

## 6. 資料編

### 6.1. 高層機械式立体駐車場における感知器の作動実験などに関する資料

#### 6.1.1 作動実証実験（東京都墨田区）結果報告書(抜粋)

##### 1. はじめに

消防法に基づく各種消火設備を、高天井部分(地上10m以上)に法令設置高さを踏まえて、いかに各消火設備機器を配置、取付けるかを所轄消防署と協議を重ね、今回、竣工を迎えるに当たり、事前に消防関係各位の方々立会いの基、各種消火設備が間違いなく作動する事を確認したので、以下に結果を報告する。

##### 2. 実験方法

###### 2-1 実験概要

本実験は、障害物の多い縦型空間で発生した火災の早期感知方法として、煙感知器、差動式スポット型感知器(電子式2種)を使用できなか検討する資料を得ること及び、地震発生時における縦型空間の車両の脱落等を監視用 I T Vカメラにて確認することを目的に行う。

###### 2-2 実験火源

立体駐車場 1階出入口部に発煙筒、ジェットヒーター35kW(30,100kcal/H)を設置して、同時に着火し、自動車火災発生を想定します。(発煙筒は気流の動き、燃焼火災を想定確認するために使用する)

###### 2-3 換気設備

実験に使用する各所の想定換気量を下記に明示する。

立体駐車場No.1号機  $12,350\text{m}^3/\text{H}$  2.17回/H

実験に際しては全て排気ファンを運転状態として行う。

###### 2-4 使用する感知器及び設置場所

立体駐車場内部蓄煙パネル内(400×200×50<sup>H</sup>×1.6t)に光電アナログ式スポット型感知器2系統を設置し、又、蓄熱パネル内(400×200×50<sup>H</sup>×1.6t)に差動式スポット型感知器(電機式2種)2系統を設置し、感知器の作動時間測定はR型受信機、煙濃度・熱電導変化測定はアナログデータ収集装置にそれぞれの感知器を接続して測定する。

###### 2-5 映像記録

立体駐車場内部

立体駐車場内火源部、蓄煙パネル内光電アナログ式スポット型感知器部及び蓄熱パネル内差動式スポット型感知器、立体駐車場内10m, 20m地点、実験立ち合い会場の6箇所の状況記録を目的にビデオカメラを設置して映像を記録する。

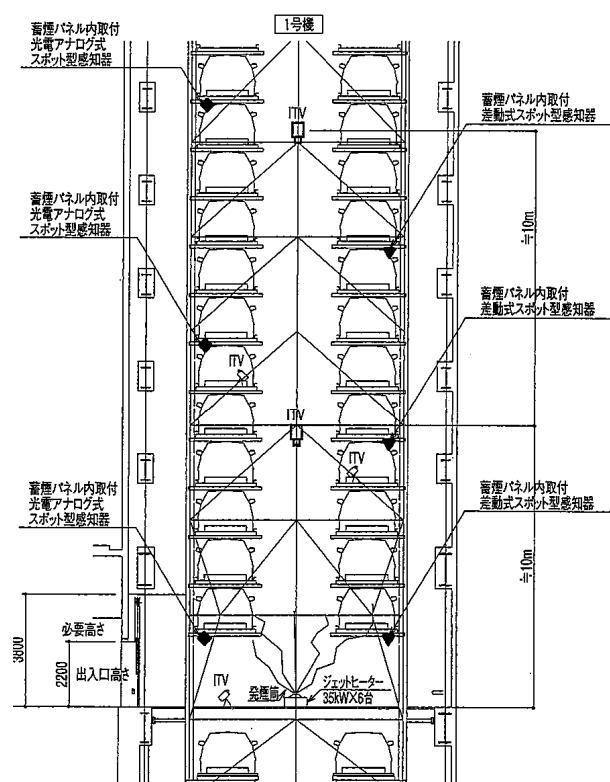


図 駐車場断面図及び感知器等の設置状

### 3. 実験内容（立体駐車場部）

実験は立体駐車場乗込部にジェットヒーター35kW(30,100kcal/h)発煙筒を設置し、同時に着火させ乗込部ゲート開・閉の2回実施する。



写真1 駐車場の入口における実験現場

写真2 発煙筒及びジェットヒーターの状況

### 4. 実験結果

#### 光電アナログ式スポット型感知器（1種相当）

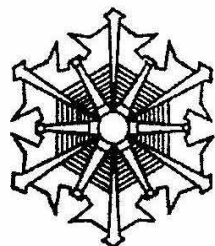
光電アナログ式スポット型感知器感知器 A			光電アナログ式スポット型感知器感知器 B		
感知器No 〔感知器取付高〕	発報時間	発報 順番	感知器No 〔感知器取付高〕	発報時間	発報 順番
1 〔4.0m〕	2分目で発報 (1分01秒～2分00秒)	4	2 〔4.0m〕	55秒～1分8秒の間	2
3 〔12.1m〕	2分5秒	7	4 〔12.1m〕	55秒	1
5 〔20.1m〕	2分22秒	8	6 〔20.1m〕	1分8秒	3
7 〔29.8m〕	4分目で発報 (3分01秒～4分00秒)	10	8 〔29.8m〕	3分目で発報 (2分01秒～3分00秒)	6
9 〔39.4m〕	5分目で発報 (4分01秒～5分00秒)	17	10 〔39.4m〕	3分目で発報 (2分01秒～3分00秒)	5
11 〔47.5m〕	5分目で発報 (4分01秒～5分00秒)	16	12 〔47.5m〕	4分目で発報 (3分01秒～4分00秒)	9
13 〔56.0m〕	5分目で発報 (4分01秒～5分00秒)	12	14 〔56.0m〕	4分目で発報 (3分01秒～4分00秒)	11
15 〔64.5m〕	5分目で発報 (4分01秒～5分00秒)	15	16 〔64.5m〕	5分目で発報 (4分01秒～5分00秒)	18
17 〔72.9m〕	6分目で発報 (5分01秒～5分42秒)	21	18 〔72.9m〕	5分42秒で発報	22
19 〔81.4m〕	6分目で発報 (5分01秒～5分42秒)	19	20 〔81.4m〕	6分目で発報 (5分01秒～5分42秒)	20
21 〔83.5m〕	5分目で発報 (4分01秒～5分00秒)	14	22 〔83.5m〕	5分目で発報 (4分01秒～5分42秒)	13

扉閉状態 場内火源部風速 0.25m/s 注意警報 2.7% 火災警報 5.0%

- 天井の高い機械式立体駐車場には、光電アナログ式スポット型感知器を取付け、高さ10m程度の感覚で設置した場合、1分から6分で100mの最頂部までの感知器が発報状態となる。
- 感知器は、防護区画内の対角となるような設置が必要であることが検証された。
- 天井の高い機械式立体駐車場では、機会換気を1時間当たり2.6回/hで実施し、機械換気が実施されていても、感知上問題が無かった。
- 差動式スポット型感知器の感知実験では、ノルマルヘプタンを燃焼させた実験が必要である。

# 消防技術安全所報

平成20年



45号

---

## REPORT OF FIRE TECHNOLOGY AND SAFETY LABORATORY

2008

FIRE TECHNOLOGY AND SAFETY LABORATORY  
TOKYO FIRE DEPARTMENT

---

東京消防庁 消防技術安全所

# 竪穴区画内における煙感知の有効性に関する検証

佐藤 衛寿\*, 細谷 昌右\*\*

## 概要

昨今、高層の防火対象物の内部に、天井高さが 20m を超える高層の機械式立体駐車場が設置される事例が出現し増加しているが、法令により設置可能な感知器は、炎感知器のみとなっている。しかし、立体駐車場の複雑な内部構造により炎の光が遮られ、炎感知器では有効な感知ができない可能性がある。本検証は、レーザー光を用いて煙を感知する方式を検討し、その有効性について検証した。その結果、光電式スポット型感知器と同等以上の感知性能があることが確認できた。

## 1 はじめに

現在、都市部では、主用途部分の床面積確保のため、高層化した立体駐車場を内部に設置する防火対象物が、多く建築されてきている。(図1)当該防火対象物に自動火災報知設備の設置義務がある場合、取付け面の高さに応じて設置できる感知器は、消防法施行規則第 23 条第 4 項第 2 号によって定められている。(表 1)しかし、立体駐車場部分のような、高さ 20m 以上の部分に設置することができる感知器は、消防法施行規則第 23 条第 4 項第 1 号イにより、炎感知器のみとなっている。(表 2)

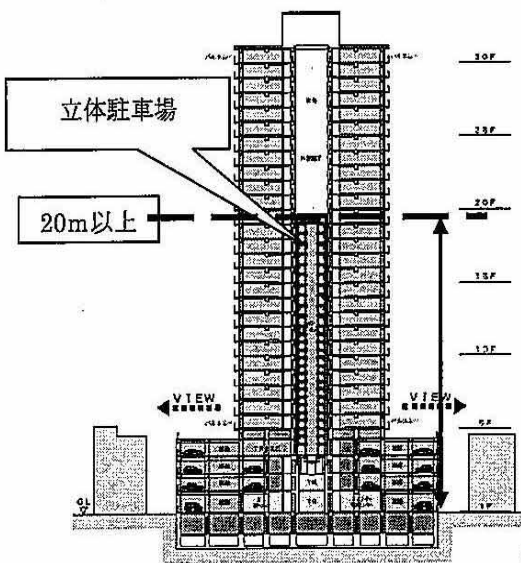


図1 内部に立体駐車場を伴う高層ビルのイメージ

表 1 取付け面の高さで感知器の種類別 (消防法施行規則第 23 条第 4 項第 2 号)

取付け面の高さ	感知器の種類
4 m未満	差動式スポット型 差動式分布型 補償式スポット型 定温式 イオン化式スポット型 光電式スポット型
4 m以上 8 m未満	差動式スポット型 差動式分布型 補償式スポット型 定温式 (特種若しくは1種) イオン化式スポット型 (1種若しくは2種) 光電式スポット型 (1種若しくは2種)
8 m以上 15 m未満	差動式分布型 イオン化式スポット型 (1種若しくは2種) 光電式スポット型 (1種若しくは2種)
15 m以上 20 m未満	イオン化式スポット型 (1種) 光電式スポット型 (1種)

表 2 天井高さ 20m を超える場合に設置できる感知器

法律	消防法施行規則第 23 条第 4 項
内容	<p>4 自動火災報知設備の感知器の設置は、次に定めるところによらなければならない。</p> <p>一 感知器は、次に掲げる場所以外で、点検その他の維持管理ができる場所に設置すること。</p> <p>イ 感知器 (炎感知器を除く。) の取付け面 (感知器を取り付ける天井の室内に面する部分又は上階の床若しくは屋根の下面をいう。) の高さが二十メートル以上である場所</p>

立体駐車場内部に炎感知器が設置された場合、その構造や収容車両によって、火災による炎の光を遮られることが考えられ、火災を有効に感知できないことが予想できる。

を有効に感知する方法を考案することが必要と考えた。

## 2 レーザーを用いて縦穴区画で煙を感知する方法

縦穴区画内にある煙感知に有効な空間としては、パレット間等の駐車装置の隙間が考えられる。

そのような狭く細い縦長な空間に対し、その縦方向に遠くまで届くレーザー光線(表3)を照射し、天井部分の反射鏡で往復させ光路を遮る煙を感知する方法(以下、「レーザー方式」という。)が有効であると考えられる。その概念を図2に示す。

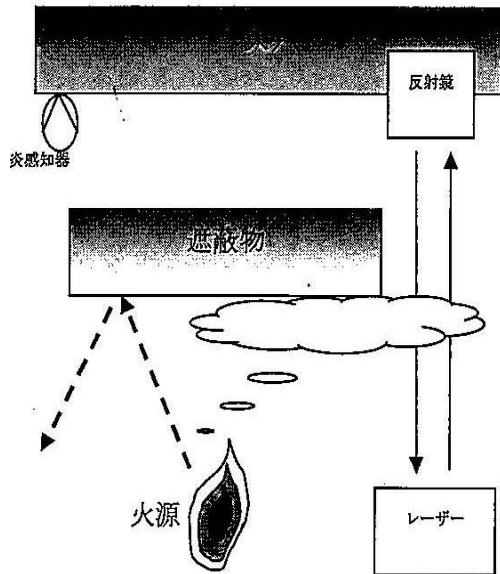


図2 炎感知器とレーザーによる煙感知の概念図

## 3 検証実験

### (1) 目的

煙感知器として一般的に使用される光電式スポット型感知器(1種)を用いる方式とレーザー方式を同一条件で比較することにより、レーザー方式が光電式スポット型感知器と同等以上の感知能力を持つかを検証する。

### (2) 検証場所

旧鹿島本社ビル第1棟B階段(B3階~2階部分)区画部分

### (3) 検証方法

ア 地下1階~2階に光電式スポット型感知器(1種)を設置する。(表4、図3、写真1参照)

イ 地下3階隙間部分にレーザーの光源、受光部を設置する。(図3、写真2参照)

ウ 2階隙間部分にレーザーの反射鏡を設置する。(図3、写真3、4参照)

エ 階段全域を閉鎖し発煙筒(白色、発煙時間1分30秒)を焚いて作動時間と縦方向の煙濃度変化をレーザーの強度比により測定する。なお、15分経過しても作動しない場合は不動作とした。

表3 使用レーザーの仕様

種別	半導体レーザー
出力	5mW
波長	600~700nm
監視距離	12.9m

表4 階段区画の床面積と光電式スポット型感知器(1種)の設置高さ

床面積		11.475m <sup>2</sup> (4.25m×2.7m)
B1F	感知器設置高	9.28m
1F	感知器設置高	12.78m
2F	感知器設置高	15.99m

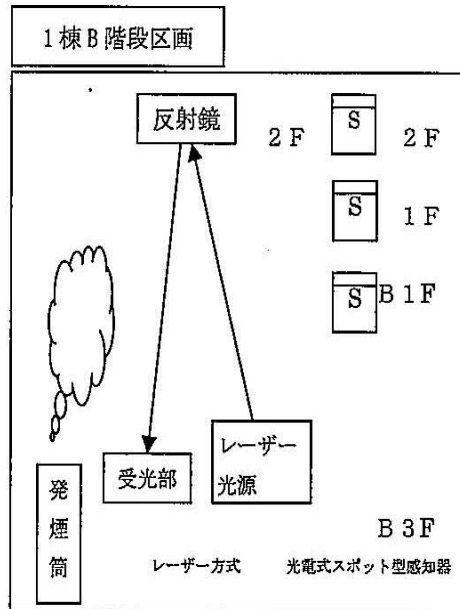


図3 実験配置図

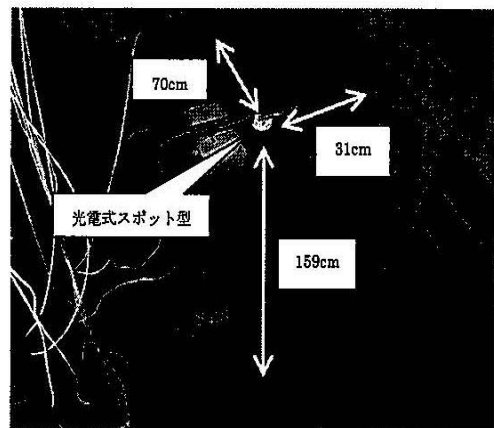


写真1 光電式スポット型感知器設置状況(1階)

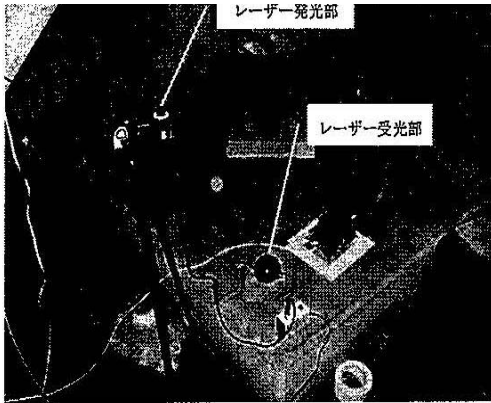


写真2 レーザーの設置状況

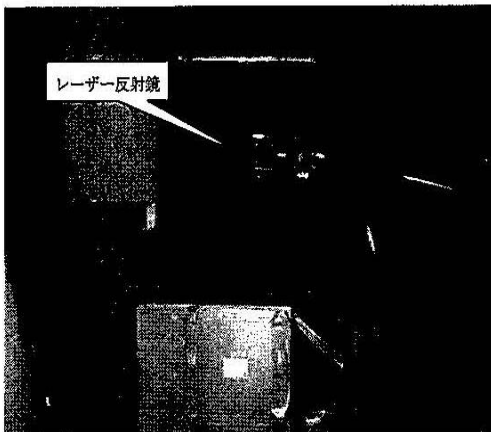


写真3 レーザーの反射板の設置状況

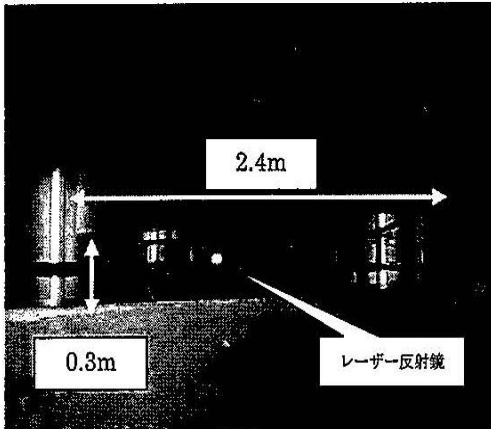


写真4 レーザーの光路部分の様子

#### (4) 結果と考察

ア 各光電式スポット型感知器の作動時間を表5に示す。各階の感知器の平均作動時間は概ね下階ほど早くになっている。各検証で作動時間にバラツキがあるのは、館内での引越し作業や工事のため人の出入りがあり、区画内の気流に影響があったためと思われる。

