

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 2 発煙性とガス毒性に関する考察 —

東京理科大学
工学部第二部建築学科
辻本研究室

5113006 池川 菜摘
5113015 大島 美由紀

目次

第1章 序論	1
1.1 国内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
1.2 国外の鉄道車両の火災対策基準	15
(欧州における鉄道車両の火災対策規格)	
1.3 研究の目的	32
1.4 論文の構成	33
第2章 実験概要	35
2.1 実験目的	36
2.2 試験を実施する鉄道車両用材料	36
2.3 各国試験方法の概要及び実験条件	37
2.3.1 欧州における試験方法	37
(ISO 5659-2 FTIR を用いたシングルチャンバ試験)	
2.3.2 日本における試験方法 (45° 法試験)	42
第3章 試験結果の比較・考察	45
3.1 計測結果	46
3.1.1 各種試験における試験前後の試験体	46
3.1.2 比光学密度(D_s)および VOF_d について	54
3.1.3 ガス濃度	63
3.1.3.1 ガス濃度の補正について	63
3.1.3.2 材料から生成された各ガス濃度	69
3.1.4 考察	72
3.2 各材料の評価	73
3.2.1 毒性の指数(CIT_G)	73
3.2.2 考察	77
3.3 試験結果の分析	78
3.3.1 発煙係数	78
3.3.2 材料における単位質量当たりのガス濃度	80
3.3.3 考察	81
第4章 総括	83
参考文献・引用文献	85
謝辞	86
付録	87

1. 序論

1.1 国内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、国内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。しかし近年、2015年の東海道新幹線放火事件のような車両火災が発生し、火災により生成された高温の煙・ガスを吸引した乗客1名が死亡するという惨事が発生した。

事件の概要は以下のとおりである。

東海道新幹線火災事件¹⁾

発生日時： 2015年6月30日 午前11時30分頃

発生場所： 神奈川県小田原市上町

概況： 新横浜 - 小田原間を走行していた、東京発新大阪行き「のぞみ225号」(N700系X59編成)の先頭の1号車で、男がガソリンをかぶりライターで火を着け炎上し、火災が発生した。列車は、小田原市上町で緊急停車し、火は乗務員(運転士)が車内に備え付けられていた消火器で消し止めた^[2]。

男は1号車の客室内最前部辺りで火を着け、同客室の前方の運転室との間のデッキで倒れ死亡。司法解剖の結果、男の死因は焼死と判明した。煙は1号車だけでなく隣の2号車にまで充満したため、他の乗客は3号車より後方に避難したが、巻き添えとなったとみられる乗客の女性が、1号車後方のデッキで倒れ死亡しているのが発見された。司法解剖の結果、女性の死因は気道熱傷による窒息死と判明した。

1号車の1-3列目付近の座席はシートが焼け落ち骨組みだけになり、樹脂製の窓やカバーが高熱で溶けるなど、激しく燃えており、1号車内の前方半分の座席が燃えて骨組みが露出するなどしていた。(図1.1.1.1参照)

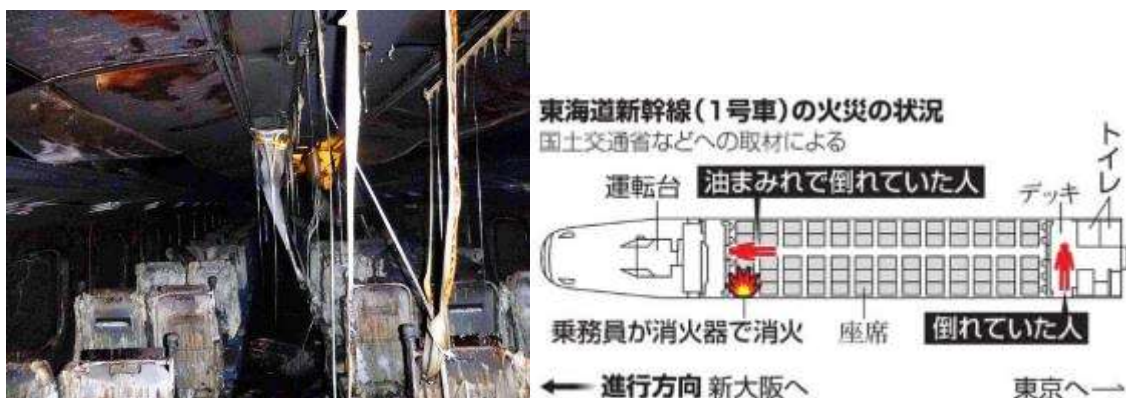


図 1.1.1.1 被害状況(前方からの客室内)

1.1.2 鉄道車両の火災対策基準とその変遷^{2),3),4),5),6),7),8),9)}

我が国における鉄道火災に対する基準は過去に発生した様々な鉄道火災事故等を教訓に改善されてきた。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。

以下に過去の鉄道火災事故、燃焼試験及び火災対策基準の変遷を表 1.1.2.1 に示す。

表 1.1.2.1 過去の鉄道火災事故、燃焼試験及び火災対策基準の変遷

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について(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

○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。**

○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、 $C_s = 0.1 [1/m]$ 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も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。

○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 $120\text{kW/m}^2 \sim 150\text{kW/m}^2$ 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 $2\% \sim 3.5\%$ 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。

日本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 категорияで評価している。

しかし、韓国大邱地下鉄放火事件のような、激しく燃焼するガソリンを用いた試験は実施されていない。人為的な放火等については、火源の種類や量、発生する車両の部位等に関して、これらを予測することは非常に困難であるが、韓国で起きたようなことは日本でも起きる可能性があり、大邱地下鉄放火事件と同じような条件でガソリンに火を付けられたらどうなるかを踏まえて、今後、試験方法等を検討する必要がある。

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 1.1.2.1 に示すように、B5 判の試験体($182\text{mm} \times 257\text{mm}$)を 45 度傾斜して保持し、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 (25.4mm) 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、燃え尽きるまで放置する。

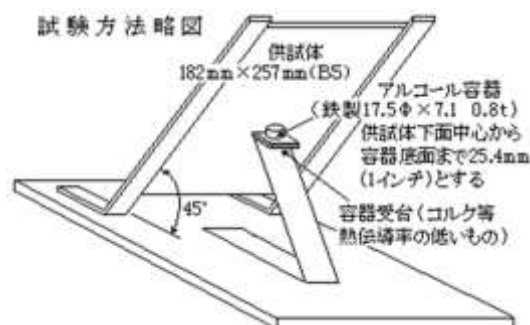


図 1.1.2.1 45° 法試験概略図

燃焼性状の判定は、表 1.1.2.2 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、着火、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。また、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。

表 1.1.2.2 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	着火	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

「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 1.1.2.3 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。

同試験では、発熱速度及び発煙量を「酸素消費法」と呼ばれる方法によって求めている。これは、燃焼によって生ずる発熱量は、燃焼する物質の重量当たりで考えると物質ごとに大きく異なるものの、燃焼によって消費される酸素の量を基準にして用いると、物質の種類に依存せず、ほぼ一定の数値を示すことを利用している。(酸素 1kg 当たり 13.1MJ)

表 1.1.2.3 鉄道車両用材料の耐燃焼性評価基準

総発熱量 (MJ/m ²)	着火時間 (sec.)	最大発熱速度 (kW/m ²)
8 以下	—	300 以下
8 を超え 30 以下	60 以上	

鉄道車両用材料、車両の電線及び機器等の火災対策

鉄道車両用材料、電線及び機器等の火災対策は、45° 法試験の結果に基づいて、表 1.1.2.4 および表 1.1.2.5 に示すように規定される。

表 1.1.2.4 車両の電線及び機器等の火災対策

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つては、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。）

表 1.1.2.5 旅客車の火災対策

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(特高压の電車線を除く)区間を走行する旅客電車に限る)			○	○		
	屋根上面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(特高压の電車線を除く)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		○	モ			モ

			がありやむを得ない理由がある場合は難燃性		準			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

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が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る。

燃焼生成ガスの毒性による安全性について

(a) 小火源火災の場合

(a-1) 車両床下機器からの出火

車両床下には様々な機具が取り付けられているが、これらが漏電・発火して車両の床板を焼き、車両火災になることがある。しかし、ほとんどの場合、床下機器の出火が車内に影響する前に発見・対処が行われるため、車内に毒性ガスが発生する前に乗客は避難することができる。よって、このような出火について考慮する必要性はないと考えられている。

(a-2) タバコの火など、乗客の持ち込む小さな火種による出火

現在(2003年)の内装材に用いられている材料については、不燃性・難燃性のものを使用されており、これらの材料はすべて自己消火性を持つため、燃え広がることはないと考えられている。

しかし、不燃性・難燃性の材料とはいえ、炎が小さくても継続的に熱を受ければ、着火・変形・変色等が起こる。現在使用されている内装材は以下の表 1.1.2.5 に示すようなものである。

表 1.1.2.5 使用材料表

モケット (座席表地)	ナイロンモケット
	エステルモケット
	ポリエステル/アラミドモケット
	ナイロン/ウールモケット
天井・壁面化粧板	メラミン樹脂
床上敷物	塩化ビニル樹脂
	ゴム
	オレフィン樹脂

各使用材料の燃焼試験について、30分～60分危険濃度 (ppm) に対する判定を行う。ただし、下記の各結果は、個別の実験を表記の項目量に換算した結果のみを示すものである。また、車両容積は各結果すべて

$V_A = 112m^3$ (20m 一般車両想定) であるとする。

(i) モケット(座席表地・4種類)

【3人掛け腰掛背ずり・1客分のモケットを燃焼】

	HCN	CO	NO _x
濃度 (ppm)	1.6～2	23～80	2.8～28
30分～60分危険濃度 (ppm)	110～135	1,500～2,000	117～154

モケット1脚分を車両内で燃焼させても、有毒ガス濃度は許容値を大幅に下回っており、乗客の避難に支障はないことを確認。

(ii) 天井化粧板 (メラミン樹脂アルミ板)

【天井メラミン樹脂付きアルミ板 2m²を燃焼】

	CO	CO ₂	SO ₂	HCl	HCN	NO _x
濃度 (ppm)	286	6,550	2	23	5	29
30分～60分危険濃度 (ppm)	1,500～ 2,000	50,000～ 67,000	5	1,000～2,000	110～135	117～154

天井部分メラミン樹脂アルミ板 2m²を車内で燃焼させても、有毒ガス濃度は許容を大幅に下回っており、乗客の避難に支障はないことを確認。

(iii) 床上敷物(塩化ビニル樹脂)

【30cm角・板厚 3mm の塩化ビニル製床上敷物を燃焼】

	HCN	CO	CO ₂	HCl
濃度 (ppm)	1.4	920～1,190	1,250～1,400	165～236
30分～60分危険濃度 (ppm)	110～135	1,500～2,000	50,000～67,000	1,000～2,000

30cm角・板厚 3mm の塩化ビニル製床上敷物を室内で燃焼させても、有毒ガス濃度は許容値を大幅に下回っており、乗客の避難に支障はないことを確認。

(b) 大火源火災の場合

ガソリン放火による火災の毒性ガスについては、内装材の燃焼により発生するものよりも、ガソリンの燃焼により発生するものが支配的である。そのため、大火源を想定した車両材料の燃焼による毒性ガスの抑制を義務付ける意義は低いものと考えられている。

下記の地下鉄車両火災実験(火源：ガソリン 4L)によると、ガソリンの燃焼により生じた毒性ガスは、発火後 30 秒～1 分程度で表のように許容値を大幅に超過する数値が示された。(表 1.1.2.6 参照)

表 1.1.2.6 地下鉄車両内・ガソリン 4L 燃焼実験

	実験における値	短時間暴露で致死する値	比較結果
CO 濃度	最大値 35,000ppm	13,000ppm 以上	致死量以上
CO ₂ 濃度	最大値 16%	20%以上	致死量以下
O ₂ 濃度	最小値 2%	6%以下	致死量以下

出展：「地下鉄車両火災実験データ（速報）（本実験）」鉄道総研・消防庁、平成 15 年

1.2 国外の鉄道車両の火災対策基準(欧州における火災防護に関する規格)

これまで、欧州は各国独自の基準を設けて対応してきた。しかし、各国の基準と法律体系が複雑になってしまい、国際列車が多く運行される欧州では鉄道車両の認可手続きも複雑になり、統一規格の開発が望まれていた。

欧州各国は 1991 年に各国で共通な車両の安全要求事項をまとめる EN 45545 規格開発に着手した。1997 年～2000 年にかけて行った FIRESTARR 研究プロジェクトの結果を踏まえて、EN 45545 は 2009 年に技術仕様書(EN TS45545)としてまとめられた。2009 年からは TRANSFEU 研究プロジェクトを開始し、2013 年 3 月に欧州規格 EN45545 が制定された。

EN 45545 シリーズは、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 部及び第 2 部に記載されている。

欧州規格が日本の基準と異なる点は、日本の技術基準を定める省令及び解釈基準が材料の燃焼性に重点をおいて評価しているのに対し、欧州規格は燃焼時の火炎、発煙状況、毒性ガスの発生という 3 つの要素を基に規格を定め「FIRST」と呼ばれる燃焼特性(延焼性(Flame spread)、着火性(Ignitability)、発熱性(Heat Release rate)、発煙性(Smoke opacity)、ガス毒性(Toxicity)の全てに対して基準を構築している点である。

EN 45545-1 で、鉄道車両のタイプ、運航区間等、路線区分と車両区分という 2 つの点から車両の種類を分類し、EN 45545-2 で、これらのカテゴリーを組み合わせる危険レベル分類(Hazard levels) HL1～HL3 を設定し、どの要求事項を適応するか判断することになっている。

路線区分には、車両の運転区間、火災発生時の車両の走行能力及び乗客の避難箇所により、以下の 4 つに分類される。

(1) 路線区分 1

運転区間は地上区間で 1km 以下のトンネル、高架区間、橋梁が存在する。走行中の車両は直ちに停止でき、即座に安全エリアに到達できるインフラ状態で運転される車両とする。

国内該当例：路面電車、LRT 等

(2) 路線区分 2

運転区間は地上および地下区間で、5km 以下のトンネル、高架区間、橋梁が存在する。車両の側面退

避が可能で、乗客の安全な場所を提供する駅または救援駅へ短時間(4分以内)で到達可能である車両とする。

国内該当例：都市近郊路線等を走行する車両

(3) 路線区分 3

運転区間は地上および地下区間で、5kmを超えるトンネル、高架区間、橋梁が存在する。車両の側面退避が可能で、乗客の安全な場所を提供する駅または救援駅へ長時間(15分以内)で到達可能である車両とする。

国内該当例：長大トンネル等を含む区間を走行する車両

(4) 路線区分 4

運転区間は地上および地下区間で、5km以下のトンネル、高架区間、橋梁が存在する。車両の側面退避が不可能で、乗客の安全な場所を提供する駅または救援駅へ短時間(4分以内)で到達可能である車両とする。

国内該当例：地下鉄道車両、狭小トンネル等を走行する車両

車両区分は、路線区分に対して付加的に与えられる。

A:車両に非常時訓練を受けたスタッフがいない自動運転を行う列車の車両

D:二階建て車両

S:寝台車及びクシェット車両

N:その他の全車両(標準車両)

路線区分と車両区分の組み合わせにより設定される HL1 から HL3 の危険レベル分類を表 1.2.1 に示す。

表 1.2.1 ハザードレベルの分類

路線区分	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

材料のグルーピング

EN 規格では、図 1.2.1 に示す手順に沿って、鉄道車両用材料を細かく分類（以降、グルーピング）し、対象となる鉄道車両用材料は、設計上の設置場所、材料の形状及び配置、暴露面及び材料の相対質量と厚さによってグルーピングされ、これに加えて大まかな設置場所（内装または外装）、その材料固有の用途（装飾品、電気機器または機械機器）等によりグループに区分されている。このグループの中では、個々の材料に対し火災の拡大を適切なレベルに保つ能力を定義した要件が R1 から R26 まで付与されている。表 1.2.2 に要件を列挙する。

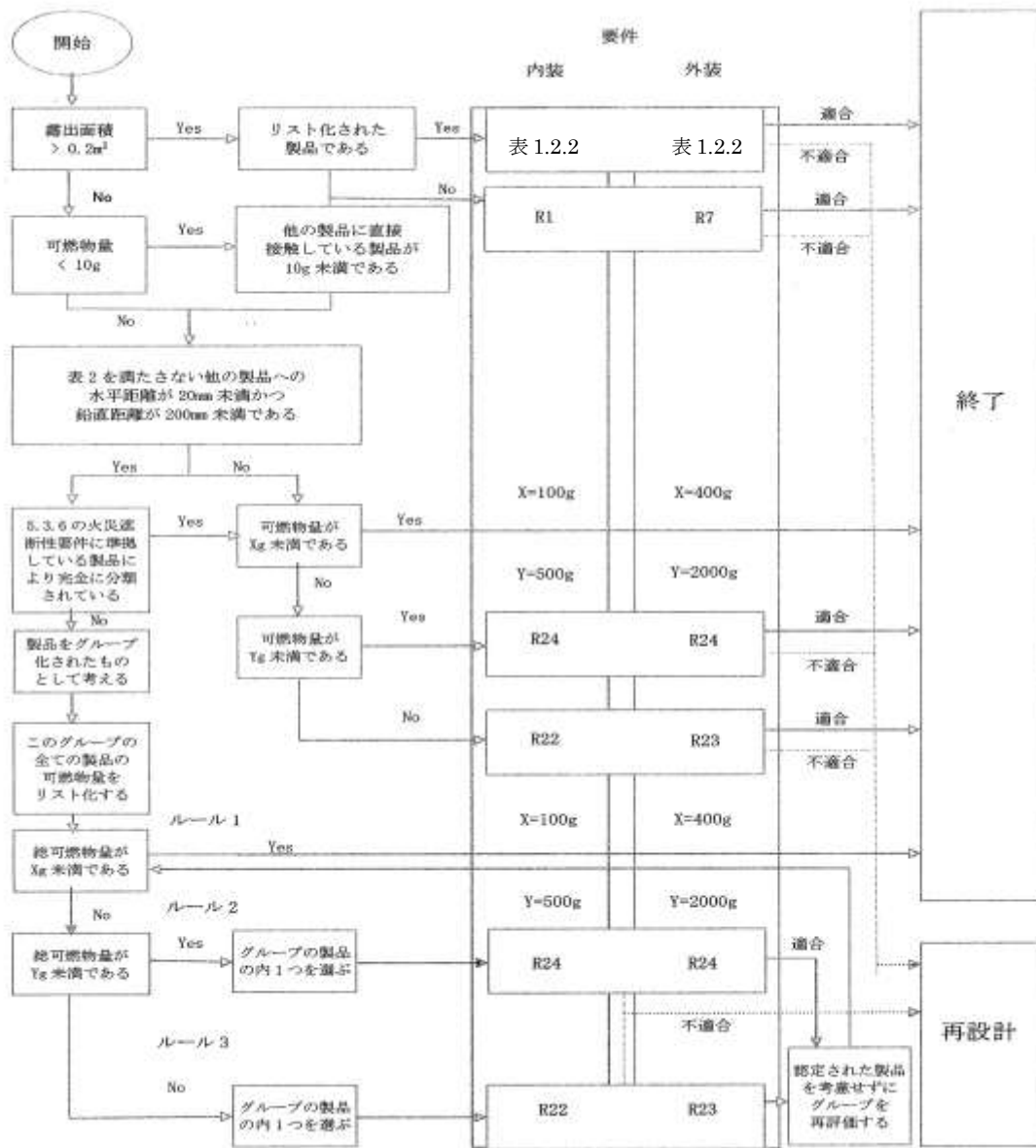


図 1.2.1 フローチャート

表 1.2.2 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		T10.01	発煙性	600	300	150
IN6A	貫通路膜の室内側						
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		T11.01	ガス毒性	1.2	0.9	0.75
IN12B	空気ダクト-外部表面						
IN14	旅客情報装置						
F5	寝台およびベッドの裏面	R2	T02	延焼性	13 ^a		
IN2	面積が 0.02m ² 以下の表面		T03.01	発熱性・着火性	- a	- a	90
IN9A	化粧室の洗面台		T10.01	発煙性	600	300	150
			T10.02	発煙性	1200	600	300
IN10	コンテナ (槽)	R2	T11.01	ガス毒性	1.2	0.9	0.75

表 1.2.2 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	エアークリフター	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
F1D	旅客座席のシェル-背面		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

表 1.2.2 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	外部ボディシエルの壁		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	外部ボディシエルの台枠									
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	外部ボディシエルの屋根	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 1.2.2 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	R10	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 1.2.2 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 ^b	T06	発熱性・着火性	75	50	20
			T06		350		
F2	乗務員室の座席	R19	T03.02	発熱性・着火性	75	50	50

表 1.2.2 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 1.2.2 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
EL9	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 1.2.3 に参照文書の試験条件の概要について示す。

表 1.2.3 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	<i>OI</i> [通常は%で報告]	最小限度	<i>OI</i> 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)	<i>CFE</i> [kW/m ²]	最小限度	<i>CFE</i> 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)	<i>MARHE</i> [kW/m ²]	最大限度	<i>MARHE</i> 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。 <i>ARHE</i> と <i>MARHE</i> 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 1.2.3 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 (コーンカロリメータ法)	<i>MARHE</i> [kW/m ²]	最大限度	<i>MARHE</i> 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。 <i>ARHE</i> と <i>MARHE</i> 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	<i>CHF</i> [kW/m ²]	最小限度	<i>CHF</i> 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 1.2.3 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[°C]	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 1.2.3 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_5 [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。 $D_5(4)$ 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 1.2.3 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	VOF_4 は、試験の最初の4分間の比光学密度(D_s)の累積値。 試験時間は10分。 放射加熱強度 50kW/m^2 、口火なし。
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	$D_s \text{ max}$ [無次元]	最大限度	$D_s \text{ max}$ 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	$D_s \text{ max}$ [無次元]	最大限度	$D_s \text{ max}$ 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_6 [無次元]	最大限度	CIT は、毒性の従来指数(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_6	最大限度	CIT は、毒性の従来指数(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 1.2.3 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	

a (18 頁, 19 頁, 20 頁, 21 頁, 22 頁, 25 頁, 26 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※、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 (22 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。

※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 研究の目的

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、欧州では路線区分及び車両区分の組み合わせにより日本よりも多くの危険レベル(HL)を分類されている。

(2) 燃焼性評価の考え方の相違について

日本の規格では主に材料の着火性及び発熱性に重点を置いているのに対し、欧州規格では、着火性、発熱性、延焼性、発煙性及びガス毒性という5つの燃焼性状の評価をしており、鉄道車両用材料の火災対策として総合的な視点で評価されている。

(3) 燃焼試験方法の相違について

日本の基準では部位ごとの試験体を45°法試験により不燃性、極難燃性及び難燃性のいずれに適合するかを分類する。これに対し、欧州規格では材料が使用される位置に重点を置き、複数の試験を実施する。これらはより実用環境に近い評価を行うためのものであり、その評価は定量的な試験結果に基づいている。そのため、作業による差異が少ない。一方、45°法試験は簡便かつ短時間で実施でき、評価項目は目視によるものが多く、作業による差異が生じやすい点が課題と考えられる。

したがって、本研究の目的は、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である。また、日本では規制の対象外である評価項目について、EN規格における評価を実施し、評価結果を踏まえ、今後規制の対象とすべきであるかについても検討する。

なお、本報では特に材料の発煙性及びガス毒性を関心の対象とした。

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、本研究に至った背景および目的について述べる。

第 2 章では、本研究で実施した燃焼性試験の概要をまとめる。

第 3 章では、実際に使用されている鉄道車両用材料を用いて、第 2 章で述べた各種試験を実施し、各試験結果の比較および考察をする。

第 4 章では、本研究の総括を述べる。

2. 実験概要

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 規格の燃焼試験で用いられる試験装置で 45° 法試験の定量化を実施する。このとき、EN 規格の燃焼試験も実施し、両試験で各材料の燃焼特性値を計測する。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 試験を実施する鉄道車両用材料

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)		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

※表の () は、各材料の評価結果を表す。

2.3 各国試験方法の概要及び実験条件

2.3.1 欧州における燃焼試験方法 (ISO 5659-2 FTIR を用いたシングルチャンバ試験)

各材料について、EN 規格において規定されている各燃焼試験を実施し、燃焼特性値を計測及び EN 規格での評価を行った。なお、本報では材料の発煙性及びガス毒性に着目するため、これらの燃焼性状の評価を行う試験のみ実施した。本研究で対象とした試験については、「煙濃度」及び「ガス濃度」にわけて結果を述べる。表 2.3.1.1 に各材料のグルーピングおよび実施試験等のまとめを示す。

表 2.3.1.1 各材料のグルーピングおよび実施試験等まとめ

試験体名称	グループ	要件	試験項目	試験条件	計測パラメータ	評価パラメータ	基準値		
							HL1	HL2	HL3
表地 B 表地 C	F1A	R21	EN ISO 5659-2 FTIR を用いた シングルチャンバ試験	放射加熱強度 25kW/m ² 試験時間 10 分 口火あり	煙の透過率 [%]	最大比光学密度(<i>D_{s,max}</i>) [-]	300	300	200
					ガス濃度 [ppm]	毒性の指数(<i>CIT₀</i>) [-]	1.2	0.9	0.75
地下鉄床 海外床	IN15	R10	EN ISO 5659-2 FTIR を用いた シングルチャンバ試験	放射加熱強度 25kW/m ² 試験時間 10 分 口火あり	煙の透過率 [%]	最大比光学密度(<i>D_{s,max}</i>) [-]	600	300	150
					ガス濃度 [ppm]	毒性の指数(<i>CIT₀</i>) [-]	1.2	0.9	0.75
断熱材 A 断熱材 B 仕切壁	IN1A	R1	EN ISO 5659-2 FTIR を用いた シングルチャンバ試験	放射加熱強度 50kW/m ² 試験時間 10 分 口火なし	煙の透過率 [%]	試験開始 4 分後の 比光学密度(<i>D_{s(4)}</i>) [-]	600	300	150
						試験開始後 4 分間の 比光学密度の累積値(<i>VOF_d</i>) [min]	1200	600	300
側天井	IN1B				ガス濃度 [ppm]	毒性の指数 (<i>CIT₀</i>) [-]	1.2	0.9	0.75

(1) 試験方法

本研究では、Fire Testing Technology 社製（以下、FTT 社）のスモークデンシティチャンバ（図 2.3.1.1 および図 2.3.1.2 参照）（以下、SDC）とフーリエ変換型赤外分光光度計（Gaset 社製）（以下、FTIR）を用いた。試験方法は、後述するチャンバー内温度の計測及び燃焼ガスのサンプリング以外については、ISO 5659-2 及び EN 45545-2 Annex C に準拠した方法で実施した。

試験は、規定の大きさ（75mm×75mm、厚さ 25mm 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/m² の間で任意の値）で加熱し、加熱により試験体から発生した熱分解ガスをパイロットバーナーの火炎により着火することで、材料を燃焼させ、燃焼により発生した煙を密閉した SDC 内に収集し、光測定装置により収集した煙の透過率を計測する。また、チャンバーの天井部に取り付けられたサンプリングプローブから、チャンバー内に収集した煙をサンプリングし、FTIR により、煙中に含まれる各ガス濃度を計測する。（図 2.3.1.3 参照）

試験回数は、各材料につき 3 回とした。試験条件は、表 2.3.1.1 に示す通りとする。



図 2.3.1.1 スモークデンシティチャンバ



図 2.3.1.2 試験装置内部(左)と試験体(右)

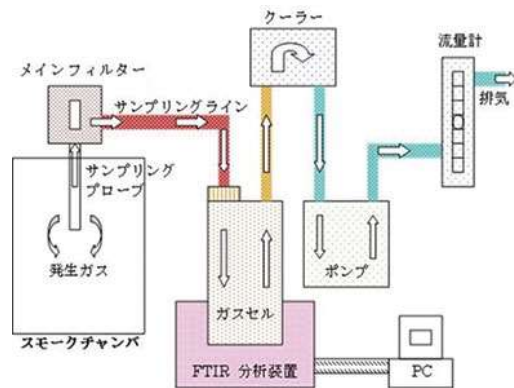


図 2. 3. 1. 3 試験装置および FTIR の概略図

(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
- ・煙の透過率
- ・質量変化
- ・チャンバー内温度
- ・チャンバー内圧力差
- ・EN 45545-2 Annex Cにおいて規定されている各ガス成分の濃度
- ・着火時間
- ・消炎時間
- ・パイロットバーナー点火時間
- ・アッパーベント閉鎖時間
- ・燃焼性状の変化が見られる時間（可能な範囲で）
- ・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
- ・観察記録（可能な範囲で）

(3) 試験手順

（試験準備）

- 各試験装置およびコンプレッサーの立ち上げ、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準備。
- 熱電対ケーブルの設置およびデータロガーの準備

(試験開始前～試験終了後)

1. 試験データの入力 (SDC)
2. 煙濃度計のキャリブレーション
3. ロードセルのキャリブレーション
4. 試験体をホルダーにセット。
5. 試験前の試験体写真の撮影。
6. 試験体ホルダーを装置に設置。
7. 上下ベントおよびチャンバーを閉める。
8. インターバル撮影用カメラの設置
9. バックグラウンド測定 (FTIR)
10. アッパーベントを開放し、試験開始。透過率およびチャンバー内温度の記録、ガスのサンプリング、インターバル撮影およびストップウォッチ開始、パイロットバーナー点火。
11. パイロットバーナー点火時、点火時間の記録。
12. 試験体の着火時、着火時間の記録、アッパーベントを閉鎖。
13. 材料の消炎時、消炎時間の記録。
14. 試験終了。透過率およびチャンバー内温度の記録、ガスのサンプリング、パイロットバーナー、インターバル撮影停止および各種試験データの保存。
15. 試験後の試験体写真の撮影。
16. チャンバー内の清掃。
17. (必要に応じて)サンプリングプローブ内のフィルターを交換
18. 次の試験へ。

※役割分担

(試験開始時)

- ・ PC (SDC) 操作 (透過率計測開始) : 1 名
- ・ PC (FTIR) 操作 (サンプリング開始) : 1 名
- ・ SDC 装置 (シャッター、パイロットバーナー) 操作、ストップウォッチ開始 : 1 名
- ・ インターバル撮影開始、PC (データロガー) 操作 : 1 名

(試験開始後)

- ・ 各時間記録およびアッパーベント操作 : 1 名
- ・ 観察記録 (メモ) : 1 名

(4) 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。

- ・ 圧力調整が必要なため、アッパーベントを開放した状態で試験を開始する。
- ・ 試験開始後、試験体の着火を確認した段階でアッパーベントを閉じる。
- ・ 口火ありの試験について、パイロットバーナーの点火確認後 10 秒で試験体の着火が確認できない場合、その段階でアッパーベントを閉じる。
- ・ 口火なしの試験について、試験開始後 10 秒で試験体の着火が確認できない場合、その段階でアッパーベントを閉じる。
- ・ 口火ありの試験について、試験開始後 10 秒でパイロットバーナーの点火が確認できない場合、再試験とする。

2.3.2 日本における試験方法（45° 法試験）

前述した技術基準において規定されている 45°法試験を行う。試験方法は、1.1.2 に示した方法に準じる。本研究で用いた試験装置は図 2.3.2.1 に示す。



図 2.3.2.1 本実験で用いる試験装置

以下、試験手順について述べる。

1) 試験体の設置

45° 法試験装置（図 2.3.2.1）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。

2) アルコール容器台の高さ調整

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 25.4mm（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。

(1) 計測方法

煙の透過率および煙中の各ガス成分濃度の計測には、2.2.1 で記載した SDC および FTIR を用いる。計測は、SDC 内に 45° 法試験装置を設置し、前述した手順に従って 45° 法試験を実施し、試験の開始と同時に各計測機器の記録を開始する方法で行う。

各データの計測時間は、アルコールの燃焼終了後の煙の透過率及びガス濃度を考慮して、180 秒間とする。

なお、本実験では以下の条件のもと、煙の透過率およびガス濃度の計測を実施する。

- ・ アッパーベントおよびチャンバードアを開放した状態で試験を開始する。
- ・ 試験開始後、アルコールの着火と同時にチャンバードアを閉める。
- ・ アルコールの着火後、試験片の着火を確認した段階で、アッパーベントを閉じる。
- ・ アルコールの着火後 10 秒で試験片の着火が確認できない場合、その段階でアッパーベントを閉じる。

(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
- ・ 煙の透過率
- ・ チャンバー内温度
- ・ チャンバー内圧力差
- ・ EN 45545-2 Annex C において規定されている各ガス成分の濃度
- ・ アッパーベント閉鎖時間
- ・ アルコール燃焼時間
- ・ 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
- ・試験片の観察記録

(3) 計測手順

(試験準備)

- 各試験装置およびコンプレッサーの立ち上げ、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準備。
- 熱電対ケーブルの設置およびデータロガーの準備

(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. 試験データの入力 (SDC)
4. 煙濃度計のキャリブレーション
5. 45° 法試験装置を SDC 装置に設置。
6. 上下ベントおよびチャンバーを閉める。
7. インターバル撮影用カメラの設置。
8. バックグラウンド測定 (FTIR)
9. アッパーベントを開放し、チャンバードアを開ける。
10. 試験開始。容器への着火、透過率およびチャンバー内温度の記録、ガスのサンプリング、インターバル撮影およびストップウォッチ開始。
11. チャンバードアを閉める。
12. 試験体の着火時、着火時間の記録、アッパーベントを閉鎖。
13. 材料の消炎時、消炎時間の記録。
14. 試験終了。透過率およびチャンバー内温度の記録、ガスのサンプリング、インターバル撮影、ストップウォッチの停止および各種試験データの保存。
15. 試験後の試験体写真の撮影。
16. チャンバー内の清掃。
17. (必要に応じて)サンプリングプローブ内のフィルターを交換
18. 次の試験へ。

3. 実験結果の比較・考察

3.1 計測結果

3.1.1 各種試験における試験前後の試験体

SDC 試験における試験前および試験後の試験体の様子を図 3.1.1.1～図 3.1.1.8 に、45° 法試験における試験前および試験後の試験体の様子を図 3.1.1.9～図 3.1.1.16 に示す。

