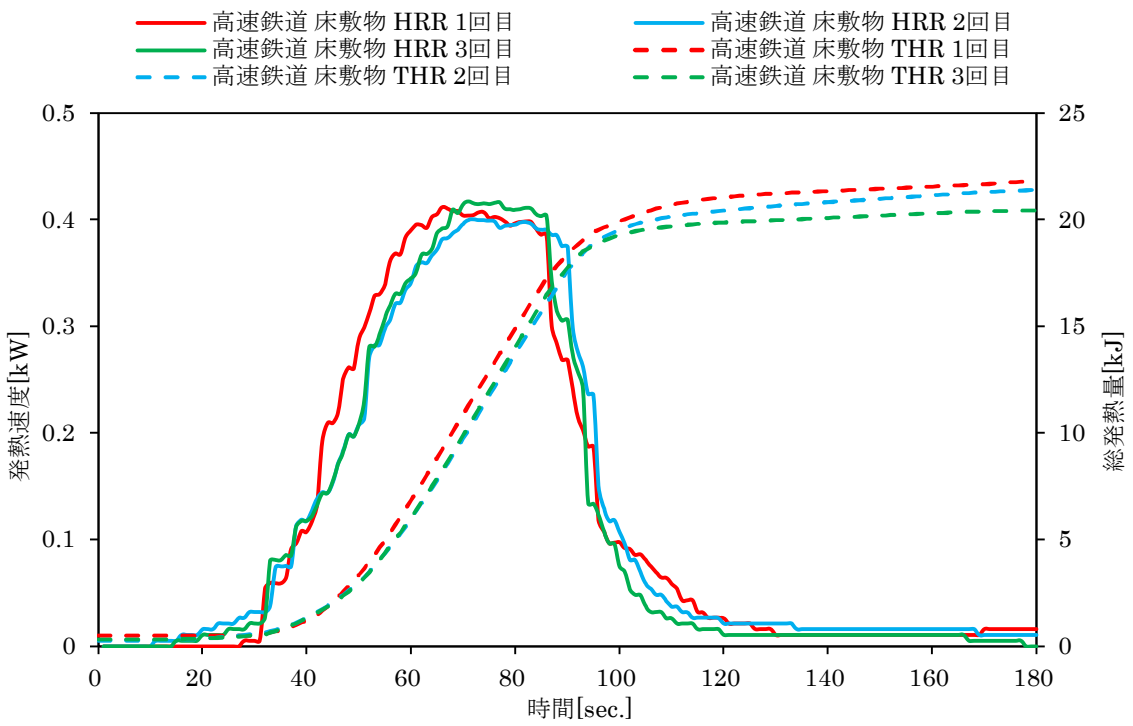


図 3.7　高速鉄道 床敷物の発熱速度[kW] と総発熱量[kJ]

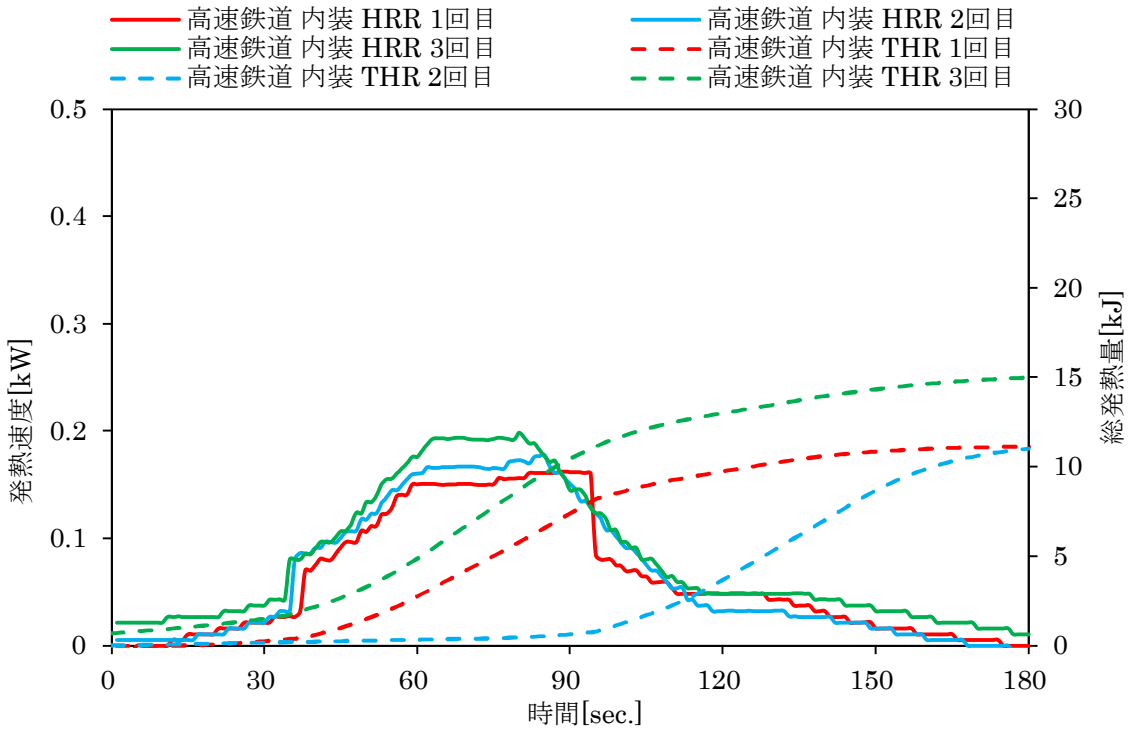


図 3.8　高速鉄道 内装の発熱速度[kW] と総発熱量[kJ]

