

第6章 全出力 50kW を超える急速充電設備のリスク検証(2) 燃焼実験

第1節 目的

(1) 延焼媒体となるリスク検証

屋外設置の場合、建築物の近傍に設置された全出力 50kW を超える急速充電設備が、当該建築物の開口部から噴出される火炎により受熱しても他の建築物への延焼媒体とならないかを確認する。

(2) 消防活動の支障となるリスク検証

全出力 50kW を超える急速充電設備の火災により発生する有毒ガスや漏電により、消防隊の活動に支障をきたさないかを確認する。

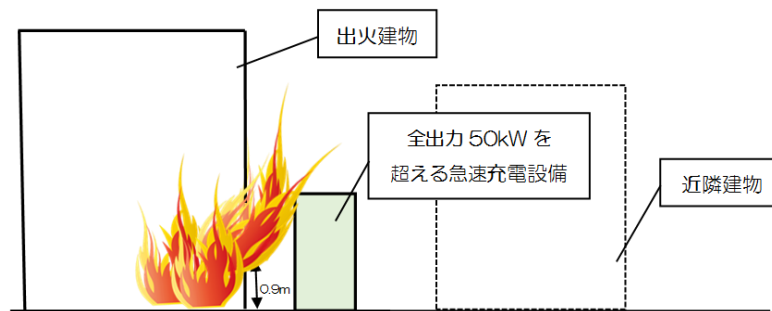


図 6-1 出火建物から全出力 50kW を超える急速充電設備への延焼状況

第2節 実施場所と期間

実験場所 総務省消防庁 消防大学校 消防研究センター 大規模火災実験棟

実験期間 平成 30 年 11 月 26 日から 12 月 3 日 (本実験 11 月 29 日実施)

表 6-1 実施スケジュール

日付	曜日	午前	午後
11月26日	(月)	事前準備、用品搬入	バーナー等計測器以外搬入、 供試品搬入・設置
11月27日	(火)	供試品準備 (内蔵物設置、電源接続、ファン稼働チェック等) 計測器搬入・設置、 筐体内熱電対設置	
11月28日	(水)	機材設置 (センサーツリー、測定器具・機材設置、ガス分析装置設置、動作確認等)、バーナー炎状況確認、排煙機稼働確認	
11月29日	(木)	最終確認、調整	14:00視察者説明、14:20本実験開始、 15:00消火、内蔵物取り出し
11月30日	(金)	補足実験準備、実施、消火	後片付け、実験機材撤収 廃棄物搬出準備、計測機搬出
12月3日	(月)	供試品・廃棄物搬出、 後片付け、終了	(予備)

第3節 方法

全出力 50kW を超える急速充電設備供試体に対し、最も延焼による影響を与える条件として、側面（吸気側）の高さ 0.9m 以上が火災で覆われる場合を想定した火災実験を実施し、周辺の温度及び熱流束を測定する。また、発生する有毒ガスの種類を測定する。

6.3.1 確認項目

- ・ 規格化されている安全装置の作動状況
- ・ 実験後に絶縁抵抗を測定、漏電電流・ELCBの作動の有無
- ・ 熱電対で測定した温度
- ・ 熱流束計で測定した熱流束（木材発火の目安となる $10\text{kW}/\text{m}^2$ 以上となるか）
- ・ 供試体内から発生する有毒ガス（例 CO、ホルムアルデヒド等）の種類と危険性
- ・ 赤外線カメラ（熱画像）による温度分布
- ・ ビデオカメラによる映像確認

6.3.2 実験イメージ

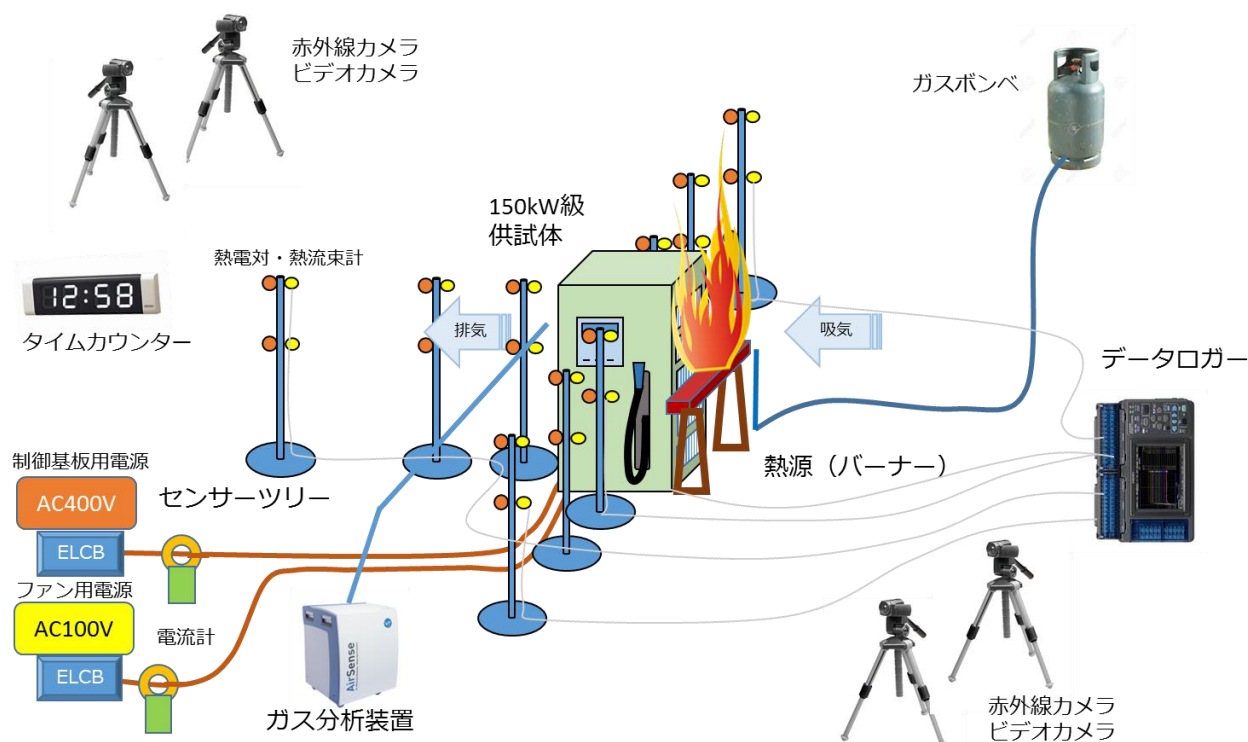


図 6-2 実験イメージ

6.3.3 供試体



正面



側面（排気側）

図 6-3 外観写真

- ・新電元工業株式会社製急速充電器 出力 150kW 仕様（最大構成時）
- ・供試体サイズ： 幅 0.99×奥行 0.90×高さ 1.84（m）
- ・供試体材料： 筐体部 SUS 2mm、 扉部 SUS 1.5mm、
吸排気部 鋳戸 SUS 1.2mm 鋳戸以外 SUS 1.5mm
- ・供試体全重量： 600kg
- ・内蔵可燃物（電装基板）： 200kg
- ・内部電源変換モジュール無し
- ・フィルター、ファン、漏電遮断器、操作パネル、パネル制御基板、ボタン、接続配線、充電ケーブル（代替品）は、内蔵または付属
- ・条件：
 - ①極力実機に近づけた状態で実験するため、本来搭載しているモジュールと同等の可燃物量を持つ電装品を代替内容物とする改造を実施
 - ②より危険な状態で実験するため、ファンが停止となる温度を越えたあとも、継続してファンを駆動させる