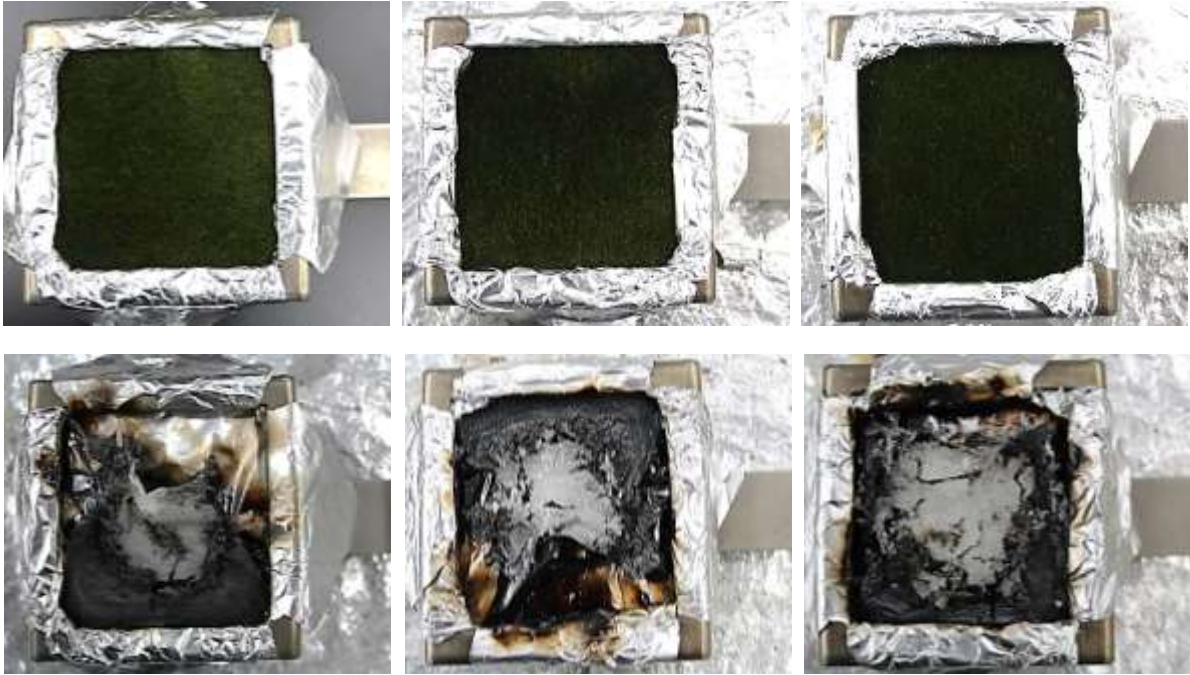


図 3.1.1.1 SDC 試験 表地 B 試験前および試験後の試験体

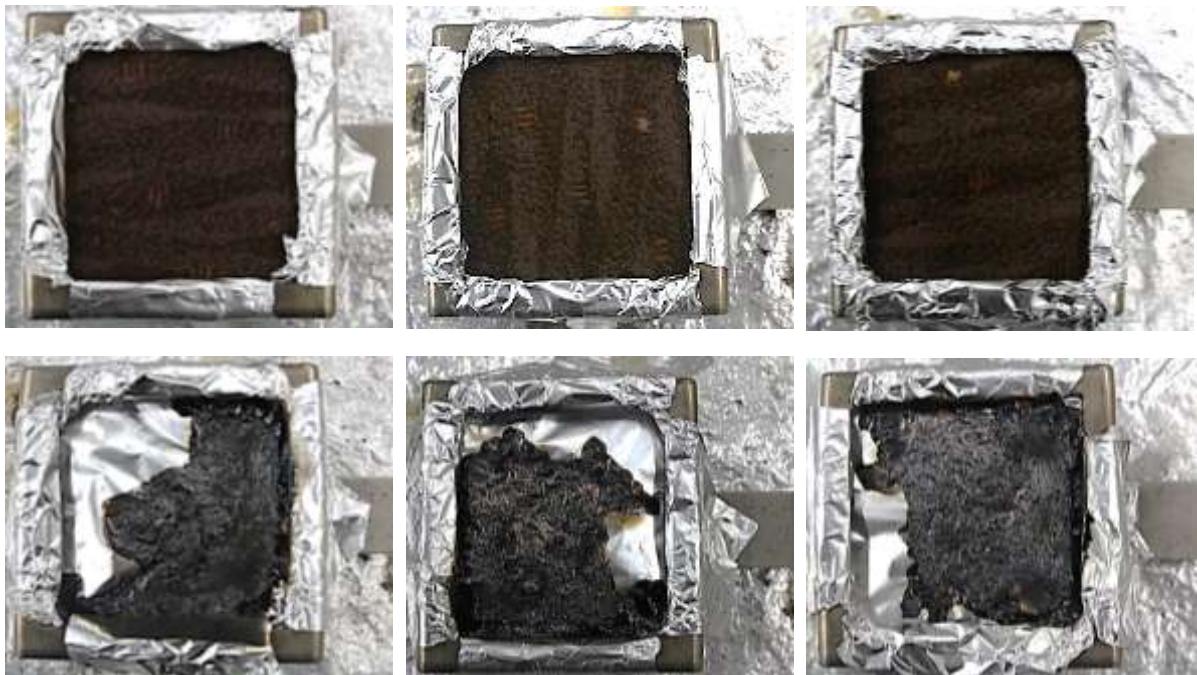


図 3.1.1.2 SDC 試験 表地 C 試験前および試験後の試験体

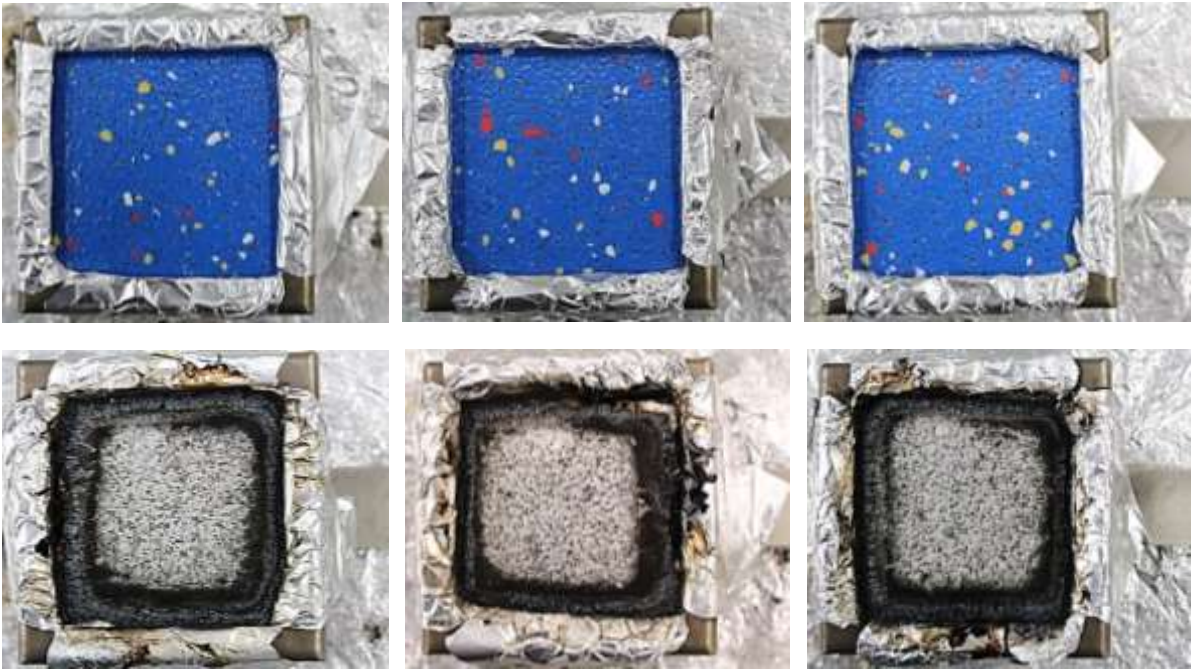


図 3.1.1.3 SDC 試験 地下鉄床 試験前および試験後の試験体

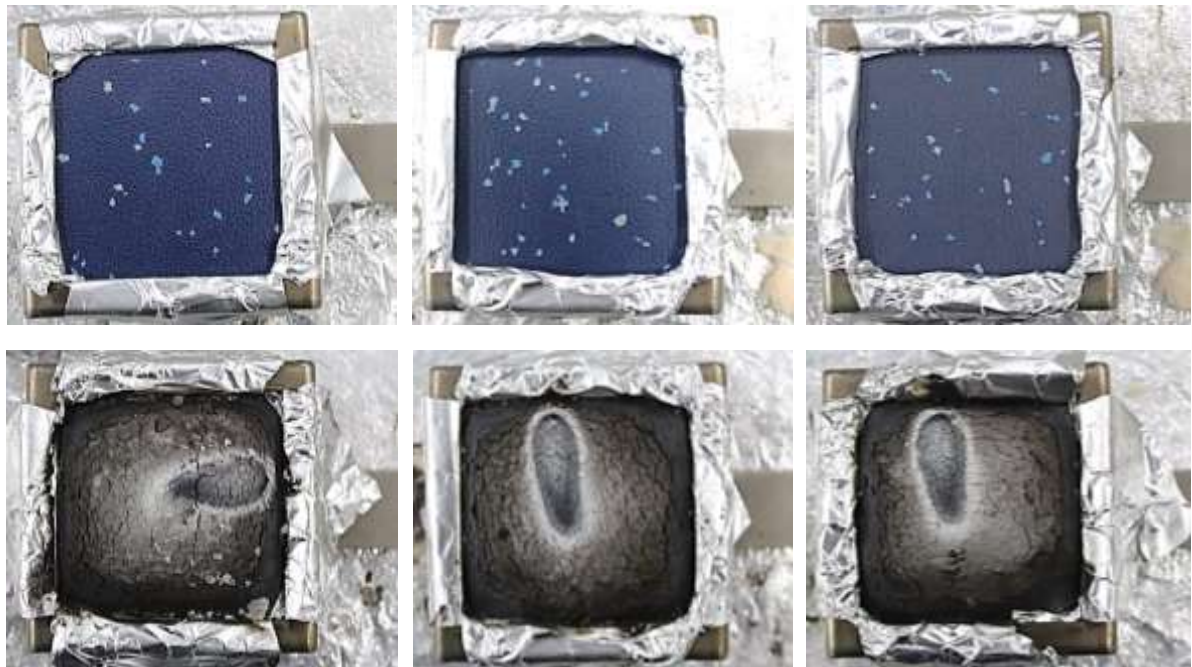


図 3.1.1.4 SDC 試験 海外床 試験前および試験後の試験体

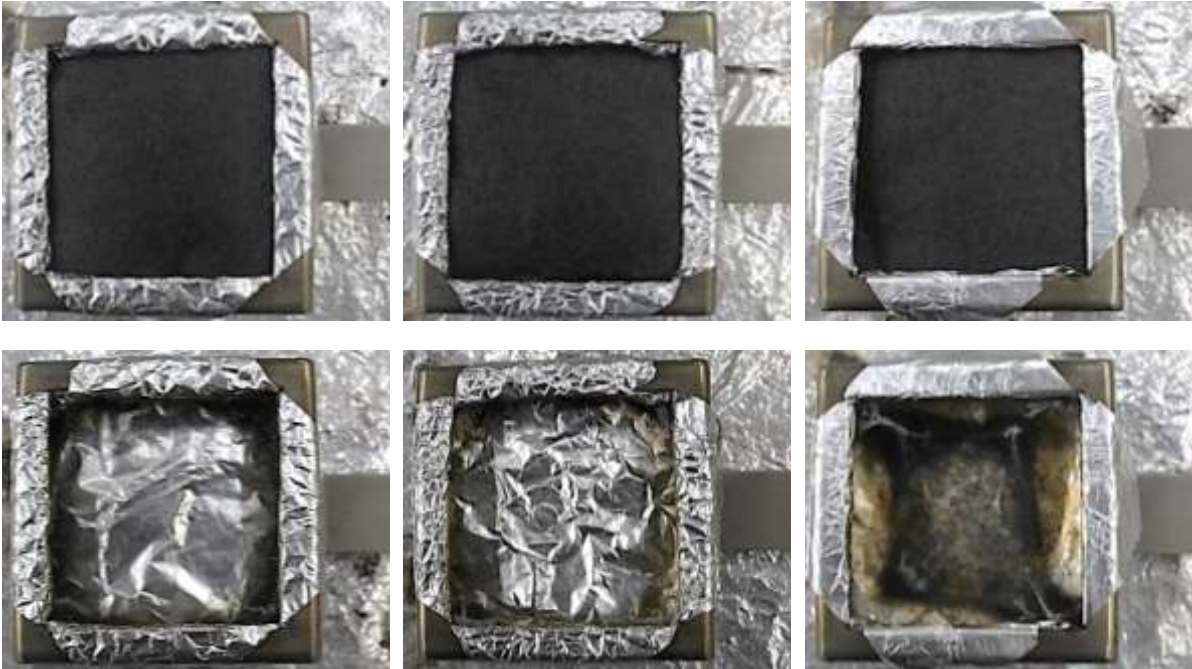


図 3. 1. 1. 5 SDC 試験 断熱材 A 試験前および試験後の試験体

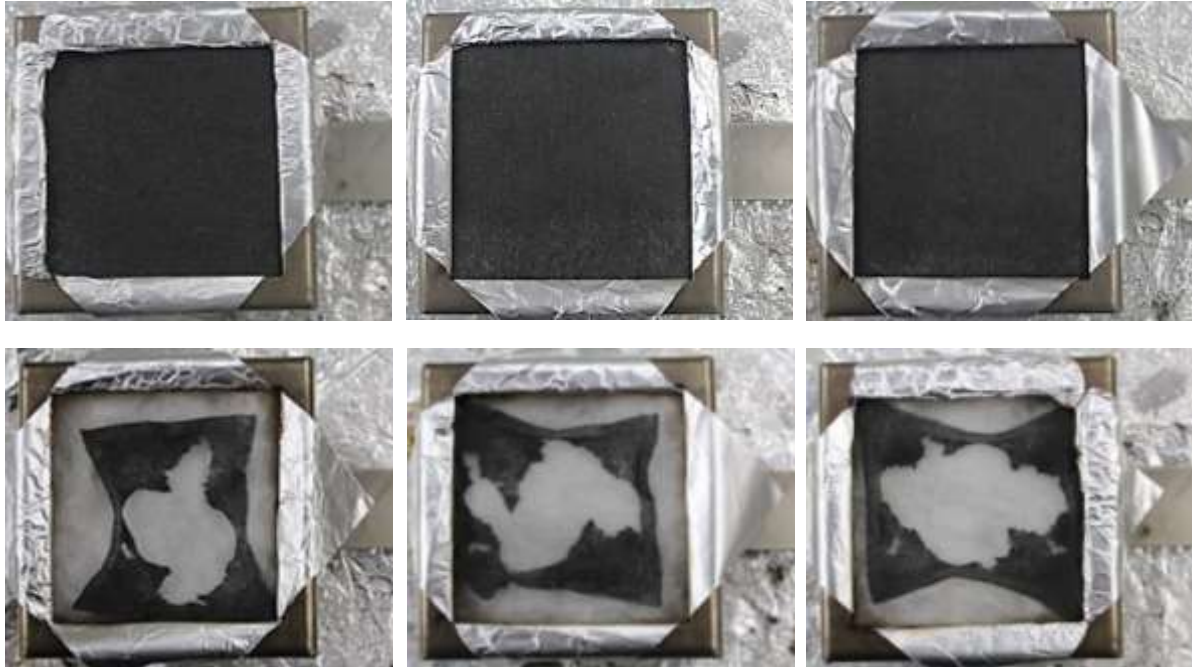


図 3. 1. 1. 6 SDC 試験 断熱材 B 試験前および試験後の試験体

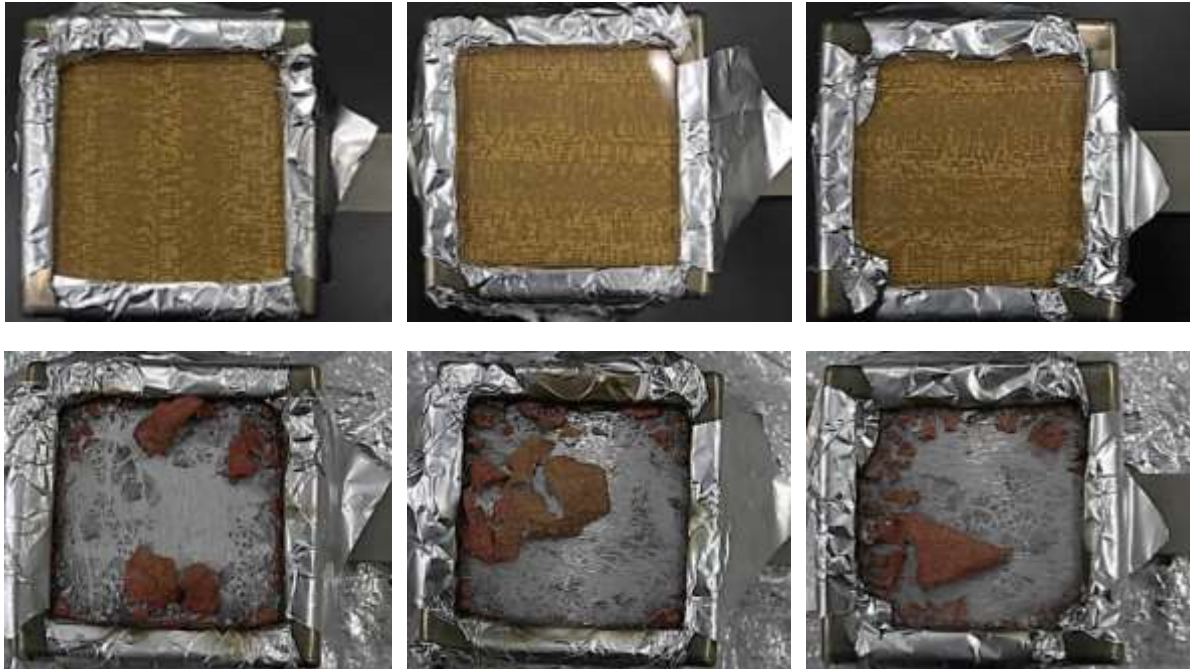


図 3.1.1.7 SDC 試験 仕切壁 試験前および試験後の試験体

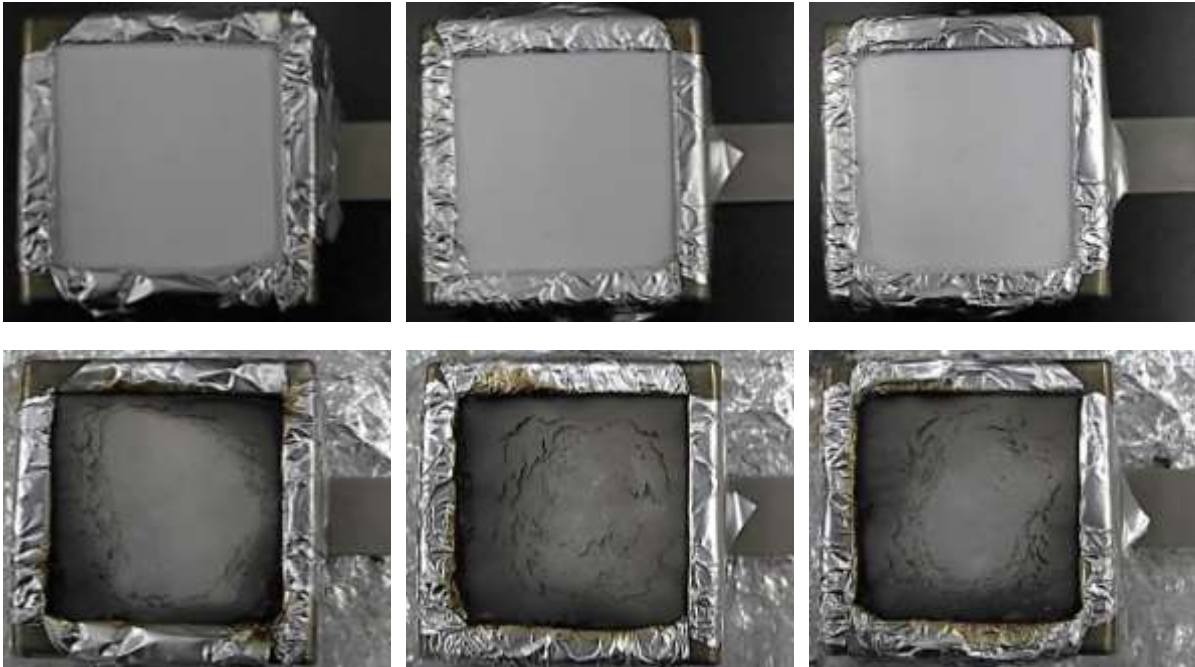


図 3.1.1.8 SDC 試験 側天井 試験前および試験後の試験体

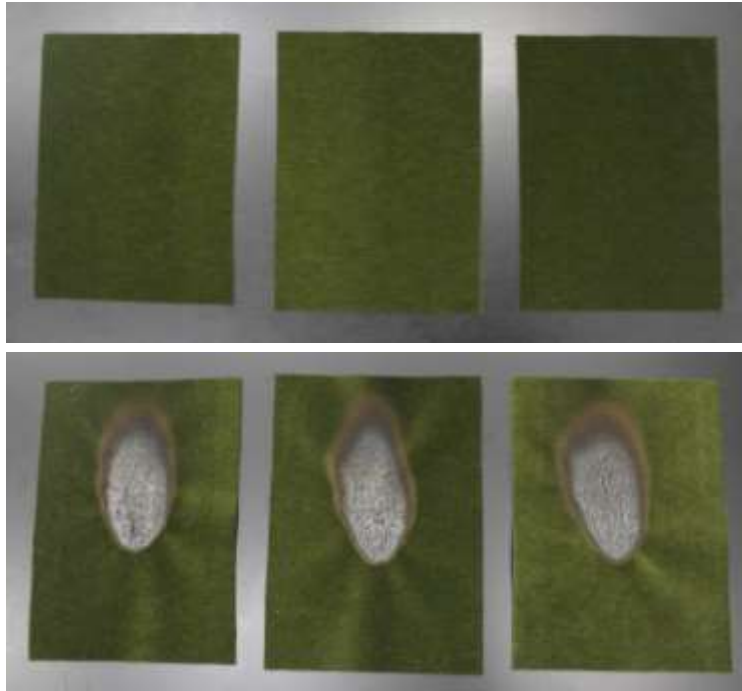


図 3.1.1.9 45° 法試験 表地 B 試験前および試験後の試験体

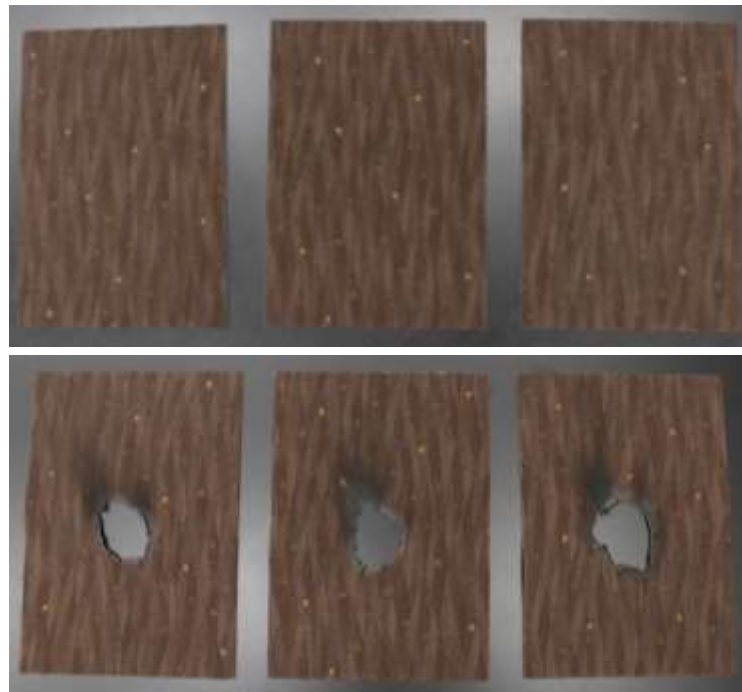


図 3.1.1.10 45° 法試験 表地 C 試験前および試験後の試験体

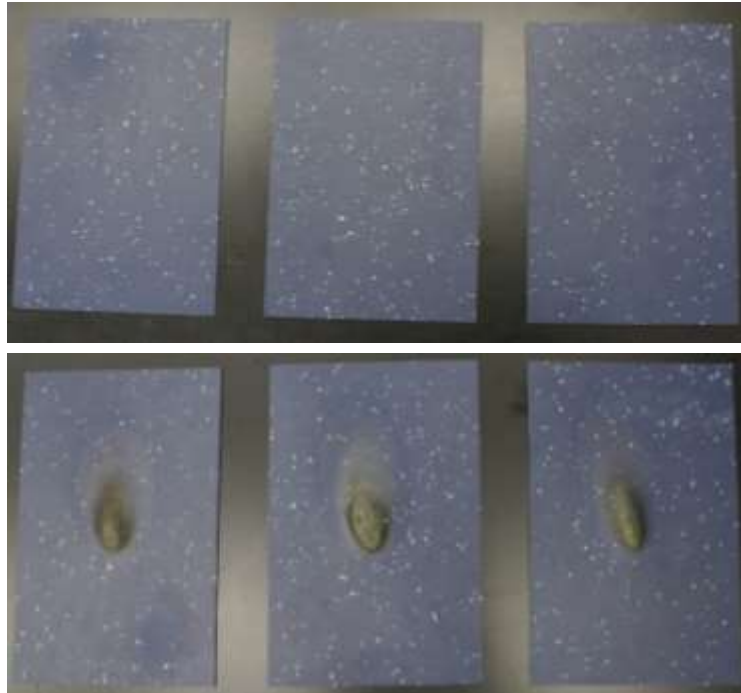


図 3. 1. 1. 11 45° 法試験 地下鉄床 試験前および試験後の試験体

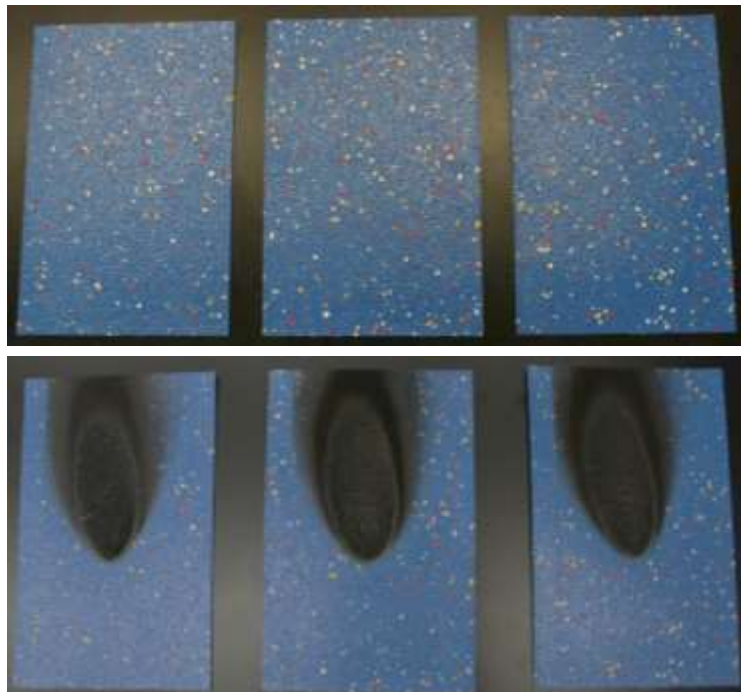


図 3. 1. 1. 12 45° 法試験 海外床 試験前および試験後の試験体



図 3.1.1.13 45° 法試験 断熱材 A 試験前および試験後の試験体

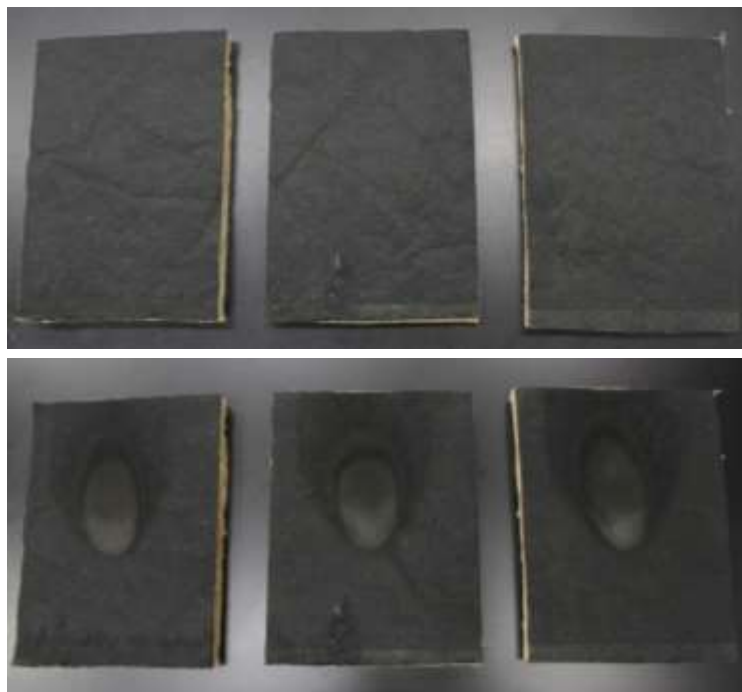


図 3.1.1.14 45° 法試験 断熱材 B 試験前および試験後の試験体

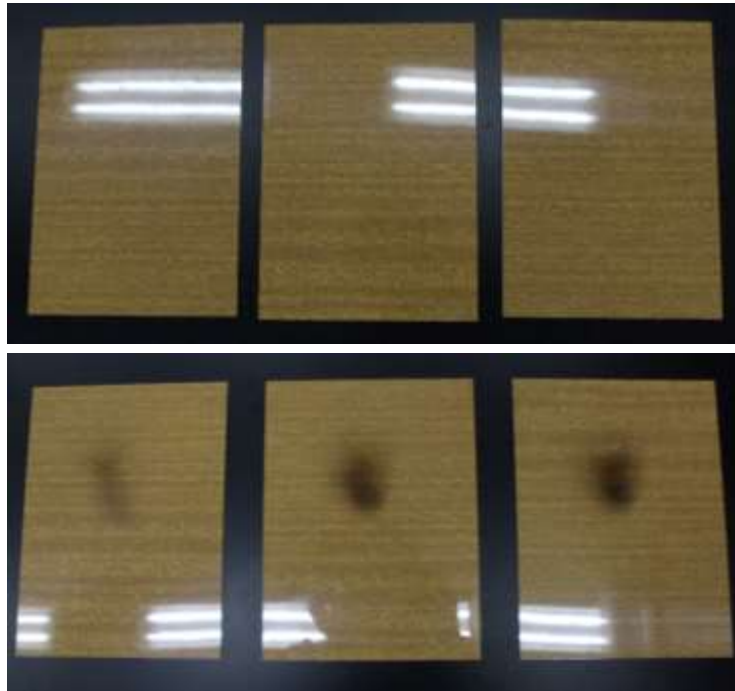


図 3. 1. 1. 15 45° 法試験 仕切壁 試験前および試験後の試験体

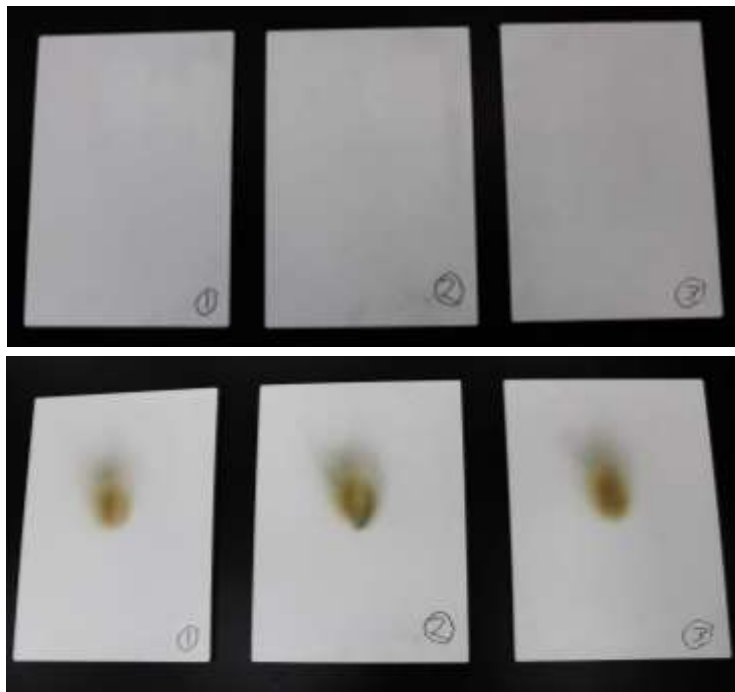


図 3. 1. 1. 16 45° 法試験 側天井 試験前および試験後の試験体

3.1.2 比光学密度 (D_S) および VOF_4 について

計測した煙の透過率は、以下の式(1)を用いて、比光学密度 (D_S) を算出する。

$$D_S = 132 \log_{10}(100/T) \quad (1)$$

ここに、

T : 透過率 [%]

132 : チャンバーについて V/AL から導いて得た係数

(V はチャンバーの体積 [m³]、 A は試験体の暴露面積 [m²]、 L は光路長 [m])

※45° 法試験における試験体の暴露面積 A には、試験後に実測した炭化面積を用いる。

また、試験開始後 4 分間の比光学密度の累積値 (VOF_4) は、以下の式(2)により算出される。

$$VOF_4 = [D_S(1) + D_S(2) + D_S(3) + D_S(4)/2] \times 1min \quad (2)$$

算出した比光学密度 (D_S) および VOF_4 の EN 規格における基準値は、表 2.3.1.1 示す通りとする。

SDC 試験における試験結果のまとめを表 3.1.2.1 に、各試験体の比光学密度 (D_S) および質量変化の推移を図 3.1.2.1~図 3.1.2.8 に示す。また、SDC 試験における比光学密度の評価結果を表 3.1.2.2 に示す。

45° 法試験における試験結果のまとめを表 3.1.2.3 に、各試験体の比光学密度 (D_S) を図 3.1.2.9~図 3.1.2.15 に示す。

表 3.1.2.1 SDC 試験（煙濃度）計測結果（1/2）

試験名	寸法 [mm]	厚さ [mm]	質量 [g]	質量減少量 [g]	バーナー着火 [s]	ベント閉 [s]	着火時間 [s]	消火時間 [s]	D_5 [-]	VOF_4 [min.]
在来線 表地 B 1 回目	75.84×78.77	4.16	5.34	3.40	5.668	13.039	7.633	136.731	89.00 ^{*2}	(規定なし)
在来線 表地 B 2 回目	77.30×73.54	3.81	5.27	3.00	2.186	5.958	5.985	172.227	72.33 ^{*2}	(規定なし)
在来線 表地 B 3 回目	75.11×75.58	3.73	5.08	3.00	2.159	8.757	10.960	143.395	102.48 ^{*2}	(規定なし)
在来線 表地 C 1 回目	75.43×74.80	2.55	4.57	2.30	2.390	10.978	69.298 ^{*1}	241.629	325.52 ^{*2}	(規定なし)
在来線 表地 C 2 回目	76.09×75.64	2.66	4.56	2.00	2.572	11.253	66.165 ^{*1}	246.906	311.00 ^{*2}	(規定なし)
在来線 表地 C 3 回目	76.27×75.73	2.76	4.55	2.00	3.157	11.979	62.204 ^{*1}	185.851	304.59 ^{*2}	(規定なし)
地下鉄 床敷物 1 回目	75.01×76.08	2.73	25.44	5.60	4.377	13.179	60.744	327.129	339.51 ^{*2}	(規定なし)
地下鉄 床敷物 2 回目	75.68×75.01	2.61	25.95	5.30	4.209	12.949	64.441 ^{*1}	382.337	364.90 ^{*2}	(規定なし)
地下鉄 床敷物 3 回目	75.79×75.42	2.63	23.95	5.20	4.636	13.410	63.922	284.057	336.09 ^{*2}	(規定なし)
海外 床敷物 1 回目	75.18×75.73	2.00	15.65	8.30	2.045	11.596	22.591 ^{*1}	246.054	596.32 ^{*2}	(規定なし)
海外 床敷物 2 回目	74.96×74.83	2.13	15.35	8.00	2.657	11.647	15.088 ^{*1}	205.793	609.29 ^{*2}	(規定なし)
海外 床敷物 3 回目	75.36×75.00	2.04	15.38	8.10	2.039	11.615	17.636 ^{*1}	205.634	629.75 ^{*2}	(規定なし)
断熱材 A 1 回目	79.05×75.40	22.07	2.76	1.80		4.488	2.715	179.972	8.48 ^{*3}	27.15
断熱材 A 2 回目	74.86×77.08	23.12	2.78	1.70		3.670	1.843	152.239 ^{*1}	6.89 ^{*3}	22.45
断熱材 A 3 回目	76.47×75.65	22.88	2.86	1.80		4.725	2.226	44.329 ^{*1}	5.76 ^{*3}	18.87
断熱材 B 1 回目	74.21×73.19	19.47	3.76	0.70		8.975	(着火なし)		12.33 ^{*3}	50.55
断熱材 B 2 回目	74.05×72.66	22.84	3.63	0.60		9.123	(着火なし)		13.01 ^{*3}	53.65
断熱材 B 3 回目	77.41×76.56	20.33	3.87	0.80		7.015	4.916	10.580	11.78 ^{*3}	46.85