イ 図4にレーザーの強度比平均値(単位  $mW/mW$ )の時間変化平均値を示す。今回の条件では概ね100秒以内に急速にレーザー光の強度比が低下している。これは水平方向への煙の拡散が飽和し、後は縦方向に拡散していったためと考えられる。

点での図4に示されるレーザー光の強度比の値を比較すると、レーザー光の強度比はいずれも20%以下の値となっている。このことから、今回の条件では光電式スポット型感知器と同程度の感知時間に、レーザー光の強度比のしきい値を設定することは十分に可能と考えられ、さらにしきい値を上げて高感度にすることも可能である。オ 以上のことから、レーザー方式による煙感知は、有効であるといえる。

表5 各感知器の作動時間(秒)

実験番号	スポット B1階	スポット 1階	スポット 2階
1	322	391	545
2	190	247	408
3	259	233	333
4	298	466	508
5	513	580	709
6	412	400	416
7	175	440	459
8	223	437	627
9	194	361	375
10	190	412	443
11	188	455	400
12	190	392	428
13	不動作	不動作	不動作
14	328	469	442
15	276	444	532
16	253	不動作	不動作
17	266	456	459
18	243	452	474
19	306	493	567
20	206	517	561
21	300	不動作	不動作
22	271	不動作	不動作
23	252	434	579
24	292	557	602
25	251	796	669
26	302	不動作	不動作
27	384	568	568
平均 <sup>ア</sup>	272	455	505

※ 平均は作動しなかった場合を除いて算出

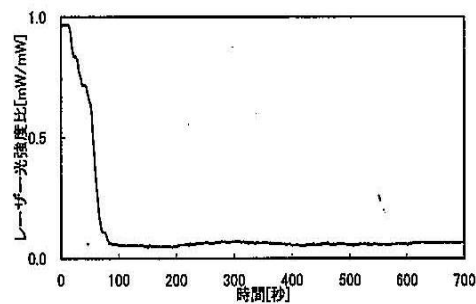


図4 レーザー光強度比平均値の時間変化

#### 4 まとめ

建物と一体化した高層立体駐車場に設置される炎感知器に替えて、新たにレーザー方式について提案し、光電式スポット型感知器と感知能力を比較検証した。

その結果、レーザー方式でも原理的に光電式スポット型感知器と同程度の感知能力を得られることが確認でき、高さ20mを超える区画での感知方法として、有効であることがわかった。

6.2. 高層機械式立体駐車場における消火性能に関する資料

6.2.1 実設備放出実験報告書

立体駐車場向け 消火システムNN100

実設備放出実験報告書

平成12年6月

株式会社コアツ

# 立体駐車場向け 消火システムNN100 実設備放出実験報告書

株式会社コーアツ 開発部

## 1. 概要

機械式立体駐車設備に設置した消火システムNN100について、立駐試験塔による放出実験を実施し、消火剤放射中、放射後の区画内の濃度分布特性を検証した。

消火剤放射後の酸素濃度はいずれのポイントもほぼ設計値通りで、濃度分布についても特に問題なかった。また、エンジンルーム内の酸素濃度も区画内のものとほぼ同じであった。エンジンルーム火災を想定したキュービクル(写真3参照)内に設置した火皿の火炎は、放射開始から約45秒後に消火し、消火性能上も特に問題なかった。

以上のことから、機械式立体駐車設備に関する消火システムNN100の消火性能、放射後の濃度分布、濃度維持などのガス系消火設備に関する要素について、実際の建物を用いて総合的に検証できた。

## 2. 実施日、実施者等

- ・実施場所：某社 立駐試験塔
- ・実施日：2000年6月26日(月)
- ・実施者：株式会社コーアツ 開発部

3. 立合者：ガス系消火設備等評価委員会、安全センター、名古屋市消防局、大阪市消防局、神戸市消防局他、計 約50名  
詳細は、添付資料1による。

## 4. 立体駐車設備概要

- ・種類：機械式立体駐車設備(エレベーター方式)
- ・大きさ：6.7m×7.4m×23.2m(21.8+1.4mビット部)
- ・体積：1152m<sup>3</sup>
- ・収容台数：20台
- ・トレー寸法：5.4m×2.1m

## 5. 実験条件

- ・消火剤：窒素ガス
- ・実験対象室内体積：1152m<sup>3</sup>
- ・計画放射量：20.3m<sup>3</sup>/82.5L容器30本-合計599m<sup>3</sup>
- ・放射時間：全量の90%を1分で放射



- ・計画濃度 : 設計酸素濃度 12.5%

#### 6. 計測項目

- ・室内酸素濃度 : 濃度センサ 7 点 (室内 6 点、エンジンルーム内 1 点)
- ・室内温度 : 熱電対 4 点 (室内 3 点、火皿 1 点)
- ・消火剤容器内圧力 : 圧力センサ 1 点
- ・配管内圧力 : 圧力センサ 1 点
- ・放射量 : 消火剤容器の充填記録による
- ・放射状況 : ビデオカメラ 3 点 (室内 2 点、実験風景 1 点)

#### 7. 実験手順

- ・人員配置、計測器の確認
- ・実験開始
- ・計測 (データ収集) 開始
- ・キュービクル内のヘプタン火皿に点火
- ・消火剤 (窒素ガス) 放射
- ・放射から 6 分後に計測終了

#### 8. 実験結果

実験結果をグラフ 1 に示す。

##### (1) 消火性能

エンジンルーム内を想定したキュービクル(4面アクリル張付、 $\phi 5\text{ m}$   
 $\text{m} \times 27$ 個/1面)内に $\phi 75\text{ mm}$ 火皿(燃料:n-ヘプタン)を設置し、  
火皿に点火してから、約50秒後に消火剤を放射した。火炎は放射開始  
から45秒後に消火した。

##### (2) 濃度分布及び維持

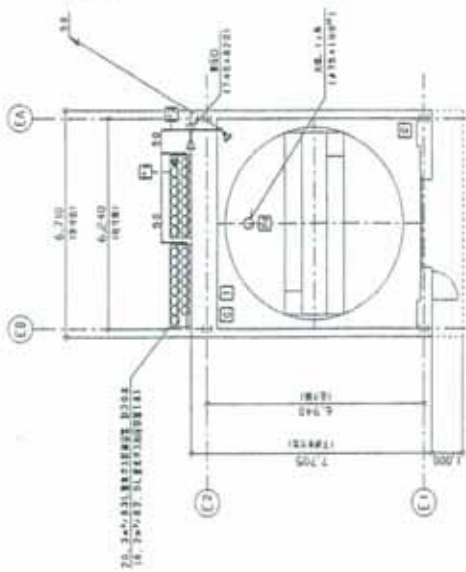
放射開始後、消火剤は区画全体によく拡散していた。またエンジンル  
ーム内の酸素濃度も区画内のものと同様で、内部までよく拡散して  
いることがわかった。

放射6分後における平均酸素濃度は12.0%で、ほぼ計画値通りで  
あった。計測は放射開始から6分程度行ったが、放射終了後の各点の濃  
度はほとんど変化せず、消火剤濃度がよく維持できていることが確認でき  
た。なお、酸素濃度曲線(C2)の乱れは、ノイズの影響によるものである。

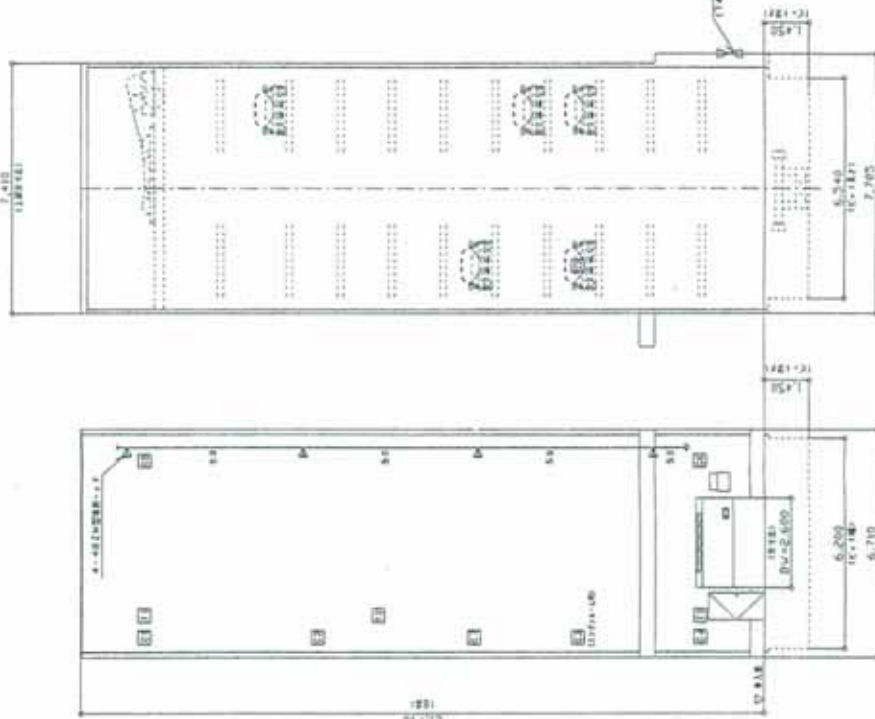
#### 9. まとめ

機械式立体駐車設備に関して消火システムNN100の消火性能、放射後  
における濃度分布、濃度維持を実物の建物を用いて検証したが、特に問題がない  
と判断した。

消火システム NNI100 全消気方式消火装置計画書		図 号	
区 画 名	図 号	区 画 名	図 号
面積 (m <sup>2</sup> )	51.6		
容積 (m <sup>3</sup> )	1152		
容積 (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> )	0.52		
消火装置 (m <sup>2</sup> )	509.1		
消火装置 (9)	1		
20.3m <sup>3</sup> /0.3L消器 (K)	30		
主消器設置 (A)	50		
備用ヘッド	型式	402M	
	個数	4	

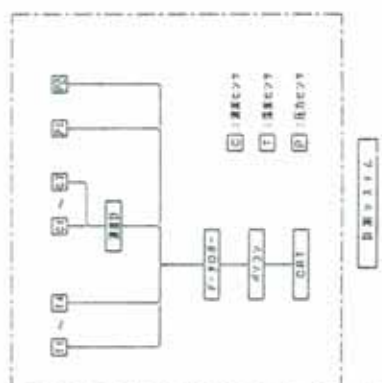
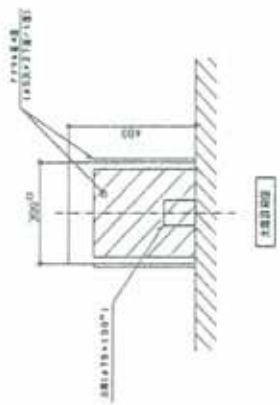


※消火装置図 S-17/100



※消火装置図 S-17/100

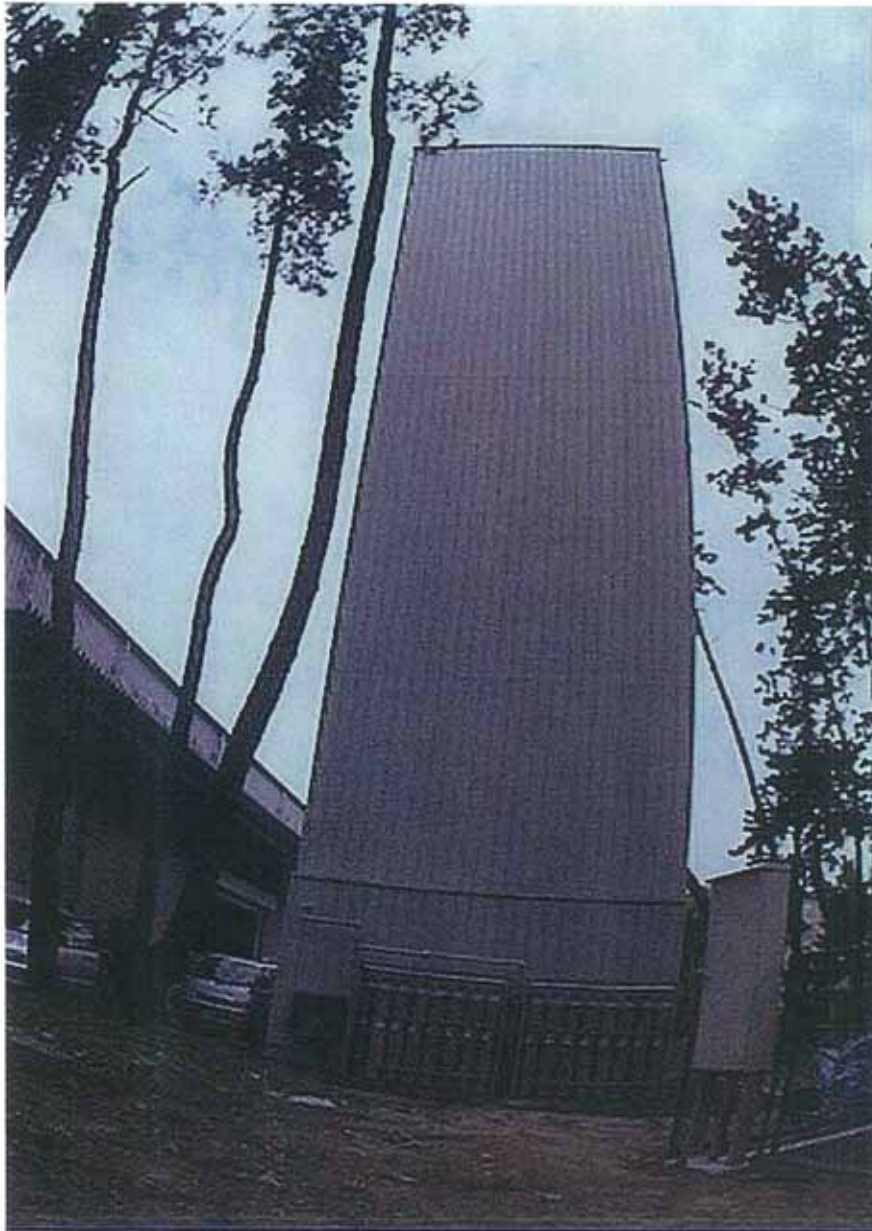
※消火装置図 S-17/100



天竺屋製図

B1000016-4PHE\_H03

# 実験装置



実験室裏面

# 実験装置



消火剤容器



放射ノズル

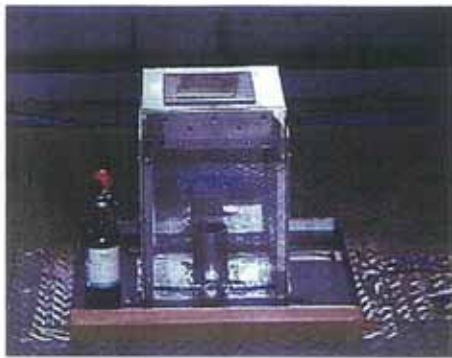


エンジン内 O<sub>2</sub>センサ



O<sub>2</sub>センサ

## 火皿の様子



火皿



予燃



放射中



消火

6.2.2 立体駐車場に関するモデル実験報告書

立体駐車設備に関するモデル実験報告書

平成12年6月

株式会社 コーアツ

## 立体駐車設備に関するモデル実験報告書

(株) コーアツ 開発部

### 1. 概要

機械式立体駐車設備に関する放射中及び放射後の濃度分布及び濃度維持性について検証した。また、エンジンルーム火災を想定した実験も合わせて行い、火災時の消火性能及び濃度分布特性についても検証した。

実験は1/16スケールの縮小モデル(区画のアスペクト比は16.5)により行った。内部にはエレベーター方式の立体駐車設備のパレットを模擬した板を設置した(写真1、2参照)ノズルは、実際の設計と同様なピッチで合計24個配置し、区画体積に応じた設計量の消火剤を区画内に放出した。また、ノズルのオリフィスが微小となるため、各ノズルの前に90 $\mu$ mのフィルターを設置した。

消火剤放射後の酸素濃度は、いずれのケースもほぼ計画値通りであった。また、濃度分布についても全てのケースについてほぼ同じで、特に大きなバラツキはなく、パレットなどの内容物の影響、火炎の影響、火炎位置の影響などはほとんどないと考えられた。

今回の実験結果と前回の報告(平成12年度火災学会研究発表会)の結果を合わせて考えると、今回用いたアスペクト比程度の立体駐車設備であれば、区画内の濃度分布は均一になると考えられた。