6.3.4 火源

最も延焼による影響を与える条件として、側面（吸気側）の高さ 0.9m 以上が火災で覆われる燃焼を想定し、バーナーの火炎出力（発熱速度）を 195kW とする。

（バーナーの火炎出力算出にあたっては、日本建築学会による「建築物の火災荷重および設計火災性状指針」¹⁰⁾を参考にした）

加熱時間は、条例の変電設備等の出火及び延焼防止に求める専用不燃区画、キュービクル式変電設備等の基準（昭和 50 年 10 月 1 日東京消防庁告示第 11 号）を参考とし、燃焼時間は 20 分を基準とする。放射熱量の変化状況など様子を見ながら実験時間の短縮・延長を判断する。

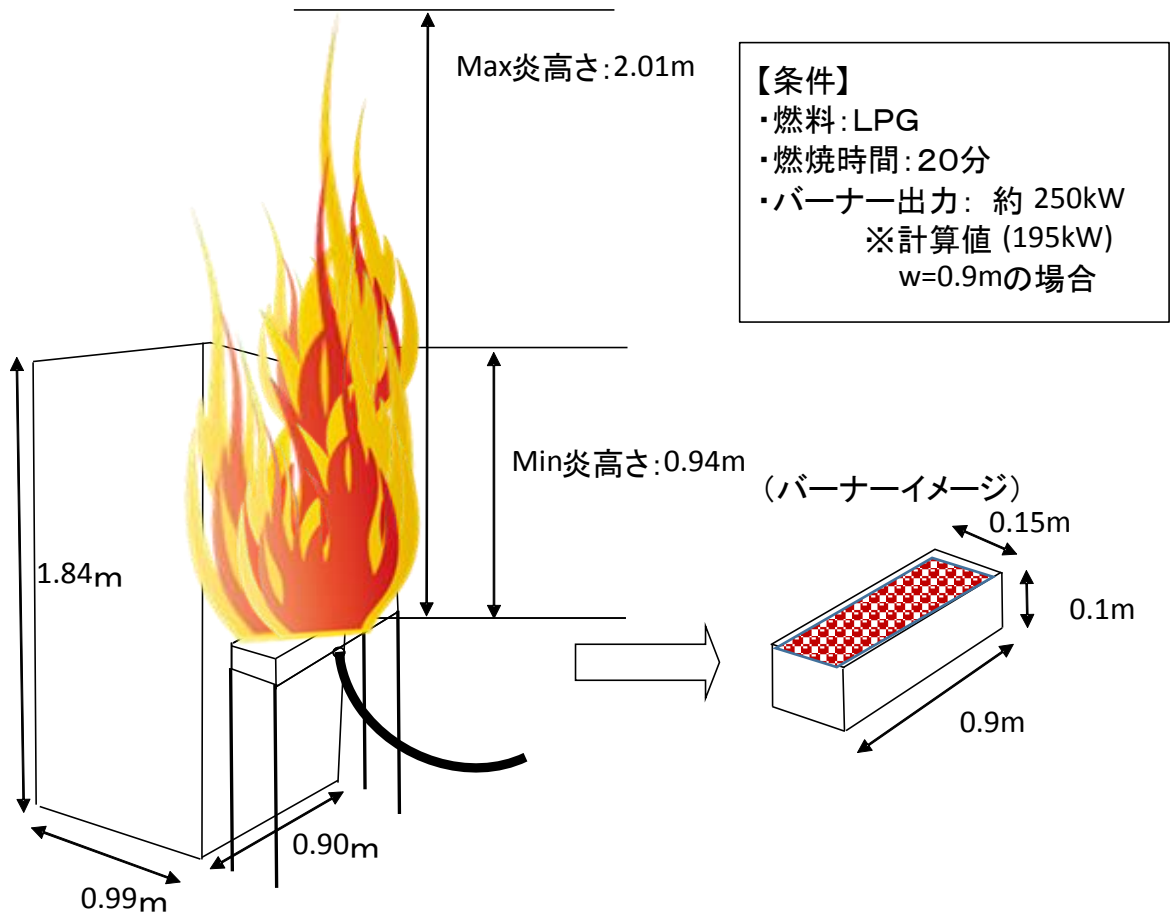


図 6-4 火源

バーナーの火炎出力の算出について

アスペクト比 $n > 2 \Rightarrow$ 線形および長方形火源
供試体側面（吸気側）に接炎 \Rightarrow 壁側の線火源の火炎高さ
常に火炎が存在する状態 \Rightarrow 連続火炎高さ

バーナー仕様 幅 0.15m × 奥行 0.9m
供試体が 高さ 1.84m × 幅 0.99m × 奥行 0.9m の場合
バーナーを載せる台 高さ 0.9m

$$L_c = 2.8Q_l^{*\frac{2}{3}}D \dots\dots\dots \text{式(1)}$$

L_c : 連続火炎高さ[m]
 Q_l^* : 無次元発熱速度[-]
 D : 代表長さ（線火源の幅）[m]

「火炎の高さ」 = 「供試体の高さ」 - 「バーナーを載せる台の高さ」 となるため
 $L_c = 0.94$ $D = 0.15$

$$0.94 = 2.8Q_l^{*\frac{2}{3}} \times 0.15$$

$$Q_l^* = 3.35$$

$$Q_l^* = \frac{Q_l}{1116D^{\frac{2}{3}}} \dots\dots\dots \text{式(2)}$$

Q_l : 火源の単位長さあたりの発熱速度[kW/m]
 D : 代表長さ（線火源の幅）[m]
 Q_l^* : 無次元発熱速度[-]