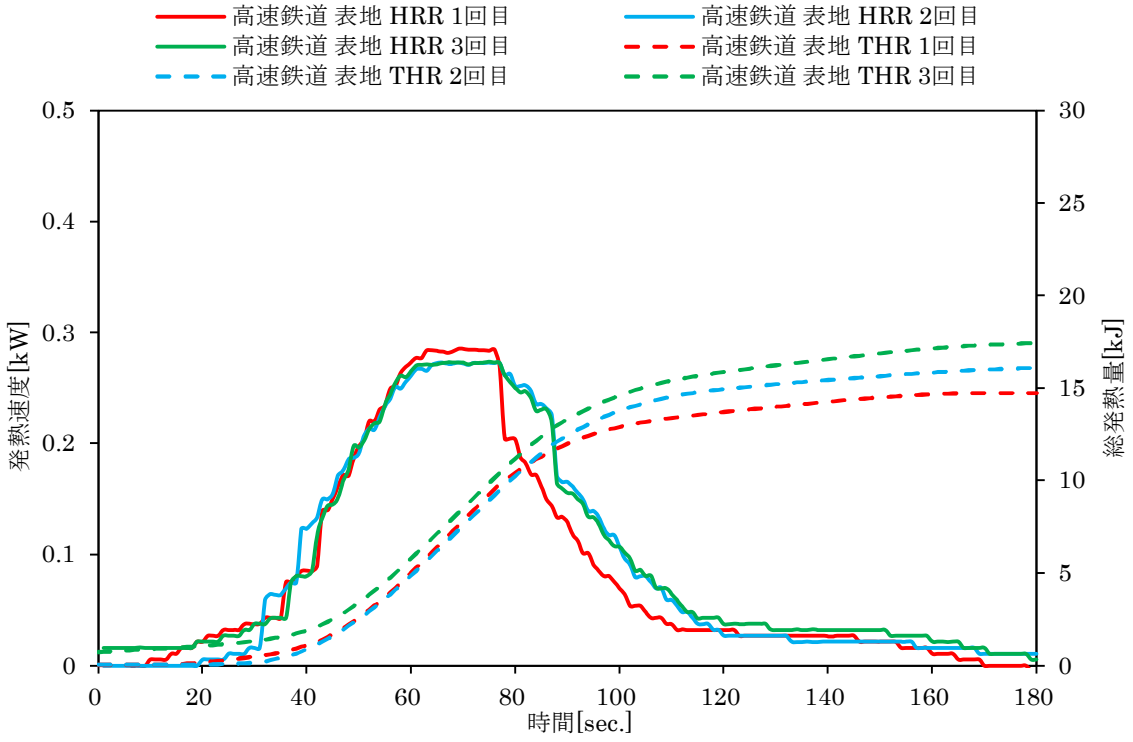


図 3.9　高速鉄道 表地の発熱速度[kW] と総発熱量[kJ]

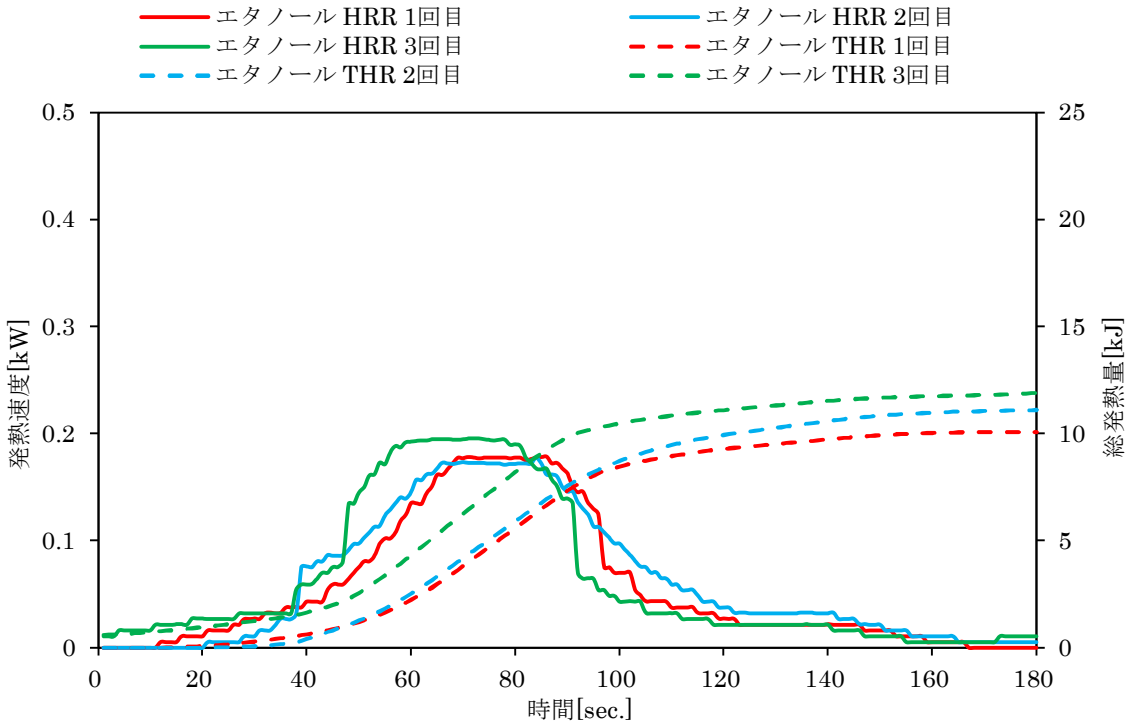


図 3.10　エタノールの発熱速度[kW] と総発熱量[kJ]