表 3.1.2.1 SDC 試験（煙濃度）計測結果（2/2）

試験名	寸法 [mm]	厚さ [mm]	質量 [g]	質量減少量 [g]	バーナー着火 [s]	ベント閉 [s]	着火時間 [s]	消火時間 [s]	D_s [-]	VOF_4 [min.]
在来線 仕切壁 1 回目	75.38×74.58	1.50	21.83	2.20		10.096	(着火なし)		85.98 ^{*3}	246.34
在来線 仕切壁 2 回目	75.13×74.68	1.50	21.87	2.10		11.010	31.121	42.354	79.58 ^{*3}	230.56
在来線 仕切壁 3 回目	75.33×74.68	1.49	21.86	2.10		10.119	(着火なし)		91.44 ^{*3}	267.85
高速鉄道 側天井 1 回目	75.59×75.24	7.48	20.02	1.70		10.055	(着火なし)		61.66 ^{*3}	82.47
高速鉄道 側天井 2 回目	75.49×75.38	7.08	19.81	1.40		10.261	(着火なし)		39.49 ^{*3}	71.17
高速鉄道 側天井 3 回目	75.34×75.47	7.35	20.14	1.60		10.158	(着火なし)		25.60 ^{*3}	36.02

※1：最初の着火確認後、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記した。

※2：試験時間 10 分間における最大値 ($D_{s,max}$)

※3：試験開始 4 分後の値 ($D_s(4)$)

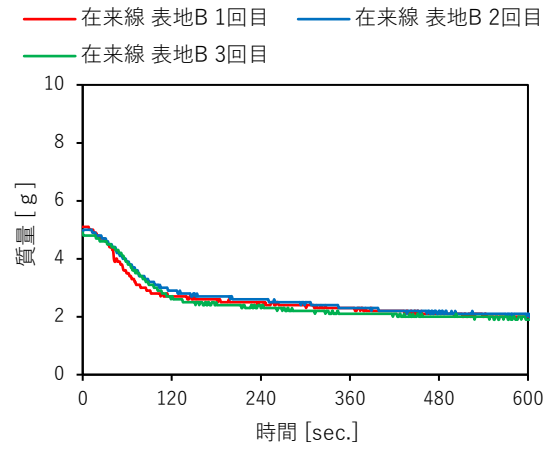
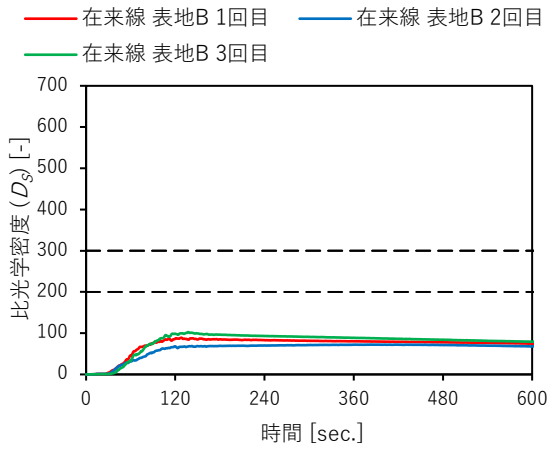


図 3. 1. 2. 1 SDC 試験 表地 B 比光学密度 (D_s) および質量変化

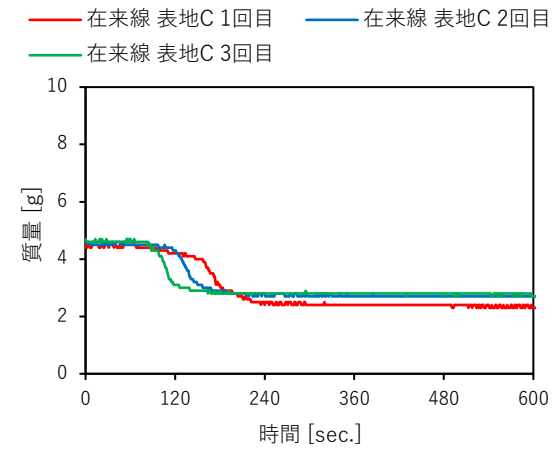
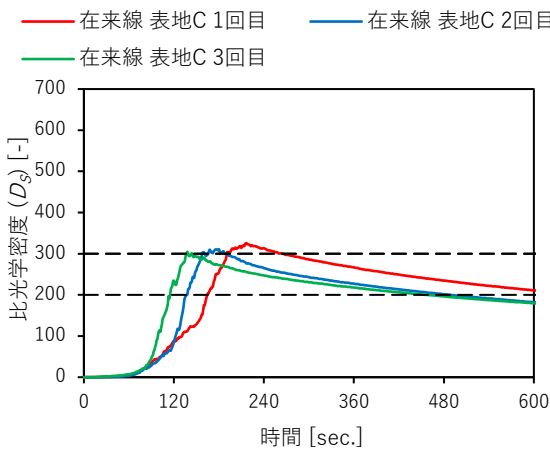


図 3. 1. 2. 2 SDC 試験 表地 C 比光学密度 (D_s) および質量変化

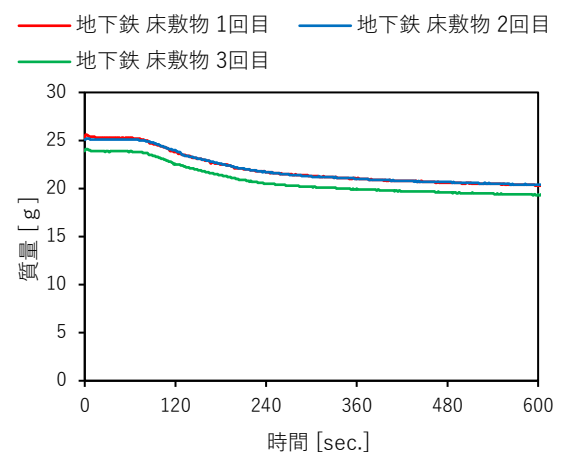
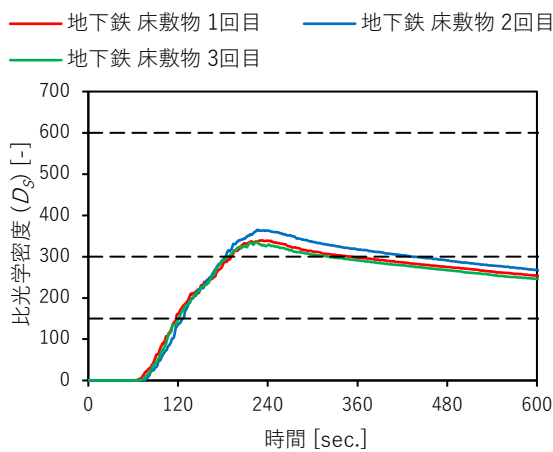


図 3. 1. 2. 3 SDC 試験 地下鉄床 比光学密度 (D_s) および質量変化

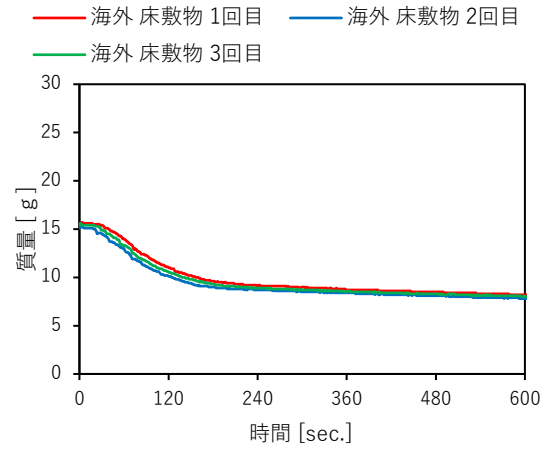
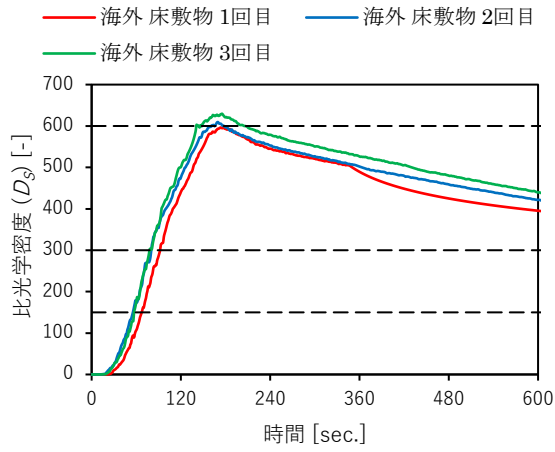


図 3. 1. 2. 4 SDC 試験 海外床 比光学密度 (D_s) および質量変化

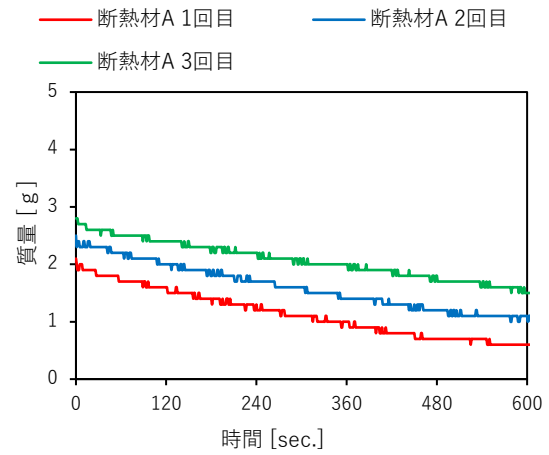
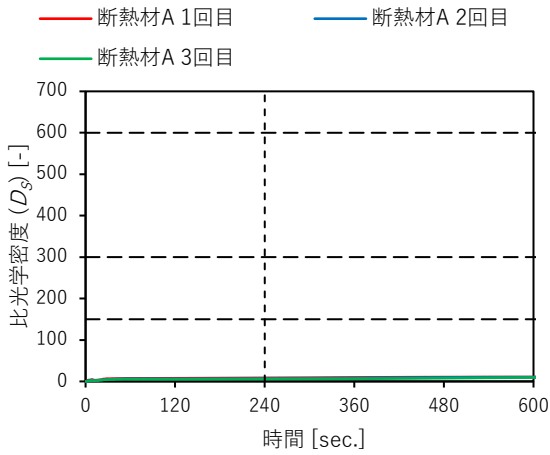


図 3. 1. 2. 5 SDC 試験 断熱材 A 比光学密度 (D_s) および質量変化

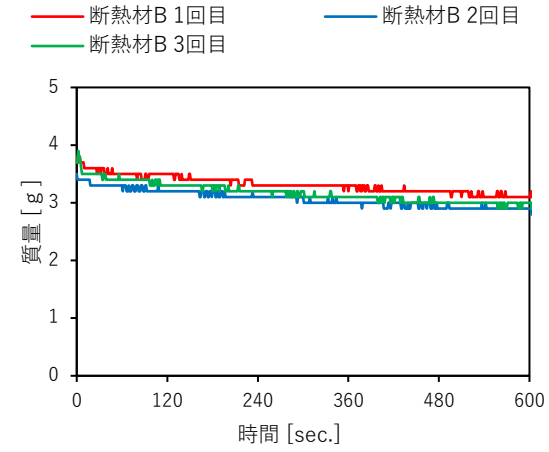
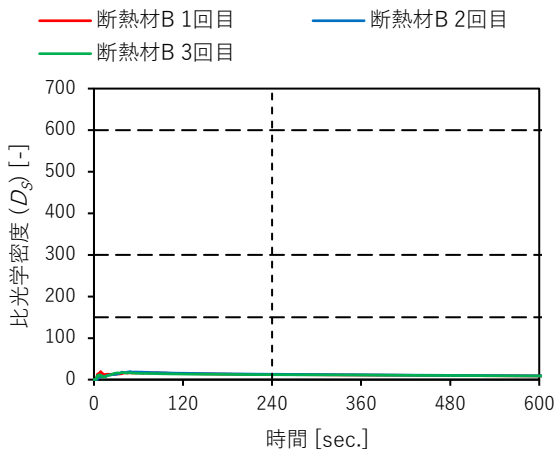


図 3. 1. 2. 6 SDC 試験 断熱材 B 比光学密度 (D_s) および質量変化

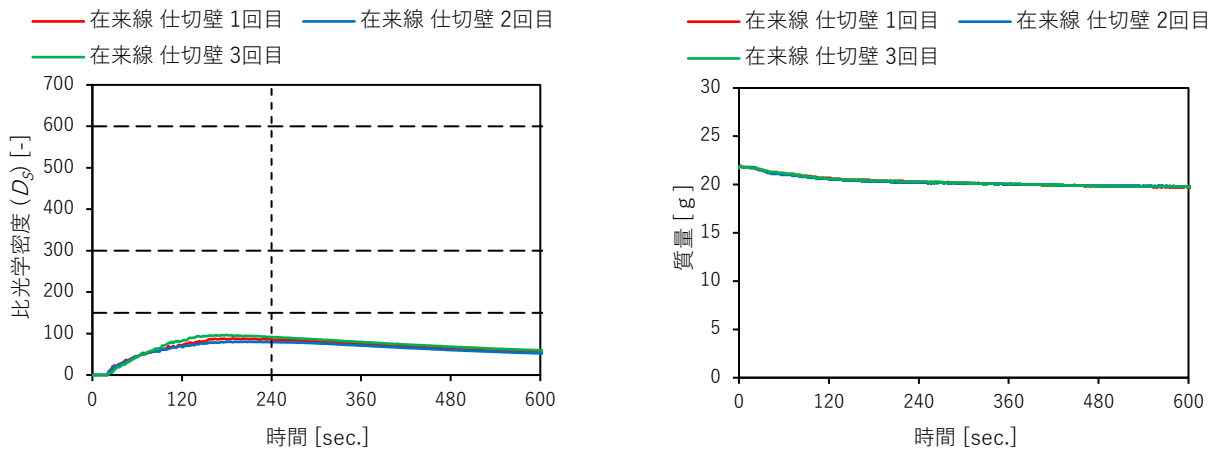


図 3.1.2.7 SDC 試験 仕切壁 比光学密度 (D_s) および質量変化

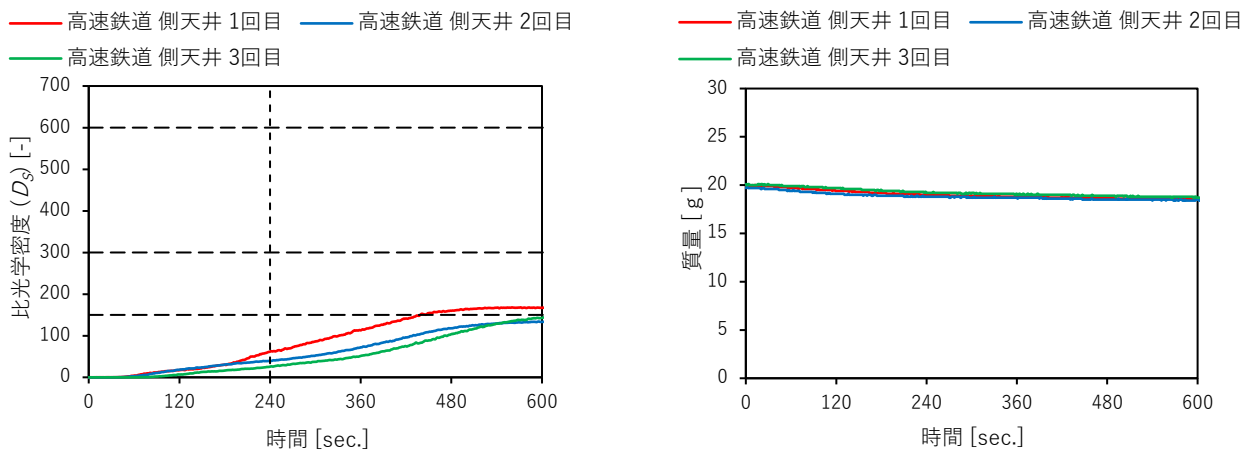


図 3.1.2.8 SDC 試験 側天井 比光学密度 (D_s) および質量変化

表 3.1.2.2 SDC 試験における評価結果

材料名	評価結果
在来線 表地 B	HL3
在来線 表地 C	(OVER)
地下鉄 床敷物	HL1
海外 床敷物	(OVER)
断熱材 A	HL3
断熱材 B	HL3
在来線 仕切壁	HL3
高速鉄道 側天井	HL3

※OVER は、HL1 を超えたことを表す。

表 3.1.2.3 45°法試験（煙濃度）計測結果（1/2）

試験名	寸法 [mm]	厚さ [mm]	質量 [g]	質量減少量 [g]	ベント閉 [s]	着火時間 [s]	消火時間 [s]	試験時間 [s]	炭化面積 × 10 ⁻² [m ²]	最大比光学密度 (<i>D_{S, max}</i>) [-]
在来線 表地 B 1 回目	191.54×262.00	3.57	35.56	0.60	10.48	12.99	72.06	89.23	1.76	8.08
在来線 表地 B 2 回目	191.89×266.50	3.86	36.63	0.74	7.95	7.95	71.76	87.11	1.81	10.80
在来線 表地 B 3 回目	194.03×265.00	3.74	36.45	0.75	12.81	11.89	78.44	88.92	1.73	9.49
在来線 表地 C 1 回目	182.91×257.00	2.75	28.29	0.89	11.10	17.42	104.61	95.80	2.29	13.95
在来線 表地 C 2 回目	183.07×258.00	2.56	28.42	0.71	12.11	11.30	77.32	92.88	1.75	16.18
在来線 表地 C 3 回目	182.23×257.00	2.59	28.02	0.41	10.78	14.51	87.68	96.21	1.09	13.33
地下鉄 床敷物 1 回目	182.27×258.00	2.56	195.85	0.25	10.32	66.89	89.78	91.41	0.71	6.71
地下鉄 床敷物 2 回目	183.52×258.00	2.54	196.11	0.29	10.28	67.27	91.67	92.72	0.77	5.75
地下鉄 床敷物 3 回目	182.00×257.50	2.60	201.32	0.23	10.32	58.38	91.38	92.03	0.73	5.34
海外 床敷物 1 回目	183.44×257.50	1.93	119.05	1.91	11.28	13.70	79.83	87.19	2.28	21.68
海外 床敷物 2 回目	183.66×257.50	1.95	118.88	2.11	10.39	14.05	80.95	92.71	2.08	23.99
海外 床敷物 3 回目	182.35×258.00	1.93	118.78	2.06	10.48	16.87	82.44	92.18	2.05	24.39
断熱材 A 1 回目	190.92×261.00	29.46	17.02	0.00	10.12	(着火なし)		84.33		
断熱材 A 2 回目	187.89×261.00	31.65	16.46	0.03	11.29	(着火なし)		84.83		
断熱材 A 3 回目	191.74×260.50	27.61	17.18	0.07	10.30	(着火なし)		82.37		
断熱材 B 1 回目	189.67×259.50	22.96	19.15	0.04	10.23	(着火なし)		91.80	1.47	1.22
断熱材 B 2 回目	188.42×257.00	20.75	20.95	0.01	10.22	(着火なし)		85.27	1.71	1.51
断熱材 B 3 回目	183.79×264.00	24.47	27.94	(0.05)	11.17	(着火なし)		86.97	1.65	1.33

表 3.1.2.3 45°法試験（煙濃度）計測結果（2/2）

試験名	寸法 [mm]	厚さ [mm]	質量 [g]	質量減少量 [g]	ベント閉 [s]	着火時間 [s]	消火時間 [s]	試験時間 [s]	炭化面積 × 10 ⁻² [m ²]	最大比光学密度 ($D_{s,max}$) [-]
在来線 仕切壁 1 回目	181.69×257.00	1.45	170.28	(0.12)	10.21	(着火なし)		100.12	0.31	0.10
在来線 仕切壁 2 回目	181.95×257.50	1.48	174.79	0.03	10.14	(着火なし)		93.58	0.37	0.15
在来線 仕切壁 3 回目	181.93×257.00	1.48	174.82	(0.02)	10.08	(着火なし)		98.49	0.32	0.05
高速鉄道 側天井 1 回目	183.08×257.00	7.41	160.28	0.05	10.30	(着火なし)		96.13	0.53	0.06
高速鉄道 側天井 2 回目	182.53×257.00	7.23	158.10	0.00	10.26	(着火なし)		96.08	0.64	0.03
高速鉄道 側天井 3 回目	182.72×258.00	7.06	159.56	(0.18)	10.86	(着火なし)		90.28	0.61	0.04

※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。

※断熱材 A は、試験後の炭化面積が計測できなかったため、比光学密度への換算不可であった。

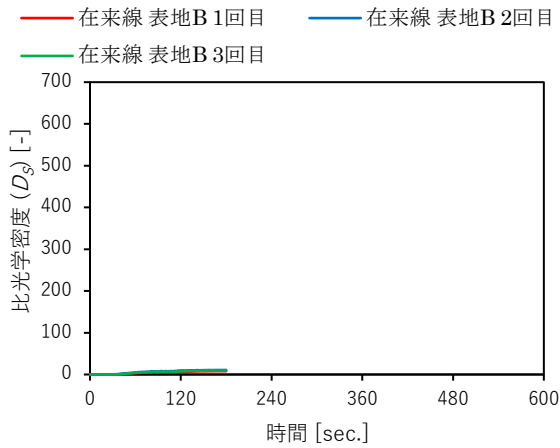


図 3.1.2.9 45°法試験 表地 B 比光学密度 (D_s)

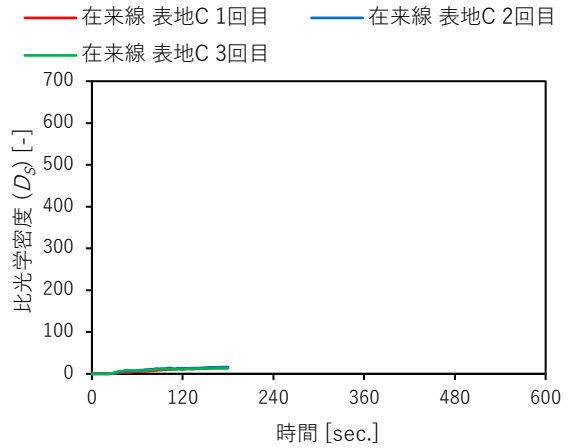


図 3.1.2.10 45°法試験 表地 C 比光学密度 (D_s)

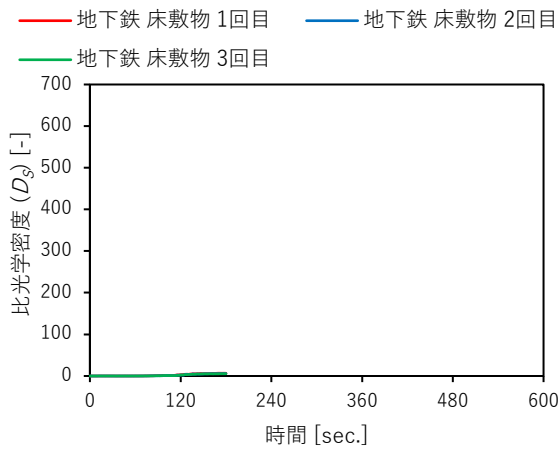


図 3.1.2.11 45°法試験 地下鉄床 比光学密度 (D_s)

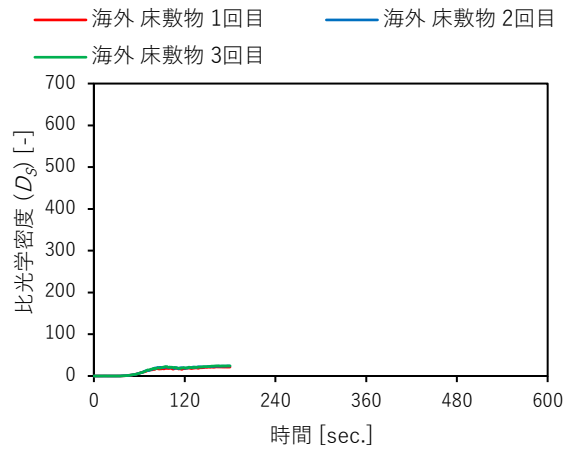


図 3.1.2.12 45°法試験 海外床 比光学密度 (D_s)

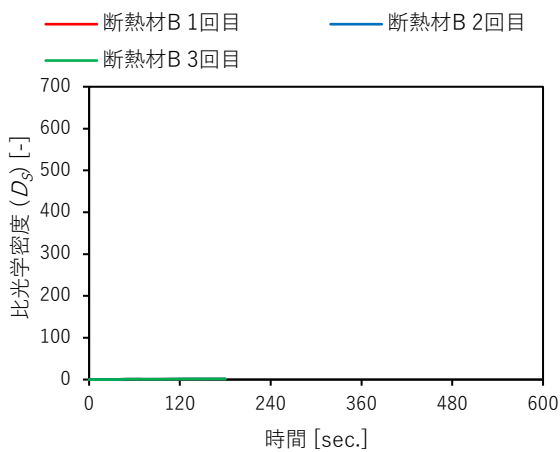


図 3.1.2.13 45°法試験 断熱材 B 比光学密度 (D_s)

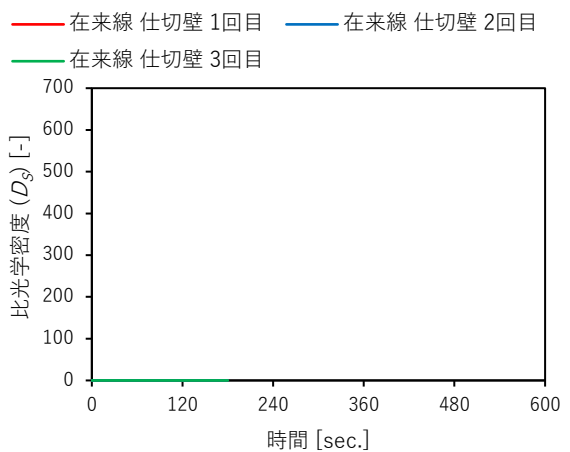


図 3.1.2.14 45°法試験 仕切壁 比光学密度 (D_s)

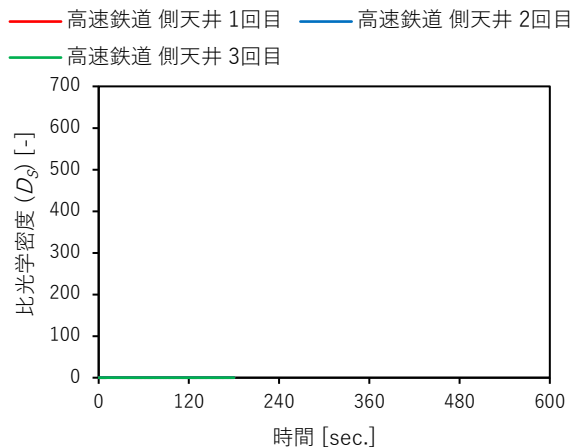


図 3.1.2.15 45°法試験 側天井 比光学密度 (D_s)

3.1.3 ガス濃度

3.1.3.1 ガス濃度の補正について

(1)同一の材料から生成されるガス濃度の差について

本研究では試験結果の再現性をはかるため、各材料につき 3 回試験を実施した。この時、[図 3.1.3.1.1](#)、[図 3.1.3.1.2](#) に示すような明らかに生成されたガス濃度に差異がある試験があった。

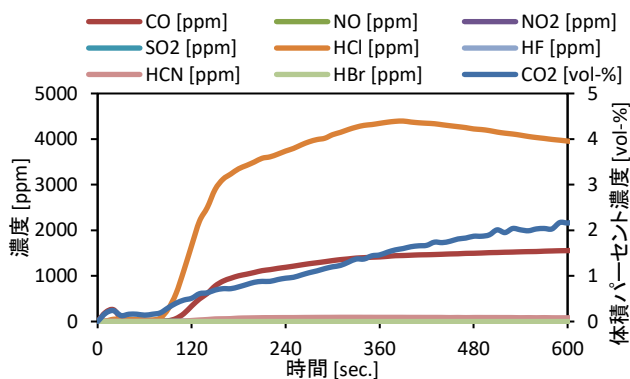


図 3.1.3.1.1 地下鉄床敷物 2 回目

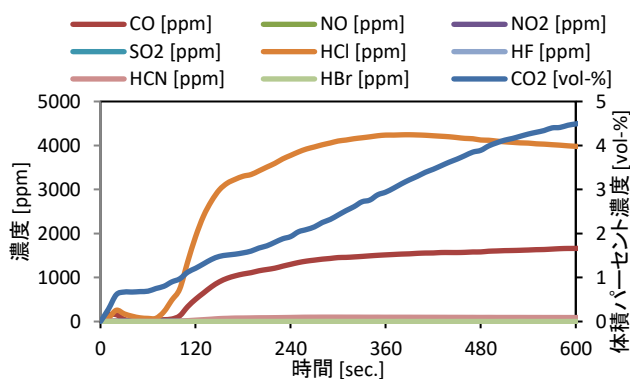


図 3.1.3.1.2 地下鉄床敷物 3 回目

(2)SDC の掃除に用いたエタノールの影響

材料を使わず CO ガス、CO₂ガスを SDC 内で噴出させた。その後エタノールを気化させ各ガス濃度を計測した。その結果を[図 3.1.3.1.3](#)、[図 3.1.3.1.4](#) に示す。これより、エタノールの影響を受けるガスがあることがわかった。

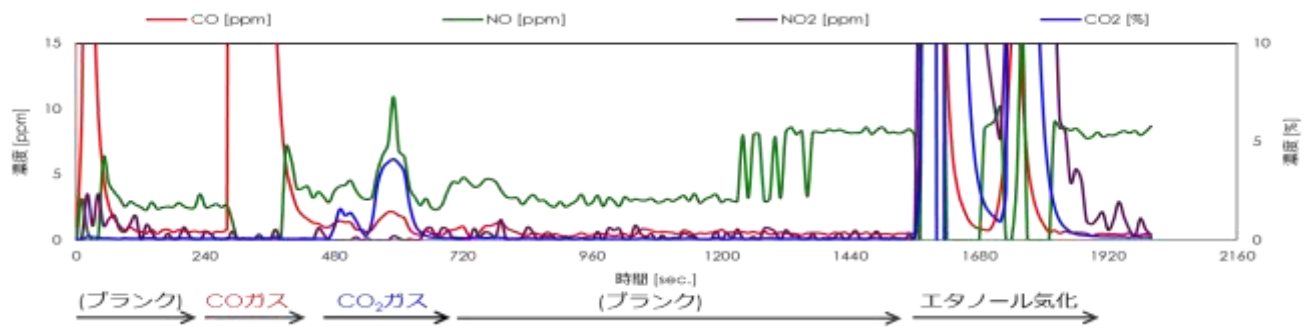


図 3.1.3.1.3 エタノールによる干渉 (CO₂, CO, NO, NO₂)

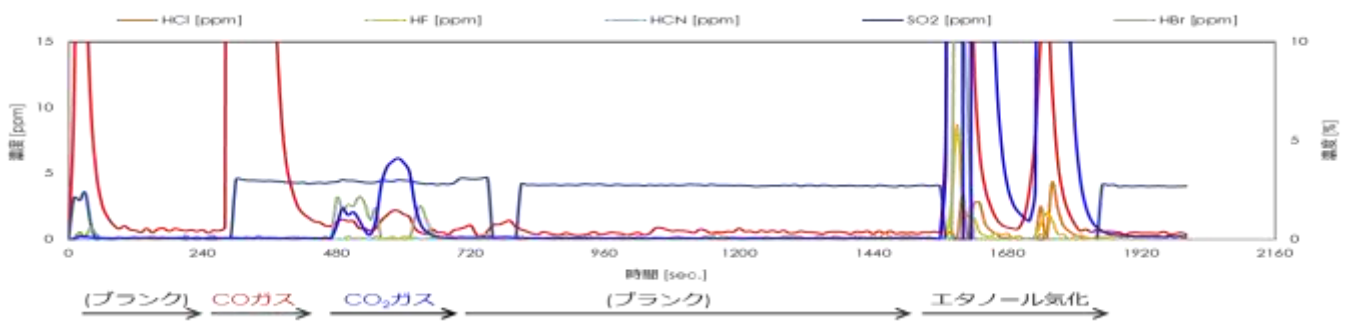


図 3.1.3.1.4 エタノールによる干渉 (SO₂, HCl, HF, HCN, HBr)

(3) スペクトルの干渉の話

FTIR では、計測対象のガス成分の分析エリア内に干渉が無視できないガス成分のピークがある場合、干渉リストにガス成分を追加することで補正することができる。ガス成分を干渉リストに追加するには、追加するガス成分のリファレンスペクトルが必要となる。FTIR 内にリファレンスペクトルのあるガス成分は、計測の対象としたガス (CO₂, CO, NO, NO₂, SO₂, HCl, HF, HCN, HBr) 以外に、H₂O, , NH₃, CH₄, C₂H₆, C₂H₄, C₃H₃, C₆H₁₄, CH₂O, C₃H₄O, C₆H₆O がある。よって、エタノール (C₂H₅OH) のリファレンスペクトルを調べ、計測対象ガスのリファレンスペクトルと見比べることで具体的に干渉を受けるガスを明らかにした。図 3.1.3.1.5~図 3.1.3.1.14 に C₂H₅OH 及び計測対象ガスのリファレンスペクトルを示す。これより、CO₂, NO₂, SO₂, HCl がエタノールによる影響を多く受けることがわかった。よって、表 3.1.3.1.1 に示すように、各材料の素材から生成されると考えられるガスを調べ、生成されないと考えられるガスは無視することにした。