$Q_l^* = 3.35$ $D = 0.15$ となるため

$$3.35 = \frac{Q_l}{1116 \times 0.15^{\frac{2}{3}}}$$

$$Q_l = 217$$

Q_l は単位長さあたりの発熱速度であるが、今回使用するバーナーは 0.9m である。
したがって、バーナーの火炎出力（発熱速度）は 195kW である。

6.3.5 温度・熱流束測定

(1) 供試体の周辺

供試体の周辺 9 カ所に熱電対および熱流束計をそれぞれ地面から 1.2m および 1.8m の高さに配置（熱電対ツリー図参照）して温度と熱流束を測定する。

また、ビデオカメラおよび赤外線カメラにて状況を動画撮影する。

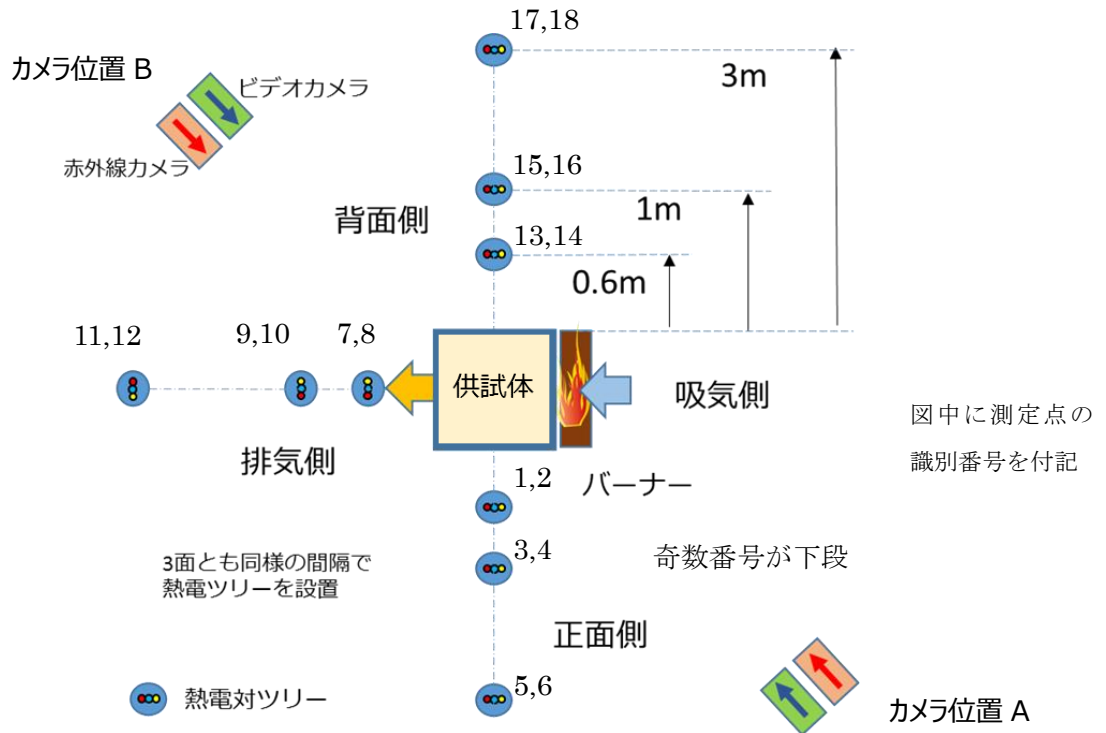


図 6-5 供試体周辺の熱電対・熱流束計設置状況（平面図）

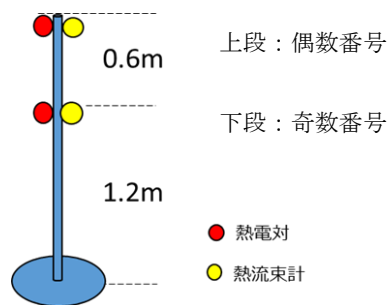
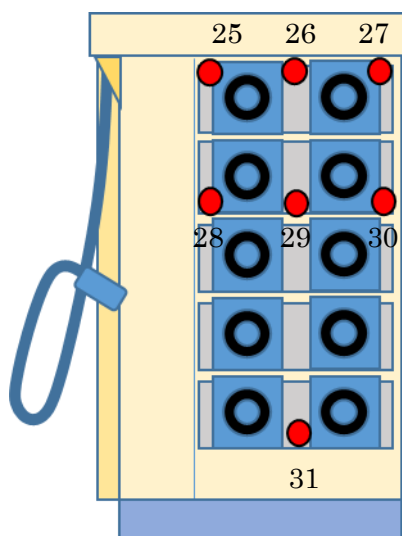


図 6-6 熱電対ツリー（イメージ）

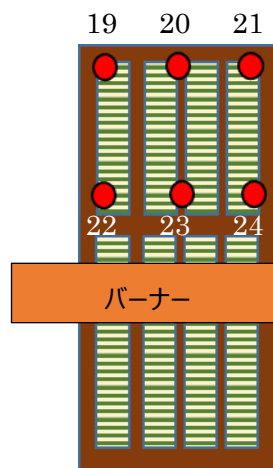
(2) 供試体の側面および内部

供試体の側面と内部に熱電対を設置して温度を1秒間隔で測定する。

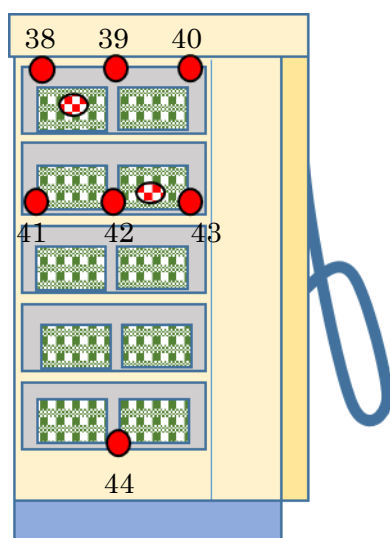
- ① 吸気側側面内部（側板を外した部分） 7か所
- ② 吸気側側面外部（側板） 6か所
- ③ 排気側側面内部（側板を外した部分） 7か所
- ④ 排気側側面外部（側板） 6か所
- ⑤ 供試体内部（上段2段）10か所



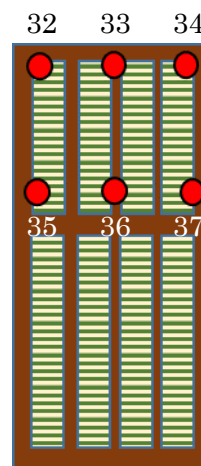
①吸気側側面内部



②吸気側外部側板（裏面にはフィルター）



③排気側側面内部



④排気側外部側板（裏面にはフィルター）

図中に測定点の
識別番号を付記

● 熱電対

● 冷却ファン

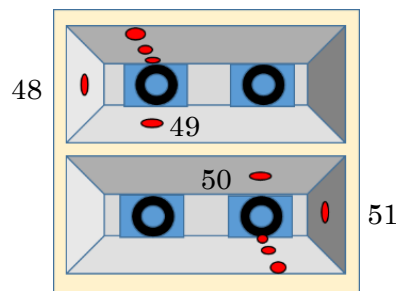
● 熱電対

● 熱電対（内部設置）

■ 内蔵可燃物

図 6-7 供試体側面の熱電対配置

加熱側から 47,46,45



⑤供試体内部（上段 2 段）

内部熱電対設置状況（上図 ⑤部分）

（内蔵可燃物への設置位置は
温度センサーの位置を想定）

加熱側から 52,53,54

図 6-8 供試体内部の熱電対配置

6.3.6 有毒ガス測定

燃焼実験時に発生するガスについて成分分析を行い、発生する気体の危険性の評価を行う。火災によって生じる燃焼生成物は多種多様であるが、過去の検証¹¹⁾¹²⁾¹³⁾¹⁴⁾¹⁵⁾から一般的な火災で発生する下記の毒性物質を中心に評価する。

一酸化炭素 (CO)

二酸化炭素 (CO₂)

シアン化水素 (HCN)

塩化水素・塩素 (HCl・Cl₂)

硫化水素 (H₂S)

硫黄酸化物 (二酸化硫黄) (SO_x (SO₂))

窒素酸化物 (二酸化窒素) (NO_x (NO₂))

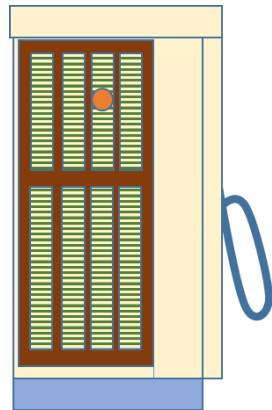
アクロレイン (C₃H₄O)

ホルムアルデヒド (HCHO)

アンモニア (NH₃)

なお、成分分析はソフトイオン化質量分析計 (AirSence) および流通系ガスセルを取り付けた FTIR 分光光度計 (iS10) の 2 種類の分析装置を用いる。

ガス採取場所は、排気側の側面上部 (地上高約 1.6m) 錠戸のスリットから約 0.1m の距離の地点から採取する。



赤丸：採取点
(排気側面から約 0.1m、
地上高約 1.6m)