### 2. 実験日時

- ・実験日時：平成12年6月13日～16日、6月27日～28日
- ・実験場所：(株) コーアツ 滋賀研究所 第1実験棟

### 3. 立会者

- ・鹿島建設(株) 建設総事業本部 石井様、正田様

### 4. 実験条件

- ・実在区画：約8×8×9.4m(アスペクト比約1.2)
- ・縮小モデル：□0.5×約8.3m(想定区画:約8×8×13.2m)
- ・パレット：54段
- ・アスペクト比：16.5
- ・縮尺：1/16
- ・消火剤の種類：窒素ガス
- ・消火剤濃度：40.3%
- ・放射時間：1分
- ・ノズル：ジェット型(24個)
- ・実験温度：常温

5. 実験ケース

実験番号	火災の有無	備考
1	非火災	
2	上部火災	火炎の影響
3	下部火災	火炎の影響

6. 計測点

- ・計測(データ収集)開始
- ・ヘプタン火皿に点火(実験2、3のみ)
- ・火皿に点火してから約30秒後に消火剤放射
- ・放射してから約2分後に開口部閉鎖
- ・10分後に計測終了

7. 実験手順

- ・酸素濃度・・・6点
- ・室温・・・・・・3点
- ・ノズル圧・・・・1点
- ・容器内圧・・・・1点

8. 実験結果

実験結果を表1、グラフ1～4、写真1～3に示す。

表1 実験結果

実験番号	平均酸素濃度 <sup>※</sup>	消火時間	備考
1-1	12.2%	—	
1-2	12.4%	—	
2	12.3%	40秒	
3-1	12.5%	34秒	
3-2	12.4%	27秒	立会

※放射開始6分後の値

9. 添付資料

- ・グラフ・・・・グラフ1～4
- ・記録写真・・・・写真1～3



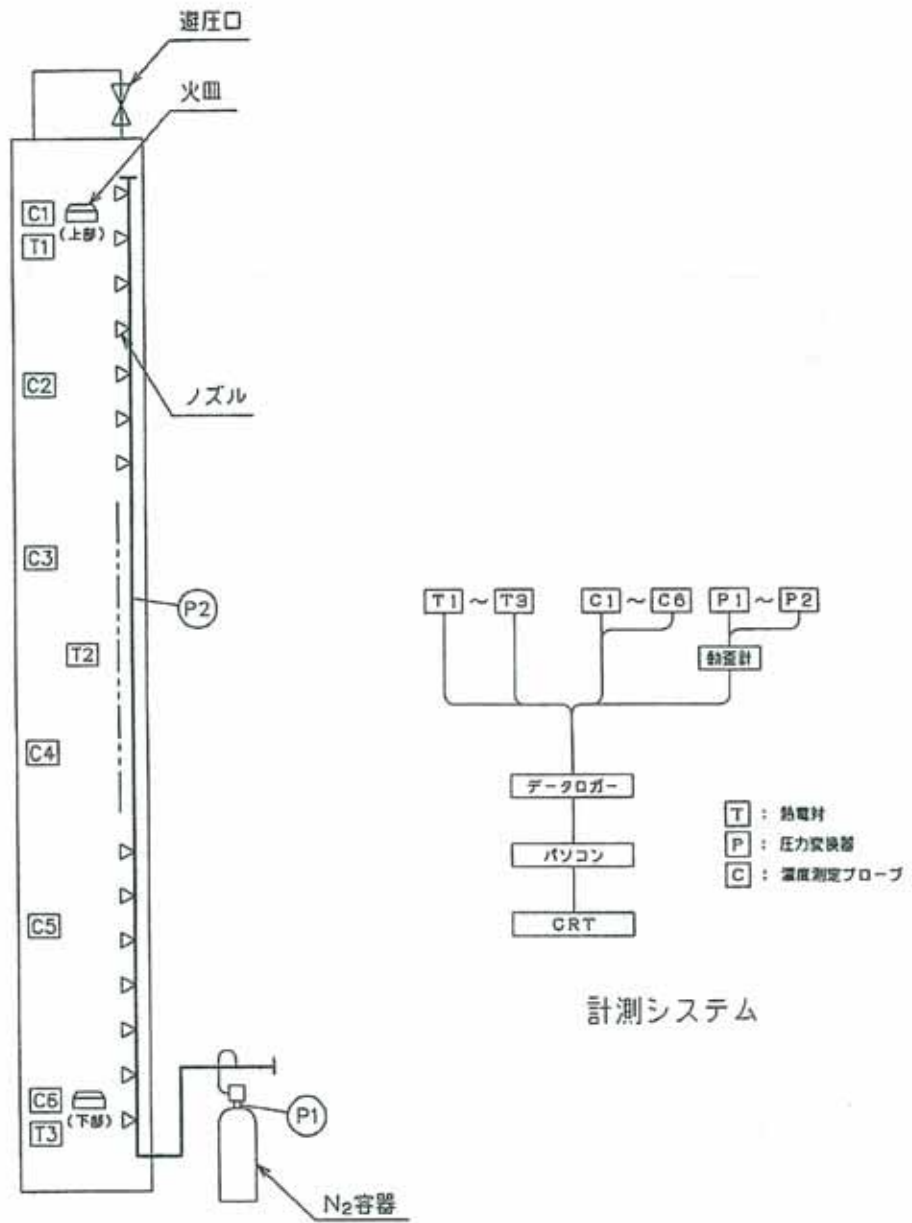
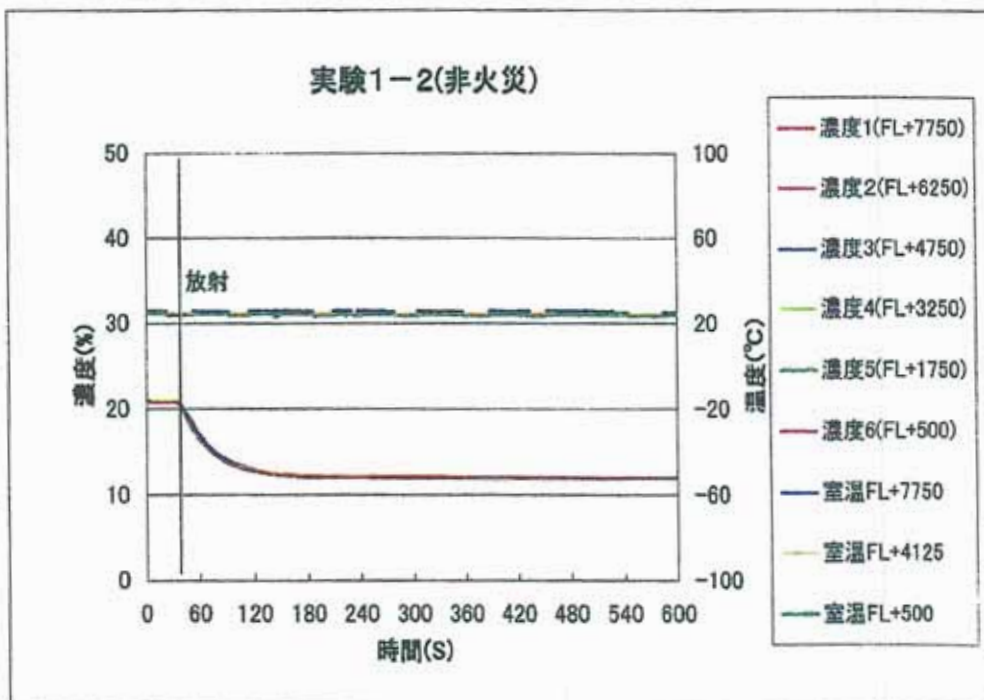
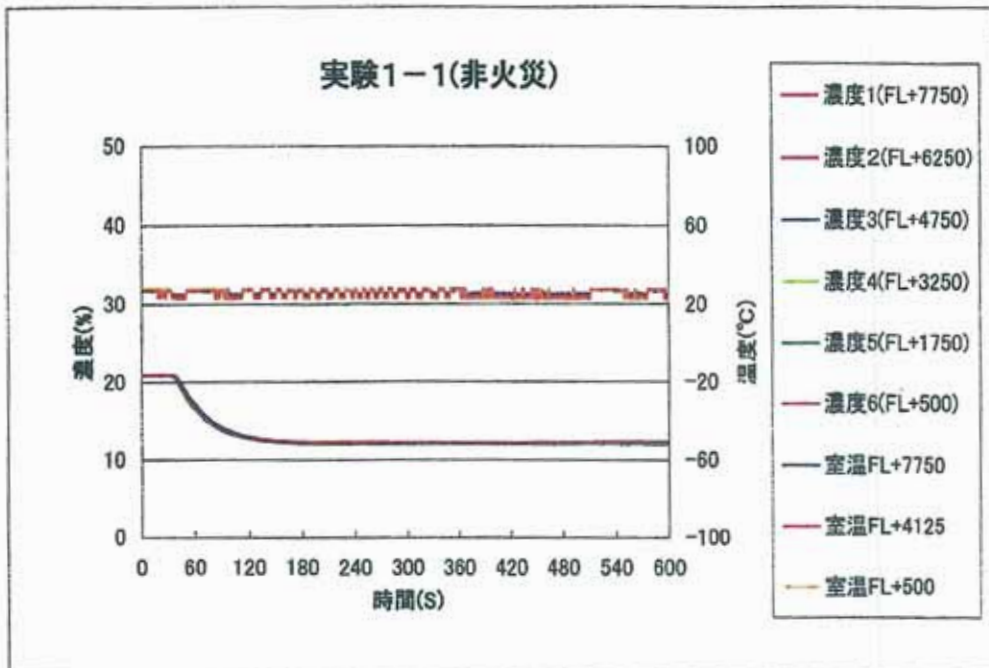
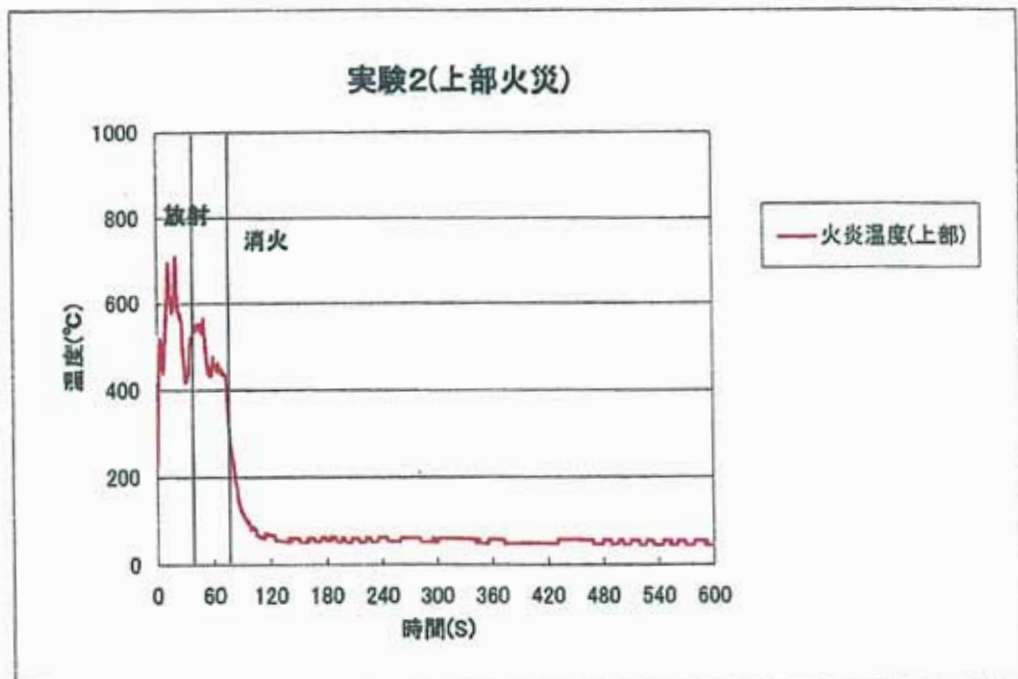
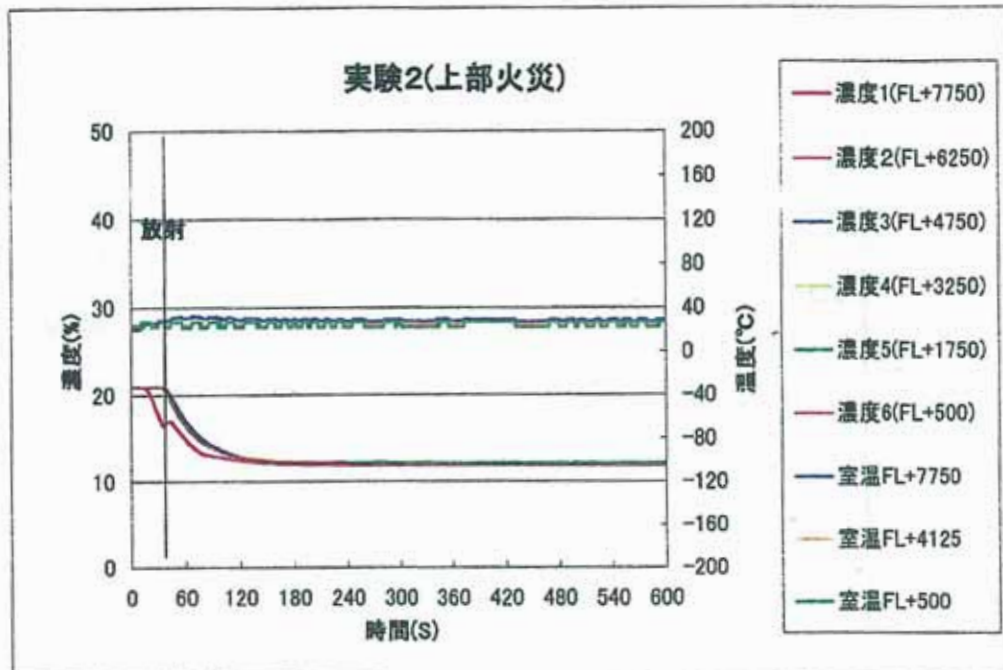


図1 実験設備概要図

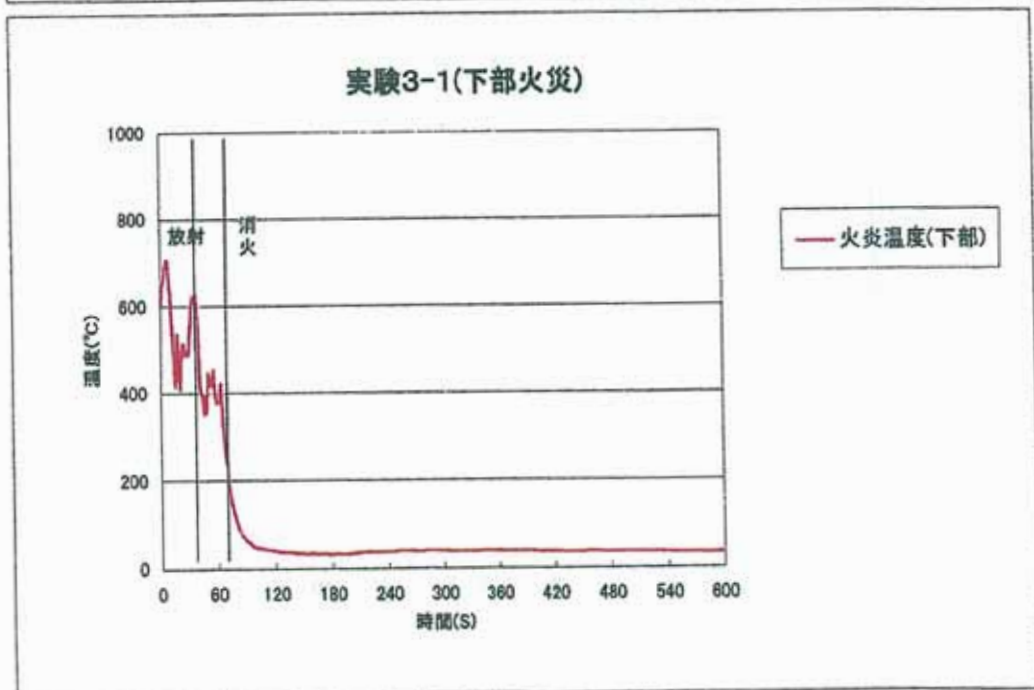
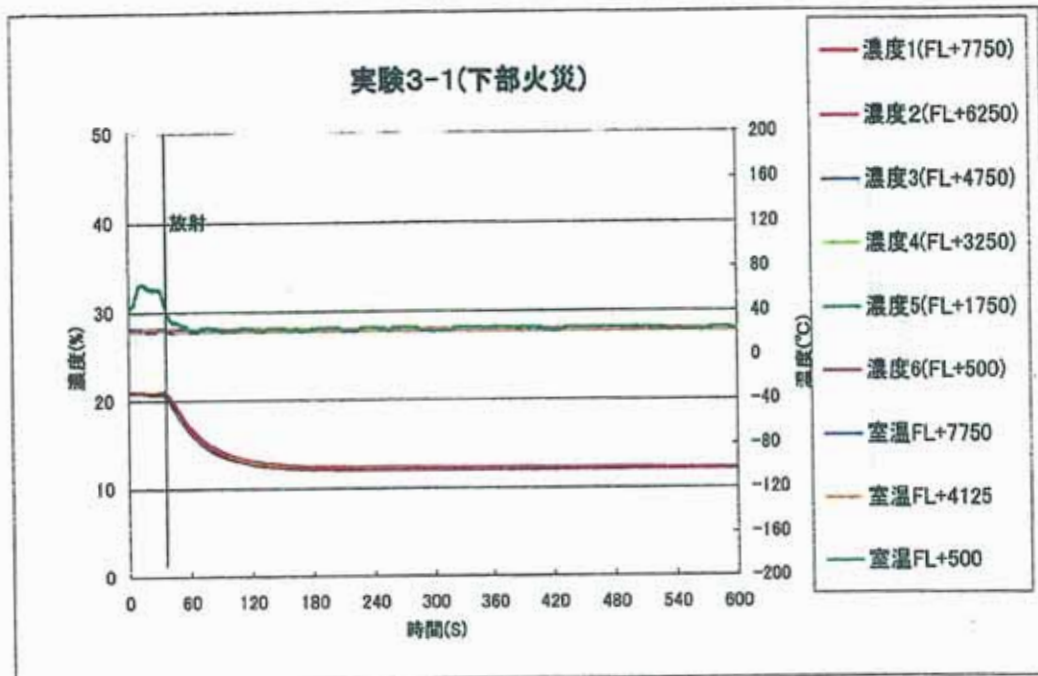
# グラフ1