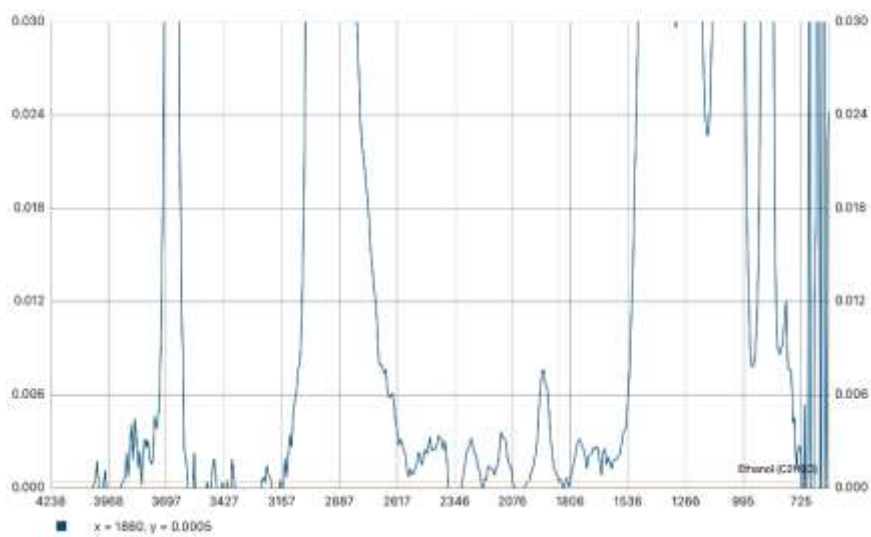


図 3.1.3.1.5 C₂H₅OH リファレンスペクトル

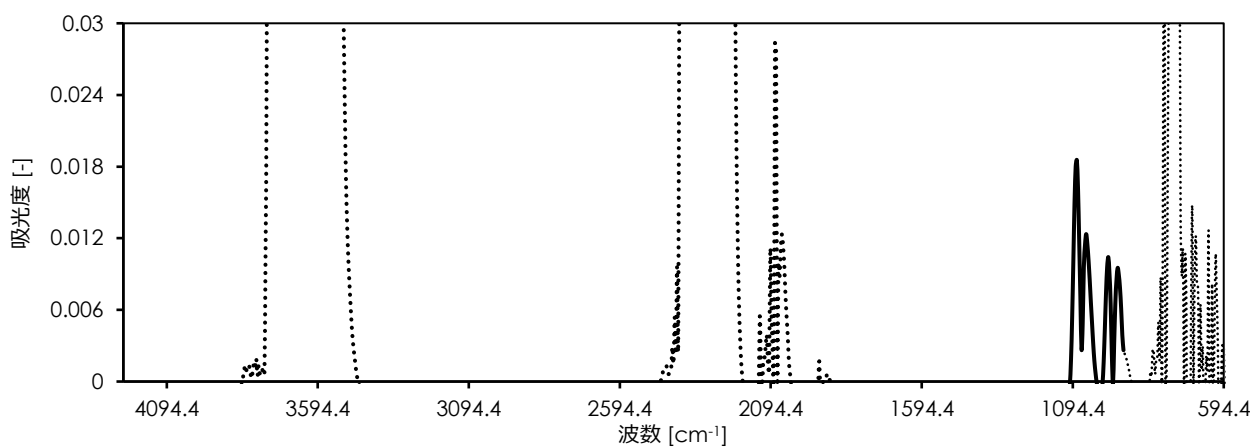


図 3.1.3.1.6 CO₂ リファレンスペクトル

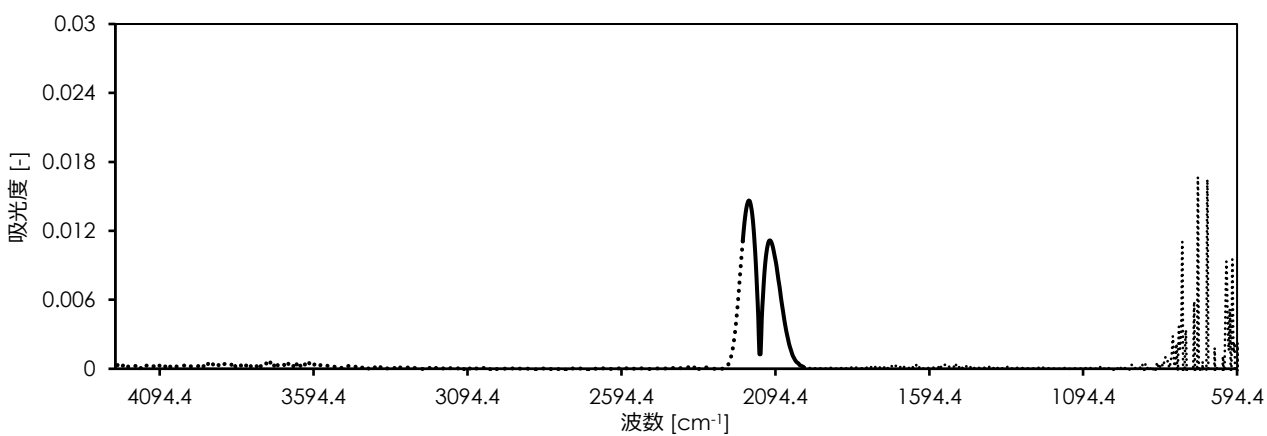


図 3.1.3.1.7 CO リファレンスペクトル

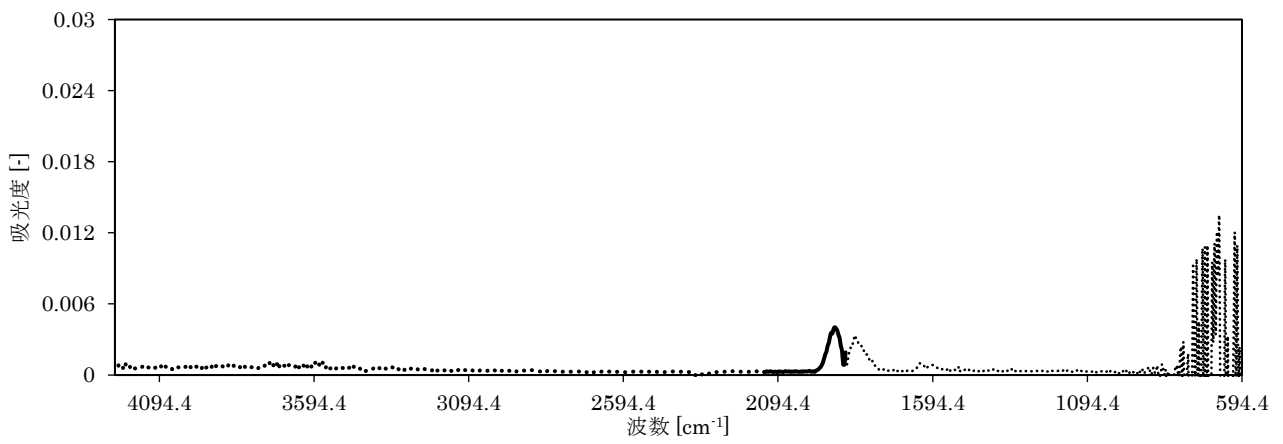


図 3.1.3.1.8 NO リファレンスペクトル

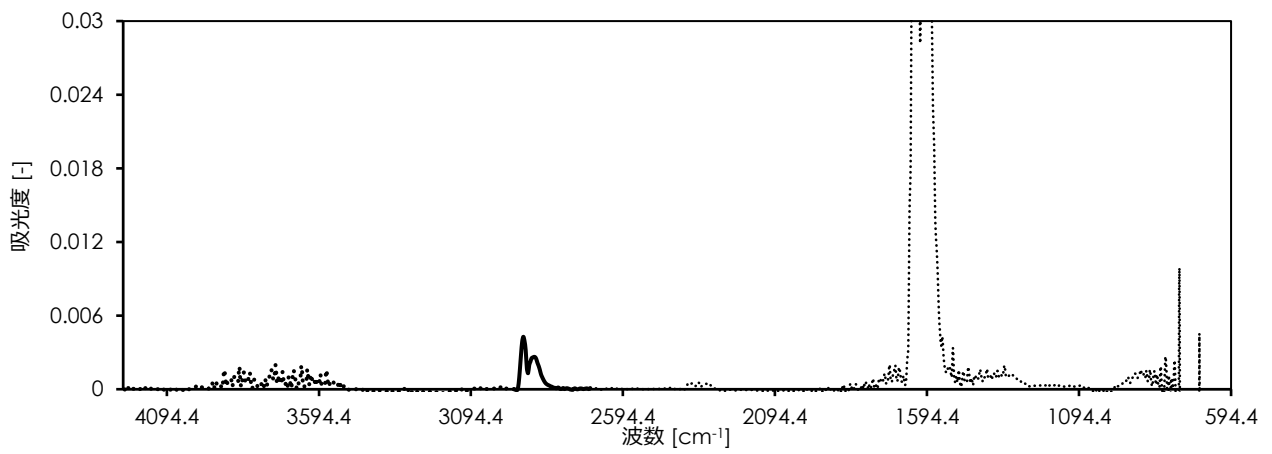


図 3.1.3.1.9 NO₂ リファレンスペクトル

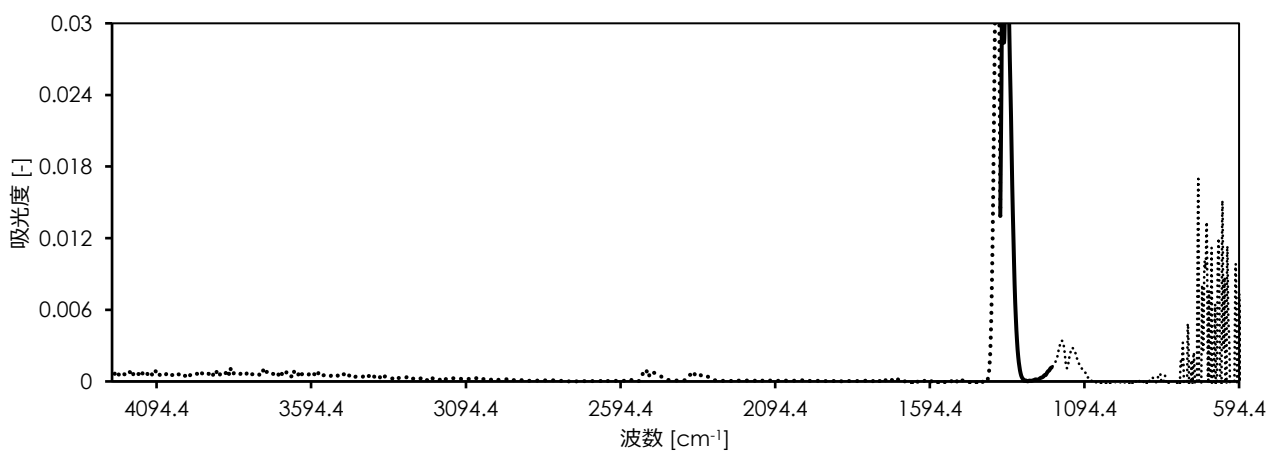


図 3.1.3.1.10 SO₂ リファレンスペクトル

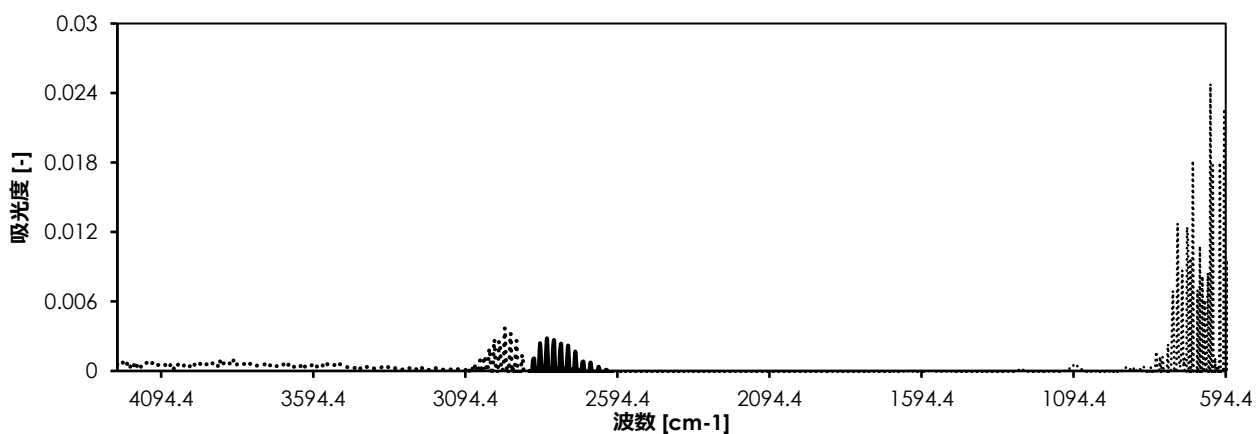


図 3.1.3.1.11 HCl リファレンスペクトル

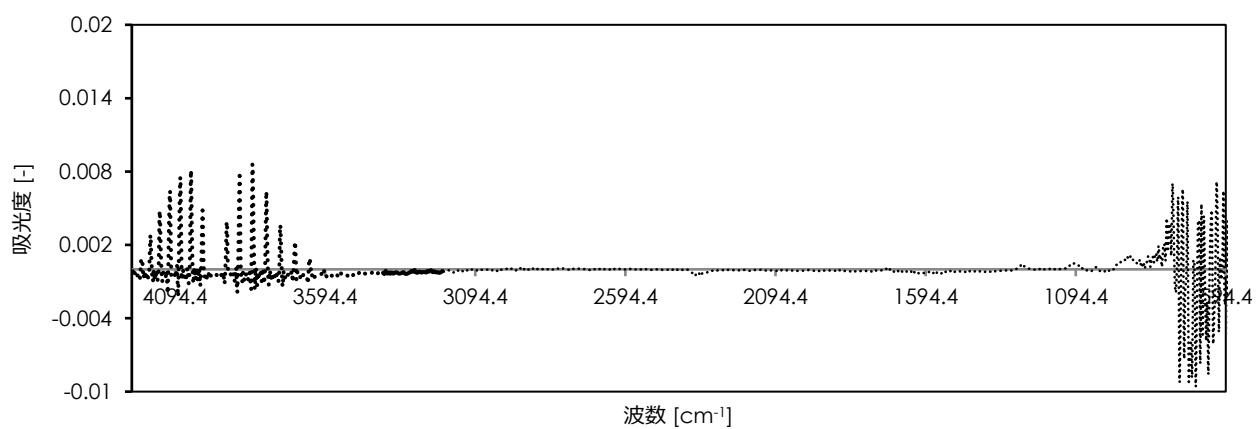


図 3.1.3.1.12 HF リファレンスペクトル

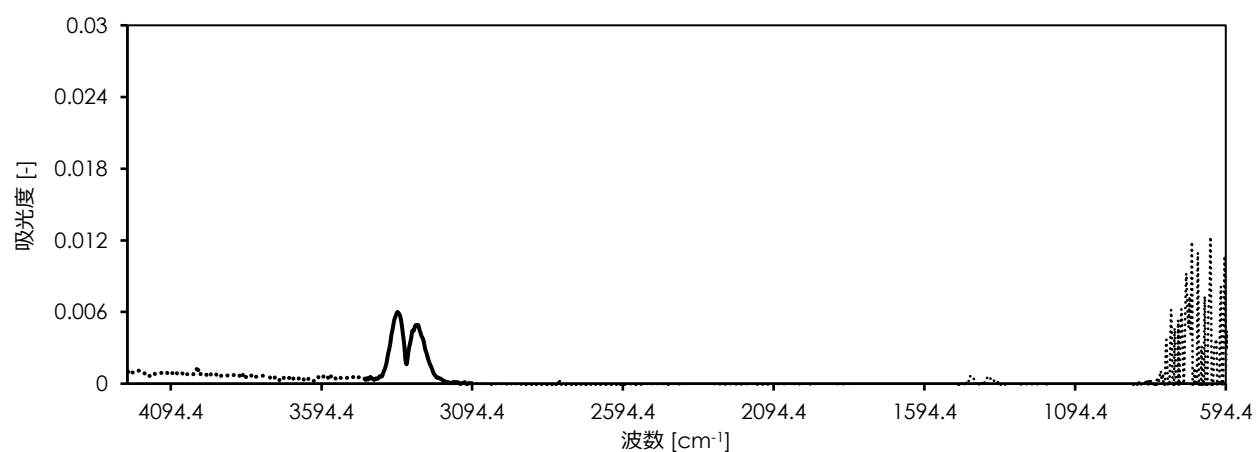


図 3.1.3.1.13 HCN リファレンスペクトル

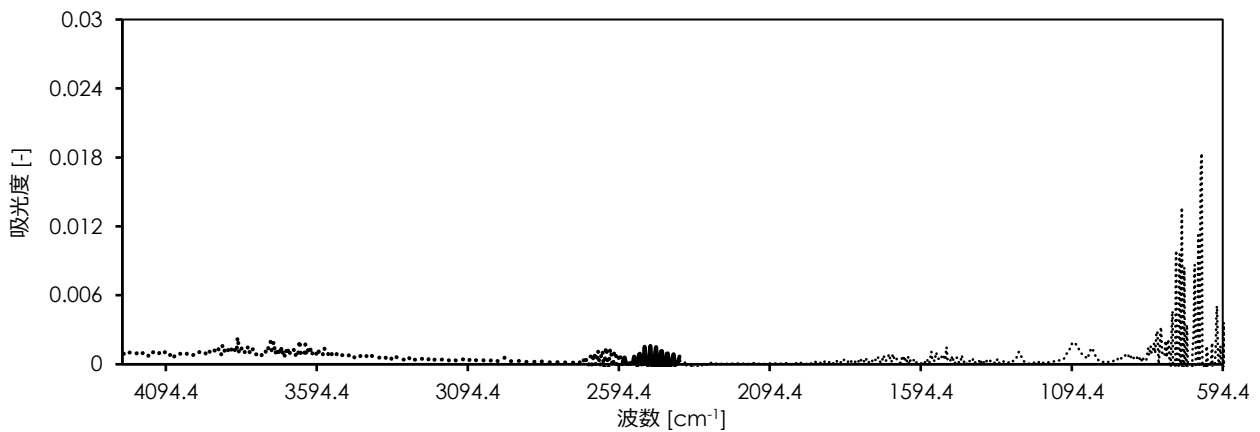


図 3.1.3.1.14 HBr リファレンスペクトル

表 3.1.3.1.1 各材料から生成される各ガス成分の有無

	CO ₂	CO	NO	NO ₂	SO ₂	HCl	HF	HCN	HBr
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	○	○	○	○	×	×	×	○	×

○：ガスが生成されたと考える。 ×：ガスが生成されていないと考える。

(4)試験に用いたパイロットバーナー及びエタノールの影響

SDC 試験で用いたパイロットバーナー及び 45° 法試験で用いたエタノールの影響で生成される各ガス濃度をブランク試験で計測した。この結果を図 3.1.3.1.15、図 3.1.3.1.16 に示す。これを各試験の計測結果から差し引くことで材料から生成された各ガス濃度を算出した。

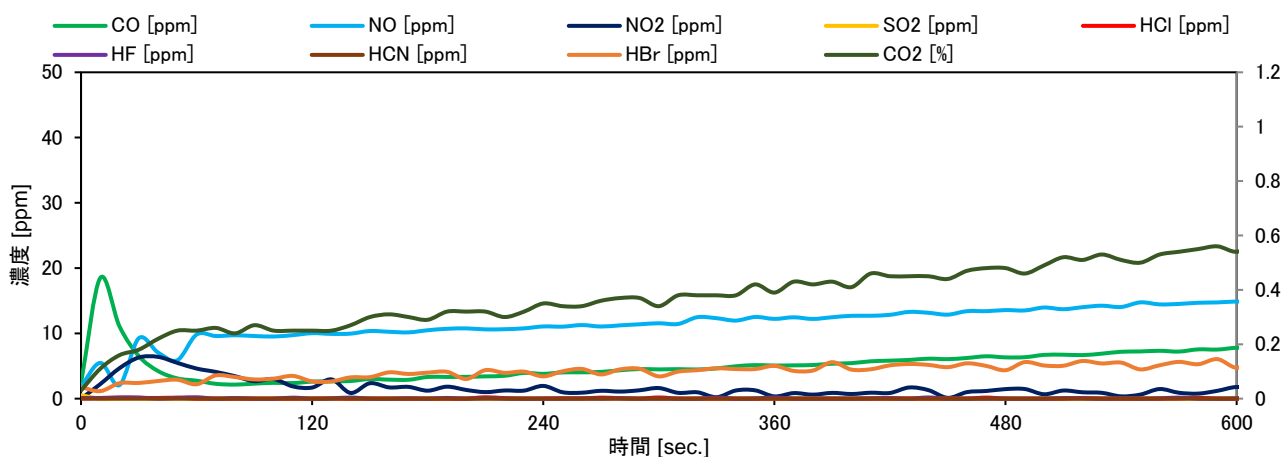


図 3.1.3.1.15 パイロットバーナーから生成された各ガス濃度

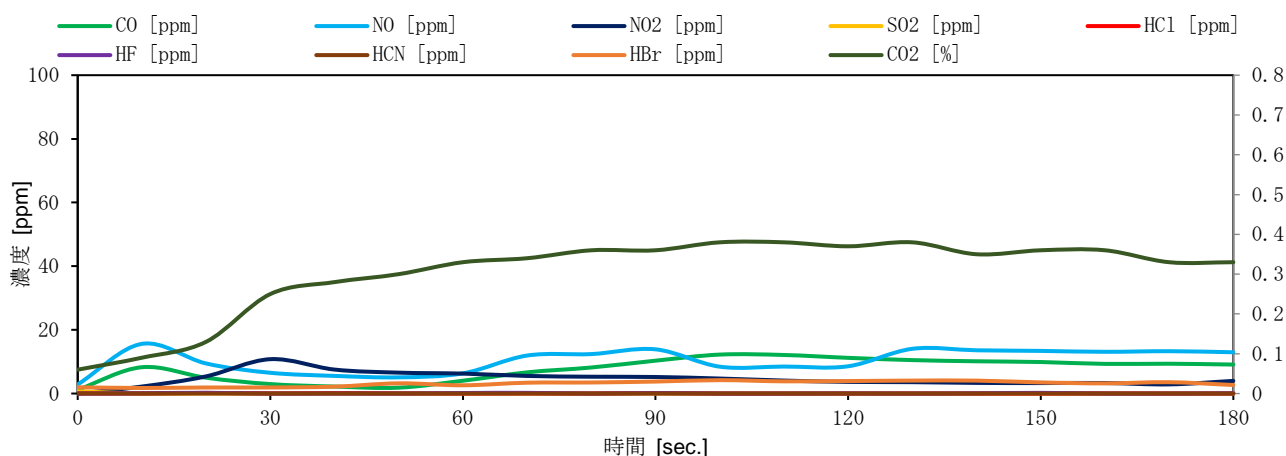


図 3.1.3.1.16 エタノールから生成された各ガス濃度

3.1.3.2 材料から生成された各ガス濃度

FTIR を用いた SDC 試験により計測した、材料から生成された各ガス濃度を前項の方法で補正した。その中でも特に標準濃度を超えたもののみ図 3.1.3.2.1～図 3.1.3.2.6 に示す。なお、標準濃度とは生命及び健康に直ちに危険を及ぼす環境空気の状態を示す。

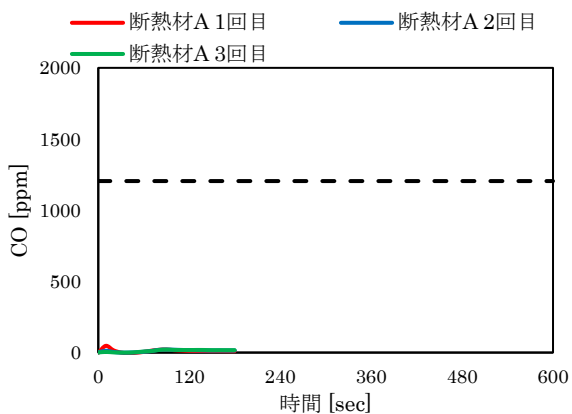
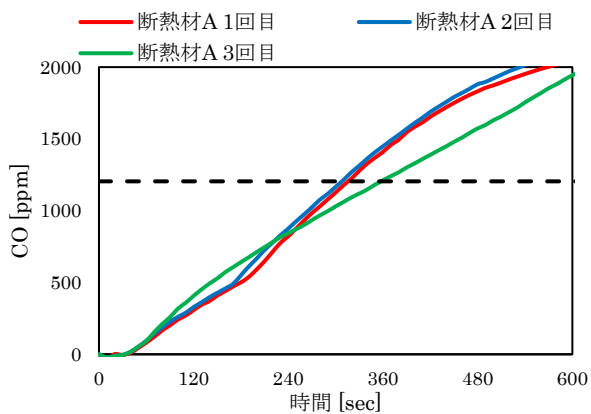


図 3. 1. 3. 2. 1 SDC 試験及び 45° 法試験 断熱材 A から生成された CO

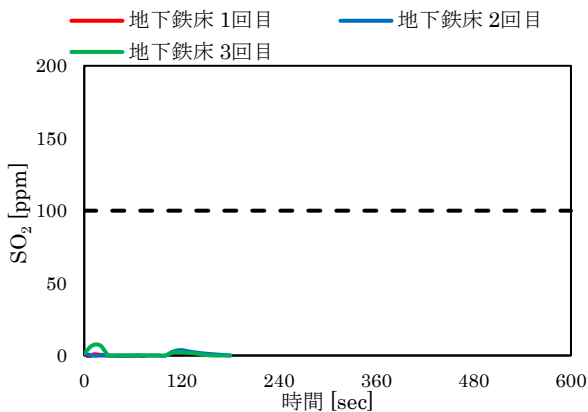
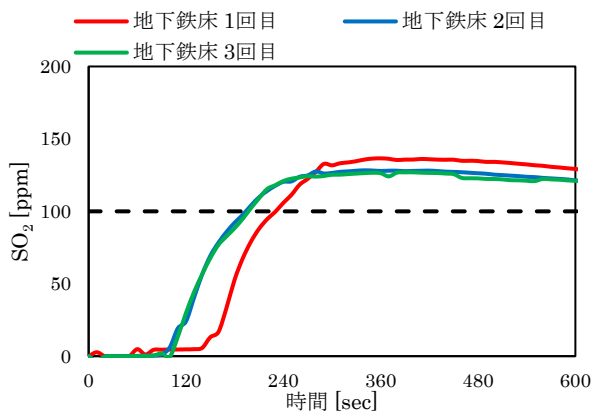


図 3. 1. 3. 2. 2 SDC 試験及び 45° 法試験 地下鉄床から生成された SO₂

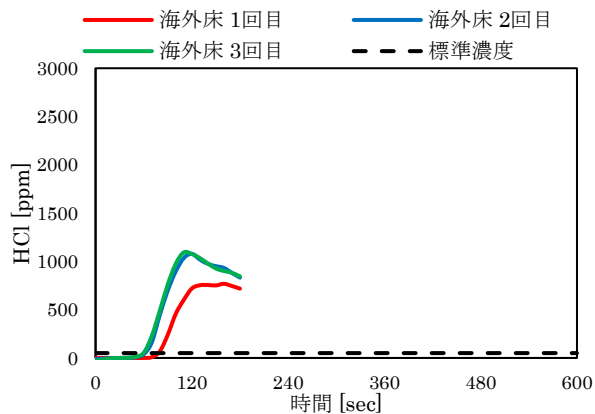
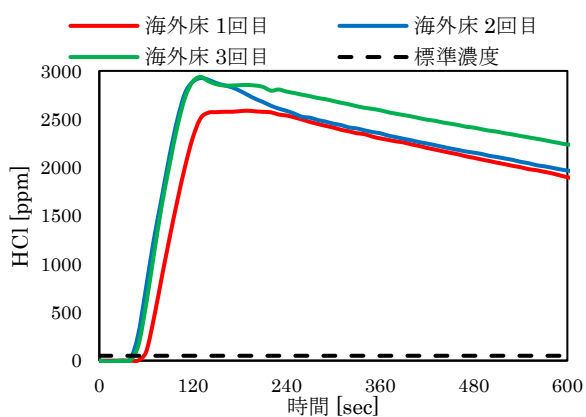


図 3. 1. 3. 2. 3 SDC 試験及び 45° 法試験 海外床から生成された HCl

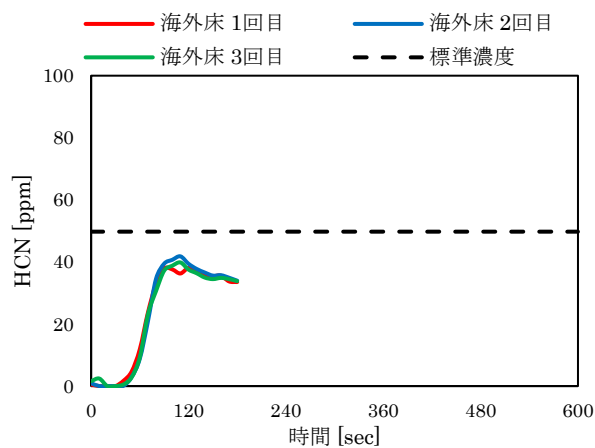
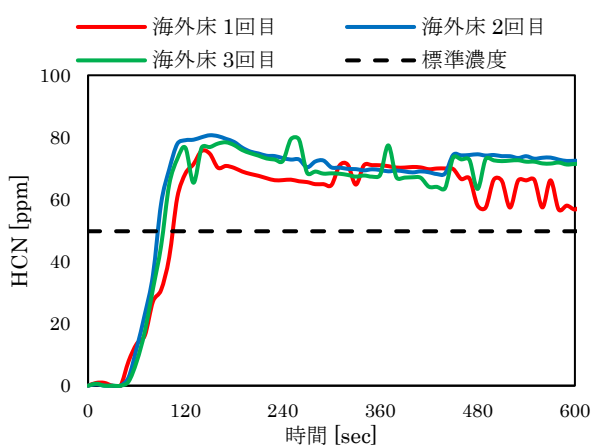


図 3. 1. 3. 2. 4 SDC 試験及び 45° 法試験 海外床から生成された HCN

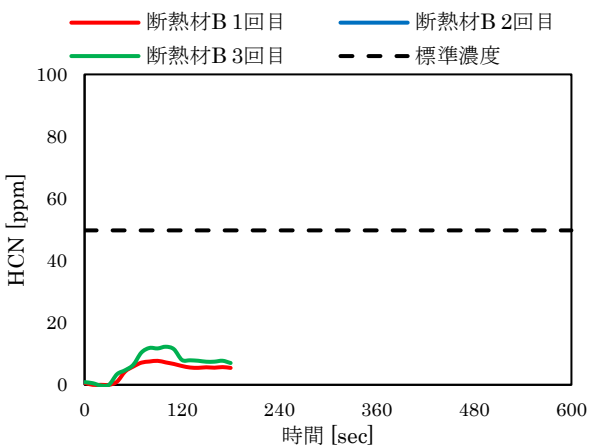
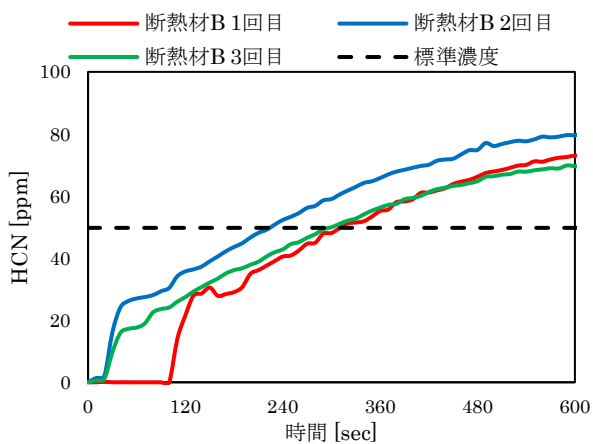


図 3. 1. 3. 2. 5 SDC 試験及び 45° 法試験 断熱材 B から生成された HCN

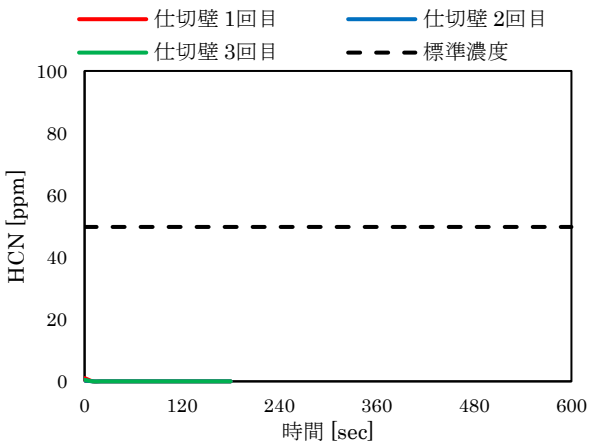
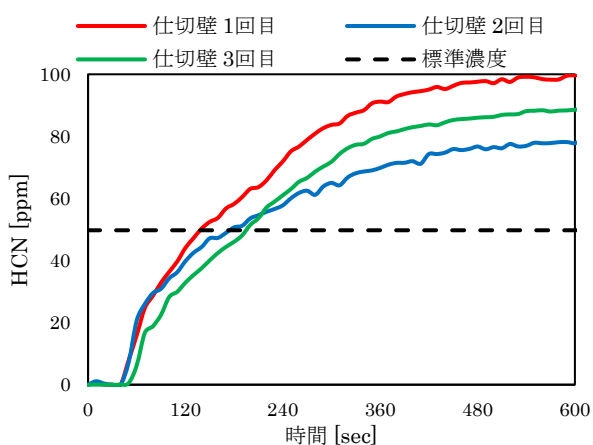


図 3. 1. 3. 2. 6 SDC 試験及び 45° 法試験 仕切壁から生成された HCN

3.1.4 考察

試験結果から得られた知見を以下にまとめる。

1) 比光学密度

・SDC 試験と 45° 法試験の結果から、材料の発煙量に著しい差があることが分かった。これは、大規模な火源を想定している SDC 試験に対して、火源の小さい 45° 法試験では燃焼が大きくなるためであると考えられる。

・難燃性と評価されている座席表地および床敷物において、SDC 試験では、在来線表地 B が HL3、地下鉄床敷物が HL1、在来線表地 C と海外床敷物は一番緩い基準値である HL1 を超える結果となった。また、不燃性と評価されている断熱材および内装パネルは、一番厳しい基準値である HL3 という結果になった。これより、日本における評価区分と EN 規格における HL との相関関係をみるのが困難であると考えられる。

2) ガス濃度

・45° 法試験では、すべての材料において、SDC 試験に比べ材料から生成された各ガス濃度に著しい差があることが分かった。これは、大規模な火源を想定している SDC 試験に対して、小規模な火源を想定している 45° 法試験では燃焼が大きくなるためであると考えられる。

・SDC 試験において、海外床敷物から生成される HCl は標準濃度を大幅に超過する結果となった。これは、素材に塩化ビニル樹脂が含まれているからだと考えられる。

3.2 各材料の評価

3.2.1 各材料における毒性の指数(CIT_G)

計測した各ガス成分の濃度を用いて、以下に示す式(6)および式(7)により、毒性の指数(CIT_G)を算出する。EN規格ではこれを用いて総合的なガス毒性の評価をしている。CIT_Gの算出に用いるガス成分及び、各ガス成分の標準濃度、モル質量を表3.2.1.1に示す。また、算出したCIT_Gにおける基準値を表3.2.1.2に、各材料における結果を図3.2.1.1～図3.2.1.8に示す。

表 3.2.1.1 CIT_Gの算出に用いる各ガス成分

ガス成分		標準濃度 [mg/m ³]	モル質量 [g/mol]
CO ₂		72,000	44.01
CO		1,380	28.01
HBr		99	80.908
HCl		75	36.458
HCN		55	27.028
HF		25	20.008
NO _x	NO	38	30.01
	NO ₂		46.01
SO ₂		262	64.07

※NO および NO₂ は、合算して NO_x として計算する。

$$C_n = \left(\frac{P_{chamber} \times M_{gas}}{R} \right) \times \left(\frac{c_{gas}}{T_{chamber}} \right) \cdot \cdot \cdot (6)$$