図 6-9 発生ガス採取の位置

第4節 結果

6.4.1 目視観測（写真、ビデオ）と供試体表面温度

着火時点から5分間隔のビデオ画像およびサーモカメラ画像を示す。

(1) 着火時点



写真 6-1a

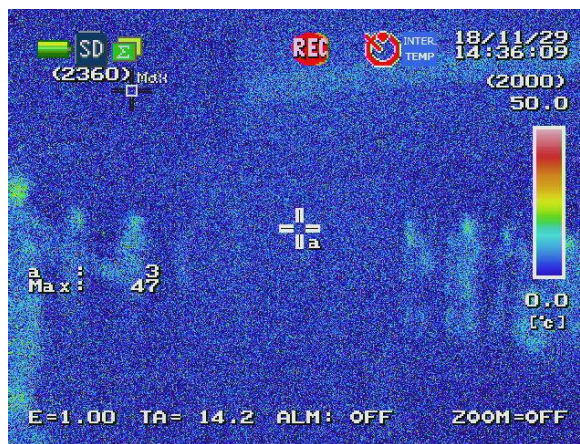


写真 6-1b

(2) 5分後



写真 6-2a

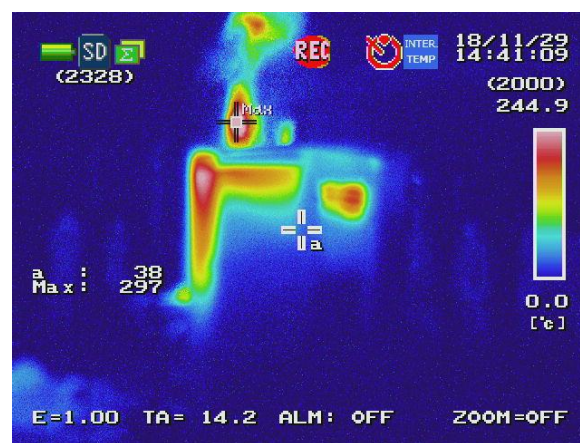


写真 6-2b

(3) 10分後



写真 6-3a

写真 6-3b

(4) 15 分後



写真 6-4a

写真 6-4b

(5) 20 分後



写真 6-5a

写真 6-5b

(6) パーナー停止 2 分後

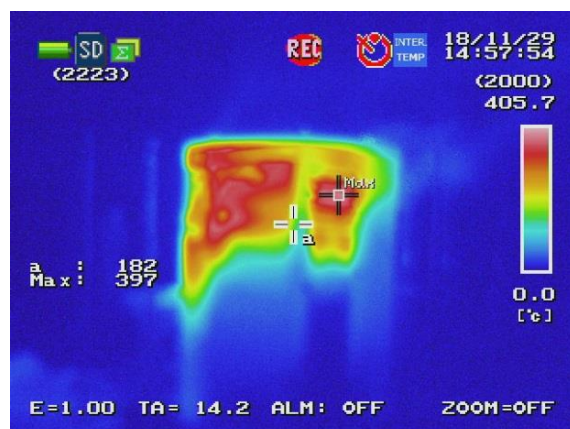


写真 6-6a

写真 6-6b

消火後の供試体表面の様子を示す。



a. 吸気側



b. 排気側



c. 充電ケーブル



d. 正面・吸気側面



e. 背面

写真 6-7 消火後の供試体表面

6.4.2 安全装置動作観測（漏電遮断器）

（1）電流値の変化と安全装置の作動状況

供試体に接続した主電源（三相交流 400V）とファン駆動用電源（単相交流 100V）のケーブルにクランプメーターを設置し、写真のように、電流の変化を動画撮影し、変化を確認した。



写真 6-8 電流測定状況

電流に変化があった時間からファンの駆動状況と漏電遮断器の作動状況が下表のように推測される。

表 6-2 電流の変化と安全装置作動状況

燃焼時間 分：秒	電流の変化		考察
	○主電源 三相 400V	○ファン用電源 単相 100V	
0：00	1.0A	0.5A	<燃焼開始>
0：07			○電流値の上昇開始 電流上昇はファンの固着化によるものと考えられる
0：40		2.1A	○電流値が一時安定する 一部のファンの固着による電流値上昇と考えられる
1：10		2.6A	○電流値、再度上昇 他のファン固着によりさらに上昇したと考えられる
1：40		2.1A	○電流値、低下 一部ファンの電源線の断線と考えられる
5：00	▼	1.7A	○電流値、再度低下 他のファンの電源線の断線と考えられる
9：12	0A	—	◎主電源の漏電遮断器作動に伴い、電源供給断
13：00	—	1.6A	○電流値、やや低下
			この間変化なし
20：00	0A	1.6A	<燃焼終了>

(2) 絶縁抵抗測定

燃焼実験終了後に、主電源回路（400V 回路）の絶縁抵抗値を測定した結果、400V 回路の各相と接地間は0Ωであることを確認した。



測定レンジ 500V

実験前に抵抗値∞を確認済み

写真 6-9 絶縁抵抗測定

(3) 安全装置の作動状況

通常は、ファン異常、筐体内温度異常で、電源はシャットダウンされるが、今回の実験では、ファンを強制駆動しているため、ファンの停止（固着）等による安全装置はキャンセルされている。

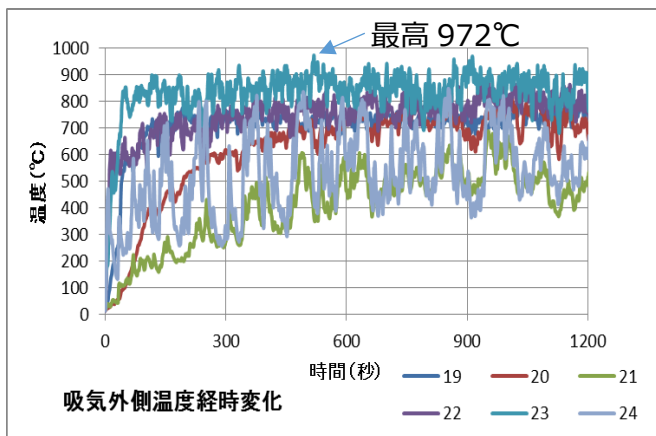
焼損により内部に絶縁破壊箇所が発生し、地絡が起こって写真のように漏電遮断器が作動し、電源が遮断された。すなわち、適切に安全装置が働くことを確認した。