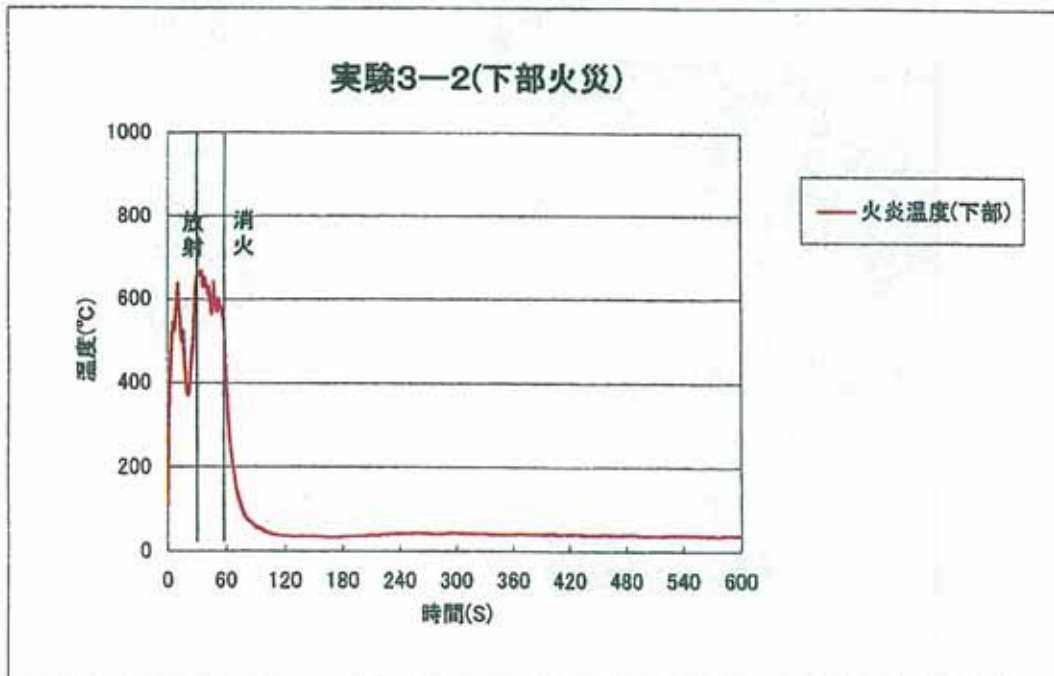
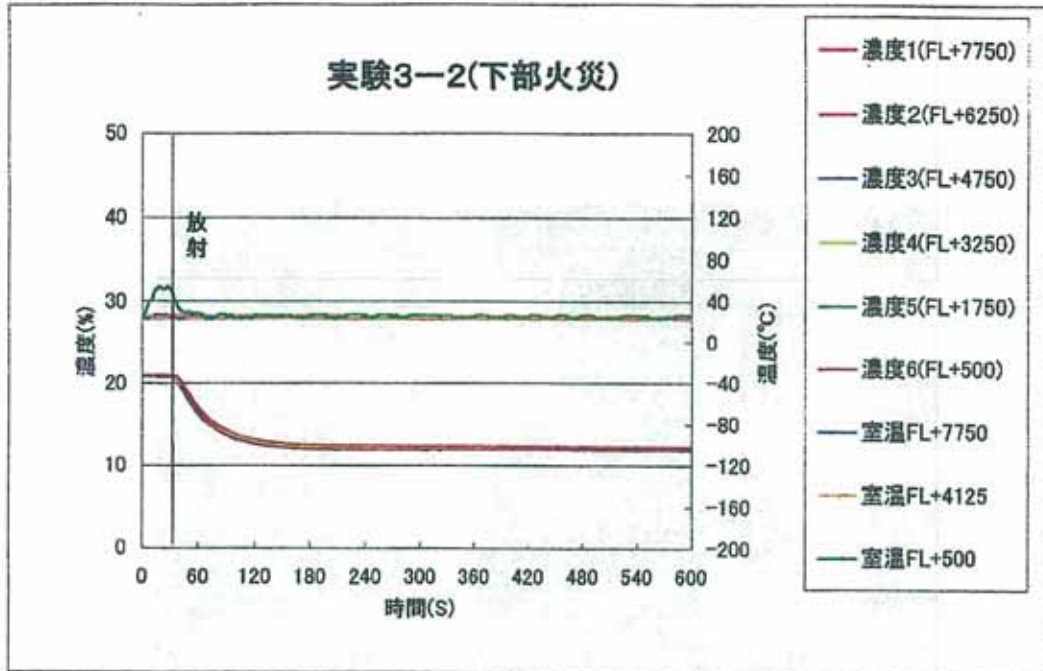
## グラフ2



# グラフ3

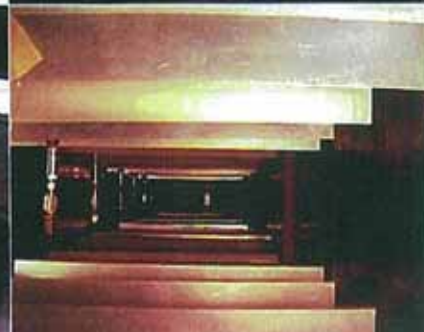


# グラフ4



実験モデル

実験モデル



実験モデル  
(内部)

## 6.3. ハイブリッド自動車・燃料電池動車の火災実験等に関する資料及びバイオ燃料に関する資料

### 6.3.1 ハイブリッド自動車・燃料電池動車の火災実験等に関する資料

#### 6.3.1.1 ハイブリッド自動車およびガソリン自動車の 燃焼性状に関する研究

渡邊憲道 岡本勝弘 三輪幸司 本間正勝 萩本安昭 (科学警察研究所) 諏訪正廣 (埼玉県警察本部)  
佐藤英樹 (千葉県警察本部) 上矢恭子 須川修身 (諏訪東京理科大学)

Study on fire behavior of gasoline-electric hybrid vehicle and gasoline-powered vehicle  
Norimichi Watanabe, Katsuhiko Okamoto, Koji Miwa, Masakatsu Honma, Yasuaki Hagimoto,  
Tadahiro Suwa, Hideki Satoh, Kyoko Kamiya and Osami Sugawa

##### 1. はじめに

最近では、駐車場において、ハイブリッド自動車が隣接する機会が多くある。ハイブリッド自動車は、燃費と排気ガスの規制の観点から登録台数が増加し、ガソリンを燃料とする自動車からの移行が急速に進んでいる。このように移行が進むと、それだけハイブリッド自動車の関わる放火、事故および整備不良などによる火災の件数は、今現在のガソリン自動車に関わる火災の件数に近づくと考えられる。

一般に、ハイブリッド自動車には、軽量化のためにアルミ製部品だけでなく、樹脂製部品が多く用いられていることが知られている。樹脂製部品の使用による軽量化は、ガソリン自動車においても行われている。したがって、ハイブリッド自動車における樹脂製部品の質量自体は、同じ車格のガソリン自動車のそれと比べて著しく変わらないものと考えられる。火災時において可燃物となる樹脂製部品の質量自体が著しく変わらない場合、燃焼時の総発熱量については、ハイブリッド自動車と既存の自動車との間には大きな差が生じないと考えられる。

一方、ハイブリッド自動車には、モータ、発電機、駆動バッテリーおよびそれらに関する部品などが搭載されているので、ガソリン自動車の部品の種類や配置に差がある。部品の種類や配置の差があると、火災の進展状況に変化が生じ、自動車の燃焼性状に影響するため、ハイブリッド自動車の燃焼性状は、ガソリン自動車の燃焼性状<sup>(1)-(4)</sup>とは異なる可能性が考えられる。したがって、ハイブリッド自動車の火災が発生した場合について、隣接する住宅や自動車への延焼危険性を評価する必要がある。

本研究では、このような観点から、ハイブリッド自動車の燃焼実験を行い、その燃焼性状を調べ、これまでに我々が明らかにしているガソリン自動車の燃焼性状<sup>(5)-(8)</sup>との比較を行い、ハイブリッド自動車の燃焼による隣接住宅や自動車への延焼危険性を調べた。

##### 2. 実験方法

###### 2.1 実験条件

表1に実験に用いたハイブリッド自動車およびガソリン自動車の概略を示す。燃料タンクには10ℓのガソリンを搭載した。燃料タンクの材質については、ハイブリッド/セダンは樹脂製、ガソリン/セダンおよびミニバンは金属製であった。着火には、アルコール系固形燃料(80g)を用いた。着火箇所は、ハイブリッド/セダンの場合には左後バンパー付近、ガソリン/セダンおよびミニバンの場合には、右後バンパー付近である。実験は、自動車が自然に鎮火するまで行った。なお、いずれの場合も自動車のエンジンは始動させていない。

###### 2.2 燃焼性状の測定

自動車燃焼時における火災の進展は、自動車内

の各部に設置した熱電対で温度を測定するとともに、ビデオカメラを用いて観測した。自動車の燃焼による重量変化は、荷重計(最小測定荷重10g)を用いて測定した。この重量変化から得た重量減少速度に自動車可燃物の単位発熱量(22 MJ/kg)を乗じて、発熱速度を求めた<sup>(9), (10)</sup>。また、自動車の燃焼時における放射熱流束は、熱流束計で測定した。なお、実験は燃焼実験室内において行った。

##### 3. 結果と考察

###### 3.1 燃焼経過

###### 3.1.1 ハイブリッド/セダン

図1(a)にハイブリッド/セダンの燃焼経過を示す。固形燃料に点火した後、6分経過後に左後部バンパーの火災がボディに沿って、車高と同じ高さまで火災が伸びた。その後、後部コンパートメントから火災が継続的に噴出した。左後タイヤおよび右後タイヤの燃焼が始まると、後部コンパートメントの火災と融合して、火災はより大きくなった。さらに、この火災が給油口から噴出している火災と融合した。なお、樹脂製燃料タンク搭載車において生じることが明らかにされている樹脂製燃料タンクの燃焼にともなう大規模なガソリンの漏えいは、本実験ではほとんど認められなかった。

後部コンパートメントの燃焼が顕著になると、その火災が車室内へ進展し、車室内のくん焼が始まった。その後、後部ガラスの破損によって車室内で顕著な燃焼が発生した。また、後部コンパートメントの燃焼は、車両下部に配置されている後部コンパートメント内のバッテリーと前部コンパートメント内の電気系部品とを接続するための樹脂製ハーネス保護管の燃焼を生じさせた。この保護管に沿って前部コンパートメントまで進展した火災によって、車室内の燃焼を介さずに、前部コンパートメントの燃焼が始まった。保護管を伝った火災による前部コンパートメントの燃焼は、ハイブリッド自動車においてのみ観測された。前部コンパートメントにおける燃焼拡大は、車室内の燃焼と融合したときに生じた。

###### 3.1.2 ガソリン/セダン

図1(b)にハイブリッド/セダンの燃焼経過を示す。固形燃料に点火した後、7分経過後に泥よけの火災が自動車ボディに沿って、給油口付近まで伸びた。その後、給油口から継続的に火災が噴出した。タイヤの燃焼によって右後タイヤハウスに大きな火災が形成されると、ボディに沿って伸び

表1 実験用自動車

車体	年式	駆動	排気量 cc	全長 mm	全幅 mm	高さ mm
ハイブリッド/セダン	1998	エンジン/モータ	1500	4275	1695	1490
ガソリン/セダン	1992	エンジン	2000	4690	1690	1370
ガソリン/ミニバン	1995	エンジン	2000	4350	1690	1870

る火災も大きくなり、給油口から噴出している火炎と融合した。

車室内への火炎の進展については、酸欠状態で可燃性気体が充満した車室内に、リアガラスの破損によって空気が流れ込み、一時的に爆発的な燃焼が発生した。車室内に発生した可燃性気体は、給油口、右後タイヤ、トランクルームの融合火炎形成にともない右後タイヤハウスとトランクルームに近い車室内の可燃物が、酸素不足の環境下である車室内でくん焼・熱分解したことによって生じたものと考えられる。リアガラスの破損については、給油口、右後タイヤ、トランクルームの融合火炎がボディに沿ってリアガラスまで伸びたことが主な要因であると考えられる。

3.1.3 ガソリン/ミニバン

図1(c)にハイブリッド/セダンの燃焼経過を示す。固形燃料に点火した後、約8分経過後に右後タイヤの燃焼が始まり、その火炎によって後部バンパーへ燃焼が拡大した。これらの燃焼によって約10分後に車室内へ火炎が進展すると、車室内はくん焼状態になった。その後、後部バンパーの燃焼にともなう火炎によって左後タイヤの燃焼が始まると、約40分後に左側最後部のガラスが破損した。このガラスの破損によって、車室内の燃焼が急激に拡大、車室内から火炎が噴出して、車室内全体で大きな火炎を形成した。車室内の燃焼によって形成された大きな火炎は、右前タイヤ、左前タイヤ、フロントノーズ、前部バンパーに進展

し、これらの燃焼が自動車前部において大きな火炎を形成した。

3.2 総発熱量

実験に用いた自動車の総発熱量を表2に示す。総発熱量は、総重量減少量に単位発熱量(22 MJ/kg)を乗じて求めた。ガソリン/セダンおよびミニバンの総発熱量は、ほぼ同じであることがわかる。また、ハイブリッド/セダンの総発熱量は、ガソリン/セダンおよびミニバンのそれに比べて、1割程度小さいことがわかる。

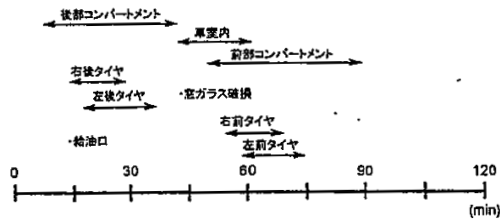
3.3 発熱速度

重量減少から算出した発熱速度曲線を図2に示す。ハイブリッド/セダンの場合、40分過ぎに発生した車室内の燃焼とともに発熱速度に上昇が認められた。その最大値は、約2.4MWであった。60分過ぎに発熱速度は低下して、90分過ぎに燃焼はほぼ終了した。

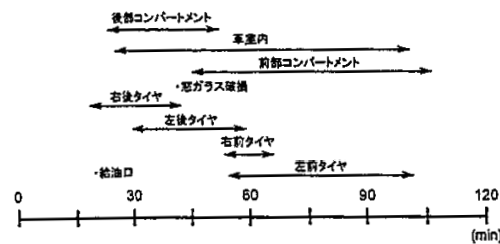
一方、ガソリンセダンの場合、20分過ぎに発生した車室内の急激な燃焼とともに発熱速度が上昇した。その最大値は、約3.0MWであった。発熱速度は30分過ぎに低下し始めたが、エンジンルームの急激な燃焼とともに50分過ぎに再び発熱速度が上昇した。この最大値は、3.0MWであった。その後、急速に減衰して、120分過ぎに燃焼はほぼ終了した。ガソリンミニバンの場合、約40分過ぎに発生した車室内の急激な燃焼とともに発熱速度が上昇し、その最大値は約2.7MWであった。

表2 総発熱量

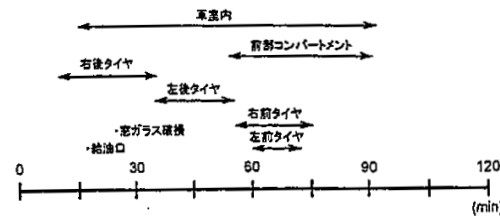
	ハイブリッド セダン	ガソリン セダン	ガソリン ミニバン
総発熱量	4576 kW	5054 kW	5039 kW