ここに、

C_n : 計測したガス成分の濃度 [kg/m³]

$P_{chamber}$: チャンバー内の圧力 [Pa] (通常、101.325 [Pa])

M_{gas} : 計測したガス成分のモル質量 [kg/mol]

R : 気体定数 (8.3143 [J/mol·K])

c_{gas} : 計測したガス成分の体積率 [ppm]

$T_{chamber}$: チャンバー内のサンプリングプローブにおける絶対温度 [K]

$$CIT_G = 0.0805 \times \sum_{i=1}^{i=8} \frac{c_i}{C_i} \cdot \cdot \cdot (7)$$

ここに、

c_i : 計測したガス成分の濃度 [mg/m³]

C_i : 標準濃度 [mg/m³]

表 3.2.1.2 EN 規格における基準値

試験片	基準値 (CIT_G [-])		
	HL1	HL2	HL3
在来線 表地 B	1.2	0.9	0.75
在来線 表地 C			
地下鉄 床敷物	1.2	0.9	0.75
海外 床敷物			
在来線 仕切壁	1.2	0.9	0.75
高速鉄道 側天井			
断熱材 A			
断熱材 B			

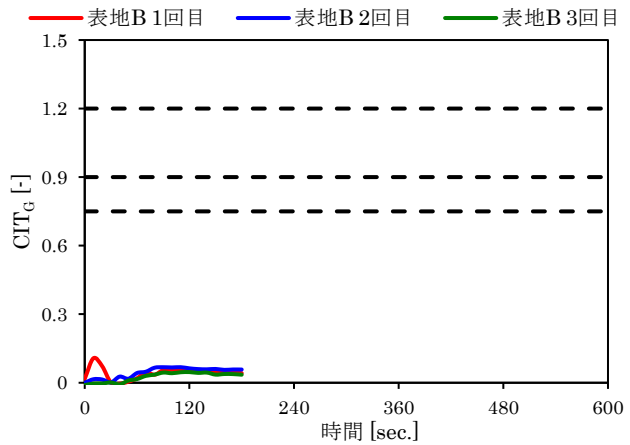
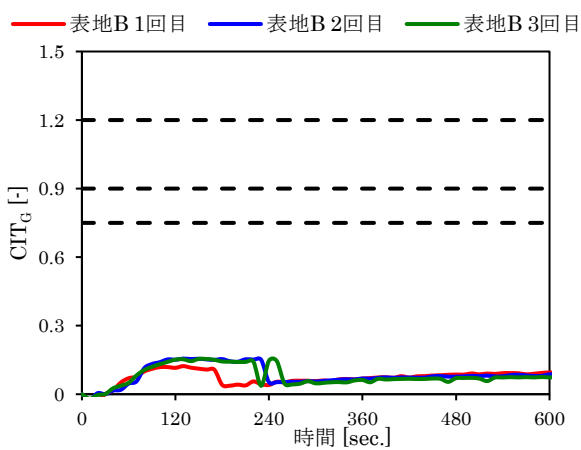


図 3.2.1.1 SDC 試験及び 45° 法試験 表地 B ガス毒性の指数 (CIT_G)

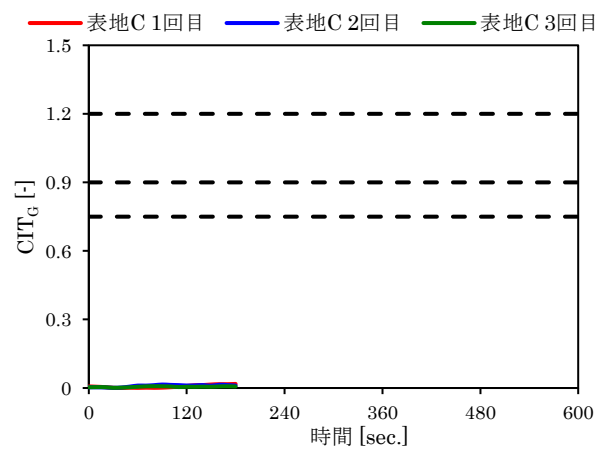
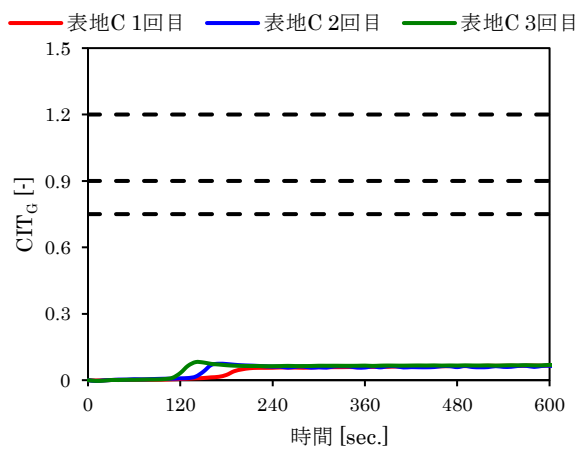


図 3.2.1.2 SDC 試験及び 45° 法試験 表地 C ガス毒性の指数 (CIT_G)

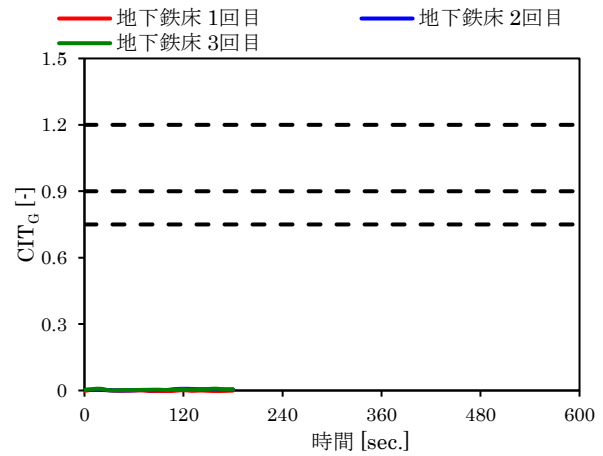
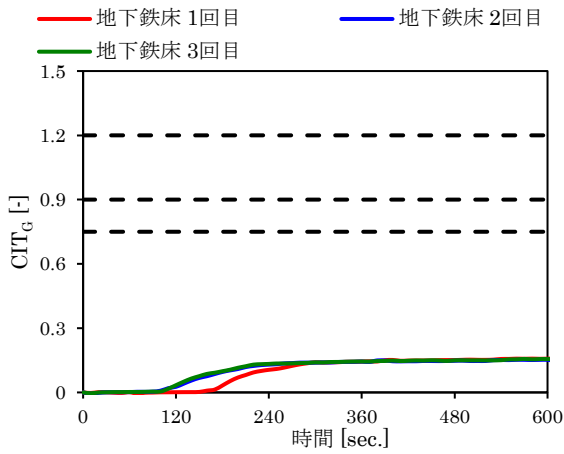


図 3.2.1.3 SDC 試験及び 45° 法試験 地下鉄床 ガス毒性の指数 (CIT_G)

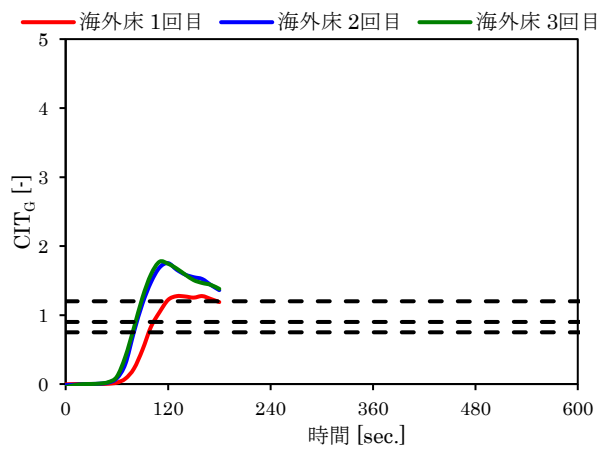
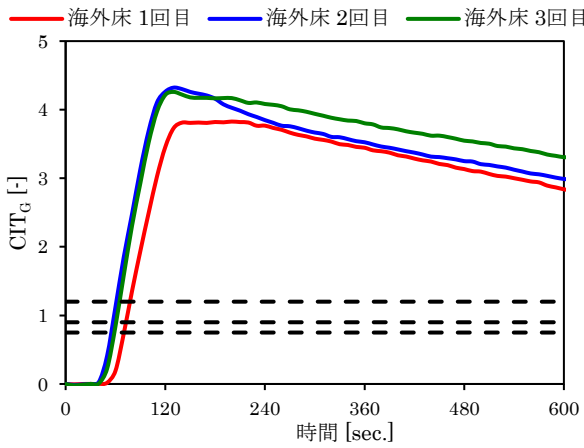


図 3.2.1.4 SDC 試験及び 45° 法試験 海外床 ガス毒性の指数 (CIT_G)

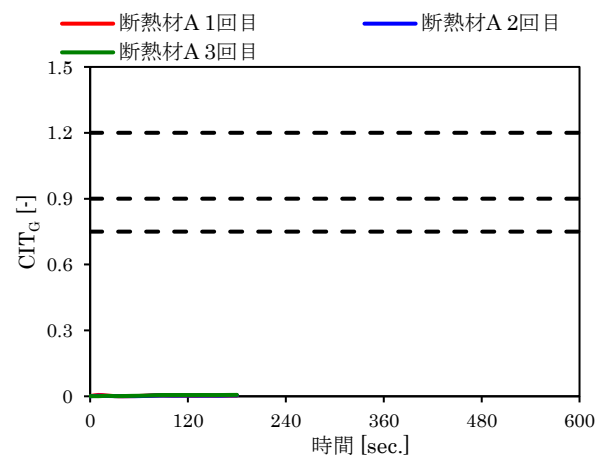
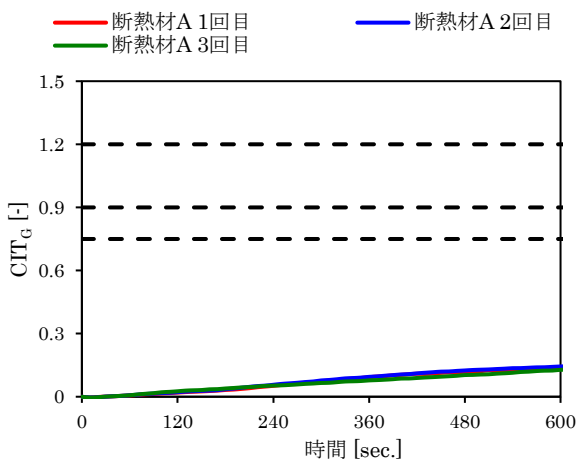


図 3.2.1.5 SDC 試験及び 45° 法試験 断熱材 A ガス毒性の指数 (CIT_G)

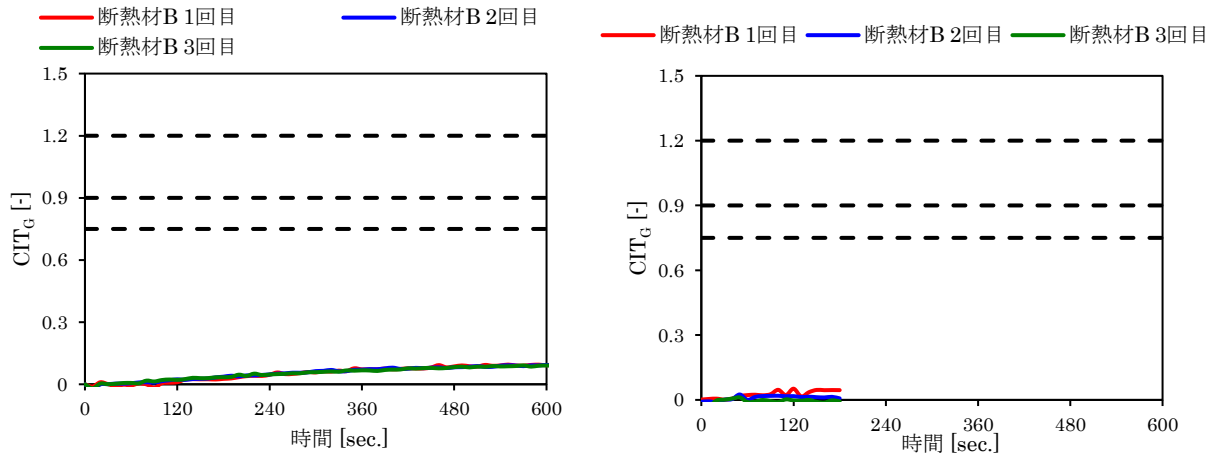


図 3. 2. 1. 6 SDC 試験及び 45° 法試験 断熱材 B ガス毒性の指数 (CIT_G)

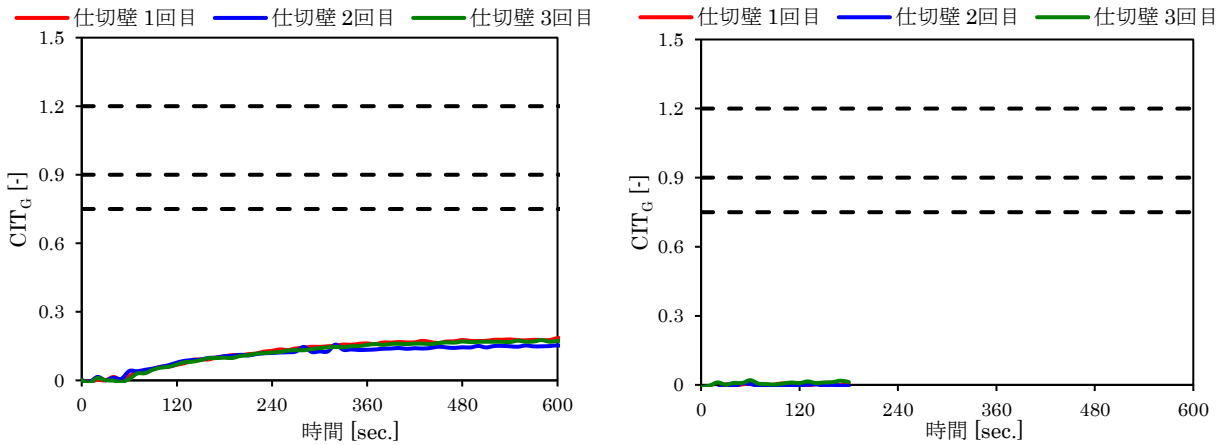


図 3. 2. 1. 7 SDC 試験及び 45° 法試験 仕切壁 ガス毒性の指数 (CIT_G)

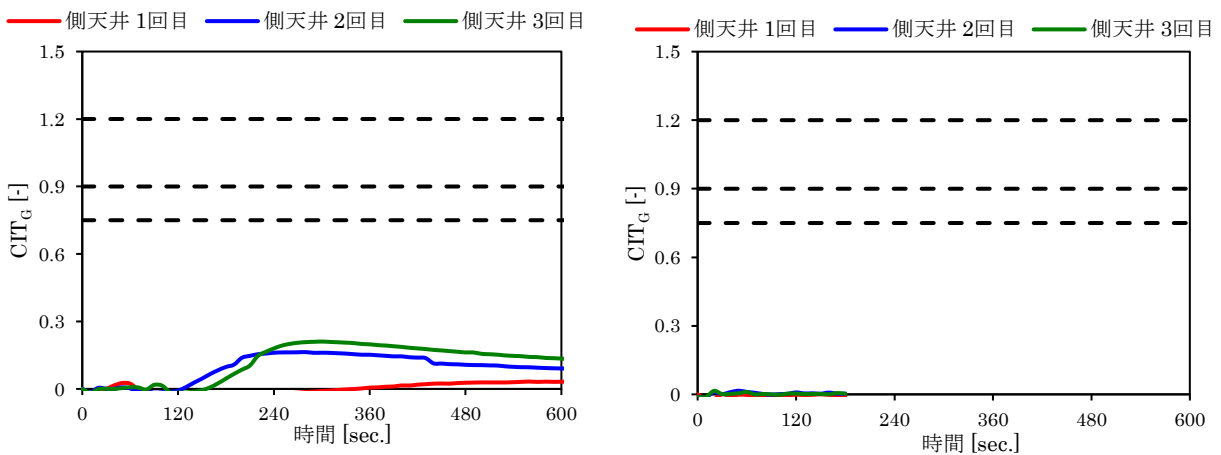


図 3. 2. 1. 8 SDC 試験及び 45° 法試験 側天井 ガス毒性の指数 (CIT_G)

3.2.2 考察

毒性の指数(*CIT₀*)の結果について、以下のようにまとめる。また、SDC 試験における毒性の指数の評価結果を表 3.2.2.1 に示す。

毒性の指数

・材料から生成された各ガス濃度の結果で、HCl が多く生成された海外床敷物のみ最も緩い基準値である HL1 を超える結果となった。他の材料に関しては最も厳しい基準値である HL3 という結果となった。よって、欧州では塩化ビニル樹脂が含まれている床敷物が用いることができず、代わりにゴム系のような材料から生成される各ガス濃度が少ないものが用いられていると考えられる。

表 3.2.2.1 毒性の指数における評価結果

材料名	評価結果
在来線 表地 B	HL3
在来線 表地 C	HL3
地下鉄 床敷物	HL3
海外 床敷物	(OVER)
断熱材 A	HL3
断熱材 B	HL3
在来線 仕切壁	HL3
高速鉄道 側天井	HL3

3.3 試験結果の分析

3.3.1 発煙係数

単位質量当たりの発煙量である発煙係数は、計測した透過率を用いて、以下の式(8)、式(9)および式(10)により算出される。算出した両試験における発煙係数を比較することで、試験方法(加熱方法)の違いによる発煙性能に違いがあるかを考察する。

$$C_S = L/l \ln(I_0/I) \quad (8)$$

ここに、

C_S : 減光係数 [1/m]

L : 光路長 (=0.91 [m])

I_0 : 初期透過率 (=100 [%])

I : 透過率 [%]

$$C = C_S V \quad (9)$$

ここに、

C : 発煙量 [$m^{-1} \cdot m^3$]

V : 煙の拡散した容器 (=0.51 [m^3])

$$K = C_S V / g \quad (10)$$

ここに、

K : 発煙係数 [$(m^{-1} \cdot m^3) / g$]

g : 質量減少量 [g]

各材料において、算出した発煙係数の平均値を以下の表 3.3.1.1 に示す。本報では、45° 法試験において着火がみられた座席表地と床敷物の結果のみ示す。なお、前回と記載のある試験体は、「鉄道車両用材料の燃焼性試験の妥当性の検討」(平成 28 年 3 月 東京理科大学卒業論文 有馬毅、小輪瀬敦也、浪岡佑太郎)において使用した材料である。表 3.3.1.2 に昨年度使用した材料(座席表地、床敷物)の概要を示す。また、両試験における発煙係数の比較を図 3.3.1.1 に示す。

表 3.3.1.1 両試験における発煙係数

材料名称	SDC 試験	45° 法試験
	発煙係数 [$(\text{m}^{-1}\cdot\text{m}^3)/\text{g}$]	発煙係数 [$(\text{m}^{-1}\cdot\text{m}^3)/\text{g}$]
在来線 表地 A(前回)	2.42	0.63
在来線 表地 B	0.41	0.49
在来線 表地 C	4.18	0.76
地下鉄 表地(前回)	0.32	0.25
高速鉄道 表地(前回)	0.93	0.24
在来線 床敷物(前回)	2.63	0.75
地下鉄 床敷物(前回)	2.16	0.73
地下鉄 床敷物	1.22	0.35
高速鉄道 床敷物(前回)	1.86	0.67
海外 床敷物	1.04	0.50

表 3.3.1.2 昨年度使用した材料の概要(座席表地、床敷物)

材料名称	主な素材
在来線 表地 A	ポリエステル
地下鉄 表地	ウール
高速鉄道 表地	エステル/アラミド
在来線 床敷物	塩化ビニル樹脂
地下鉄 床敷物	塩化ビニル樹脂
高速鉄道 床敷物	塩化ビニル樹脂

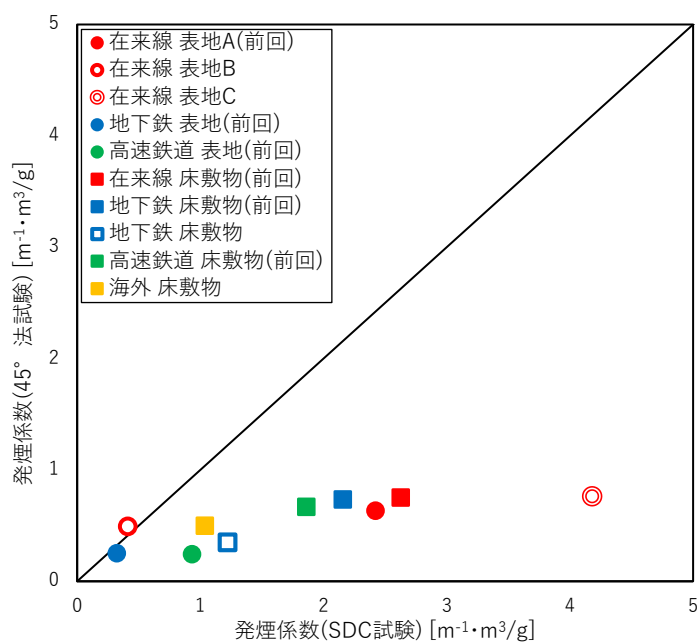


図 3.3.1.1 両試験における発煙係数の比較

3.3.2 材料における単位質量当たりのガス濃度

計測したガス濃度及び質量減少量を用い、式(11)で材料における単位質量当たりのガス濃度を算出し、算出した単位質量当たりのガス濃度を 1.2.3 回目で平均を出し 45° 法試験及び SDC 試験で比較した。一部の結果を以下の図 3.3.2.1、図 3.3.2.2 に示す。

$$(\text{単位質量当たりのガス濃度}) = \frac{C_n \times V_{chamber}}{M} \dots (11)$$

ここに、

C_n : 計測したガス成分の濃度 [g/m³]

$V_{chamber}$: チャンバー内の体積 [m³] (通常、0.51 [m³])

M : 計測した質量減少量 [g]

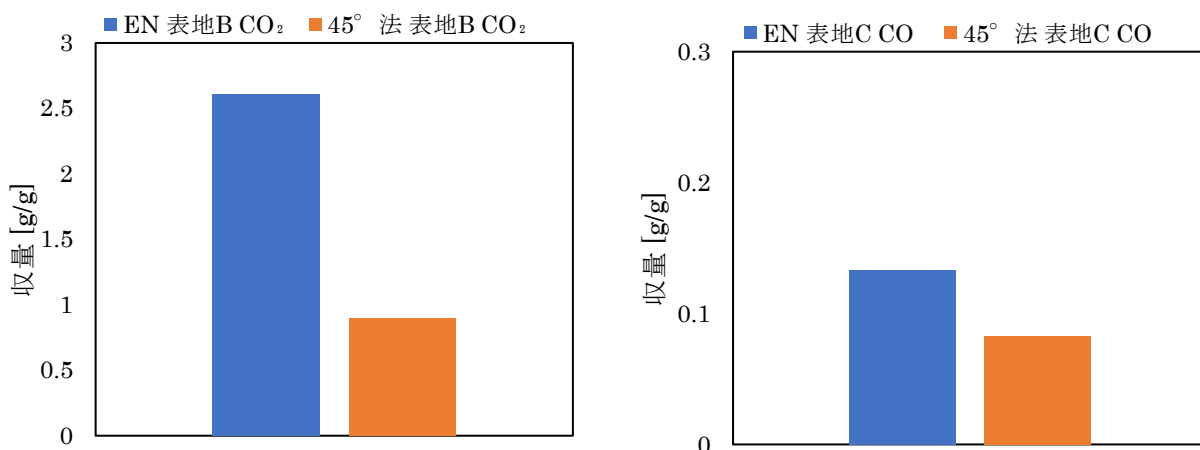


図 3.3.2.1 SDC 試験及び 45° 法試験 表地 単位質量当たりのガス濃度(一部抜粋)

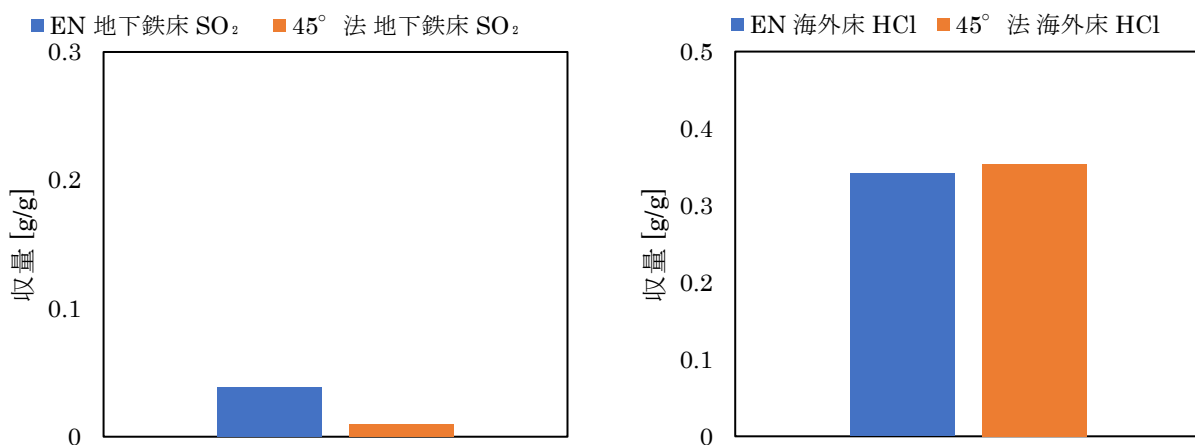


図 3.3.2.2 SDC 試験及び 45° 法試験 床敷物 単位質量当たりのガス濃度(一部抜粋)

3.3.3 考察

1) 発煙係数

・45° 法試験の発煙係数は 0.3-0.7 α の範囲で変動が小さかった。また、両試験における材料の発煙性能を比較した結果、ほとんどの材料で SDC 試験の方が大きかった。これは、試験体の加熱方法の違いにより、材料の発煙性能に差がみられたと考えられる。

・在来線表地 B および地下鉄表地では、両試験における材料の発煙性能にあまり差がみられなかった。これらの共通点として、素材にウールが使われているという点が挙げられる。このことから、ウールは発煙性能が低いと考えられる。

2) 材料における単位質量当たりのガス濃度

・材料から生成された各ガス毒性の結果で、両試験で大きな差がみられた海外床敷物の HCl に関して、収量で比較した結果、両試験でほぼ等しい発生量であることがわかった。また、表地 B の CO₂ 及び地下鉄床敷物の SO₂ のように両試験で異なる発生量となるガスもあった。これより、45° 法試験のアルコールの燃焼では発生しにくいガスがあると考えた。

4. 総括

本研究で得られた知見を以下に示す。

1) 発煙性

両試験における材料の発煙量の結果から、加熱条件の違いによって、材料の発煙性能に差が生じることが分かった。また、一部の材料の発煙量が EN 規格における一番緩い基準値を超える結果となった。これより、45° 法試験では材料の発煙性能を十分に評価できていないと考えられる。そのため、日本においても小規模火源だけでなく、大規模火源を想定した試験を実施し、発煙性の評価をすべきではないかと考えた。

2) ガス毒性

現在日本の火災対策基準では評価されていないガス毒性では、一部の材料において EN 規格における基準値を超過する結果となった。よって、将来的には日本でも評価項目として視野に入れるべきではないかと考えた。また、両試験におけるガスの生成量を比較した結果、45° 法試験のような小規模な火源では生成されにくいガスがあることがわかった。そこで、ガス毒性の評価項目を追加するのであれば、大規模な火源を想定した試験を実施すべきではないかと考えた。

参考文献

- ・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年度3月
- ・「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討 調査報告書」東京理科大学火災科学研究センター 2016年3月
- ・EN 45545-2:2013, Railway applications-Fire protection on railway vehicles
- ・EN ISO 5659-2 Plastics-Smoke generation-Part 2:Determination of optical density by a single-chamber test

引用文献

- 1) 「RA2016-5 鉄道事故調査報告書 II 東海道旅客鉄道株式会社 東海道新幹線 新横浜駅～小田原駅間 列車火災事故」運輸安全委員会 2016年6月30日
- 2) 木田清春ほか「地下鉄車両各部材における燃焼特性に関する研究」東京消防庁消防技術安全所 消防科学研究所報 41号 2008年
- 3) 「鉄道火災対策技術委員会報告書」鉄道火災対策技術委員会 1975年4月
- 4) 「地下鉄道の火災対策検討会報告書」地下鉄道の火災対策検討会 2004年3月
- 5) 「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)」国土交通局鉄道局監修 2007年11月
- 6) 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 2011年3月
- 7) 伊藤健一「地下鉄道の火災と排煙対策」一般社団法人 日本建設機械施工協会機関誌 建築の施工企画 No. 751 2012年9月
- 8) 亀岡晃「車両内可燃物制限の火災安全上の設計法」東京理科大学 国際火災科学研究科 火災科学専攻 修士論文 2014年3月
- 9) 「鉄道総研の技術遺産 File No. 28 旧燃焼実験棟」公益財団法人 鉄道総合技術研究所 RRR Vol. 71 No. 8 2014年8月
- 10) EN 45545-2:2013, Railway applications-Fire protection on railway vehicles

謝辞

本論文の作成にあたり、東京理科大学の辻本誠教授、松山賢教授には丁寧かつ熱心なご指導を賜りました。お忙しい中、定期的に時間を割いてくださり、誠にありがとうございました。先生方のおかげで、何とか形にするところが出来ました。厚く御礼を申し上げます。

また、東京理科大学院の清水晃平さん、今泉諭喜男さんには、貴重な時間を割いて、本研究に際しての様々なご指導をいただきました。私たち自身の甘さから、ご迷惑をおかけしたにもかかわらず、最後まで熱心なご指導をしてくださり、ありがとうございました。

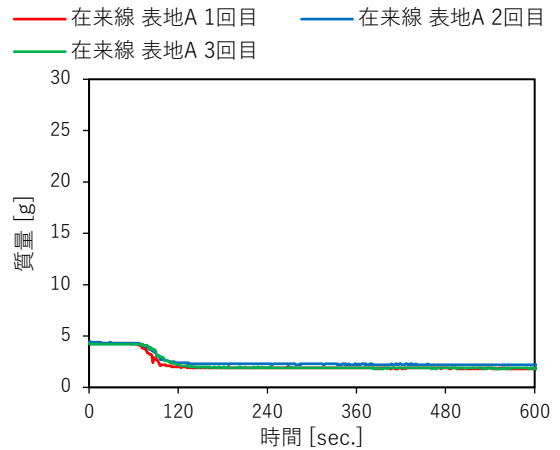
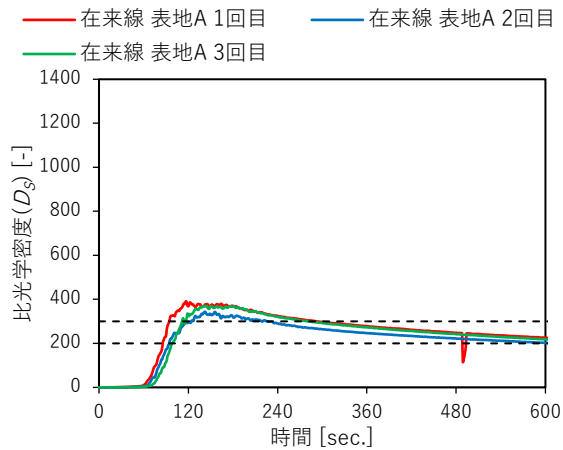
ここまで私たちを支えてくださった全ての皆様へ心から感謝の気持ちと御礼を申し上げたく、謝辞にかえさせていただきます。

付録

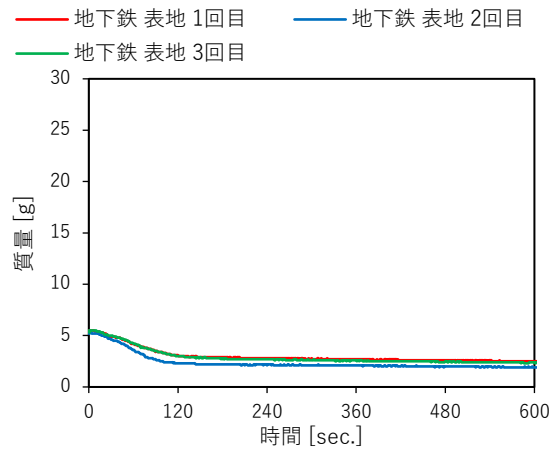
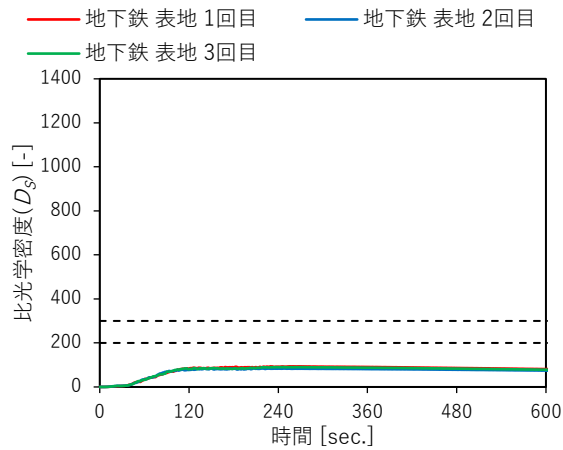
○「鉄道車両用材料の燃焼性試験の妥当性の検討」(平成28年3月 東京理科大学卒業論文 有馬毅、小輪瀬敦也、浪岡佑太郎)において使用した材料における比光学密度およびガス濃度の結果を以下に示す。

昨年度使用した鉄道車両用材料一覧

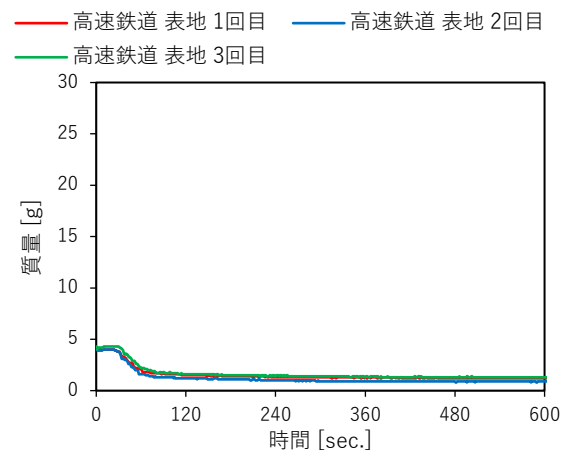
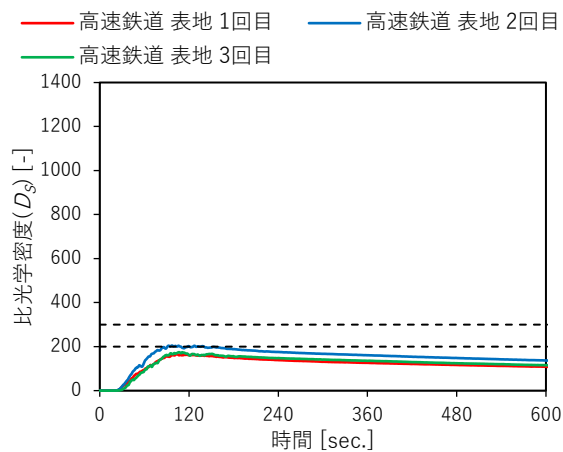
車種	適用部位	試験体名称	材料詳細
在来線 一般車両	腰掛シート表地	在来線 表地	ポリエステル
	床敷物	在来線 床敷物	塩化ビニル樹脂、可塑剤、充填剤、難燃剤、安定剤、顔料、基布
	内装パネル (側天井)	在来線 内装	表面：白色アルミシート、下塗り(エポキシ樹脂系焼付塗装) 中塗(アクリル樹脂系焼付塗装) 上塗(クリアーアクリル樹脂系焼付塗装) 芯材：水酸化アルミ充填ポリオレフィン樹脂 裏面：白色アルミシート(ポリエステル樹脂系焼付塗装)
地下鉄 車両	腰掛シート表地	地下鉄 表地	パイル糸：ウール、地糸：エステル/レーヨン
	床敷物	地下鉄 床敷物	塩化ビニル樹脂、可塑剤、充填剤、難燃剤、安定剤、顔料、基布
	内装パネル (側天井)	地下鉄 内装	メラミン樹脂含浸化粧層、フェノール樹脂含浸コア層、アルミ板
高速鉄道 車両	腰掛シート表地	高速鉄道 表地	パイル糸：エステル/アラミド、地糸：エステル/レーヨン
	床敷物	高速鉄道 床敷物	塩化ビニル樹脂、可塑剤、充填剤、難燃剤、特殊ポリマ、安定剤、顔料、基布
	内装パネル (仕切壁表面化粧板)	高速鉄道 内装	メラミン樹脂含浸化粧層、フェノール樹脂含浸コア層、アルミ板