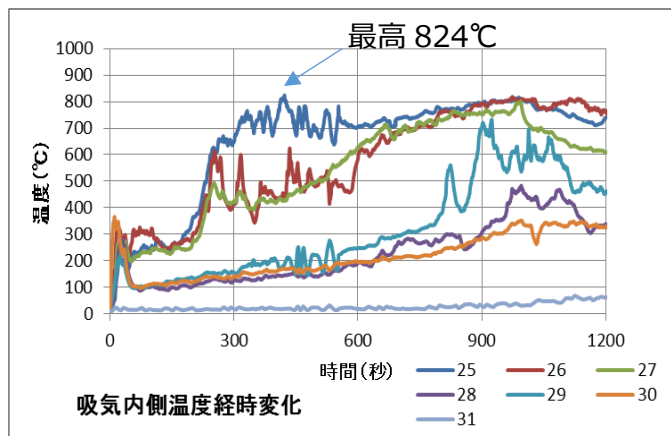
写真 6-10 漏電遮断器(100mA、0.1 秒)の作動状況

6.4.3 温度観測（熱電対、熱流束）

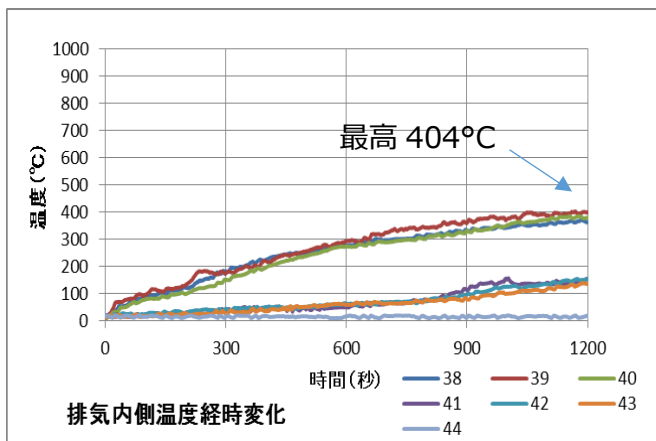
(1) 供試体側板の温度推移



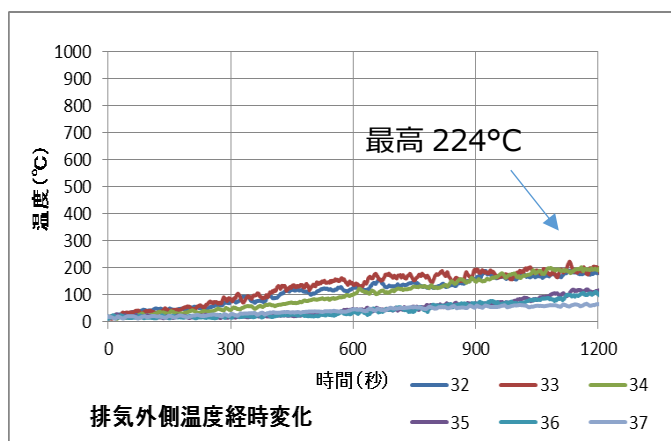
グラフ 6-1 吸気外側（接炎面）



グラフ 6-2 吸気内側

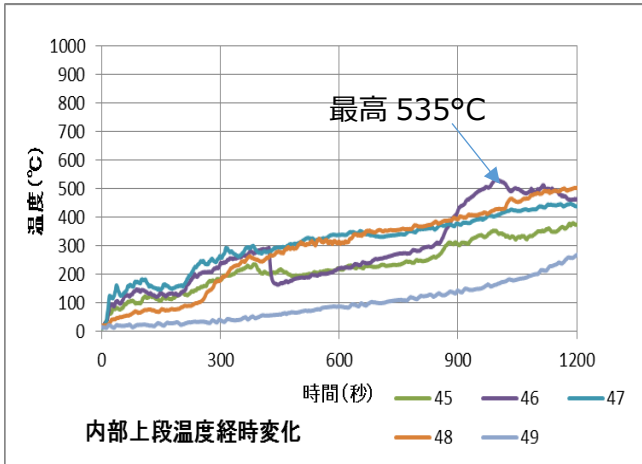


グラフ 6-3 排気内側

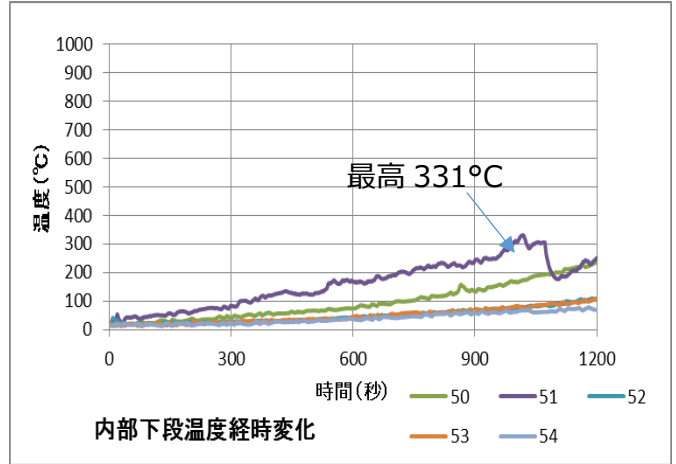


グラフ 6-4 排気外側

(2) 供試体内部の温度推移



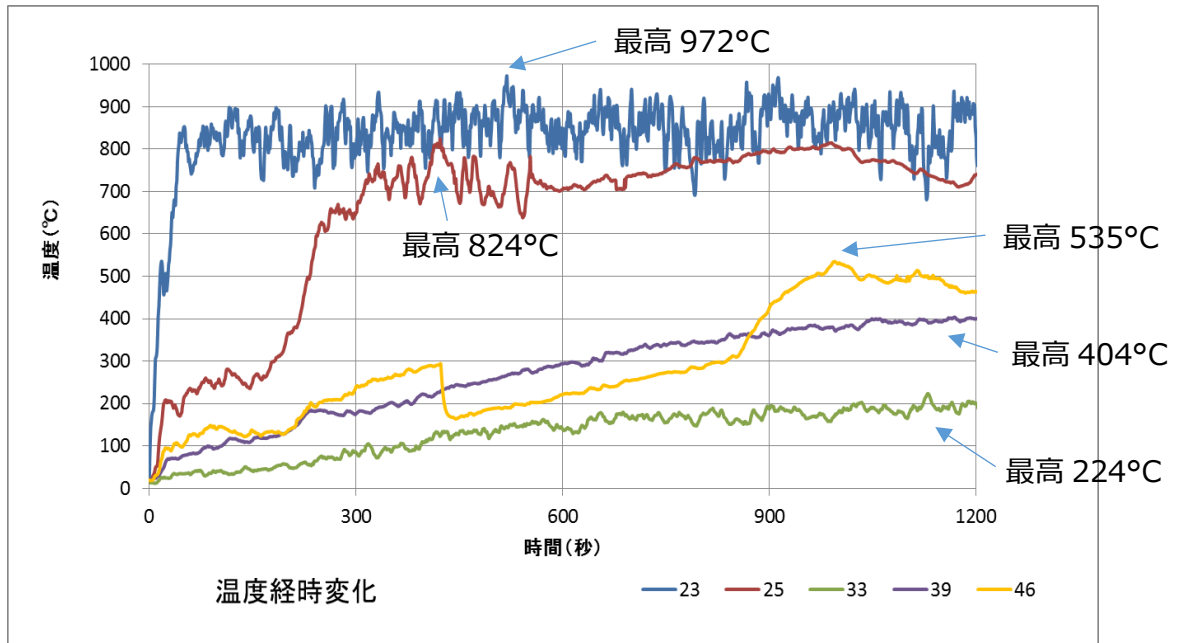
グラフ 6-5 上段 (一段目)



グラフ 6-6 下段 (二段目)

(3) 吸気側、内部、排気側の温度推移比較

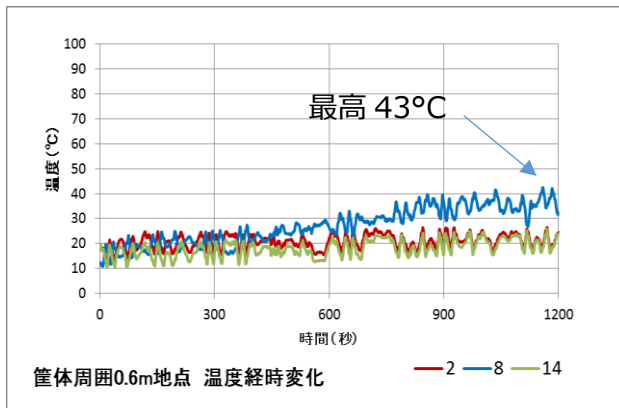
吸気外側 (No.23)、吸気内側 (No.25)、内部上段 (No.46)、排気内側 (No.39)、排気外側 (No.33) の温度推移を示す。(各グループで最高温度を記録した観測点)