(a) ハイブリッド/セダン

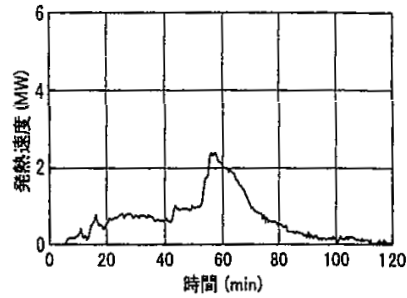


(b) ガソリン/セダン

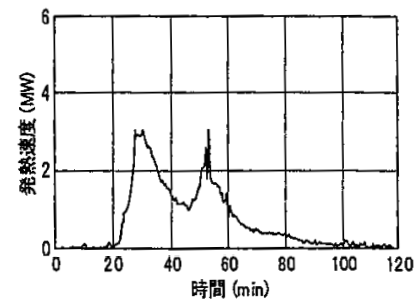


(c) ガソリン/ミニバン

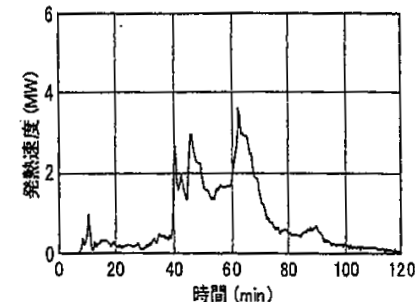
図1 自動車の燃焼経過(ガソリン積載量10 l)



(a) ハイブリッド/セダン



(b) ガソリン/セダン



(c) ガソリン/ミニバン

図2 発熱速度(ガソリン積載量10 l)



その後、発熱速度はやや低下したが、燃料タンクのガソリンの燃焼によって、発熱速度が約3.0MWまで上昇した。さらに、60分過ぎに生じた前部コンパートメントの急激な燃焼によって発熱速度が上昇した。その最大値は約3.6MWであった。

以上のことより、後部に着火した場合には、ハイブリッド/セダンの燃焼はガソリン/セダンおよびミニバンに比べて緩やかであることがわかる。また、ハイブリッド/セダンの発熱速度の最大値はガソリン/セダンおよびミニバンに比べて小さい。ハイブリッド/セダンの場合には、車室内の燃焼において明確な発熱速度のピークが認められるが、ガソリン/セダンおよびミニバンの場合に認められた前部コンパートメントおよび燃料の燃焼による明確なピークは認められなかった。

### 3.4 放射熱流束

ハイブリッド自動車あるいはガソリン自動車が出火元になった場合について、隣接する自動車や住宅への延焼危険性を比較するために、自動車燃焼時における自動車周囲の放射熱流束を測定した。図3は、自動車燃焼時における自動車周囲の放射熱流束を示している。

自動車前部および後部におけるハイブリッド/セダンの放射熱流束は、ガソリン/セダンおよびミニバンに比べて小さい。これは、ハイブリッド/セダンによる隣接自動車および住宅への延焼危険性が小さいことを示している。自動車前部におけるガソリン/セダンとミニバンの放射熱流束は、形状に差があるにも関わらず、ほぼ同じであった。これは、ガソリン/セダンの前部コンパートメント内の可燃物量が多いこととその配置が影響しているものと考えられる。したがって、ハイブリッド/セダンとガソリン/セダンの放射熱流束の違いは、前部コンパートメント内の可燃物量およびその配置の差が影響している可能性が考えられる。なお、後部コンパートメントのないガソリン/ミニバンの放射熱流束が他車に比べて小さいのは、測定高さが影響しているためである。ミニバンの場合、高さ1.5m(後部窓ガラスの付近)の測定値が高さ0.6mの測定値それよりも大きい。高さ1.5mの場合には、盛火時間帯における熱流束の平均値は、約31.6kW/m<sup>2</sup>であった。

一方、前後のタイヤ、右側面ドアガラスにおけるハイブリッド/セダンの放射熱流束は、ガソリン/セダンおよびミニバンとほぼ同じであった。これ

は、ハイブリッド自動車の延焼危険性は、ガソリン自動車と変わらないことを示している。

### 3.5 火元車両から隣接車両への延焼時間

図3より、前後のタイヤおよびドアガラスから0.5m~1.0m離れた位置における放射熱流束は、木材を燃焼<sup>(6)</sup>、<sup>(9)</sup>させる20kW/m<sup>2</sup>を超えていることがわかる。隣接する自動車や住宅への延焼危険性を低減させるためには、放射熱流束をこの値以下に抑える必要がある。つまり、消火設備が備えられている立体駐車場のような場所では、20kW/m<sup>2</sup>に至る時間の前に火災を検出することが重要であると考えられる。そこで、10kW/m<sup>2</sup>と20kW/m<sup>2</sup>に至る時間を図3の結果を基に調べた。

図4は、前後のタイヤおよびドアガラスから0.5m離れた位置における放射熱流束が10kW/m<sup>2</sup>および20kW/m<sup>2</sup>に至った時間を示している。後部に着火した場合には、いずれの自動車とも約20分で、後ろタイヤにおいて20kW/m<sup>2</sup>に到達しているため、この時間以内に火災を検出する必要がある。また、10kW/m<sup>2</sup>と20kW/m<sup>2</sup>の到達時間を比較すると、数分程度の差しか認められなかったことから、延焼を未然に防ぐためには10kW/m<sup>2</sup>に到達する時間には、火災を検出することが必要であると思われる。

### 4. まとめ

本報告では、自動車の後部に着火した場合について、ハイブリッド自動車とガソリン自動車の燃焼性状の比較を行い、ハイブリッド自動車の延焼危険性を調べた。ハイブリッド自動車は、車両下部に配置されているハーネス保護管の燃焼によって、車室内の燃焼を介さずに、後部コンパートメントから前部コンパートメントへ燃焼が伝ばした。ガソリン自動車の場合には、このような火炎の伝ばは認められなかった。また、ハイブリッド自動車の総発熱量および発熱速度の最大値は、ガソリン自動車に比べて小さいことがわかった。ハイブリッド自動車に隣接する自動車や住宅の延焼危険性については、側面の場合にはガソリン自動車とほとんど変わらないが、前部および後部の場合には、ガソリン自動車に比べて小さくなることがわかった。

### 文献

- (1) 抱 憲誓, 新谷祐介他: 自動車燃焼実験(その1実験概要および燃焼拡大性状), 平成15年度日本火災学会研究発表会概要集, 2003, 240-243
- (2) 新谷祐介, 抱 憲誓他: 自動車燃焼実験(その2実験概要および燃焼拡大性状), 平成15年度日本火災学会研究発表会概要集, 2003, 241-247
- (3) 渡邊憲道, 岡本勝弘他: 自動車火災における火災挙動, 平成15年度日本火災学会研究発表会概要集, 2003, 16-19
- (4) 岡本勝弘, 渡邊憲道他: 自動車火災における周辺可燃物への影響(その2), 平成15年度日本火災学会研究発表会概要集, 2003, 20-23
- (5) 渡邊憲道, 岡本勝弘他: 自動車火災における火炎の進展, 平成16年度日本火災学会研究発表会概要集, 2004, 202-203
- (6) 岡本勝弘, 渡邊憲道他: 自動車火災における周辺可燃物への影響(その3), 平成16年度日本火災学会研究発表会概要集, 2004, 204-207
- (7) 渡邊憲道, 岡本勝弘他: 自動車火災における火炎の進展, 平成17年度日本火災学会研究発表会概要集, 2005, 318-319
- (8) 岡本勝弘, 渡邊憲道他: 自動車火災における周辺可燃物への影響(その4), 平成17年度日本火災学会研究発表会概要集, 2005, 320-323
- (9) K. Okamoto, N. Watanabe, et al, Burning behavior of sedan passenger cars, Fire Safety J. 44 (2009) 301-310
- (10) J. Mangs, O. Rahkonen, Characterization of the fire behavior of a burning passenger car. Part I: car fire experiments, Fire Safety J. 23 (1994) 17-35

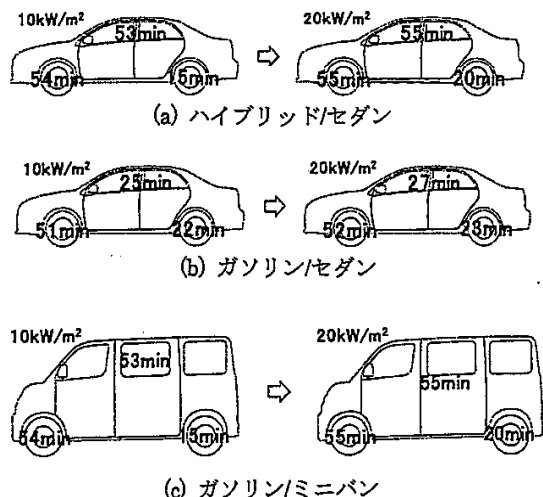


図4 前後タイヤ、ドアガラス付近における放射熱流束 10kW/m<sup>2</sup>および20kW/m<sup>2</sup>の到達時間(距離:0.5mm)

# 水素燃料自動車の安全性

佐藤研二 (東邦大学) 田村陽介 三石洋之 鈴木仁治 (日本自動車研究所)  
渡邊正五 (水素エネルギー製品研究センター)

## Safety of Hydrogen Fuelled Vehicles

Kenji Sato, Yohsuke Tamura, Hiroyuki Mitsuishi, Jinji Suzuki, and Shogo Watanabe

### 1. まえがき

近年、エネルギー・環境問題から、エネルギー担体として注目されている水素を燃料とする自動車、特に燃料電池自動車の開発が精力的に行われており、その普及に向けての社会環境整備の取り組みも幅広く進められている。

水素は、化学産業や宇宙開発などの特定の分野では以前から本格的に使われており、基礎物性に加え安全、取り扱いに関する専門的な知識、技術も蓄積されてきている。しかし、日々の生活の場で使われる自動車の燃料としての利用は比較的新しく、使用条件に従来と異なる部分も多い。水素を燃料とする自動車を安全に使いこなしていくには、新たな使用方法に対応した十分な配慮が求められる。本稿では、水素燃料自動車の安全性の確保に関わる事項から、規格・法令の動向、それらの背景ともなる試験・研究の概要、これからの課題などについて整理しながら概観する。

### 2. 自動車における水素の利用

水素は、反応性が高い物質であり、空気と混ざって予混合火炎で燃焼する場合、燃焼速度が炭化水素系燃料の数倍大きい、可燃範囲が広い(水素濃度で4%~75%)、火炎は温度が高く無色である、最小着火エネルギーが低い、反応生成物は基本的には水だけ、などの特徴をもつ。また、水素は分子量が一番小さい物質であり、拡散係数が大きい、物質の透過能力が高いといった物理的性質をもっている。

水素自体は地球上では資源として存在しないが、豊富な水を電気分解しても得られることから、日本では、水素を自然エネルギー由来などのエネルギーの担体として活用する社会(水素社会)をめざすプロジェクト(WENET)が、1980年に設立されたNEDOを中心にはじめられた。1990年代に入り、水素を燃料とし高いエネルギー変換効率で電気を生み出す、コンパクトな固体高分子形燃料電池が開発され、それを契機に燃料電池自動車(FCV: Fuel Cell Vehicle)の開発に拍車がかかることとなった。

FCVは電気自動車的一种であり、従来の内燃機関自動車との大きな違いは、燃料の水素と、エンジンに替わる高電圧・高電流を発生する燃料電池とモーター系の採用であり、二次電池との組み合わせが基本となっている。従来の電気自動車は比較的短距離での利用を考えているが、FCVは現在のガソリンエンジン車と同等あるいはそれ以上の航続距離を念頭に開発が進められており、これが大きな違いとなっている。水素を燃料とする自動車には、ほかにロータリーエンジン、レシプロエンジンをを用いる車両もある。

水素は、単位質量あたりのエネルギーが炭化水素系物質に比べて大きいという特徴があるが、その一方で気体の場合に単位体積のエネルギーは天然ガスの主成分であるメタンの約3割であり、燃料電池のエネルギー変換効率が高いとはいえ、従来の自動車と同程度の航続距離を、空間的・重量的制約のもとで実現するためには、気体で貯蔵の場合、軽量材質容器を用いて内圧を標準的な鋼製高压容器の15

MPaに比べはるかに高くすることが必要となる。

日本では、2005年に高压水素ガスを燃料とする自動車、特にFCVの普及の促進をめざし規制緩和の法改正が行われ、固体高分子形燃料電池を搭載した自動車の試験的販売が始まっている。この規制緩和に先立って、将来のFCVの普及に向けて、車両、インフラ、道路走行、駐車場などの多方面にわたるハード・ソフト面での試験、研究、開発、および、標準化、評価・試験法、基準、規格類の整備がリンクしながら進められた。

図1に燃料電池実用化推進協議会が描いた日本におけるFCV普及のシナリオを示す。現在市販されているFCVでは高压ガス貯蔵方式が主流で35 MPa容器が一般に用いられているが、従来車に比べると航続距離がまだ十分とはいえない傾向があり、70 MPa容器が開発され試験的に用いられている。液体水素の場合には、大気圧下での沸点が252.9 Kと絶対0度に近いために非走行時のボイルオフが大きな課題となる。液体水素や水素貯蔵合金の利用の場合も含め、高エネルギー密度での水素貯蔵によって生じる様々な事象の検討は水素燃料自動車の重要なテーマとなっている。

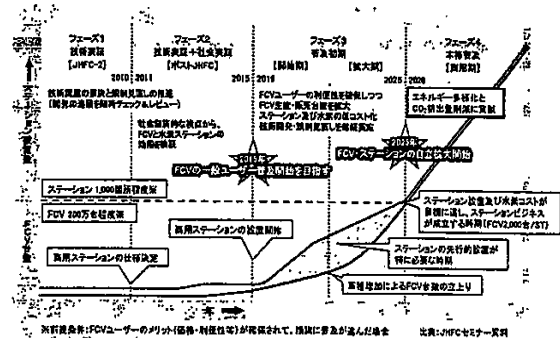


図1 燃料電池実用化推進協議会 (FCCJ) による燃料電池自動車普及のシナリオ

### 3. 水素燃料自動車の安全性に関わる事項

水素燃料自動車の安全性に関わる事項は、大きく分けると2つに分けられる。まず、充電作業、走行、駐停車、これらの繰り返しに対する耐久性、経年変化の影響といった、日常的な使い方にかかわってくる部分がある。2つ目としては、衝突や火災との遭遇といった偶発的なことが挙げられる。水素の漏えいなど両方で起こりうる現象もあるが、日常的な使い方の中で生ずる現象と、衝突、火災の際に生ずる現象とは、一般にその現れ方や影響が異なってくる。

水素燃料自動車では、同自動車特有の新たに想定される条件・状況における、水素の挙動の特性、その挙動によって引き起こされる装置・材料の挙動の特性、およびそれらの相互作用、さらには人とのかわりといった因子に分解して、安全性にかかわる現象の把握と対策の検討が求められることになる。

現在はまだ生産台数が少ないために、事故例については同様の高圧容器を用いている圧縮天然ガス(CNG)自動車の例が参考にされている。

FCVにおいては、水素に関する安全性のほかに、従来の電気自動車とも共通する高電圧(200V-400V)に関する安全性も大きな問題であるが、ここでは省略する。

以下に、水素燃料自動車の安全性に関わる主な項目を2つにわけて挙げてみる。

**主に日常的な使い方に関わるもの**

- ・ 圧力変動と温度変動を繰り返し受ける高圧容器の長期間の健全性の確保とその効率的な試験方法(設計評価、製造時検査、および定期検査)
  - ・ 高圧容器周辺機器(附属品)ならびに高圧配管の長期間の健全性の確保技術と安全性評価試験法
  - ・ 急速水素充てん時の容器の温度上昇の影響評価
  - ・ 高負荷水素消費時の容器温度低下の影響評価
  - ・ 容器および附属機器、配管、充てん用コネクタからの漏えいの防止
  - ・ 漏えい水素の検知方法
  - ・ 漏えい水素の付臭剤による検知の可能性
- 日常的な使い方に関わるものでは、充てん・消費に伴い最大圧が大きく大きな圧力変化と温度変化を繰り返し受ける容器と周辺機器・配管の健全性、ならびに漏えいの防止・検知にかかわるものが多いことがわかる。

**主に火災・爆発現象に関わるもの**

- ・ 衝突・火災時の容器の破裂の防止技術と評価試験法(ボンファイア試験など)
- ・ 容器破裂時の現象の把握
- ・ 容器の安全弁(PRD)作動時の噴出火炎による周囲への影響の抑制とその評価試験法(火傷などの人への影響、隣接車両への延焼、飛散物)
- ・ 漏えい水素ガスの滞留・拡散挙動とその着火による火災・爆発危険性(車両自体および周囲空間)の把握とその試験法
- ・ 水素燃料自動車火災への放水消火作業の影響
- ・ 多孔質天井材に浸み込んだ水素による燃焼現象
- ・ 被弾による容器破壊の阻止技術とその試験法(ガンファイア試験)
- ・ トンネルを通過する水素燃料自動車運搬車の事故時のトンネル内の安全性の確保
- ・ 緊急時の対応手順の検討と教育

自動車火災になった場合には、高圧容器の破裂が生じて被害が大きくなることのないよう、温度上昇により自動的に安全弁(圧力解放装置、PRD)を開きその先のベント管出口よりガスを噴出させそれを周辺の火炎により着火して噴出火炎の形で安定に燃やしてしまう方法が採られている。また、衝突時には、通常時に使用する配管を通じてのガスの漏えいを防ぐ目的で容器と配管との間の弁が閉じる方法が用いられている。