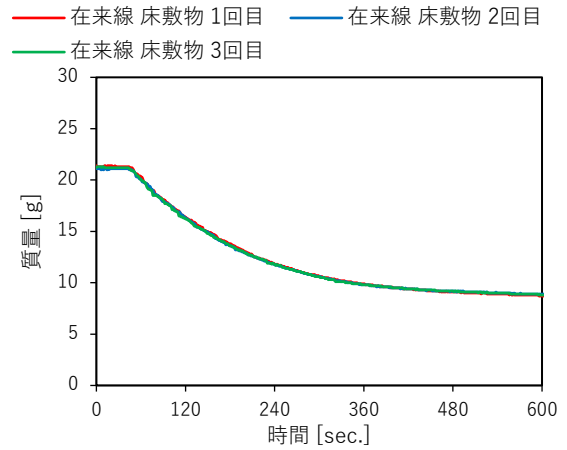
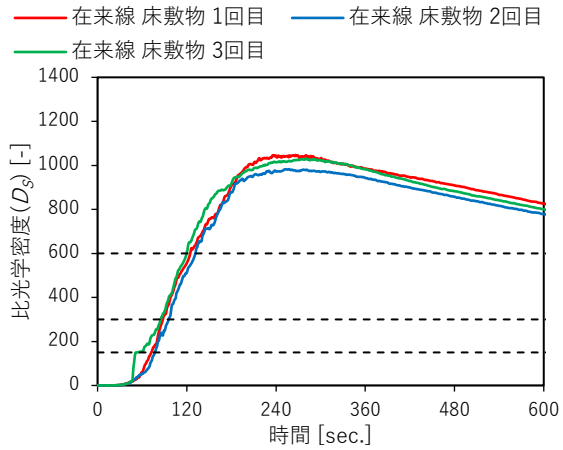
SDC 試験 在来線 表地 A 比光学密度 (D_s) および質量変化



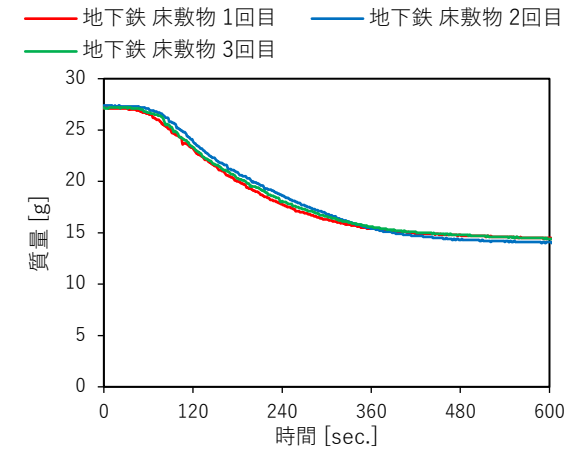
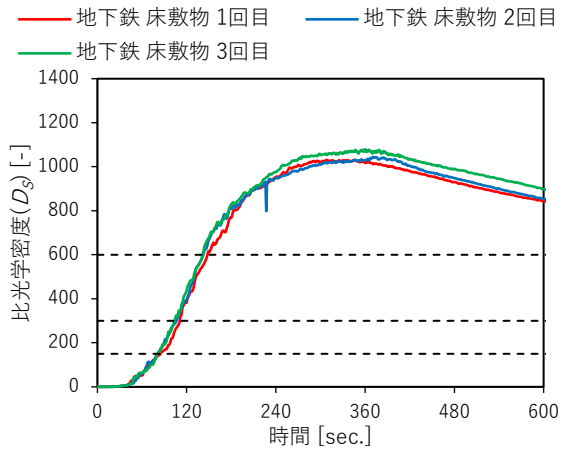
SDC 試験 地下鉄 表地 比光学密度 (D_s) および質量変化



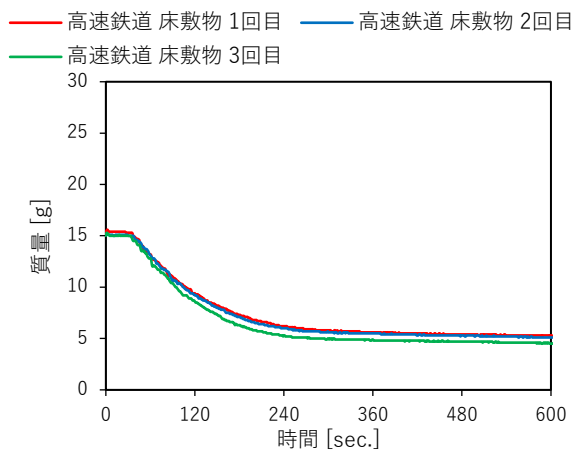
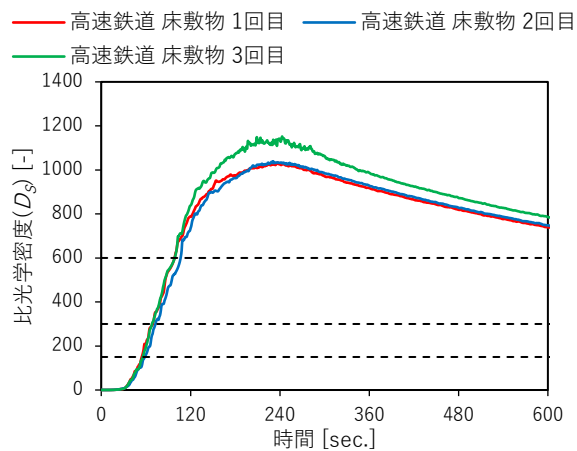
SDC 試験 高速鉄道 表地 比光学密度 (D_s) および質量変化



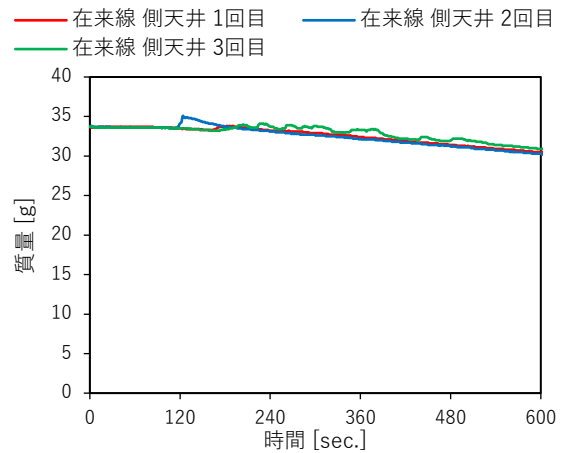
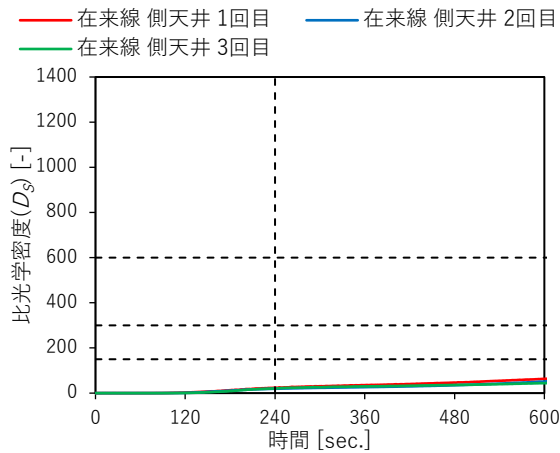
SDC 試験 在来線 床敷物 比光学密度 (D_s) および質量変化



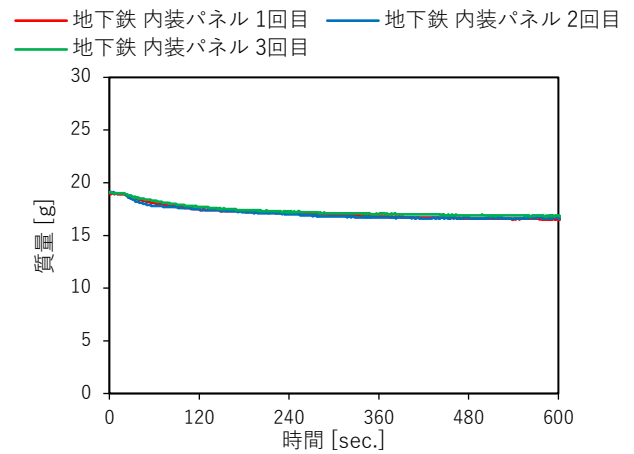
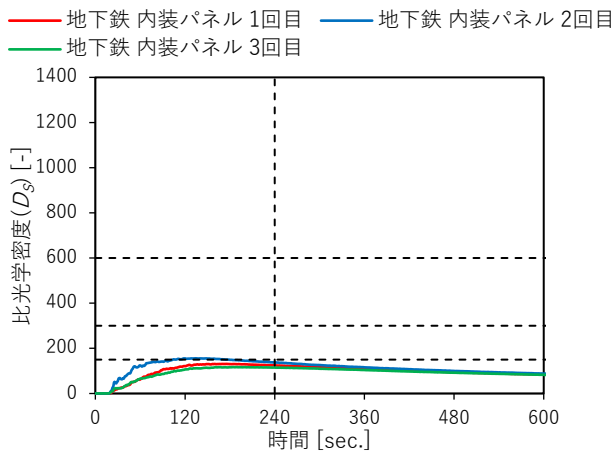
SDC 試験 地下鉄 床敷物 比光学密度 (D_s) および質量変化



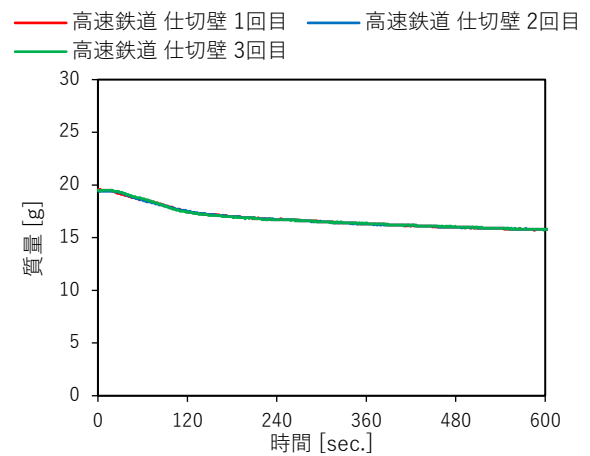
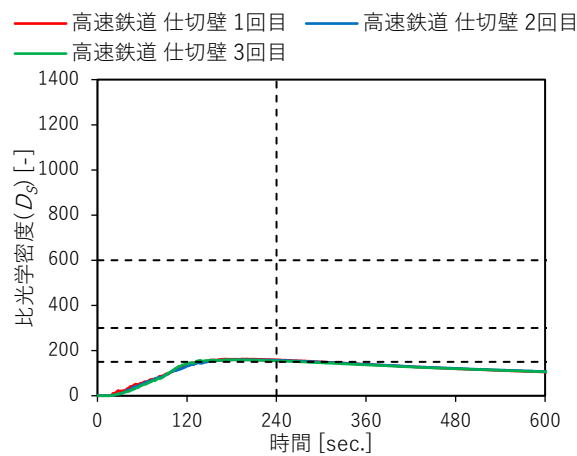
SDC 試験 高速鉄道 床敷物 比光学密度 (D_s) および質量変化



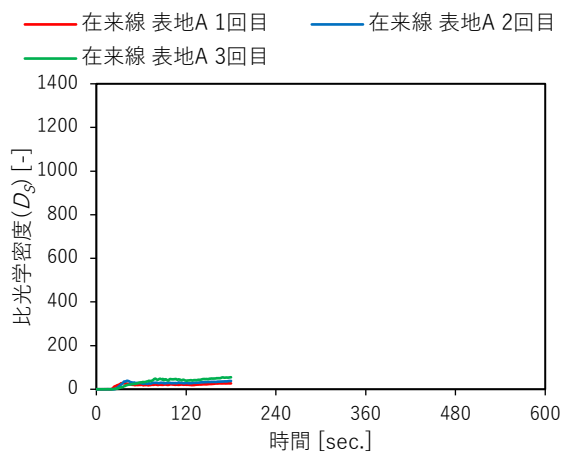
SDC 試験 在来線 内装 比光学密度 (D_s) および質量変化



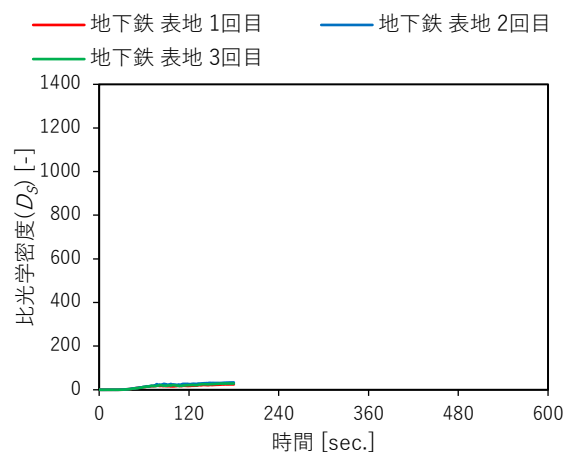
SDC 試験 地下鉄 内装 比光学密度 (D_s) および質量変化



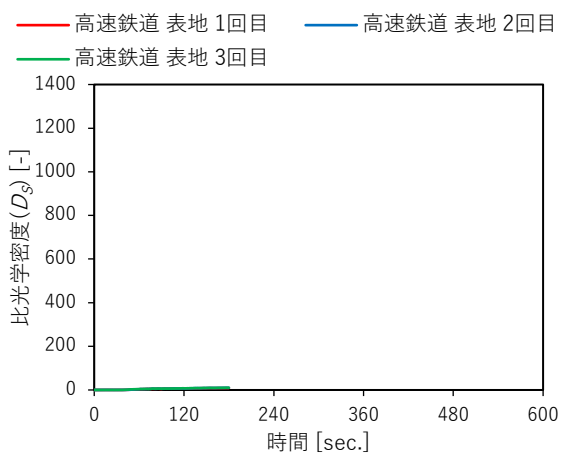
SDC 試験 高速鉄道 内装 比光学密度 (D_s) および質量変化



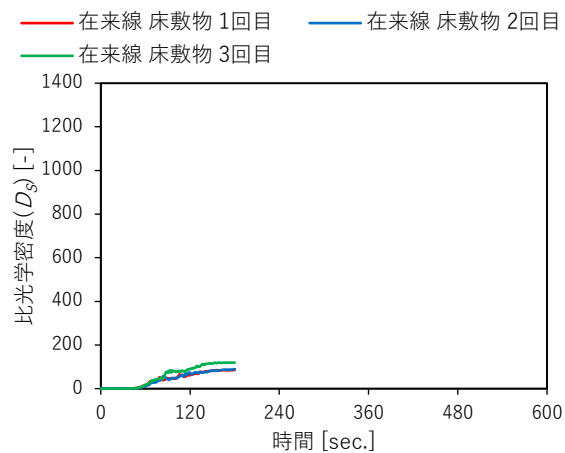
45°法試験 在来線 表地 A 比光学密度 (D_s)



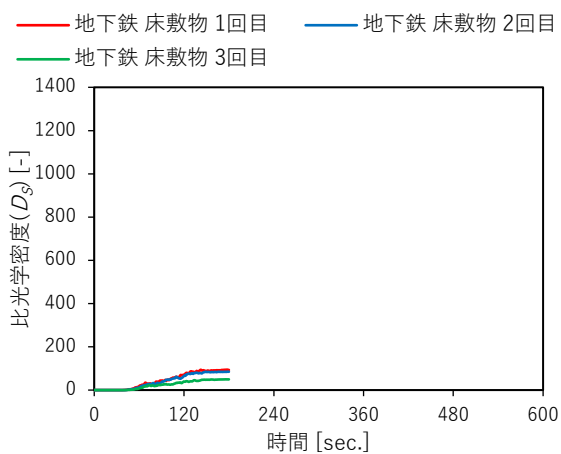
45°法試験 地下鉄 表地 比光学密度 (D_s)



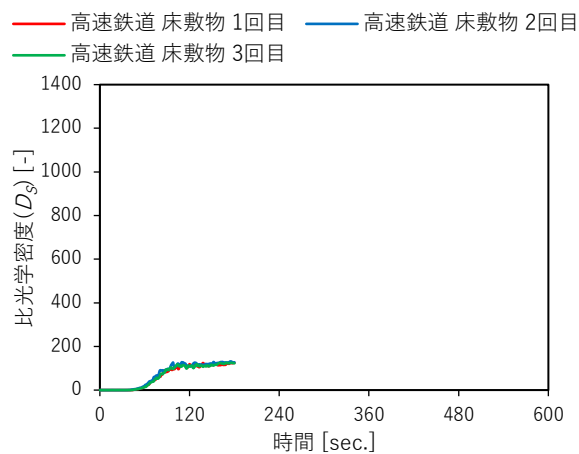
45°法試験 高速鉄道 表地 比光学密度 (D_s)



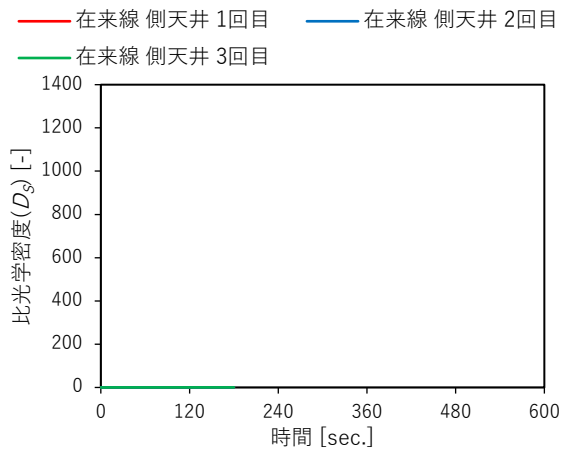
45°法試験 在来線 床敷物 比光学密度 (D_s)



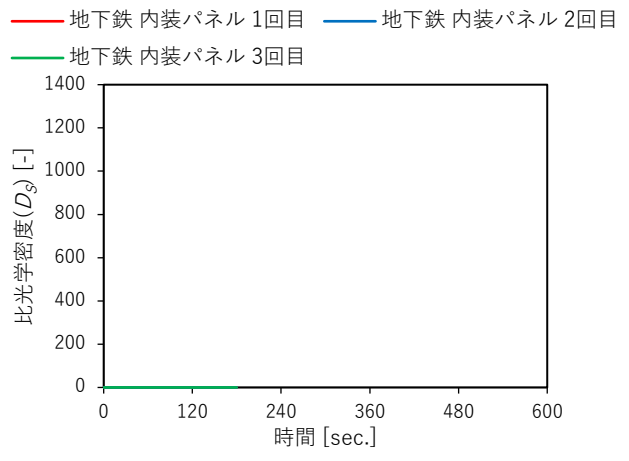
45°法試験 地下鉄 表地 比光学密度 (D_s)



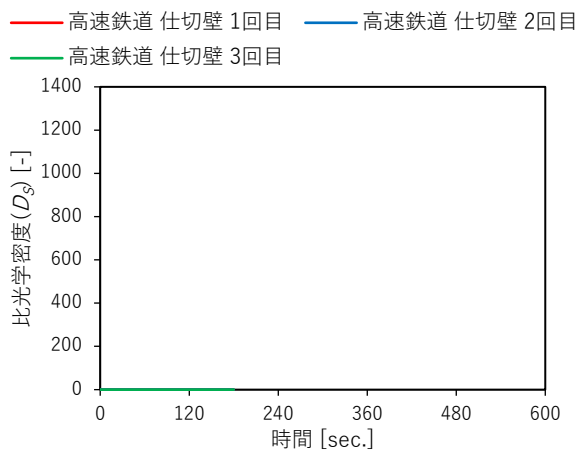
45°法試験 高速鉄道 床敷物 比光学密度 (D_s)



45°法試験 在来線 内装 比光学密度 (D_s)

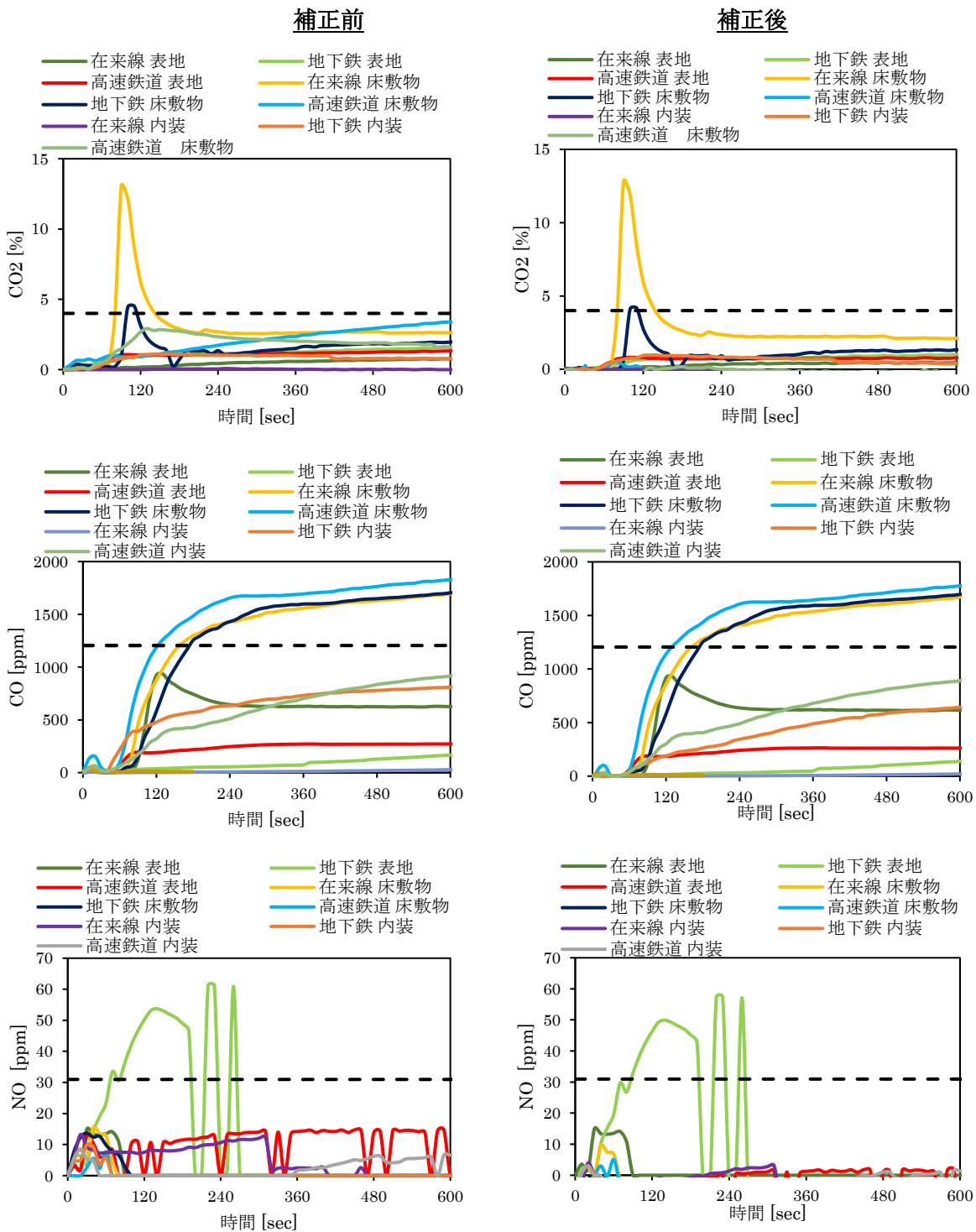


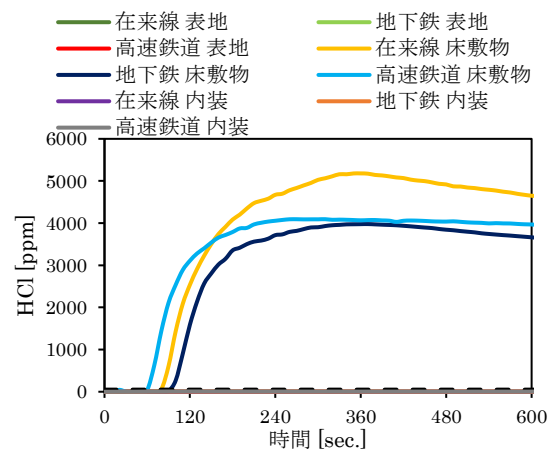
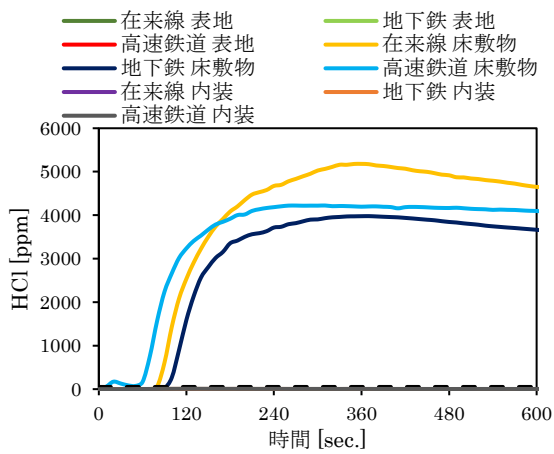
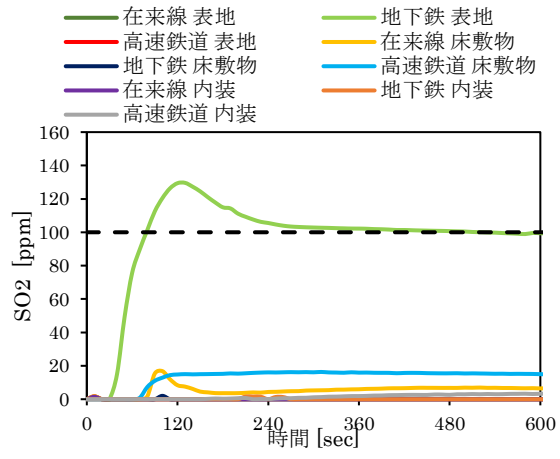
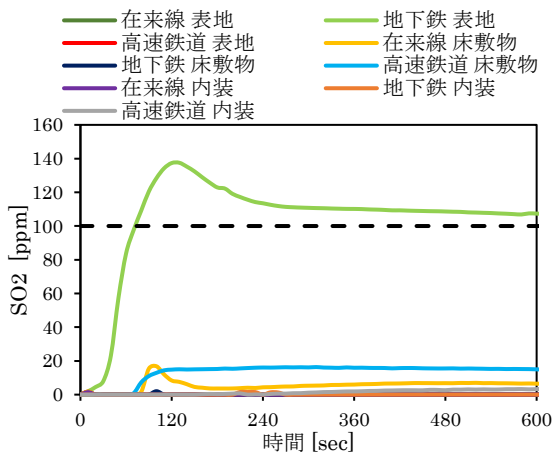
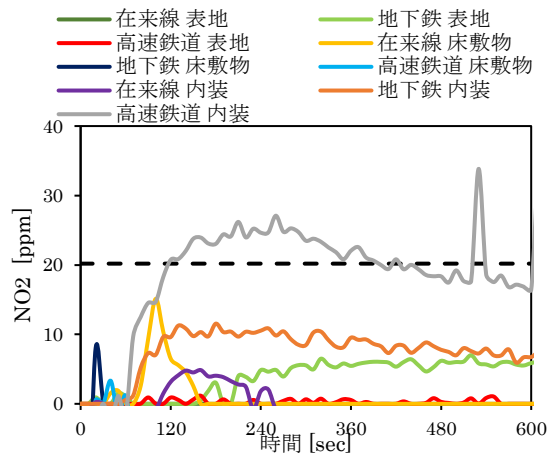
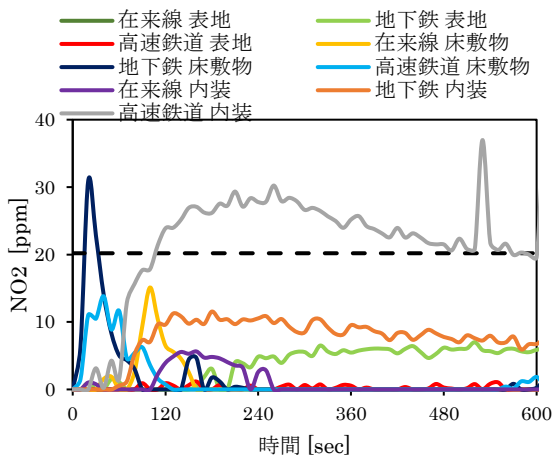
45°法試験 地下鉄 内装 比光学密度 (D_s)

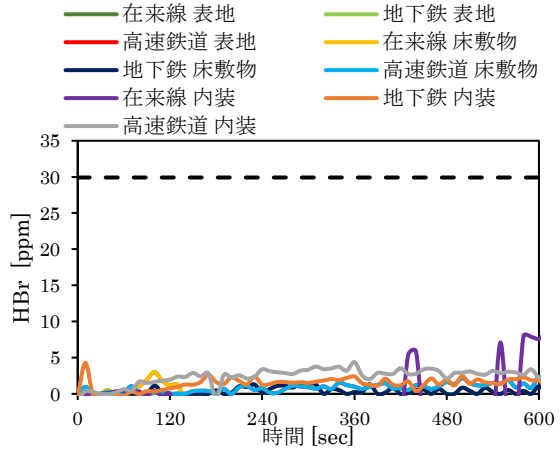
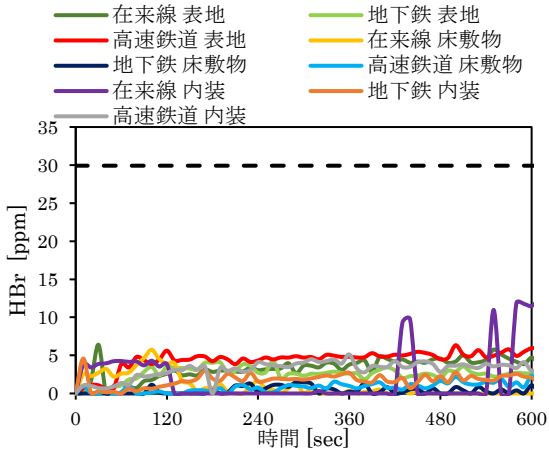
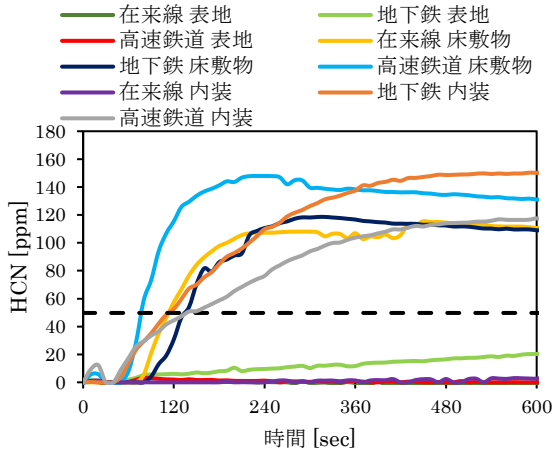
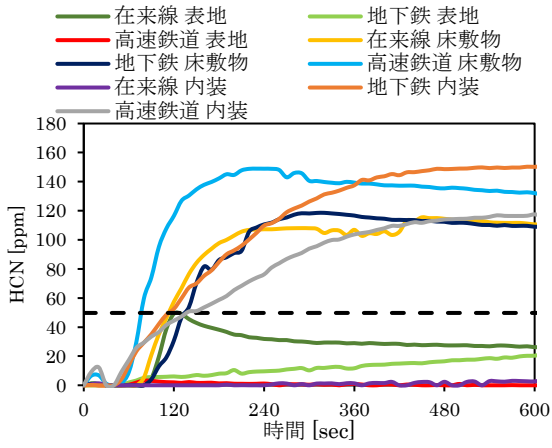
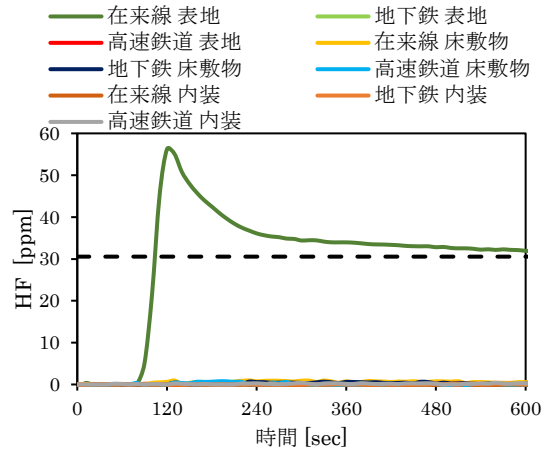
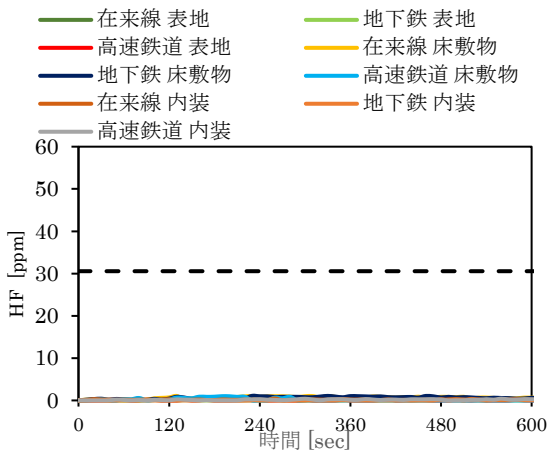