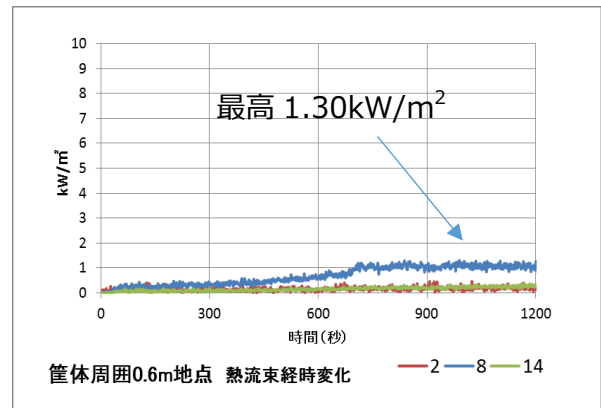
グラフ 6-7 吸気側、内部、排気側の温度推移比較

(4) 供試体周囲の温度・熱流束推移

供試体からの距離 0.6m (高さ 1.8m) に設置された排気側 (No.8)、正面側 (No.2)、背面側 (No.14) の各観測点の温度と熱流束の経時変化を示す。



グラフ 6-8 温度推移



グラフ 6-9 熱流束推移

(5) 考察

正面側、背面側、排気側のうち排気側(非加熱面側)の供試体表面から 0.6m の観測点 (No.8) で最高の温度は 43° C 及び最高の熱流束は 1.3kW/m² を記録したが、木材の着火限界(10kW/m²) には至っていない。すなわち全出力 50kW を超える急速充電設備から少なくとも 0.6m の離隔距離を保てば、延焼には至らないといえる。

<補足1 炎の立ち上がり確認>

本実験を実施するにあたり、排煙機による空気の揺らぎによって温度や熱流束の測定に影響を与えないか、まずバーナーの炎の立ち上がり状況を確認した。炎は垂直に立ち上がっており、空気の揺らぎの影響は排除できていることを確認できた。



写真 6-11 炎の立ち上がり確認

なお、火炎の高さが図 6.4 の状態になるようプロパン流量を 130L/分に設定した。

プロパンの分子量は 44 なので、1 モルの質量は 44g、体積は常温・大気圧下で 22.4L となる。したがって 1 秒あたりの質量流量に換算すると、

$$130/60/22.4 \times 44 \div 4.25 \text{g/sec}$$

これにプロパンガスの単位質量あたりの(低位)発熱量 46kJ/g を乗じると、

$$4.25 \times 46 \div 195 \text{kJ/sec (kW)}$$

となり、6.3.4 で述べたバーナーの火炎出力算出値と一致していた。

<補足2 補足実験>

内蔵可燃物の有無による影響を確認するため補足実験を行った。本実験後、内蔵可燃物をすべて取り出した状態の供試体を使って同じバーナー出力条件で 20 分間燃焼し、供試体周囲の温度、熱流束の測定およびサーモグラフ撮影、ビデオ撮影を行った。