以上、安全性に関する主な事項を大きく2つに分

表1 2005年に行われた法改正の例

法律	改正などの例
道路運送車両法	型式認定制度の整備
高圧ガス保安法	自動車用の高圧水素容器および附属機器の基準、高圧水素容器の再検査 水素ステーションの保安距離の見直し
消防法	地下駐車場への進入制限の緩和
建築基準法	水素ステーション建設可能地域の拡大

けて示したが、これらは、項目によっては具体的にさらに細かな項目に細分化される。なお、安全性を考えると、構造と機能の維持、限界値以内の値の担保といった観点から分類することもある。また、試験は各要素の要素試験と車両試験に分けることができる。

**4. 安全にかかわる法令と規格の動向と例**

前述のように、わが国では2005年度に水素燃料自動車の初期普及を促進するために水素燃料自動車に関係する6法律28項目の見直しと関連基準、規格類の発行が集中的に図られた。さらに現在も国際的な連携をとりながら、基準や規格などの整備が進められている。表1に2005年に行われた法改正の内容の例を示す。

道路運送車両法は、車両全体としての安全性を対象とするものであり、同法の別添の形で新たに別添100(圧縮水素ガスを燃料とする自動車の燃料装置の技術基準)、別添101(燃料電池自動車の高電圧からの乗員人員の保護に関する技術基準)が設けられている。別添の名称から、水素安全、高電圧安全が安全の大きな要素になっていることがわかる。

これまでの一般的な高圧ガスの圧力に比べ高い圧力範囲を利用するため、水素の漏えいの防止および万一の漏えいに備えてのセンサーを用いた検知システムの設置についての詳しい記述もある。付臭剤による検知については、燃料電池に悪影響を与えない適切な付臭剤の開発、あるいは不要となった付臭剤の消臭技術の未確立などからまだ付臭剤の添加が認められていない。万一漏えいがあった場合には、漏えいガスが滞留したり車室内に浸入したりすることのない構造とすることが求められている。図2にガス検知器の設置位置の例示の例を示すが、車室内では設置が求められていない。このことは、車室への浸入を厳しく制限する思想があると思われる。ただし、ガス検知器の車室内への設置が制限されているわけではない。基本的には通常状態では感知できる程度の漏えいがないことが求められるが、衝突時には最大で131 NL/minの漏れが許容されている。また、燃料電池はそのしくみから一時的に未反応の水

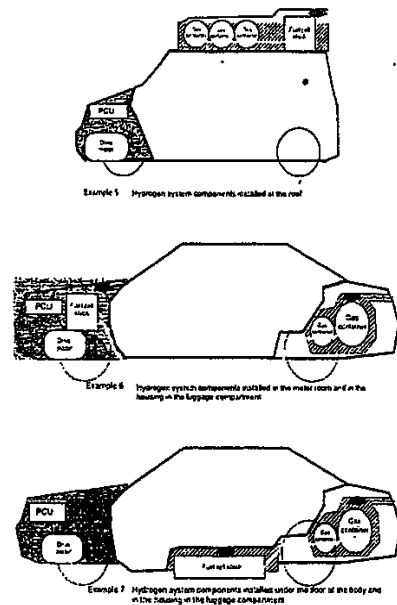


図2 ガス検知器設置位置の例示例(道路運送車両法別添100)

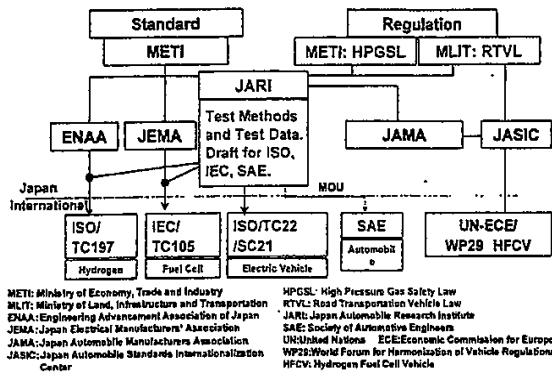


図3 水素燃料自動車に関わる規制, 基準, 規格類を審議する国内体制および国際的体制

素を微量, 大気中に放出 (ページ) するが, その場合には放出されるガス中の水素濃度が可燃下限界の4%未満であることが求められる。

高圧ガス保安法で参照する規格として, 35 MPaの容器に対応する, 圧縮水素自動車燃料装置用容器の技術基準JARI S 001と圧縮水素自動車用燃料装置附属品の技術基準JARI S 002が2005年に発行されている。これらの基準 (規格) では, 使用できる容器材料, 容器の健全性・耐久性の試験, ポンプファイアテスト, FRP複合容器の水素透過性試験などの評価基準, 実施方法などが規定されている。現在は, 高圧ガス保安協会が主体となり70 MPaに対応できる技術基準の発行に向けて作業が進められている。

図3には, 安全を含む水素燃料自動車関係の規制, 規格類を審議する体制を示す。種々の要素が含まれるために, いろいろな組織が連絡をとりあいながら検討が進められている。日本自動車研究所 (JARI) においては, NEDOからの受託事業を中心に, 各種試験法の確立, 試験データの取得の活動が行われている。最近では, 2005年度から2009年度まで5年間のプロジェクト (水素社会構築共通基盤整備事業)

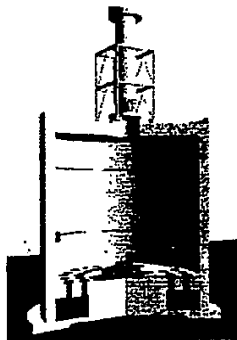


図4 JARIの水素・燃料電池自動車安全性評価試験設備 (Hy-SEF) の全景と防爆火災試験設備

が実施されている。国際的な組織としては, ISOのTC22/SC21 (電気自動車), TC197 (水素技術), IECのTC105 (燃料電池), 国連関係のUN-ECE/WP29 HFCV gtr (global technical regulation) などが関係している。

### 5. 試験・研究例と課題

JARIでは, 2000年から本格的にFCV関係の研究が行われてきた。当初は, 実験時の安全性の確保の面からカナダにおいて試験の多くが行われたが, 2004年に防爆火災試験設備を備えた水素・燃料電池自動車安全性評価試験設備 (Hy-SEF) が完成し, 車両火災実験, 各種の条件を付加した圧力サイクル試験などが同設備で効率よく行えるようになり今日に至っている。図4に全景と防爆火災設備の概要を示す。

防爆火災試験設備は, 大容量の排煙設備と一定の耐圧性を持ち, 最大3台程度の車両火災試験, 容器のポンプファイア試験などを主な対象としている。最近の研究テーマから, 火災に関係するものを中心にいくつかを選び, 目的, 実験内容の概要などを示す。

水素燃料自動車は従来のガソリンなどの液体燃料を燃料とする自動車と火災の際の燃焼性状が異なるために, どのような消火方法が適当かについて検討がなされている。一般に, ガスの放出を止めることができない状態でのガス火災の場合には, 放出されるガスに放水し消炎させてしまうと生ガスの放出により未燃の可燃性混合気が形成・滞留しガス爆発が発生することがあるために, 炎を消さないことが基本になる。その一方で, 建造物などでのガス火災では熱による容器の破裂を防ぐために, 放水して圧力容器を冷却する処置がとられる。米国のカリフォルニア燃料電池パートナーシップでは, 前者の考えのもとに, 燃料電池自動車が火災になった場合には, 安全であれば当該車両の火災は燃えたままにしておくことを基本に考えている<sup>1)</sup>。しかしながら, 実際には周囲車両への延焼の抑制のための冷却効果の期待,



図5 ベント管出口の噴出水素火災の放水による消炎の有無の試験 (図は上方への噴出時)

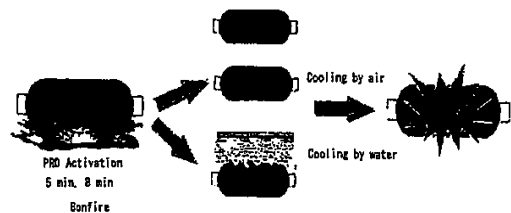


図6 火災により加熱された容器の放水による急冷が容器の健全性に与える影響の評価試験

他燃料車との区別の困難さなどの理由により、当該車両への水による消火作業が行われる可能性が考えられる。

そのため、JARIでは、水による消火が行われた場合に危惧される安全性に関わる事項を重点項目と考え、研究が実施されている。ひとつは、PRDからの水素による噴出火炎に対する放水による消炎の可能性である。PRD作動時のガス放出口を模擬したベント管出口からの噴出火炎に水または消火剤を散布した実験を行い(図5)、実験の結果、噴流の上流の圧力がごく低い場合以外は、火炎が十分強く消炎が生じない結果が得られた<sup>2)</sup>。

水消火に関する第2の大きなテーマは、火災により高温になった状態で消火水があたった容器とPRDでの事象の確認と急冷による容器強度の変化である。容器強度変化の試験では、図6に示すように、まずボンファイア試験を行い、その後常温で容器破裂試験を行って破裂強度低下の有無が調べられ、その結果、強度低下は生じないことが明らかにされている。

通常はPRDが温度上昇により作動すると放出管路は開放状態となり約1分で水素を放出し容器内圧力が大気圧まで下がるが、放出途中の放水によりPRD付近で部分的な閉塞がおき放出が抑制されて容器内圧力が大気圧まで下がる時間が大きく伸びた例が観察されている。これは、PRD作動時に100~110℃で融けたPRDの溶栓用金属が放水による冷却で再凝固し管路の部分閉鎖を招いたことによる。なお、現在の規定ではPRDの再開塞に対して規制がないが、再開塞しない構造のものが既に開発され、実際に使用されている。

また、火災時において火炎が高圧水素容器全体を包む前のPRDに熱が回りにくい状態での片あぶりによりPRDの作動前に容器が破裂することが懸念事項のひとつとなっている。実際に、CNG燃料のバス、乗用車でこの種の事故が発生している<sup>3)</sup>。このような片あぶり状態でも安全にPRDが作動することを確認する局所火災暴露試験の重要性が認識され、国際的に検討が進められているが、共通の試験法はまだ確立されていない。信頼性のある結果が得られる試験方法の開発が急がれており、JARIでも局所火災暴露試験方法の条件を決めるためのデータ取得などが進められている。容器単体での試験、車両としての試験の関連性などについても国際的に関心を持たれ、また片あぶり自体を緩和するための新しい技術の開発の動きもある。

車両の多くは、防音や遮熱の目的で可燃性の多孔質材を多用している。多孔質材が用いられたフードの下面、車室内に何らかの原因で漏えいした水素が入り込んだ場合の滞留水素ガスの濃度分布変化、着火した場合の燃焼挙動が実車ならびにモデル実験で調べられている。種々の条件で行われたモデル実験の研究では、水素の浸み込んだ多孔質天井材直下で着火した場合に、通常の予混合火炎が一旦表面全体にわたって伝ばしたあとで多孔質天井材内に浸み込んだ水素の影響で火炎が数回材料表面に沿って往復する現象が見出されている<sup>4)</sup>。また、実車の実験において、一旦多孔質材付近での火炎が消えた後でしばらく経って多孔質材内部に沿ってくん焼が進行した事例が観察されており、水素が多孔質材料に浸み込んだ場合には十分気をつける必要がある場合があることを示していると考えられる。

最近、水素燃料自動車の車両火災から隣接する水素燃料自動車へ延焼する際のPRD作動の影響などの把握のための試験が、隣接車両どうしが接近した場合について行われている。この試験では、隣接車

両は出火車両の内外装品の燃焼による火炎により着火し、出火車両のPRDの作動はそれ以降であったなどの結果が得られている。

国内でJARI以外で実施された水素燃料自動車の車両火災に関する主な試験としては、2005年にトンネル内における危険物輸送車両の通行規制の検討に関連して行われた、4台の水素燃料自動車を積載した運搬車の実物大模擬トンネル内の火災実験がある。その際には、CNG車運搬車両、ガソリン車運搬車両についても比較試験が行われ、換気風の排煙への効果、火災のトンネル構造への影響などが調べられている<sup>5)</sup>。

NEDOの2009年度の事業の一部として、緊急事態に対応するための訓練を受けた消防士や救急救命士が燃料電池自動車の事故に対応するための指針あるいはガイドブック作成のための参考資料として、JARIにおける試験結果と諸外国における安全に関する情報<sup>1,3,6)</sup>をまとめた「燃料電池自動車の緊急対応指針策定のための資料調査及び試験データ」について、東京消防庁、横浜消防局などで関係者からの意見などの調査が最近行われ、自動車メーカーへのものも含め、いくつかの貴重な意見が寄せられている。

今後は、局所火災暴露試験、衝突試験の試験・評価方法の検討、付臭剤も含めた水素漏えい手段の開発、安全情報の提供などが当面の安全関連の大きな課題と考えられる。

## 6. おわりに

本稿では、水素燃料自動車の安全性を考える場合に検討すべき事項からいくつかを取り上げ、研究で得られた知見と課題などについて述べた。いくつかの事項は相互に関係しており、今後も総合的な取り組みが必要である。

水素燃料自動車はまだ数が少ないが、今後、車両およびガスステーションなどのインフラの経済的な面での課題が克服されれば広く普及する日が来るものと思われる。普及し台数が増えると、普及台数の少ない現在に合わせて整備されている各種の安全対策にも変化が求められるようになることが考えられる。そのような変化や新たな自動車技術の進展に十分対応できるように、安全に関わる知識の着実な積み重ねとその有効利用が望まれる。

## 文献

- 1) California Fuel Cell Partnership, Emergency Response Guide - Fuel Cell Vehicles and Hydrogen Fueling Station (Ver.2.0), 2004.
- 2) 田村陽介, 高林勝, 富岡純一, 鈴木仁治, 佐藤研二, 圧縮水素容器搭載車両の火災対応に関する一考察, 自動車研究, 31-6, pp. 29-32, 2009.
- 3) Perrette, R. and Wiedemann, H. K., Safe Storage of Natural Gas on Urban Buses: Case Early Investigation and Learnings, SAE Technical Paper Series 2007-01-0430, 2007.
- 4) 田村陽介, 高林勝, 鈴木仁治, 能美隆, 前川麻弥, 上野浩志, 佐藤研二, 多孔質天井材空間下での水素漏洩による拡散と燃焼の振る舞い, 第47回燃焼シンポジウム, pp. 524-525, 2009.
- 5) 榎園正義, 田中牧人, 燃料電池車運搬車両の実大模擬トンネル内火災実験, 日本機械学会流体工学部門講演会講演概要集, pp. 178-181, 2005.
- 6) Transportation Research Board of the National Academies, TCRP Synthesis 58: Emergency Response Proceedings for Natural Gas Transit Vehicles, 2005.

# 圧縮水素容器搭載自動車の火災安全性 — ガソリンおよびCNG車との比較 —

鈴木仁治 田村陽介 高林勝 (JARI FC・EV 研究部) 渡邊正五 (HyTREC) 佐藤研二 (東邦大理学部)

Fire Safety Evaluation of Vehicles Equipped with Hydrogen Fuel Cylinders  
— Comparison with Gasoline or CNG Vehicle —

Jinji Suzuki, Yohsuke Tamura, Masaru Takabayashi, Shogo Watanabe and Kenji Sato

## 1. まえがき

水素を燃料とする燃料電池自動車は、地球温暖化の原因となるCO<sub>2</sub>および有害な炭化水素化合物も排出しないクリーンな自動車である。さらに、枯渇が懸念される石油と異なり、永遠のエネルギーとして利用可能である。そのため、燃料電池自動車は近い将来の自動車として有望視され、普及、拡大に向けて、技術開発、実用化が進められている。自動車用燃料としては、現在、圧縮水素ガス(CH<sub>2</sub>)が用いられている。水素ガスは、メタンやガソリンに比べて可燃範囲が広いこと、極めて低いエネルギーで着火すること<sup>(1)</sup>、火炎は非常に見えにくいこと、空気との混合気でも比較的容易に爆ごうに至る可能性がある<sup>(2)</sup>、<sup>(3)</sup>など危険なところも兼ね備えている。それゆえに、水素を燃料とする自動車は、現行の自動車に比べて危険性が高いのではとの懸念もある。そこで、Swainら<sup>(4)</sup>は、水素ガスやガソリンを燃料とする自動車からの燃料漏れを想定した実験を実施し、高圧の水素ガス漏れの場合、大規模な水素噴出火災が形成されるが、その時間は短く、火炎も視認可能であり、ガソリン車に比べ特に危険性が高くはなかったこと報告している。また、著者<sup>(5)</sup>らは、CH<sub>2</sub>容器を搭載した自動車を用いて容器の安全装置(以下PRDという)が作動した時の水素噴出火災の規模、輻射熱、燃焼音などについて調査し、圧縮水素搭載車両の火災に関して種々の知見を得た。

しかし、安全確保のためにはさらに多くのデータが必要であり、CH<sub>2</sub>を燃料とする自動車と現行の圧縮天然ガス(CNG)やガソリンを燃料とする自動車の火災試験を実施し、これらの自動車の火災時の安全性について比較検討したので報告する。

## 2. 実験方法および実験装置

本研究では、以下に示す4ケースの試験を行った。圧縮ガスを貯蔵する容器の種類としてはアルミライナーの外側にカーボンファイバーを巻いたType3と高密度樹脂ライナーにカーボンファイバーを巻いたType4があるが、本実験ではいずれも前者のType3容器を用いた。