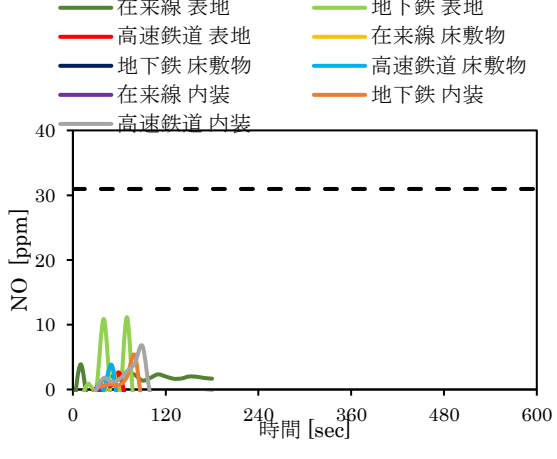
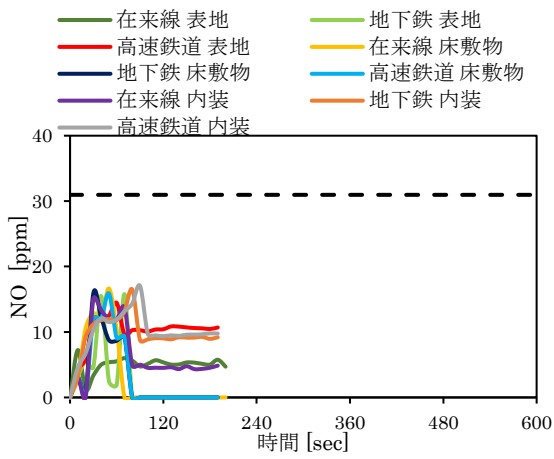
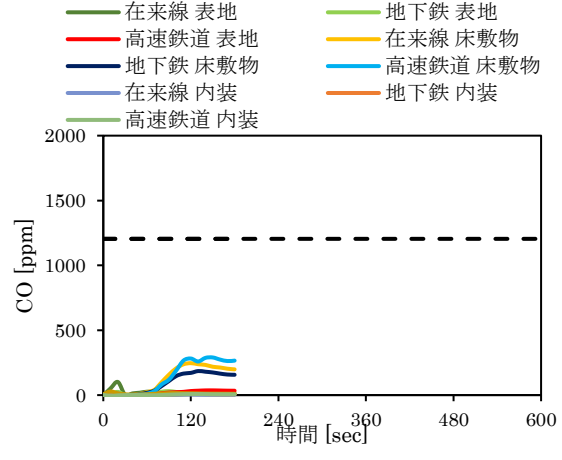
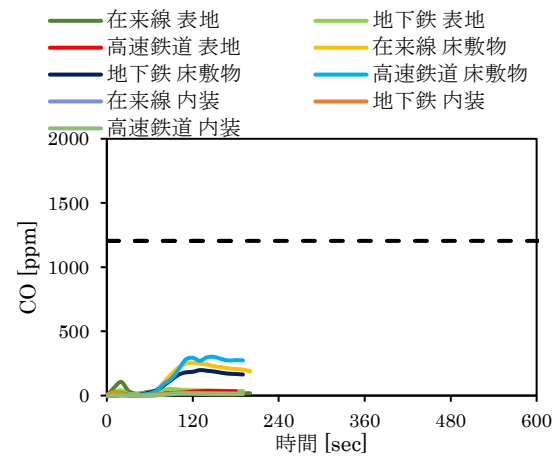
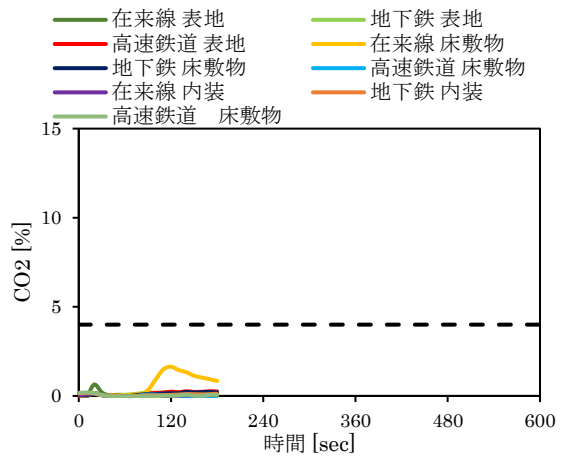
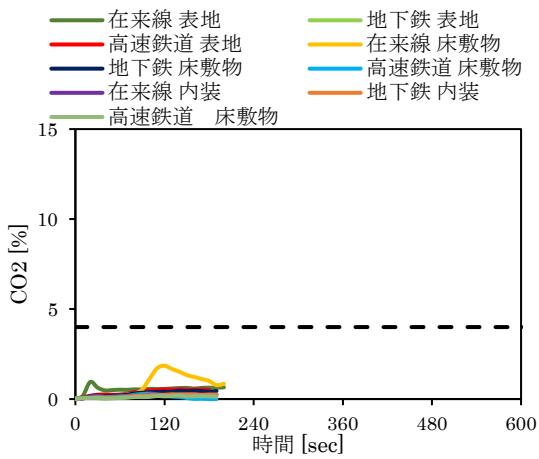
45°法試験 高速鉄道 内装 比光学密度 (D_s)

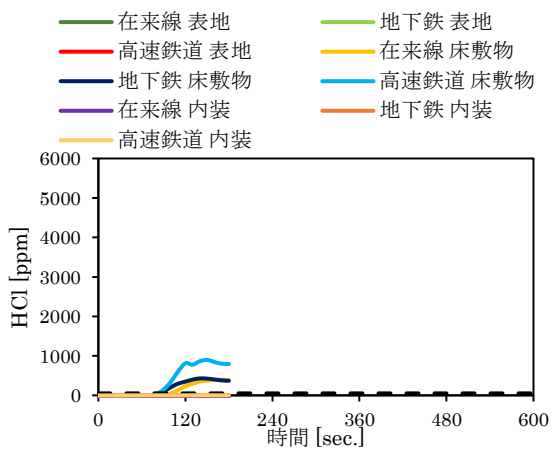
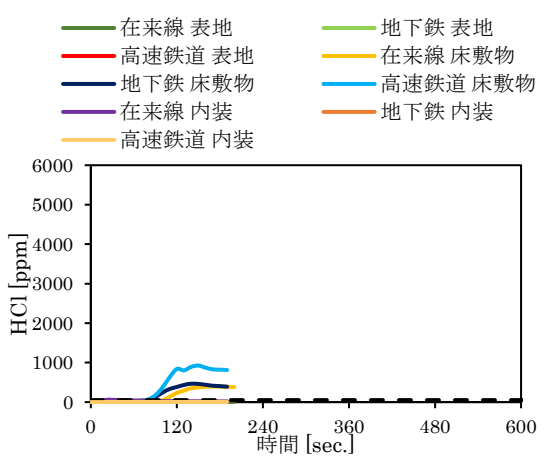
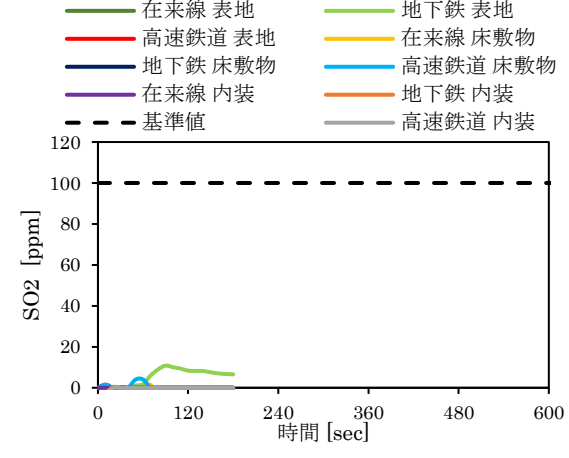
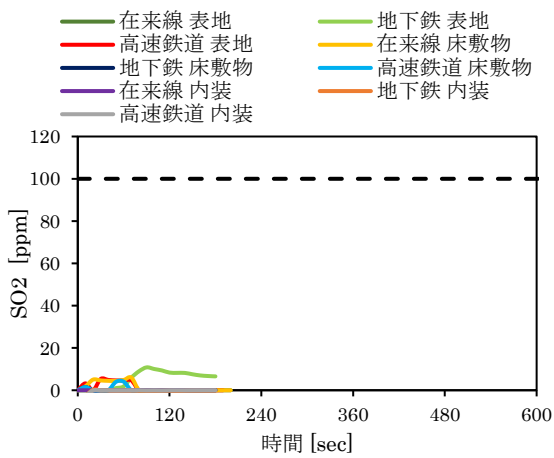
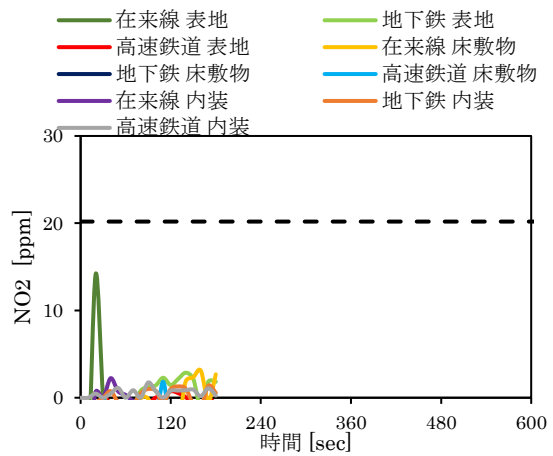
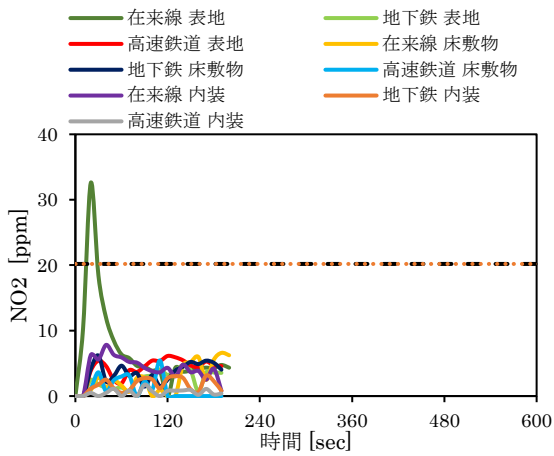
昨年実施した SDC 試験及び 45° 法試験における材料から発生された各ガス濃度の補正前(左)及び補正後(右)の結果を以下に示す。

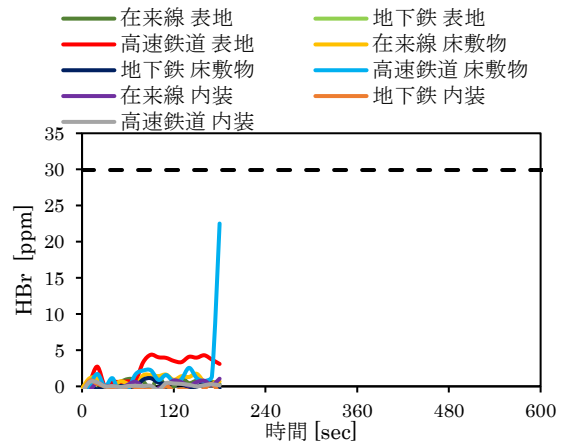
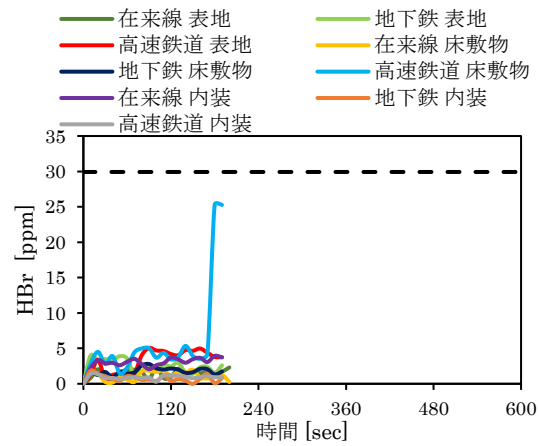
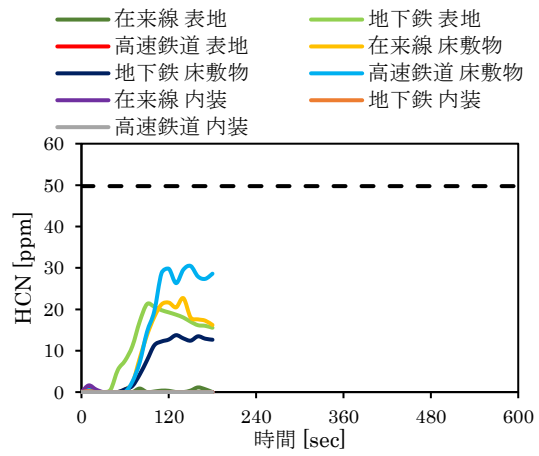
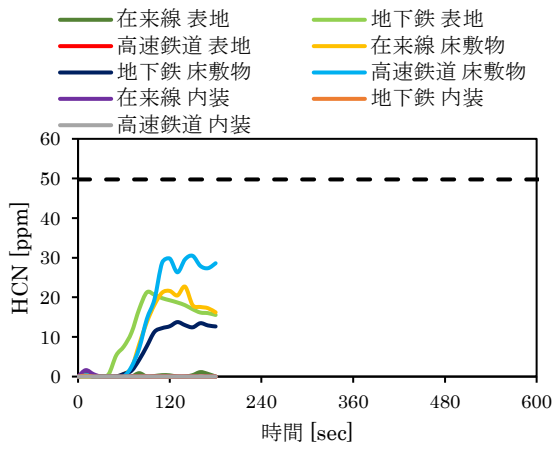
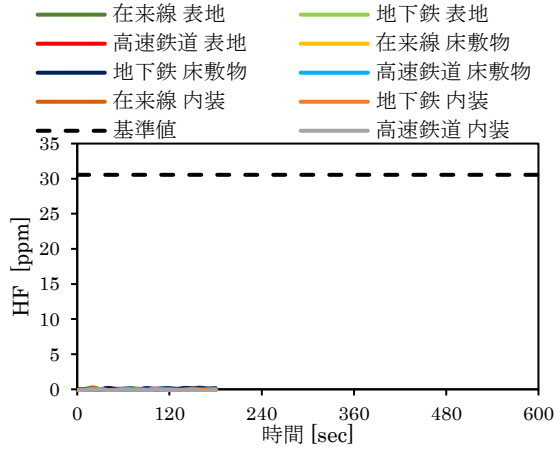
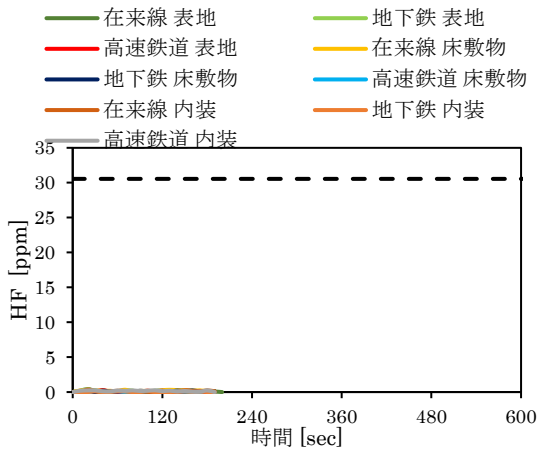




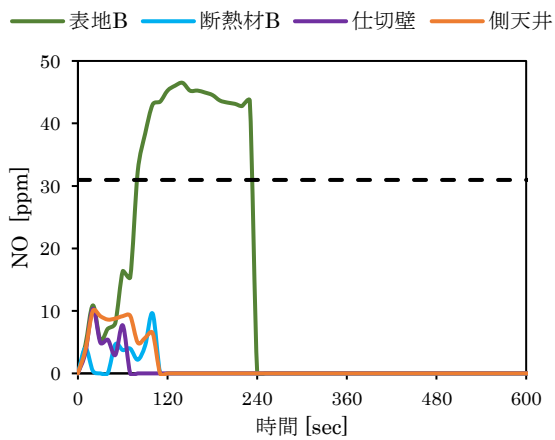
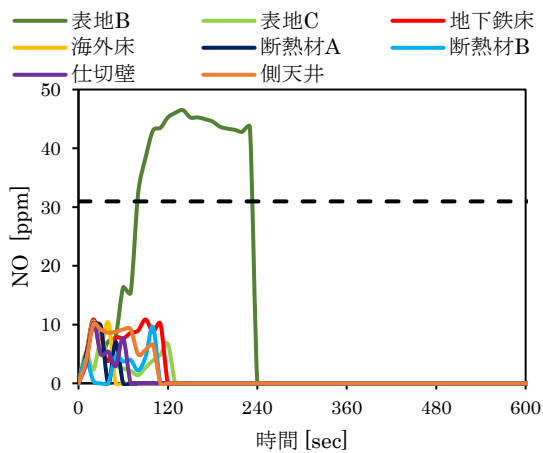
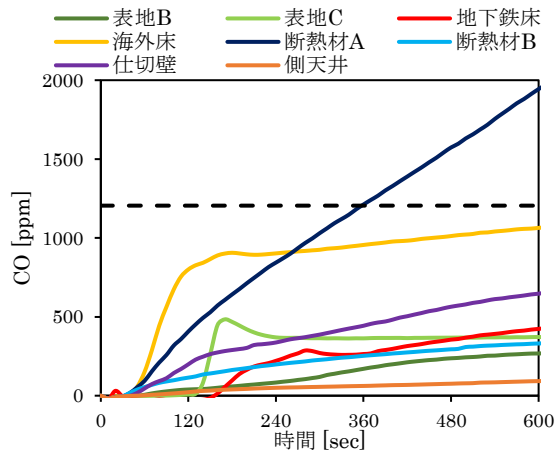
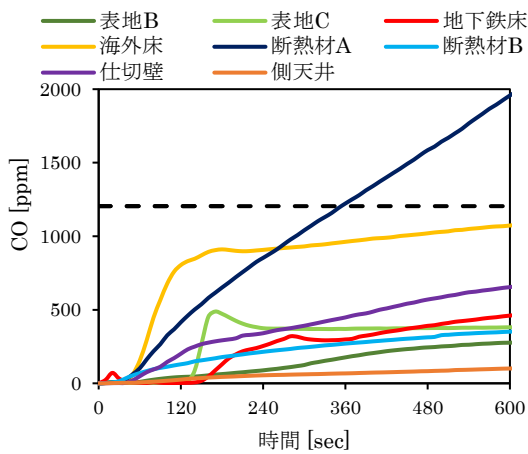
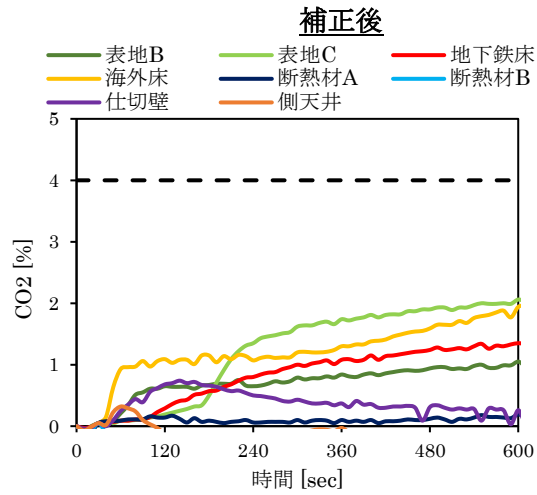
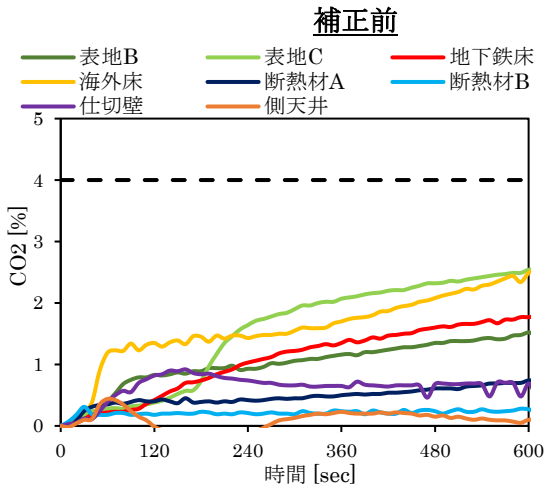


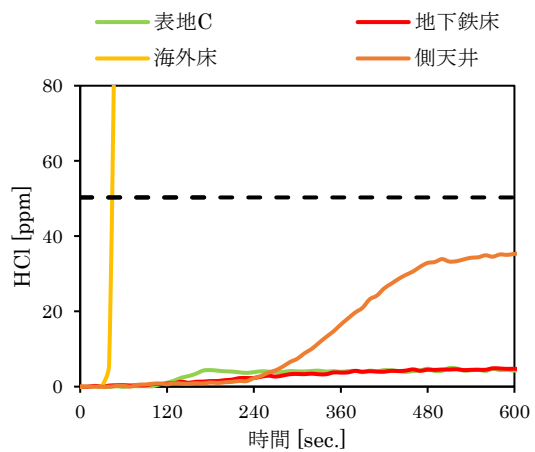
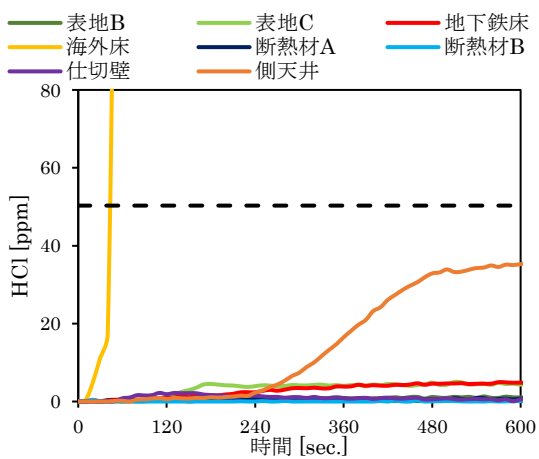
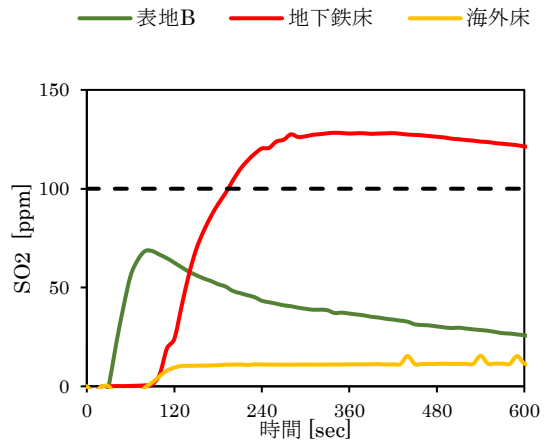
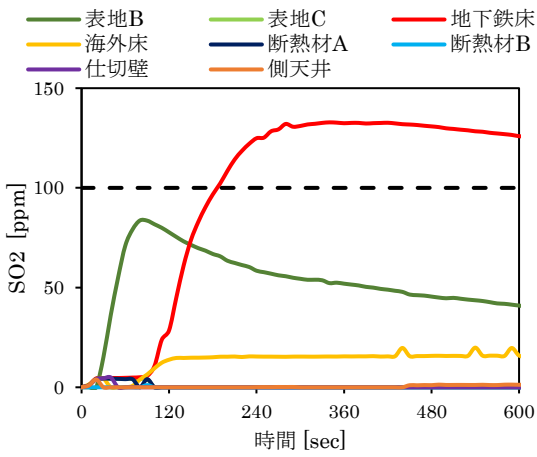
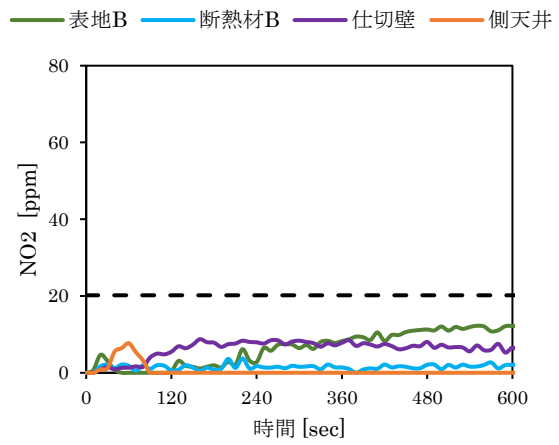
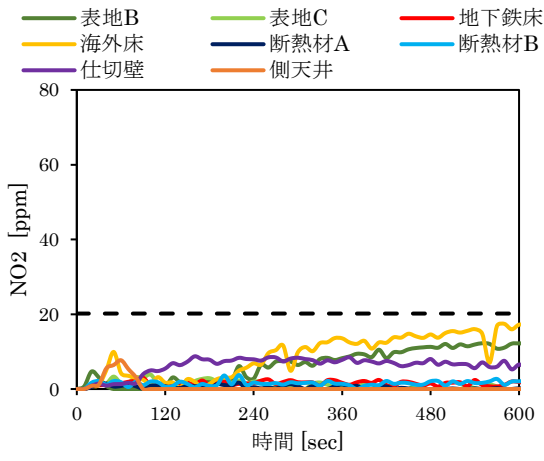


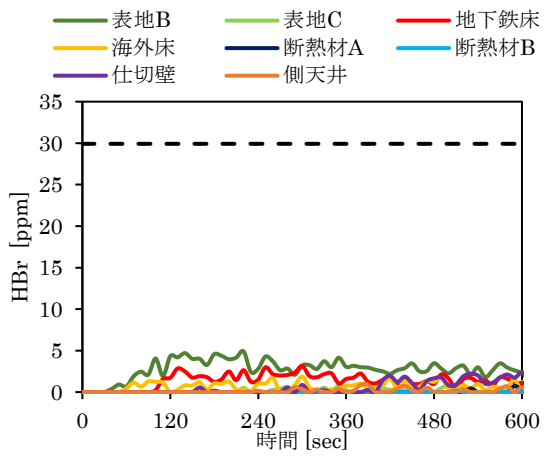
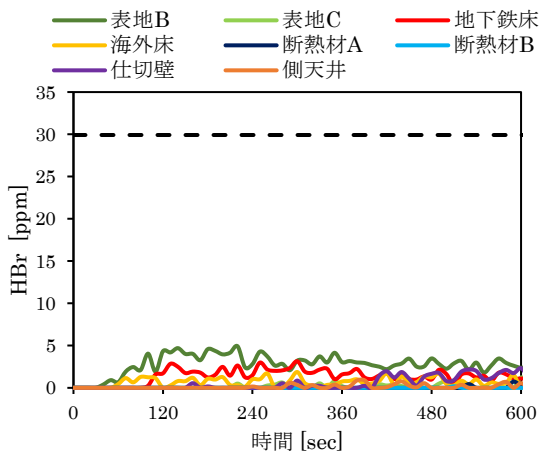
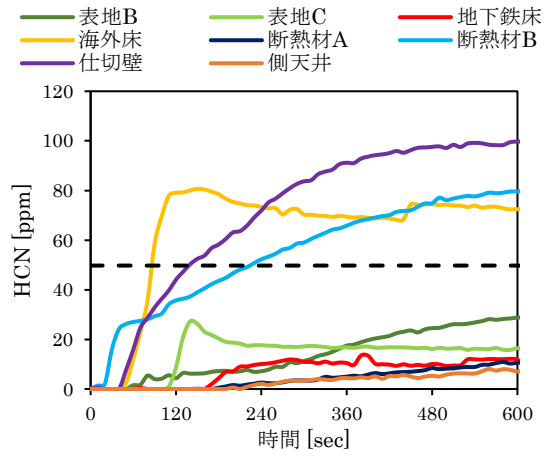
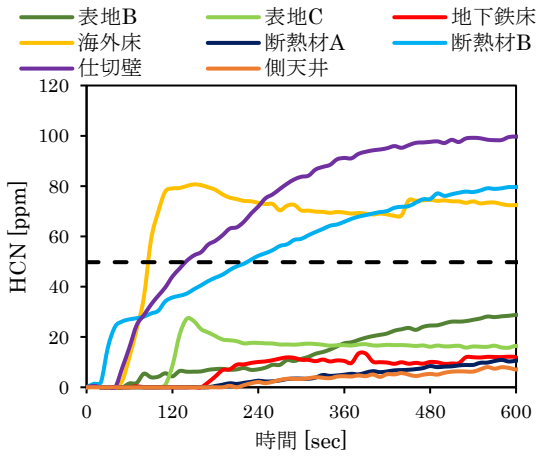
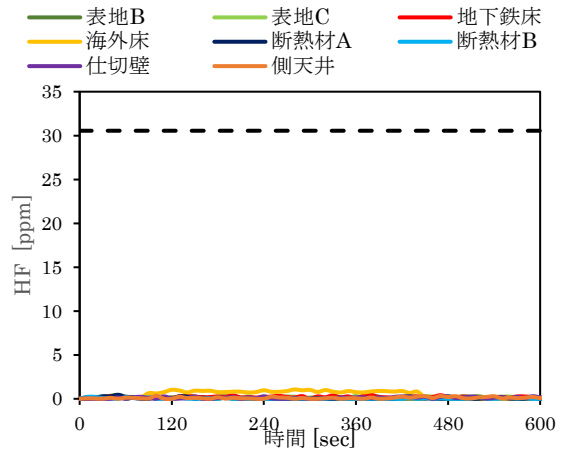
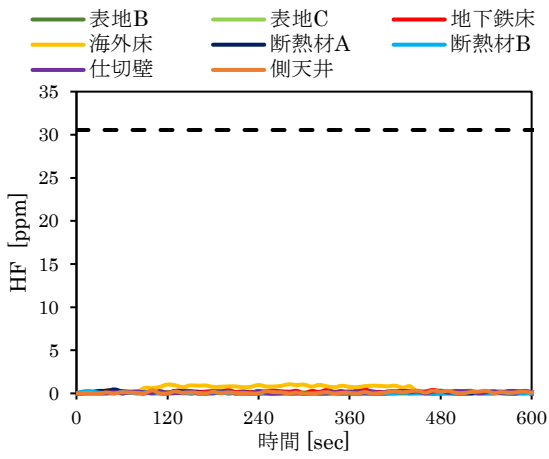


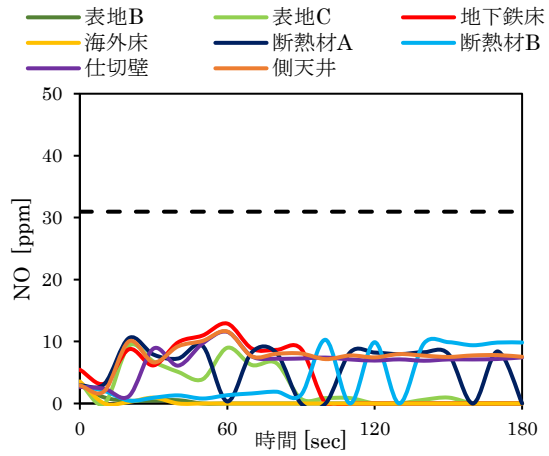
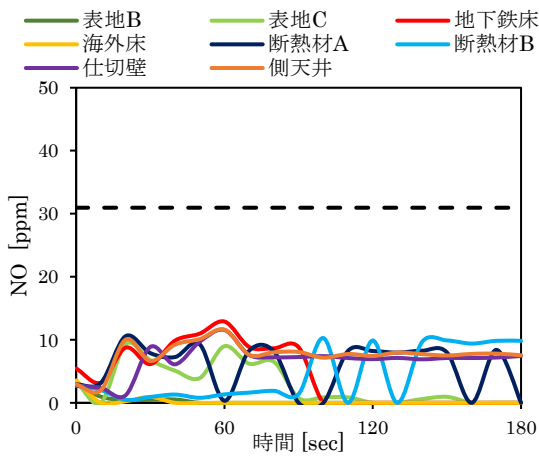
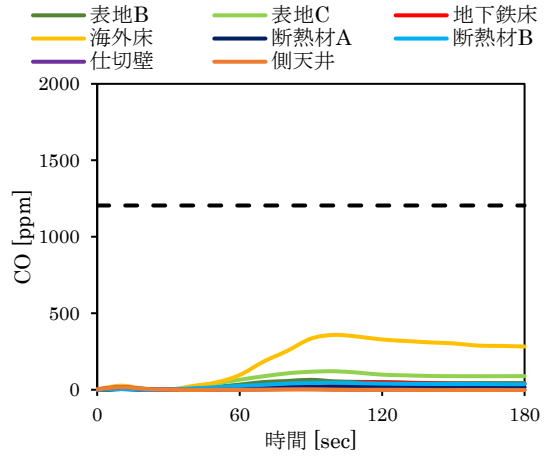
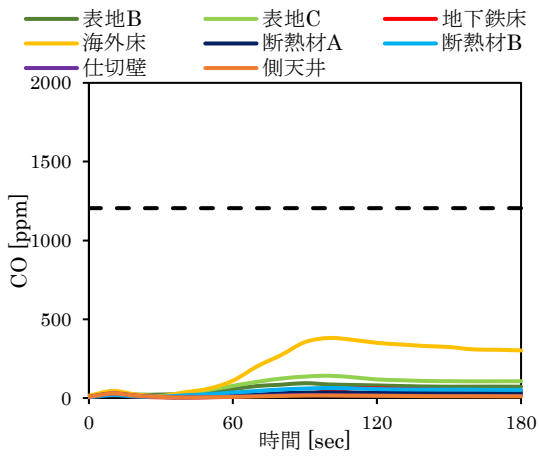
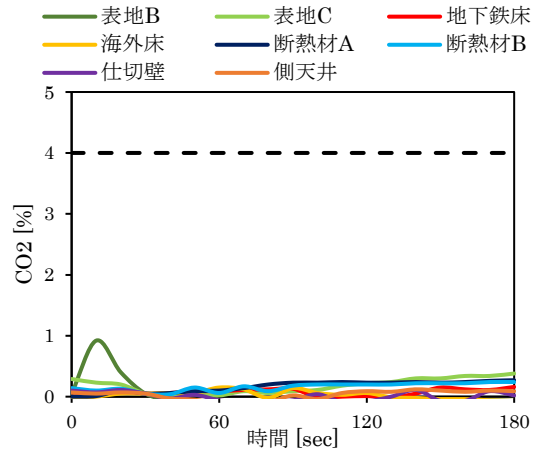
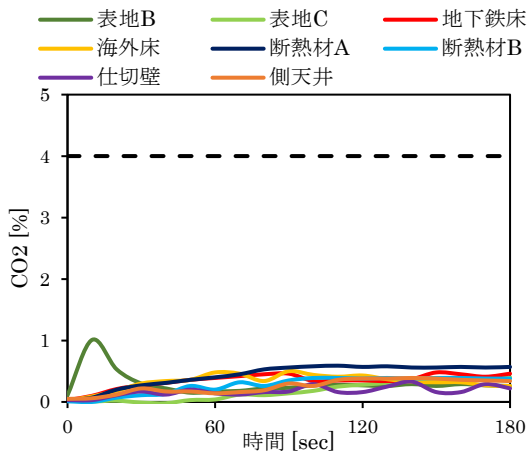