着火時点から 5 分間隔のビデオ画像およびサーモカメラ画像を示す。

(1) 着火時点

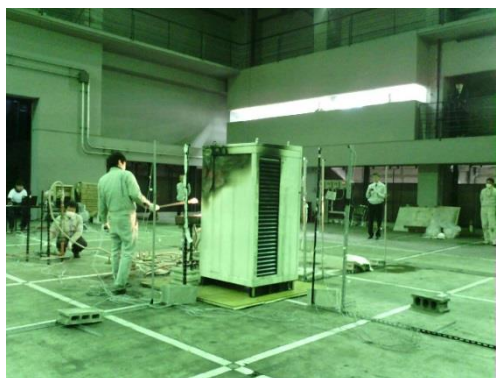


写真 6-12a

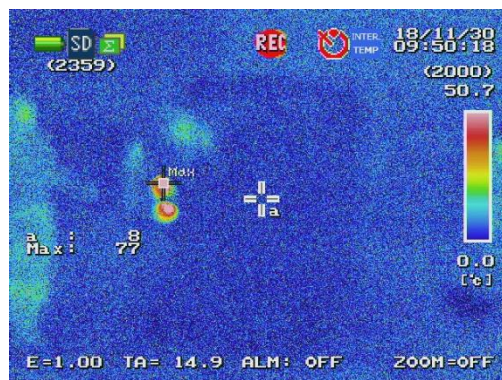


写真 6-12b

(2) 5 分後



写真 6-13a

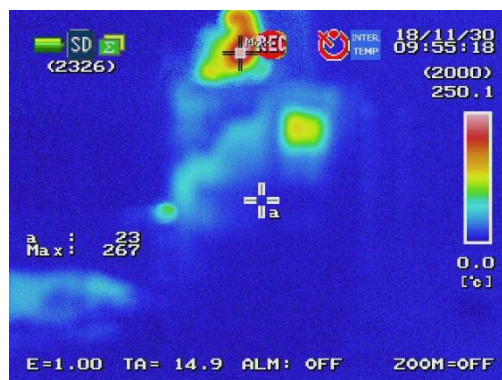


写真 6-13b

(3) 10分後



写真 6-14a

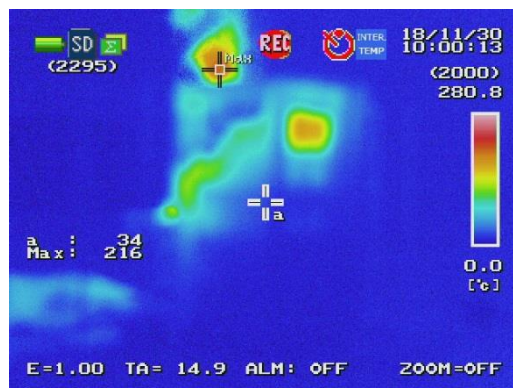


写真 6-14b

(4) 15分後



写真 6-15a



写真 6-15b

(5) 20分後



写真 6-16a

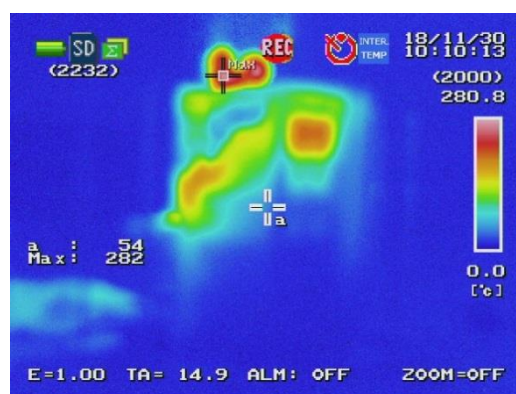


写真 6-16b

(6) バーナー停止 2 分後



写真 6-17a

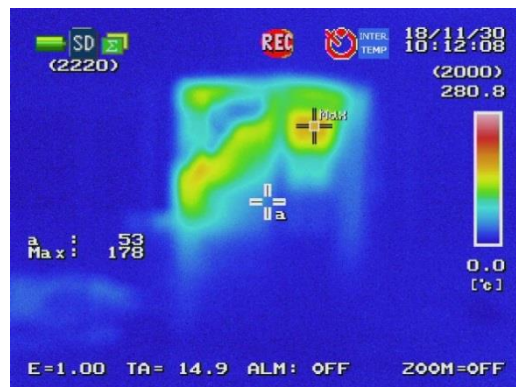
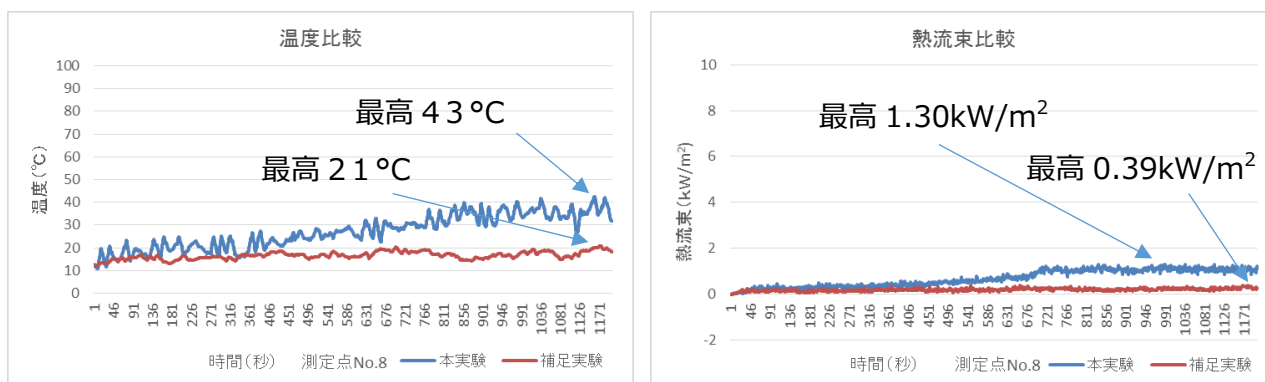


写真 6-17b

代表として排気側 60cm 地点 No.8 (高さ 1.8m) の温度および熱流束の経時変化について、本実験と補足実験との比較をグラフ 6-10 に示す。



グラフ 6-10 本実験と補足実験の温度、熱流束比較

補足実験と本実験における温度と熱流束の最大値の差分はそれぞれ 22°C 、 $0.91\text{kW}/\text{m}^2$ であり、これは主に内蔵可燃物の有無による燃焼の影響によるものと考えられる。全体的には緩やかな上昇傾向であり、特異的なピークがないことから実験場排煙設備等による空気の揺らぎが測定に悪影響は与えていないといえる。本実験の方には温度の細かい上下変動があるが、これは内蔵可燃物燃焼時の煙噴出による排気口周辺の気流の乱れによるものと考えられる。

補足実験全測定点における温度と熱流束の経時変化グラフを資料 4 に示す。すべての測定点において温度推移、熱流束推移がほぼ平坦なことから、実験場の空気の揺らぎや筐体の輻射熱の変動影響は無視できると考える。

6.4.6 発生ガス分析

(1) 分析装置

消防庁消防研究センター 技術研究部 危険性物質研究室の協力を得て、下記の装置を用いて発生ガスの分析を行った。

① ソフトイオン化質量分析計 (AirSence)

分子をイオン化し、四重極で分離し、分子の質量を知ることができる。この装置は低エネルギーレベルのプライマリイオンを用いたイオン化法のため、イオン化した分子のフラグメンテーションが見られにくく、イオンの親ピークのみが見られるという特徴がある。

今回の測定では、クリプトン Kr (14.00 eV) および水銀 Hg (10.44 eV) をプライマリイオンとして用いた。

② FTIR 分光光度計 (iS10)

試料に赤外光を照射し、透過した光量を測定する分析手法を用いた装置。赤外光は、分子結合の振動や回転運動のエネルギーとして吸収されるため、分子の構造や官能基の情報をスペクトルから得ることができる。



写真 6-18 ソフトイオン化質量分析計

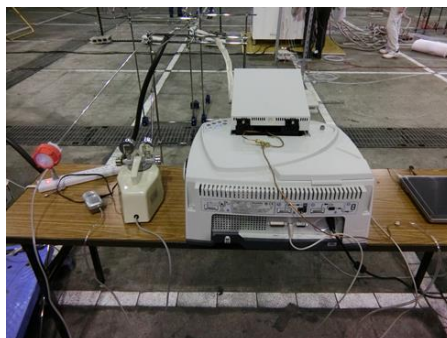


写真 6-19 FTIR 分光光度計

<設置状況>



写真 6-20 ガス採取パイプ

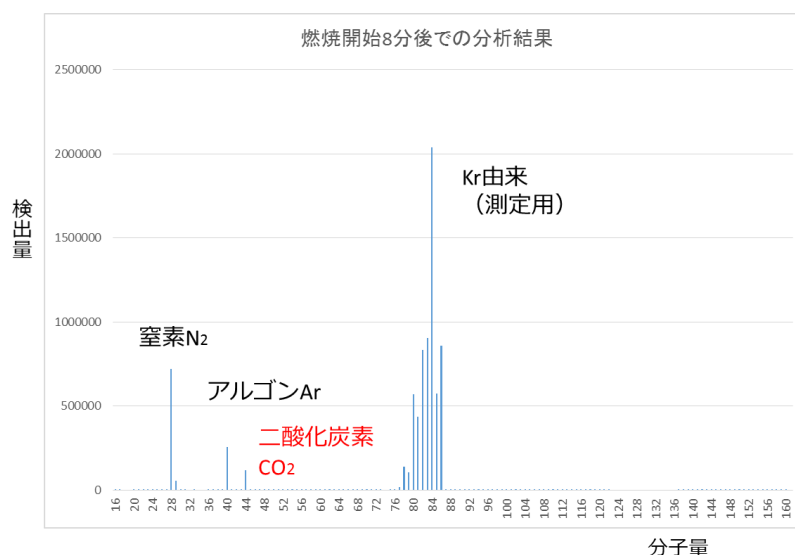


写真 6-21 ガス採取点

(2) 成分分析結果

ソフトイオン化質量分析計による結果をグラフ 6-10,11 に示す。

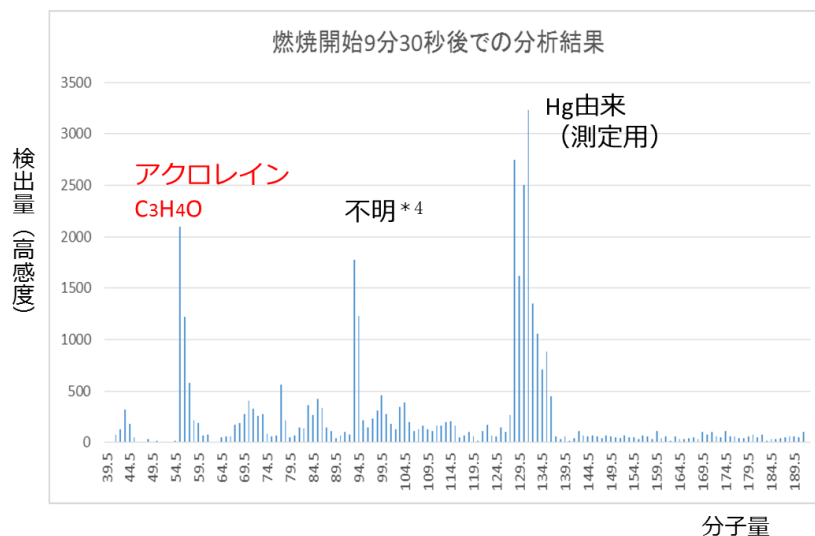
グラフ 6-11 は燃焼開始 8 分後の Kr での測定結果であり二酸化炭素 CO₂ が検出された (Kr での測定結果ではどの時点でも同様の傾向)。



グラフ 6-11 ソフトイオン化質量分析 (燃焼開始 8 分後)

Kr での測定では低濃度のガスについては分析できていないため、次にイオン化のエネルギーレベルを下げ、空気のイオン化を防いで、低濃度の分子を検出できるようにプライマリイオンに Hg を用いて測定した。その結果、グラフ 6-12 の通りアクロレイン C₃H₄O *³ が検出された。燃焼開始 9 分 30 秒以降についても Hg での測定を行っているが、いずれもピークが小さくなるのみで、同様の結果が得られている。