### Test1: CH<sub>2</sub>充填容器搭載自動車

車室内出火火災(35 MPa、36 L容器2本、下方放出)

### Test2: CNG充填容器搭載自動車

車室内出火火災(20 MPa、36 L容器×2本、下方放出)

### Test3: CH<sub>2</sub>充填容器搭載自動車

車室内出火火災(35 MPa、36 L容器×2本、上方放出)

### Test4: ガソリン満量自動車

車室内出火火災(40 L金属製タンク)

図1に圧縮水素充てん容器の搭載状況を示す。供

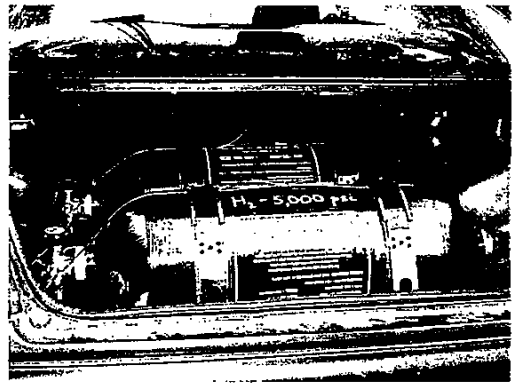


図1 圧縮水素ガス容器搭載状況

試車両には1992~1995年製のガソリン車(排気量1600 cc、セダンタイプ)を用いた。Test1、2、3の供試車両では、既存のガソリンタンクを取外し、図に示すようにトランクルーム内にガス容器を設置した。水素ガスおよびCNG容器には、同一型式のType3(アルミ合金製ライナー+カーボンファイバーフルラップ)を用いた。これらの容器には、作動温度約110℃のガラス式PRDを取り付けた。実験は、土壌汚染防止のための鉄製バン(長さ7m×幅2.5m×縁の高さ0.2m)を敷設して実施した。車室内からの出火火災を想定し、ダッシュボード中央部の灰皿に置いた固形燃料(アルコール系)に着火、延焼させた。車両の運転席側および助手席側の窓は全開とした。炎上車両はPRD作動後、容器内のガスが全て放出されたことを目視および圧力モニターで確認した後、放水により消火した。図2に計測装置および計測箇所を示す。車両および容器周囲の温度、容器内圧力、車両周囲の熱流束、音圧レベルを測定した。その他、ビデオ撮影により火炎の規模、延焼状況、煙の発生状況、消火後の焼損状態についても調査した。

以下では、火災の状況、火災時の容器内圧力、温度、熱流束および音圧レベルの比較結果について報告する。

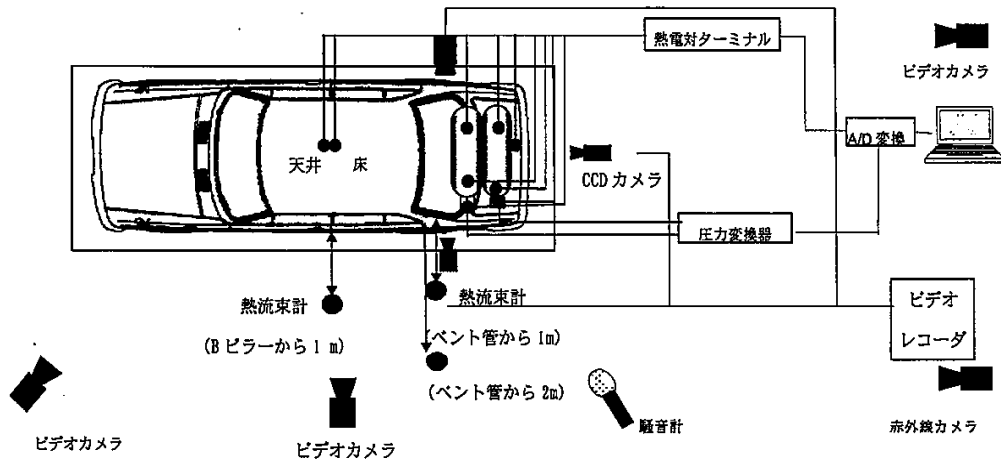


図2 実験装置配置図

### 3. 試験結果及び考察

#### 3.1 燃焼状況

図3～5にTest 1～3のPRD作動直後の火災状況を示す。図6には、ガソリンがタンクから流出し、燃焼中の状況を示す。図3と図4をから火災の規模について比較すると、CNGの方が火炎の広がりが大きく、ガス放出終了までの時間も長かった。さらに、車両周囲の可燃物の焼損もCNGの方が広範囲に及んだ。

する。火勢の強い時間帯は、ガソリン車の方が長く続き、火炎の広がりも大きい。

#### 3.2 車両および容器周囲の温度、圧力

図7～9にTest 1～3の $\text{CH}_4$ 、CNG車の容器周囲の温度・圧力を、図10にTest4のガソリンタンク周囲の温度履歴を示す。水素並びにCNGガス放出実験の場合では、PRD作動後に各温度が上昇し、消火開始直前にピークに達したが、その温度はいずれも500℃以下であった。一方、ガソリンの場合にはタ

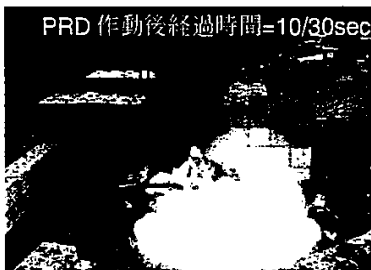


図3  $\text{CH}_4$  下方放出のPRD作動直後の状況 (出火後15分31秒経過)

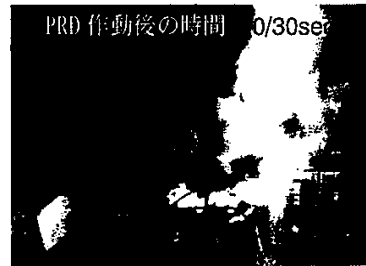


図5  $\text{CH}_4$  上方放出のPRD作動直後の状況 (出火後15分49秒)



図4 CNG 下方放出のPRD作動直後の状況 (出火後16分27秒経過)



図6 ガソリン流出火災の状況 (出火後20分30秒)

$\text{CH}_4$ 上方放出火災(図5)とガソリン車の場合を比較すると、水素の場合は放出の瞬間に火炎放射器のような水素噴出火炎が形成され、そのときの火炎長は、10m以上に高さに達する。しかし、その時間は極めて短く、容器内圧力の低下に伴って火炎も縮小

ンク後ろ側で約700℃に達した。全体的にガソリン車の火災時のほうが容器またはタンク周囲の温度は高い傾向にあった。

容器内のガス圧力およびPRD近傍温度のデータを表1に示す。Test1, Test3の水素とTest2のCNG

表1 Tes1～3におけるPRD作動時間、容器内圧力、PRD近傍の温度のデータ

	Tes1		Tes12		Tes13	
	水素ガス下方放出 前側容器	後側容器	CNG下方放出 前側容器	後側容器	水素ガス上方放出 前側容器	後側容器
充填圧力 (MPa)	35.2	34.9	21.1	21.4	33.0	32.9
PRD作動までの時間 (sec)	15分31秒	17分4秒	16分27秒	16分53秒	14分36秒	16分16秒
容器内最大ガス圧力 (MPa)	40.97	39.18	25.2	27.0	38.5	38.84
圧力上昇比	1.16	1.12	1.38	1.26	1.17	1.18
平均圧力上昇率 (MPa/min)	0.372	0.271	0.526	0.362	0.352	0.381
PRD作動時の近傍PRD温度 (°C)	131	181	148	140	145	115

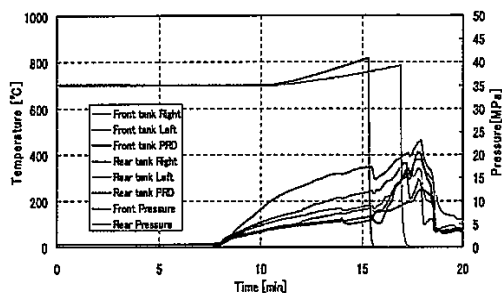


図7 CH<sub>2</sub>下方放出実験における容器内圧力および容器周囲の温度

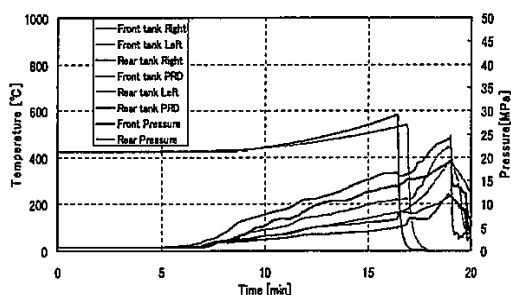


図8 CNG下方放出実験における容器内圧力および容器周囲の温度

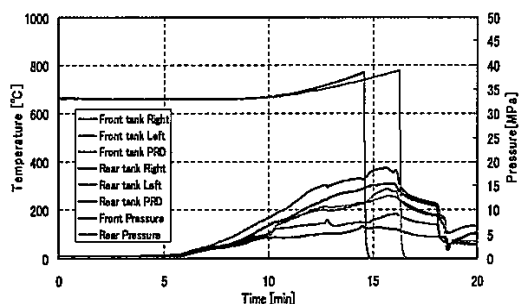


図9 CH<sub>2</sub>上方放出実験における容器内圧力および容器周囲の温度

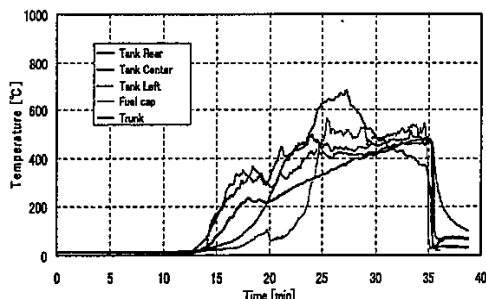


図10 ガソリン車火災実験におけるタンク周囲の温度

の圧力上昇比 (=最大圧力/充填圧力) を比較すると、水素では1.12~1.18であるのに対し、CNG比は大きい。同様に、平均圧力上昇率 (= (最大圧

力-充填圧力) / PRD 作動時間) を比較すると、水素では0.271~0.381であるのに対しCNGでは0.36~0.52となり、CNGの方が大きい。これは20MPaのCNG容器内ガスの熱容量は、35MPaの水素容器内ガスの熱容量の約0.898倍(メタンとし換算)と小さくなるため、同じ熱量が容器に加わった場合、CNGの方がガスの温度が高くなるためと考えられる。

一方、搭載されている2本の容器のPRD作動までの時間は、水素の場合、両実験ともに前側の容器のガスの放出が完了してから後ろ側のPRDが作動し、双方がオーバーラップすることはなかった。一方、CNGの場合は、前後容器のPRD作動までの時間差が30秒以内で作動し、双方からのガスがオーバーラップして放出されることで大きな火災が形成される時間が長くなった。

### 3.3 車両周囲の熱流束

図11~14にそれぞれの実験における車両周囲(図2参照)の熱流束時間履歴を示す。CH<sub>2</sub>下方放出の場合、個々の容器のPRD作動直後にピークが計測された。これらの高い熱流束は、センサー自体が火炎に接触することによって発生したものであり、輻射によるものではない。CNG下方放出の場合も同様であるが、水素に比べて輻射熱の高い時間帯が続いた。一方、CH<sub>2</sub>上方放出の場合、表1に示すように試験開始14分36秒後と16分16秒後にPRDが作動したが、下方放出の場合とは異なり、熱流束が50kW/m<sup>2</sup>を超えるようなピークは観測されることはなかった。これは水素ガス噴出火炎が車両より上に形成されており、センサー自体が火炎と接触するようなことはない上に、センサーと火炎の距離が離れたためであると考えられる。ガソリン車火災の場合、給油パイプと燃料タンクを連結等に接続されているゴムホース等が焼損に伴うガソリンの流出によって大きな火災が発生し、長時間にわたって火勢が維持された。

熱帯地方の晴れた日の太陽光からの輻射熱は1.4kW/m<sup>2</sup>であり、10kW/m<sup>2</sup>の輻射熱に10秒間暴露されると火傷するといわれている。実験結果によれば車両から1m離れたところでは、輻射熱で火傷をしてしまうことになる。



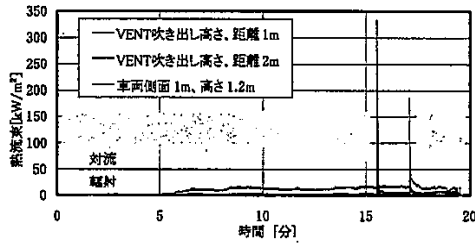


図 1.1 CH<sub>2</sub> 下方放出火災の熱流束

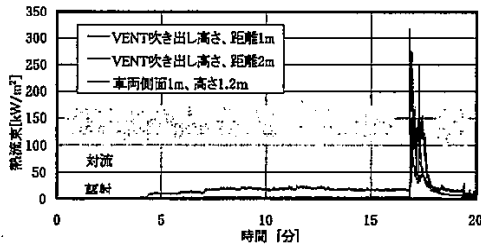


図 1.2 CNG 下方放出火災の熱流束

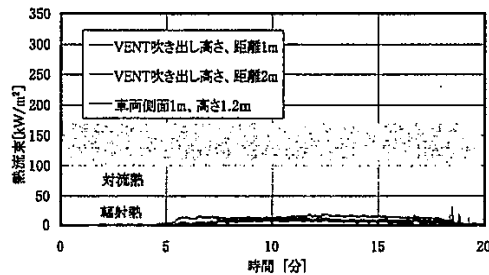


図 1.3 CH<sub>2</sub> 上方放出の熱流束

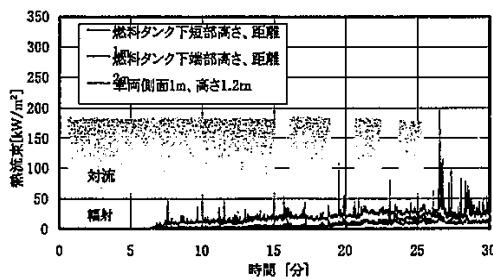


図 1.4 ガソリン流出の熱流束

### 3. 4 音圧レベル

火災実験における最大音圧レベルを表2に示す。高圧ガス容器を搭載した場合の最大音圧レベルは、PRD作動時に発生した。およそ130 dB以上で人体に何らかの影響を与える(鼓膜破損など)。したがって35 MPa容器から水素放出され、着火した場合には車両の近くでは、耳に障害が発生する可能性があるので注意を要する。

表2 最大音圧 (レベルC)

	Test 1	Test 2	Test 3	Test 4
音圧 (dB)	130	123	129	90

### 4. まとめ

CH<sub>2</sub> 容器搭載自動車とCNG車およびガソリン車との火災実験において、項目ごとに危険の高い順に表すと、以下ようになる。

- 最大火炎長: CH<sub>2</sub> 上方放出 > ガソリン > CH<sub>2</sub> 下方放出 > CNG 下方放出
- 火炎の広がり: CNG 下方放出 > ガソリン > CH<sub>2</sub> 下方放出 > CH<sub>2</sub> 上方放出
- 火盛持続時間: ガソリン >> CNG 下方放出 > CH<sub>2</sub> 下方放出 = CH<sub>2</sub> 上方放出
- 人の在位に相当する位置での最大熱流束: CNG 下方放出 = CH<sub>2</sub> 下方放出 > ガソリン > CH<sub>2</sub> 上方放出
- 火災発生から火盛期になるまでの時間: CH<sub>2</sub> 上方放出 = CH<sub>2</sub> 下方放出 = CNG 下方放出 < ガソリン
- 音圧レベル: CH<sub>2</sub> 下方放出向 = CH<sub>2</sub> 上方放出 > CNG 上方放出 > ガソリン
- 車両および周囲の焼損程度: CNG 下方放出 > ガソリン > CH<sub>2</sub> 下方放出 > CH<sub>2</sub> 下方放出

以上の結果から、本試験のような火災形態においては、CH<sub>2</sub> 容器搭載自動車は、CNG車およびガソリン車に比べて特に危険な状況には至ってはならず、現行の自動車と同等レベルにあるものと考えられる。

なお、本研究は、(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の委託により実施した「自動車用固体高分子形燃料電池システムの普及・基盤整備」事業の成果の一部をまとめたものである。

### 5. 文献

1. J.Hord, Is Hydrogen a Safe Fuel?, International Journal of Hydrogen Energy, Vol. 3, pp157-176, Pergamon Press, 1978
2. Marshall Berman, A Critical Review of Recent Large-Scale Experiments on Hydrogen-Air Detonations, Nuclear Science and Engineering: 93, pp312-347, 1986
3. R. F. Cracknell, J. L. Aloccock, J.J. Rowson, L.C. Shirvill and A. Ungut, Safety Considerations in Retailing Hydrogen
4. Michael R. Swain, Eric S. Grilliot, Matthew and N. Swain, Dispersion of Hydrogen Clouds, Proceeding of the 2000 Hydrogen Program Review, NREL/CP-570-28890
5. Yohsuke Tamura, Jinji Suzuki and Shogo Watanabe, Fire Tests with High-Pressure Hydrogen Gas Cylinders for Evaluating Safety of Fuel-Cell Vehicles, SAE Technical Paper 2004-01-1013, 2004 SAE World Congress