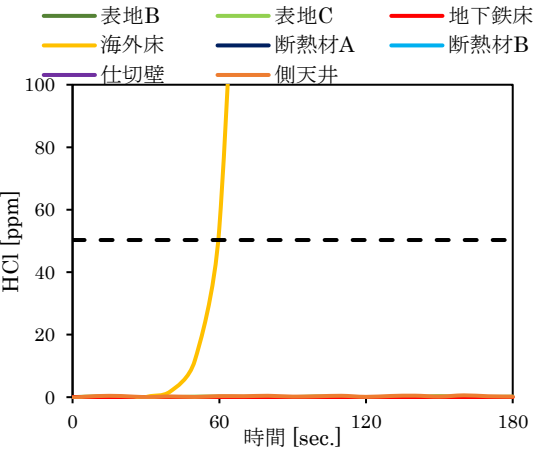
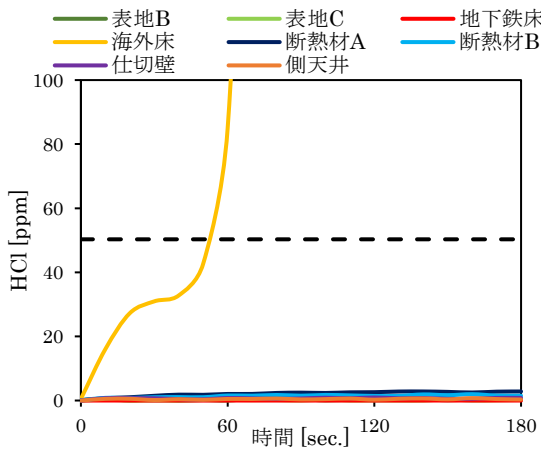
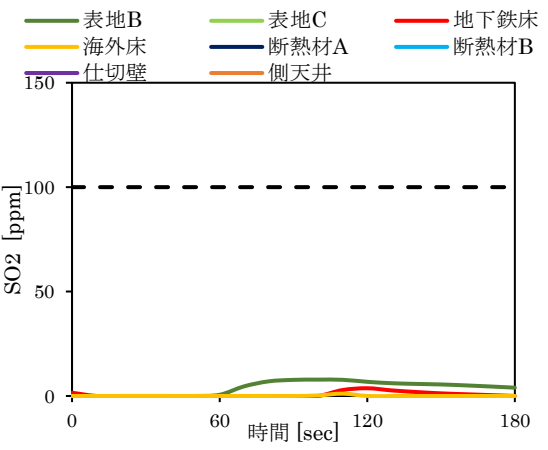
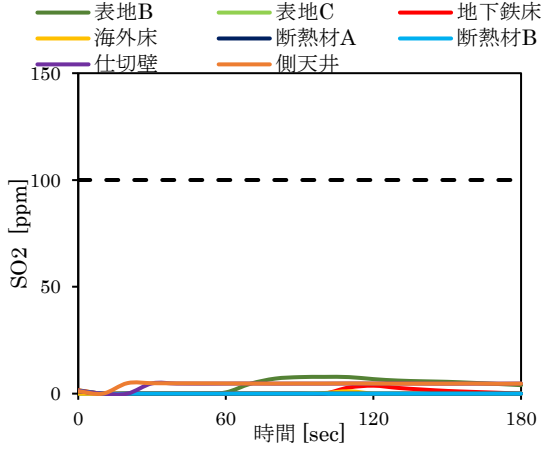
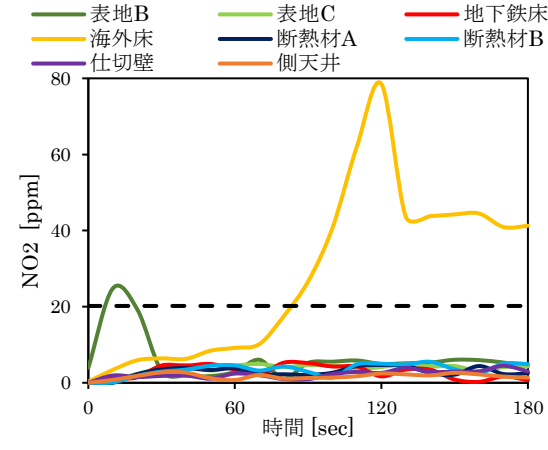
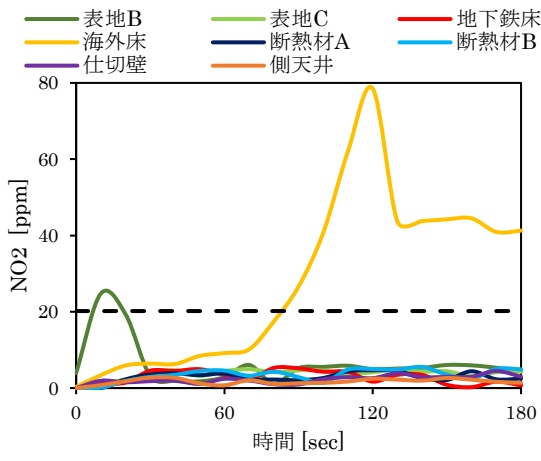
今年度実施した SDC 試験及び 45° 法試験における材料から発生された各ガス濃度の補正前(左)及び補正後(右)の結果を以下に示す。

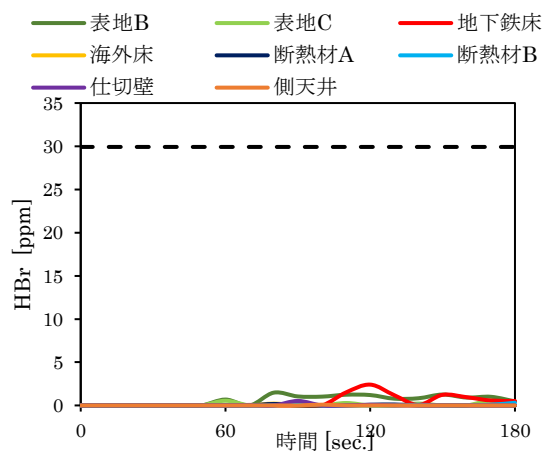
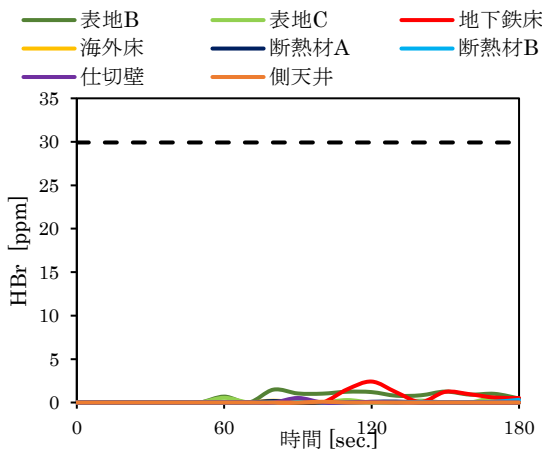
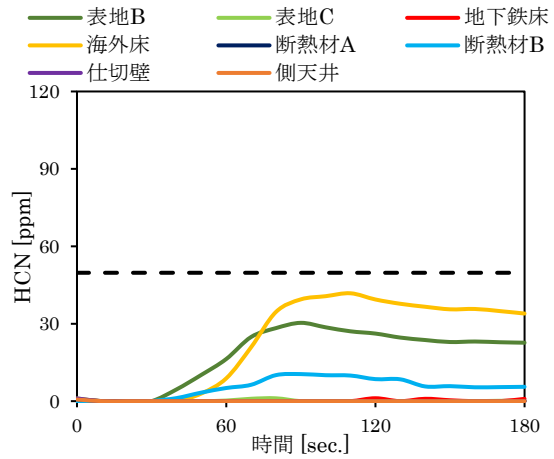
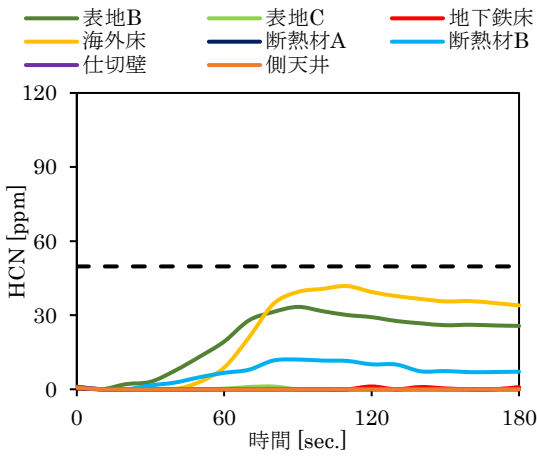
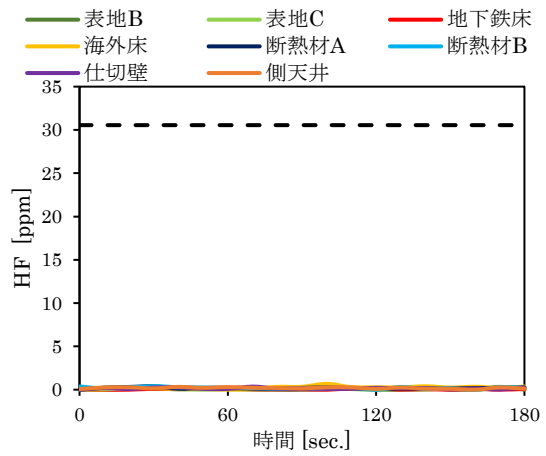
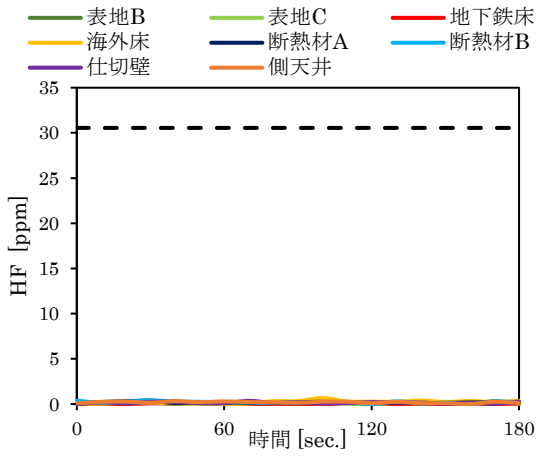




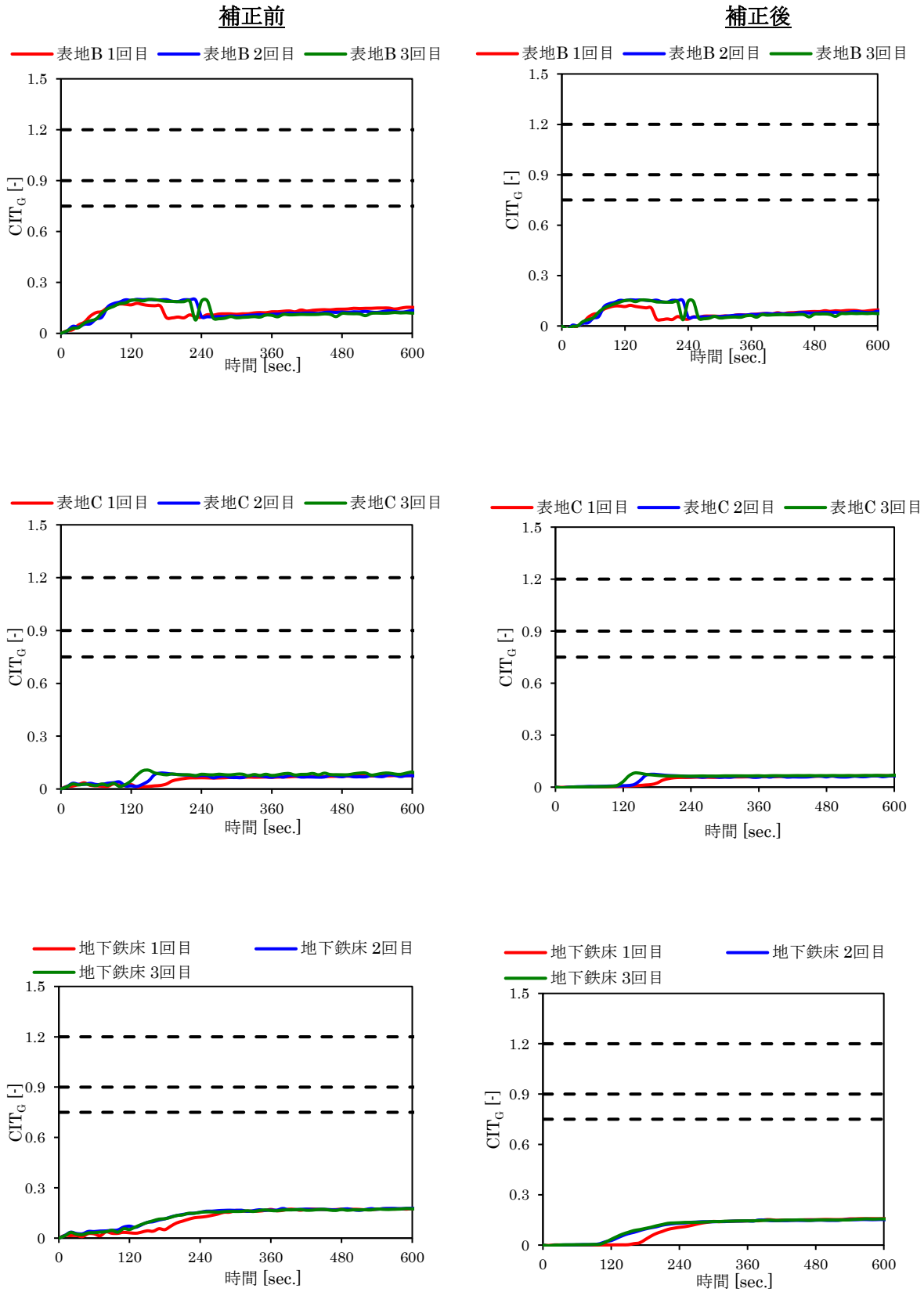


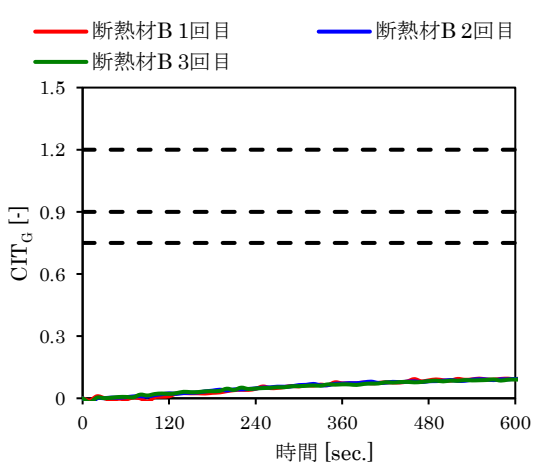
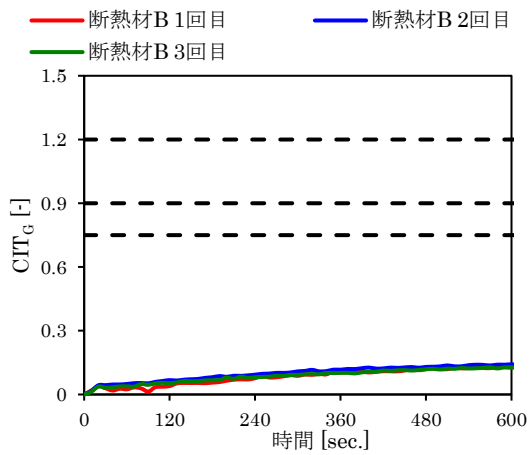
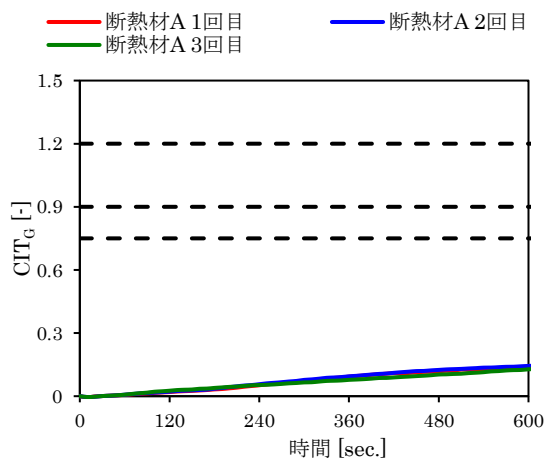
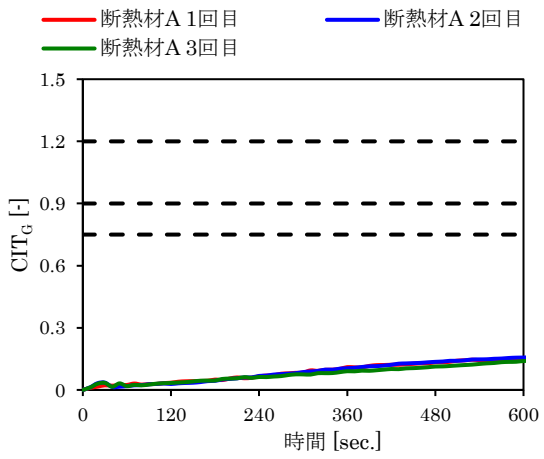
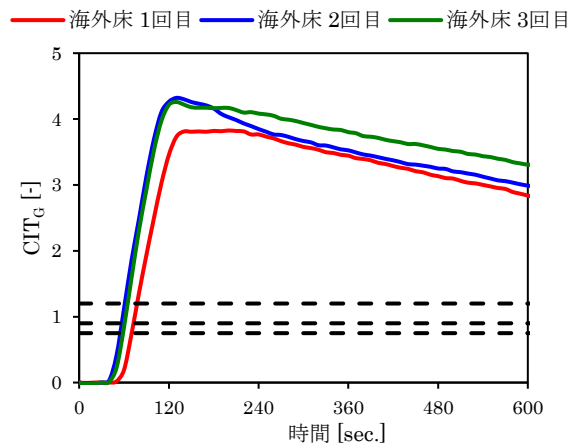
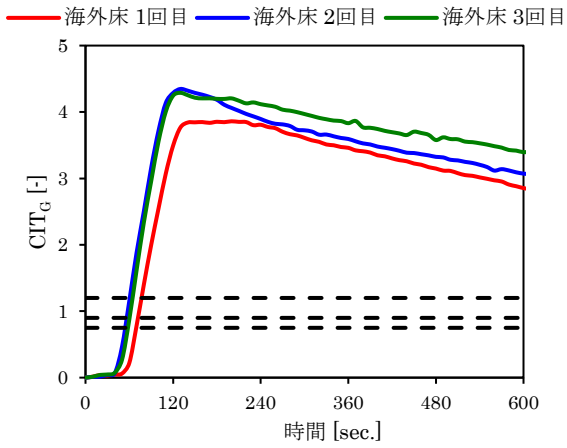


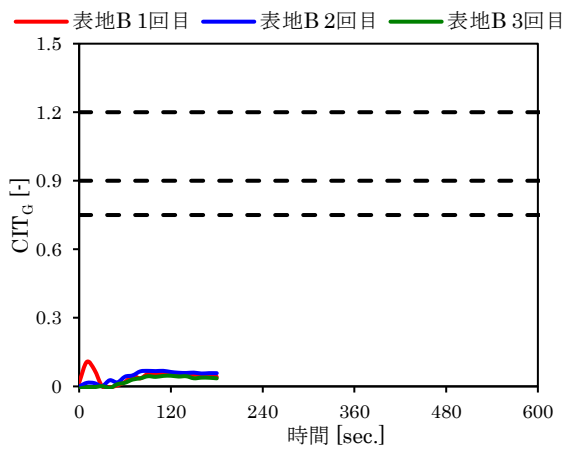
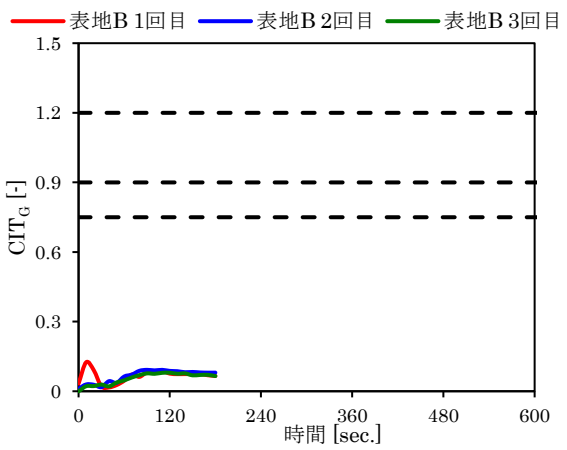
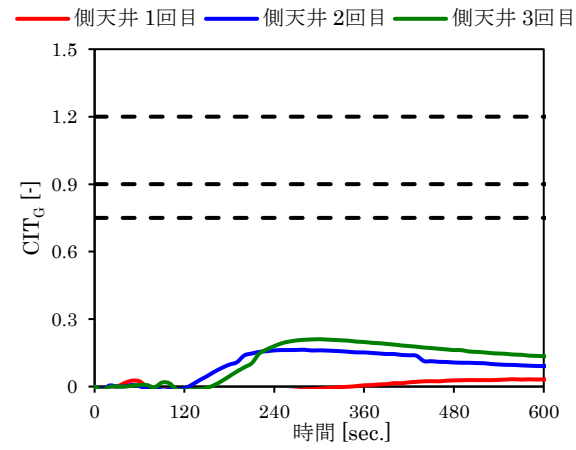
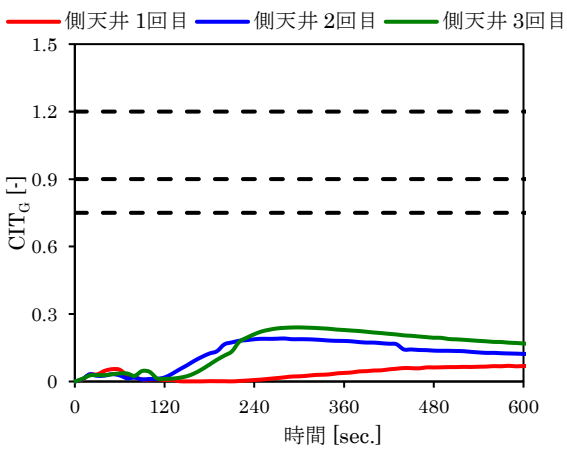
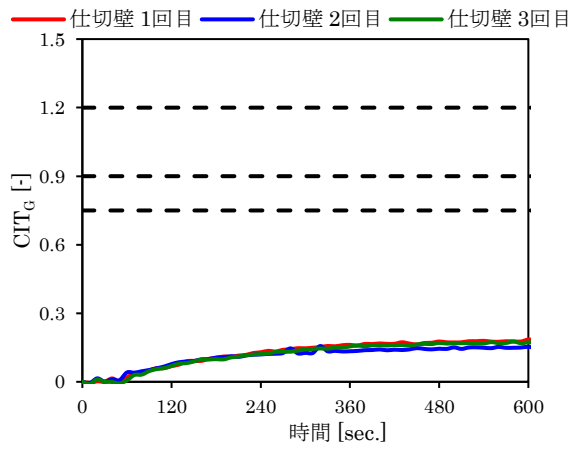
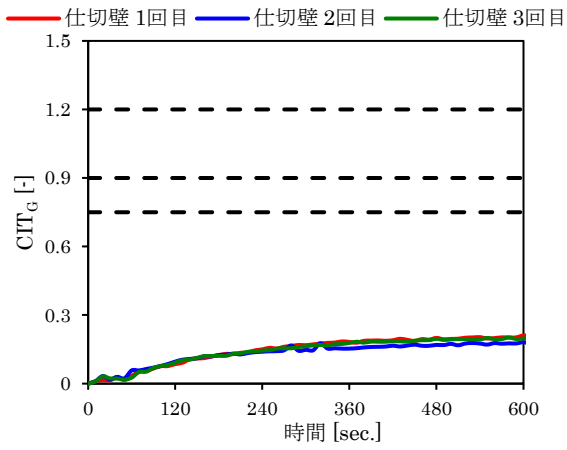


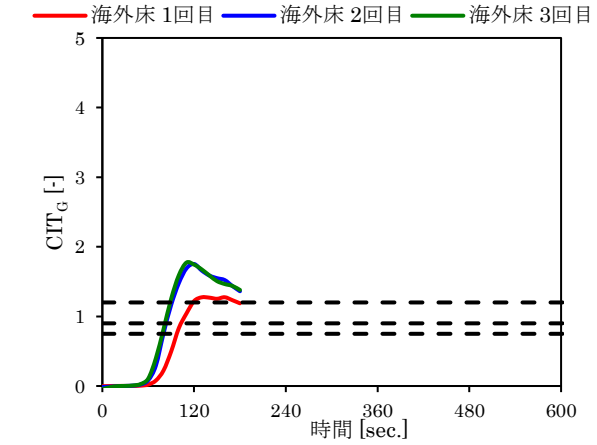
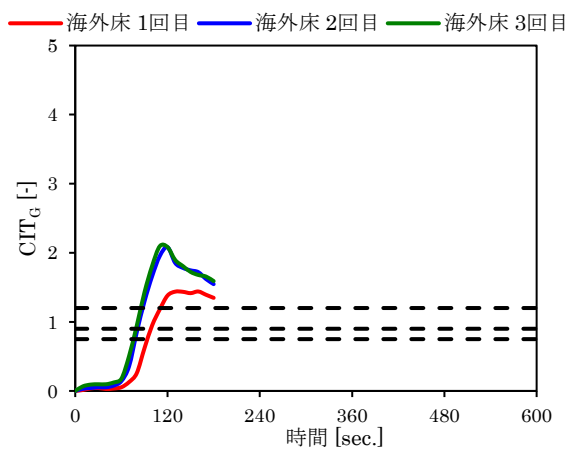
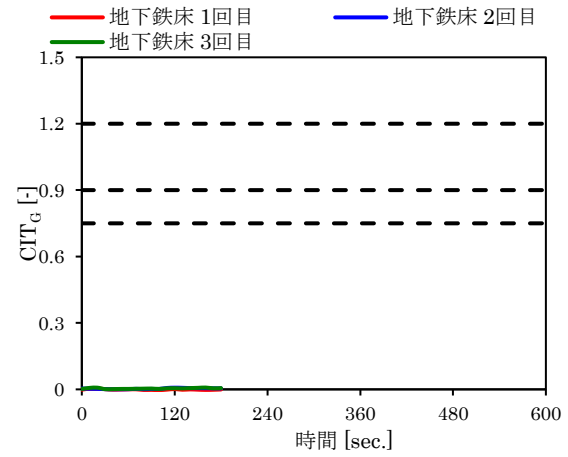
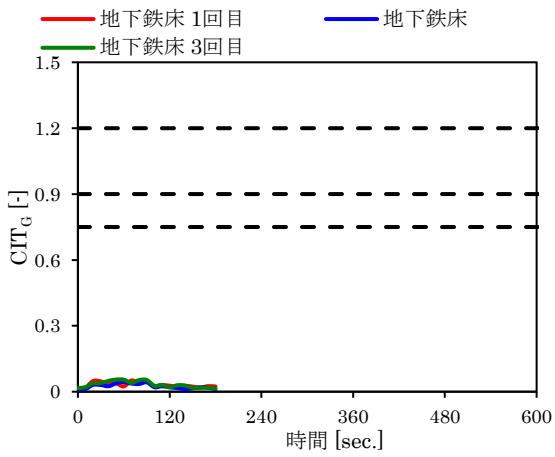
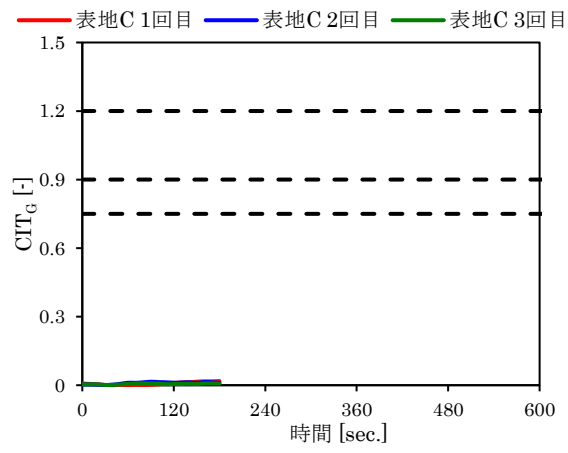
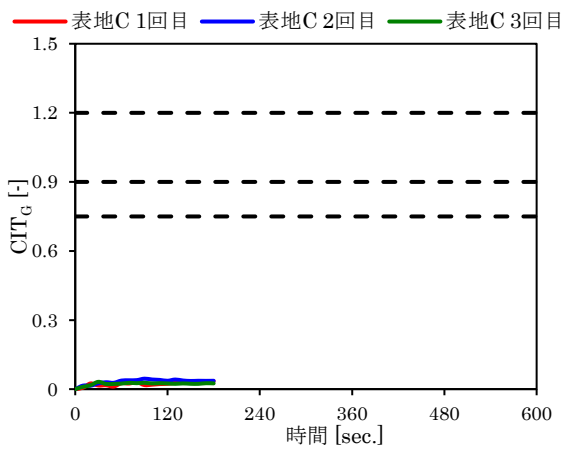


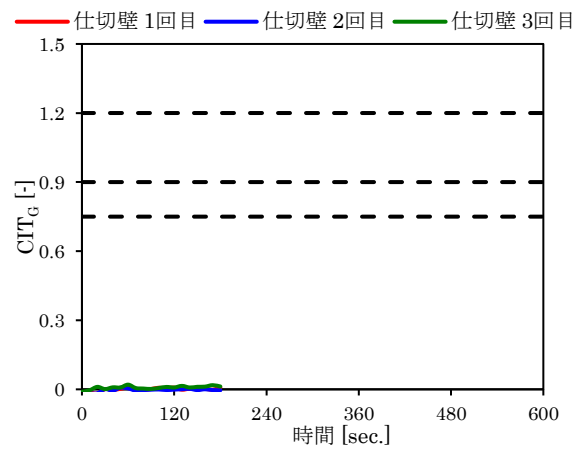
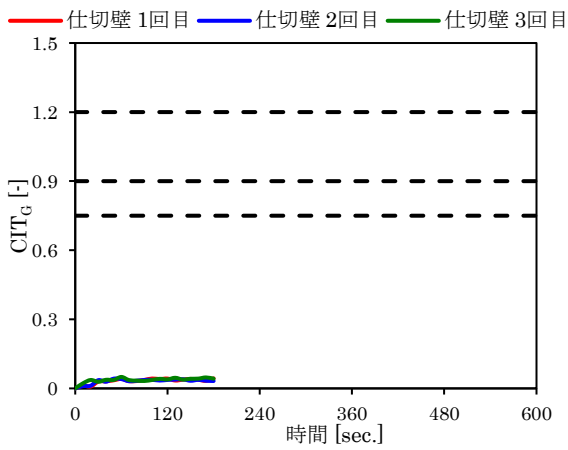
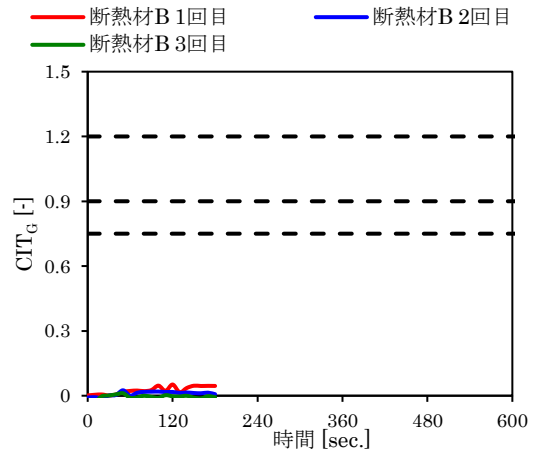
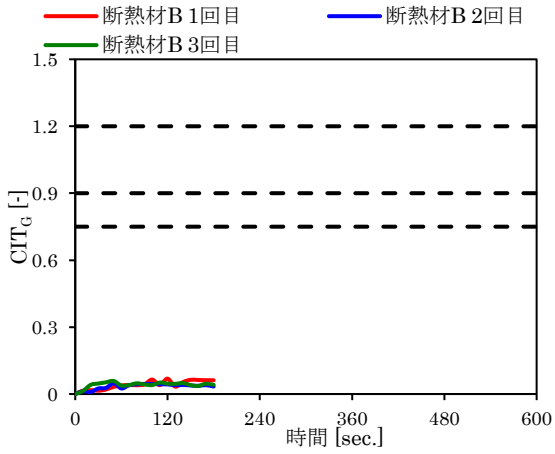
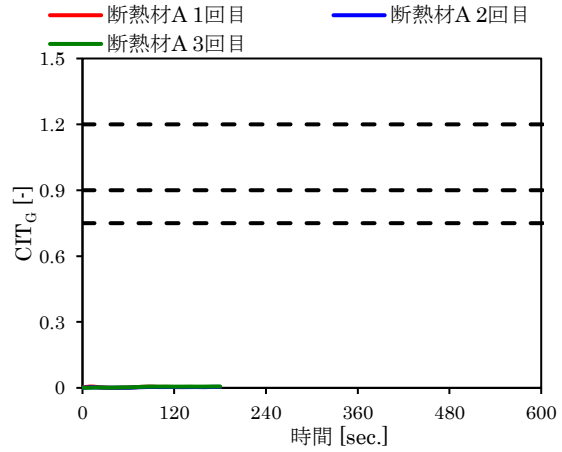
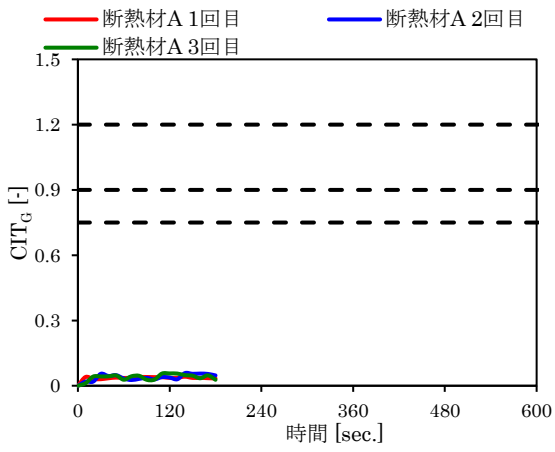
今年度実施した SDC 試験及び 45° 法試験における CIT_G の補正前(左)及び補正後(右)の結果を以下に示す。

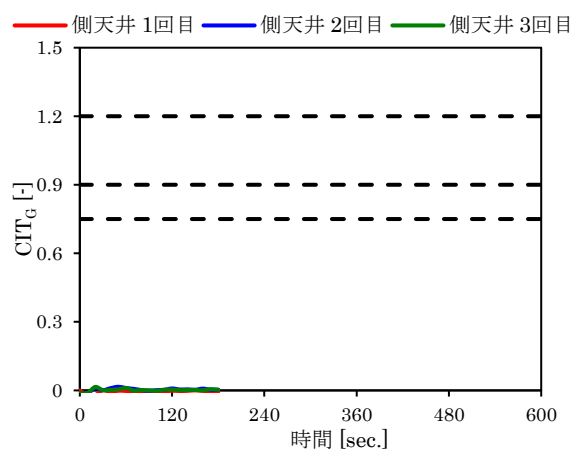
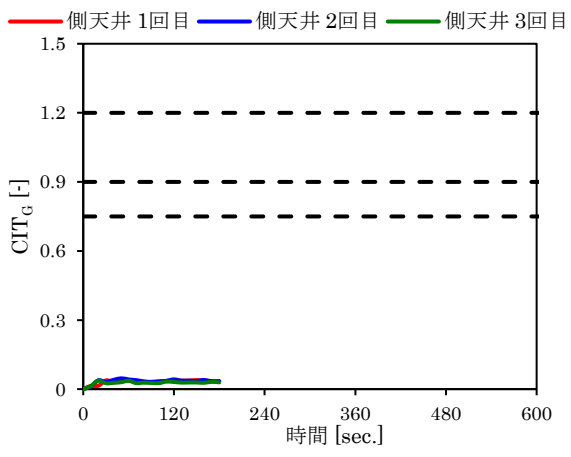












今年度実施した SDC 試験及び 45° 法試験における単位質量当たりのガス濃度の結果を以下に示す。