注*3 : アクロレイン C₃H₄O 可燃性の強い毒性物質。一般的な火災で発生することが確認されている。ガソリンエンジン・ディーゼルエンジン及びタバコの不完全燃焼でも発生する。

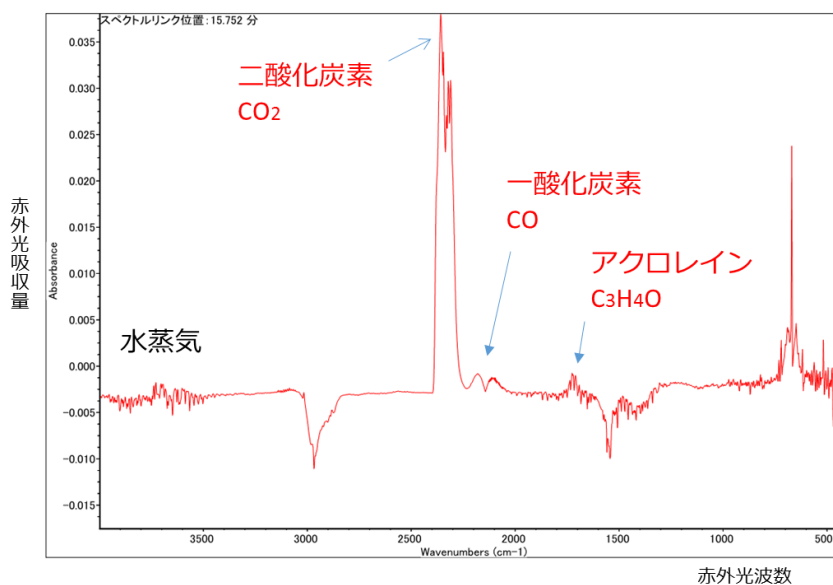


グラフ 6-12 ソフトイオン化質量分析 (燃焼開始 9 分 30 秒後)

注 *4 : 分子量 94 からフェノールである可能性はあるが、分析の標的にしていた対象の中にはなかったため確定不能。
フェノールである場合にも毒性は高くなく、低濃度であるため、危険性は低いと考えられる

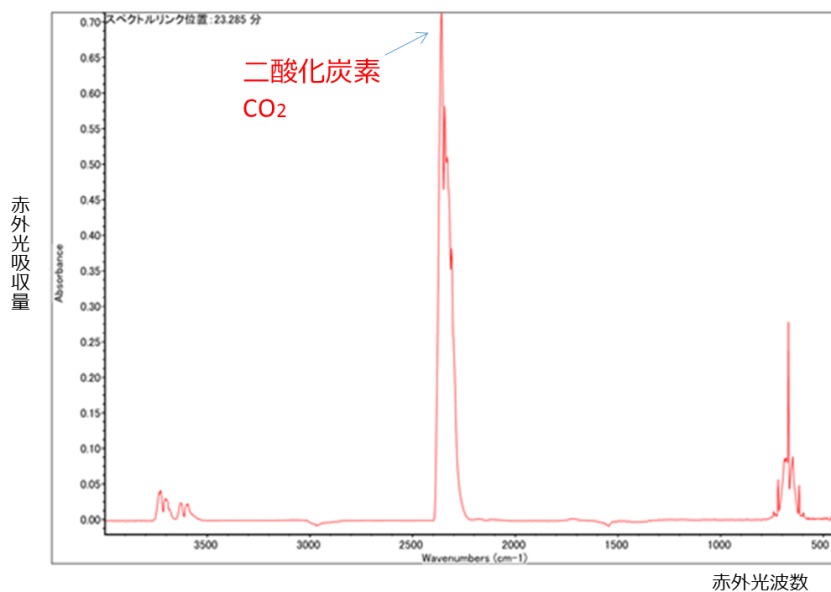
次に燃焼開始 15 分 45 秒経過時点の FTIR 分光光度計による測定結果をグラフ 6-13 に示す。

検査対象の二酸化炭素 CO_2 、一酸化炭素 CO 、アクロレイン C_3H_4O が検出された。赤外光吸収量ピークの高さから二酸化炭素に比べ一酸化炭素とアクロレインは濃度が低いことがわかる。



グラフ 6-13 FTIR 分光光度計分析 (燃焼開始 15 分 45 秒後)

グラフ 6-14 はバーナー消火約 3 分後の測定結果であるが、発生しているのはほぼ二酸化炭素となっている。



グラフ 6-14 FTIR 分光光度計分析 (消火約 3 分後)

(3) 考察

燃焼実験により発生したガスの主成分は二酸化炭素であった。他のガス成分としては一酸化炭素およびアクロレイン*4が発生することが分かった。ただし、これらのガスは低濃度であり消防活動に支障をきたすような危険性は無いと考えられる。

第5節 結論

燃焼実験結果の要点を以下にまとめる。

(1) 目視観測

- ・着火後約4分で排気側面上部から煙が出始め、約10分で色の濃い煙が勢いよく噴出し、消火まで出続けた。約15分頃には供試体下部からもわずかに煙が出始めた。しかし排気側からの炎の吹き出しは確認されなかった。爆発的な燃焼は無かった。
- ・炎に曝された筐体表面の塗料の燃焼が確認できたが、熱による筐体そのものの大きな変形、溶解、亀裂は見られなかった。

(2) 安全装置動作観測

- ・可燃内蔵物焼損により内部に絶縁破壊箇所が発生し、地絡が起こって写真のように漏電遮断器が作動し、電源が遮断された。すなわち、適切に安全装置が働くことを確認した。

(3) 温度観測

- ・排気側表面から0.6mの地点で最高の温度は43°C及び最高の熱流束は1.3kW/m²を記録したが、木材の着火限界(10kW/m²)には至っていない。
- ・すなわち全出力50kWを超える急速充電設備から少なくとも0.6mの離隔距離を保てば、延焼には至らないといえる。

(4) 発生ガス分析

- ・発生したガスの主成分は二酸化炭素であり、他のガス成分としては一酸化炭素およびアクロレインが発生することが分かったが、低濃度であり消防活動に支障をきたすような危険性はないと考えられる。

以上の結果と考察より、

「全出力50kWを超える急速充電設備が外部からの火災に曝され延焼しても、周囲60cm以上の離隔距離があれば、可燃物に延焼しない。また、同設備の火災で発生するガスは、一般的な火災と同様に、主に二酸化炭素であり、一酸化炭素およびアクロレインが確認されたが低濃度であるため、通常装備での消防活動に支障をきたすような危険性はない。」

ということが確認できた。

なお、6.4.2 安全装置動作観測 の中でも触れたが、今回の実験ではシビアサイドの条件として内部センサー類による異常検知に伴う電源遮断を行わないように設定していたため、最終的に漏

電遮断器が動作するに至っている。

しかし、通常の実機であれば、内部温度が 105℃に温度上昇すると、「内部温度異常」となり機器はシャットダウン（電源断）され、出力は停止する。

本実験の状況にあてはめれば、着火後約 38 秒後位にシャットダウンされたことになる。

なお、ファン用電源の電流値上昇がファンの固着化によるものであれば、約 7 秒後には「ファン異常」を検出し、機器はシャットダウンされたことになる。

したがって、通常はこのように各種センサーによる異常監視制御により急速充電装置は停止となるが、もし異常検出がされず、そのまま運転が継続されたとしても、最終的には漏電遮断器により電源が遮断されることが確認できた。