## 6.3.2 バイオ燃料に関する資料

### 6.3.2.1 エタノール3%含有ガソリンを取り扱う給油取扱所に関する運用について

消 防 危 第 4 4 号

平成20年3月24日

各都道府県消防主管部長  
東京消防庁・政令指定都市消防長 } 殿

消防庁危険物保安室長

#### エタノール3%含有ガソリン（E3）を取り扱う給油取扱所に関する運用について

再生可能な生物由来の有機性資源を利用した燃料であるバイオマス燃料については、地球温暖化対策やエネルギー安定供給等の観点から、「バイオマス・ニッポン総合戦略」（平成14年12月27日閣議決定）等に基づき検討が進められ、平成18年3月31日にはバイオマスの利活用の現状と課題の検証を踏まえ、新たな「バイオマス・ニッポン総合戦略」が策定されたところであり、消防庁においても、安全が確保されたバイオマス燃料の利活用を促進するため、安全対策の確立に係る検討を行っているところです。

バイオマス燃料のうち、エタノールを3%含有したガソリン（以下「E3」という。）を取り扱う給油取扱所については、「エタノール3%含有ガソリン（E3）を取り扱う給油取扱所に関する運用上の指針について」（平成16年3月3日付消防危第26号。以下「26号通知」という。）により運用をお願いしてきたところです。

E3を取り扱う給油取扱所の安全対策について検討を進めてきたところ、26号通知で示した事項のうち、水溶性と関連した漏洩対策（油分離装置の排水から発生する可燃性ガスの爆発火災危険性等）、泡消火設備又は泡を放射する消火器の消火適用性（非耐アルコール型消火薬剤を放射する消火器を除く。）については、いずれも火災予防上問題のないことが判明したので、従来運用していた26号通知を廃止し、新たに運用を下記のとおり定めましたので通知します。

また、バイオ燃料に関する危険物保安の確保については、引き続き安全対策の確立に係る検討を行い、追って所要の技術基準やガイドライン等の整備を行う予定です。

貴職におかれましては、その運用に十分配慮されるとともに、貴都道府県内の市町村に対してもこの旨周知されるようお願いいたします。

なお、本通知は消防組織法第37条の規定に基づく技術的助言として発出するものであることを申し添えます。

記

#### 1 E3について

「揮発油等の品質の確保に関する法律」の規格に適合し、販売されているE3については、第四類第一石油類（消防法別表第一備考第十二号のガソリン）に該当するものであること。

## 2 位置、構造及び設備の基準

危険物の規制に関する政令（以下「政令」という。）第17条の規定によること。

ただし、ガソリン用として製造された設備・機器等においてE3の貯蔵・取扱いを行う場合には、腐食劣化状況に留意して日常点検及び定期点検を実施するとともに、異常がみられたとき等には、速やかに修理・交換等を行うこと。特に、E3と直接接するゴム製又はコルク製のパッキン類、強化プラスチック製の地下貯蔵タンクや配管については、念入りに点検を実施し安全性の確認を行うこと。

## 3 消火設備の基準

政令第20条の規定によること。ただし、泡を放射する消火器については、泡消火薬剤が耐アルコール型のものにすること。

## 4 その他 ガソリンとエタノールを混合してE3を製造する行為について、給油取扱所において行うことは認められないものであること。

（連絡先）

消防庁危険物保安室

担当：山本、安藤、伊藤

TEL 03 - 5253 - 7524

FAX 03 - 5253 - 7534

# 国内のバイオ燃料に係る導入状況及び安全対策について

消防庁危険物保安室 加藤晃一

## 1 はじめに

近年、社会問題となっている地球温暖化を防止するための動きが活発になってきている。また、将来の化石燃料の代替となるエネルギーの開発が求められている。こういった状況の中、世界的にバイオ燃料の研究及び利活用が進められている。我が国でも、前述の状況に加え、地域にある資源（間伐材、もみ殻、廃食用油、家畜排せつ物等）からエネルギー又はエネルギーの材料となるもの（メタンガス、バイオエタノール、バイオディーゼル（通称・BDF）等）を取り出し、地域で消費する地産地消を推進する目的から、バイオ燃料の活用が積極的に推進されている。

バイオエタノール、BDF、そして、これらを原料として製造されるバイオ燃料には、消防法の危険物に該当するものもある。消防庁としては、危険物に該当するバイオ燃料について、新たなエネルギーとして普及していくに当たり、火災等の事故が多発しないよう安全な取扱いが行われるための施策を講ずる必要がある。そこで、危険物に該当するバイオ燃料の危険性の把握と安全性を確保するために必要な対策について検討を行っている。

## 2 バイオマスの活用推進について

平成14年12月、政府は、バイオマスの利活用を政府一体となって総合的かつ計画的に進めるため、バイオマス・ニッポン総合戦略を閣議決定（平成18年3月見直し）し、バイオマスの活用推進への取り組みを始めた。これにより、関係7府省によるバイオマス・ニッポン総合戦略推進会議（事務局・農林水産省）が設置され、第2回の会合から総務省（消防庁）も参加することとなった。

そして、バイオマスの活用の推進に関し、基本理念を定めること等により、バイオマスの活用に関する施策を総合的かつ計画的に推進し、もって持続的に発展することができ、バイオマス活用推進基本法が新たに公布され平成21年9月12日に施行された。この法律により、政府の関係行政機関相互の調整を行うバイオマス活用推進会議（事務局・農林水産省）が設置され、総務省（消防庁）も参加することとなった。平成22年3月現在、バイオマス活用推進会議において、バイオマス活用推進基本計画の策定作業が進められている。

表 バイオ燃料の種類

名称	特徴
市場に流通しているもの	E 3 バイオエタノールとガソリンを3：97の体積比で混合した燃料。JIS K 2002（自動車ガソリン）に適合したもの。危険物第4類第1石油類（非水溶性液体）のガソリンに該当。
	ETBE含有ガソリン ETBE（エチル・ターシャリーブチル・エーテル）（バイオエタノールとイソブテンから合成できる化学物質）とガソリンを混合した燃料（混合比は、ETBEが体積分率で7%以下）。JIS K 2002（自動車ガソリン）に適合したもの。危険物第4類第1石油類（非水溶性液体）のガソリンに該当。
	B5 BDF（バイオディーゼル燃料：脂肪酸エチルエステル）と軽油を5：95の質量比で混合した燃料。危険物第4類第2石油類（非水溶性液体）に該当。
BDF	バイオディーゼル燃料の略称で、廃植物油とエタノールとの反応により生成される脂肪酸エチルエステルのこと。ニート（100%）のままディーゼル車用の燃料として用いられることもあるが、一般的には、軽油と混合して使用される。主に危険物第4類第3石油類（非水溶性液体）に該当。
E 10	バイオエタノールとガソリンを1：9の体積比で混合した燃料。危険物第4類第1石油類（非水溶性液体）に該当。平成22年3月現在、市場には流通しておらず、モデル事業で使用されている。

### 3 国内のバイオ燃料の導入状況について

平成22年3月現在、表「バイオ燃料の種類」のとおり、国内で主に利用されているバイオ

燃料には、E3、ETBE含有ガソリン、B5があり、また、今後、普及が見込まれるものとしてE10がある。また、BDFを5%より多く軽油に混合したもの、100%BDFも燃料として取り扱っている場合がある。

我が国のバイオエタノールの生産量は、平成21年3月現在、約200kLであり、E3、ETBE含有ガソリンをガソリン代替燃料として生産流通させるためには、必要なバイオエタノールの多くを輸入に頼らざるを得ない状況である。E3、ETBE含有ガソリンは、「揮発油等の品質の確保等に関する法律」（品確法）においてガソリンの規格に該当し、給油取扱所での販売が認められていることから、今後、ますます普及が進むと見込まれている。また、E10は、環境省で実証事業が進められているところである。

我が国のBDFの生産量は、平成21年3月現在、約1万kLである。B5は、「揮発油等の品質の確保等に関する法律」（品確法）において軽油の規格に該当し、給油取扱所での販売が認められている。また、B5よりBDFの濃度の高いBDF混合軽油を自家用給油取扱所などで使用されている例もある。

### 4 バイオ燃料の安全対策について

バイオ燃料には、前述のとおり様々な種類があるが、ガソリンの代替燃料としての利用が考えられていたE3、ETBE含有ガソリン、E10といったバイオエタノールを含んだバイオ燃料は、その特徴として水溶性の性質を帯びることが予想される（ガソリンは

非水溶性液体である)。そこで、ガソリンを取り扱っている施設(例えば、給油取扱所)において、E3等を安全に取り扱うために新たな基準を設ける必要があるか検討する必要がある。

(1) バイオエタノールを用いるバイオ燃料

平成17年度～平成19年度において、生産流通することが見込まれていたE3、ETBE含有ガソリンを取り扱う施設の安全対策の検討を行った。具体的には、①危険物施設の構成部材への影響、②消火器や消火設備の有効性、③現行の流出防止対策の有効性について検証した。

その結果、E3について、つぎのとおり結論を得られた。

- ① ①について、\*浸漬試験を実施した結果、ガソリンに比較し、施設の構成部材に若干の劣化が見られるが、構成部材をE3用に変更する必要はないとされた。なお、留意点として、日常点検、定期点検については、腐食劣化状況に留意し念入りに点検を行うとともに、異常が発見された場合には、速やかに修理又は交換を行うことが必要とされた。
- ② ②について、原則、ガソリン火災に用いる消火設備でよいとされたが、泡を放射する消火器については、泡消火薬剤を耐アルコール型のものにする必要があるとされた。
- ③ ③について、現在、設置されている油流出

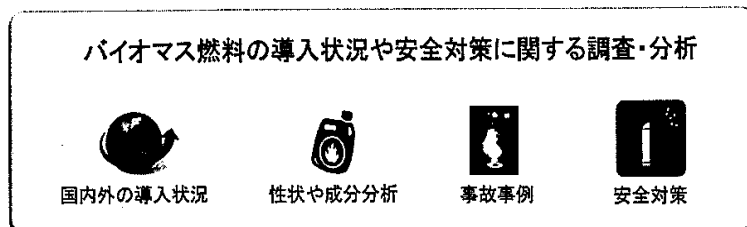
防止対策が有効に機能するとされた。

このことについて、「エタノール3%含有ガソリン(E3)を取り扱う給油取扱所に関する運用について」(平成20年3月24日消防令第44号)で周知したところである。

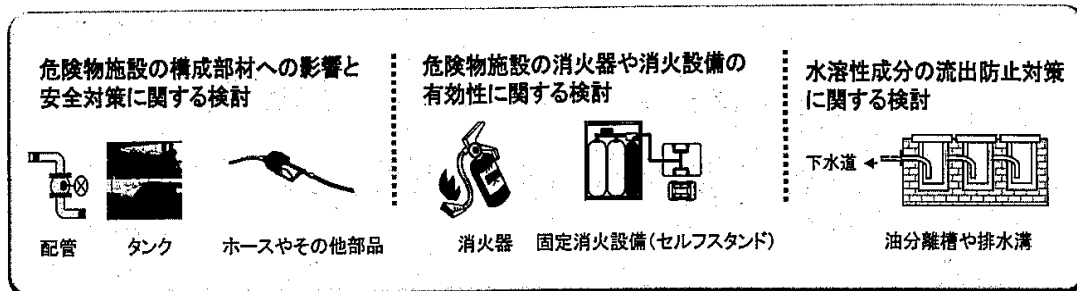
また、ETBE含有ガソリンは、ガソリンと同様に扱ってもよいことが確認されたことから、これについて、「ETBEを含有したガソリンを取り扱う給油取扱所に関する運用について」(平成20年3月24日消防令第45号)で周知したところである。

そして、平成20年度からは、今後、生産流通することが見込まれるE10を取り扱う施設の安全対策の検討を行った。具体的には、E3等と同様、①危険物施設の構成部材への影響、②消火器や消火設備の有効性、③現行の流出防止対策の有

## 消防庁のバイオマス燃料に関する安全対策の検討



### バイオマス燃料の安全対策のあり方に関する検討



効性について検証した。

①について、浸漬試験を実施した結果、ガソリンに比較し、施設の構成部材に劣化が見られるが、構成部材をE10用に変更する必要はないことが確認された。なお、留意点として、日常点検、定期点検については、腐食劣化状況に留意し念入りに点検を行うとともに、異常が発見された場合には、速やかに修理又は交換を行うことが必要とされた。

②について、原則、ガソリン火災に用いる消火設備でよいとされたが、a. 泡を放射する消火器については、泡消火薬剤を耐アルコール型のものにする必要があること、b. 固定泡消火設備に用いる消火薬剤のうち、たん白泡消火薬剤は耐アルコール型にする必要があることが確認された。

③について、現在、設置されている油流出防止対策が有効に機能することが確認された。なお、留意点として、E10が流出した場合には、貯留設備に収容されたE10を早急に回収する必要があるとされた。

E10を取り扱う施設の対応に関しては、今後、これまでの検討結果等を整理し、他法令のE10の取扱い状況を踏まえ、周知等行う予定としている。

(2) BDFを用いるバイオ燃料

平成20年度から、BDFを取り扱う施設の安全対策の検討を行った。具体的には、①危

険物施設の構成部材への影響、②消火器や消火設備の有効性、③現行の流出防止対策の有効性について検証した。その結果、BDFに関しては、これらの課題について問題ないことが確認された。なお、BDFは、その製造の過程でエタノールを使用することから、反応せず残ったエタノールを完全に除去せずに使用するなどの不適切な対応を行った場合には、エタノールの含有したBDFが流通することとなる。そこで、BDFの製造には十分な管理を行う必要があるとされた。

※ 浸漬試験：試験サンプル（構成部材）を耐圧容器に入れ、高温（今回の検証では

60℃）の試験油（ガソリン、E3等）に浸漬させ、一定期間後、試験サンプルの硬さ、引張強度、質量等の変化を浸漬前と比較し、どの程度変化したかを見る試験

## 6.4. 本文関連資料

### 6.4.1 機械式駐車装置の種類

#### 【垂直循環段方式】

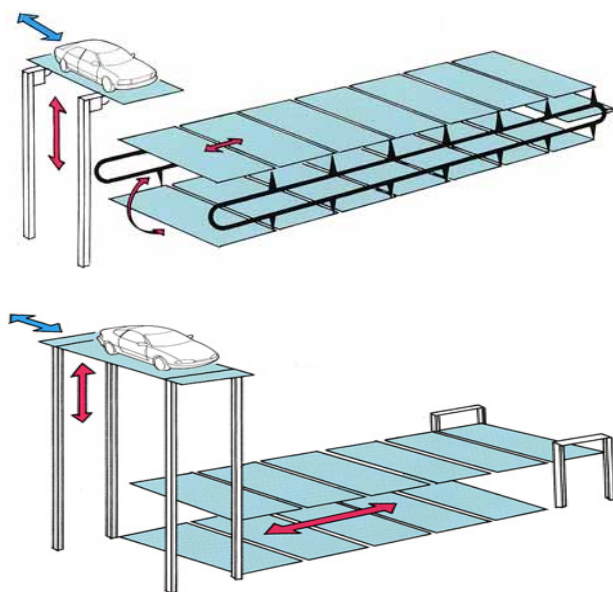


「垂直循環方式」は自動車を駐車させる複数の機器を、垂直面内に円形または長円形に配置して、連続循環させる方式です。

特殊なアタッチメントをもつ大型エンドレスチェーンに機器を吊り下げて循環移動させ、機器に設けたガイドローラとガイドレールによって循環移動する時に発生する機器の横揺れを防いでいます。

垂直循環方式は、自動車が搬器に乗り入れる位置によって、下部乗入式、中間乗入式、上部乗入式の3形式に分類されます。中間乗入式と上部乗入式は地下部分の有効活用を考慮した方式です。

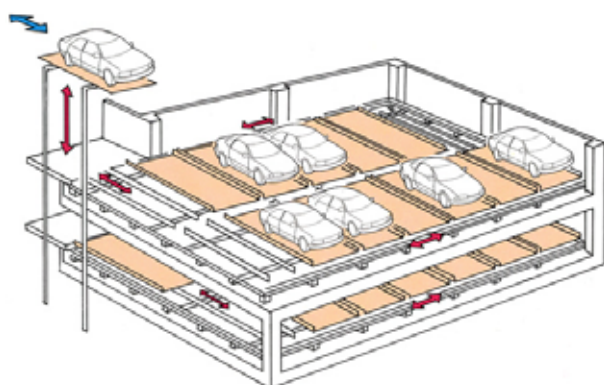
#### 【多層循環方式】



「多層循環方式」には、循環の形状によって円形循環式と箱型循環式があり、円形循環式は連続的に循環するため、入出庫処理の時間が短く、円滑性を重視する用途に適し、一方円滑性は多少犠牲にしても空間の利用効率を重視したい場合には、箱型循環式が適します。

乗込方式には、直接乗込式と昇降装置付属式があり、最近では後者のタイプが主流になっています。昇降装置付属式の場合、昇降装置を駐車装置の端部に設けるのが普通ですが、昇降装置を中間に設ける型式もあり、また最近では方向転換装置を内蔵したのも実用化されています。

#### 【水平循環方式】



「水平循環方式」は、垂直循環方式の上部乗入式が専ら地下を垂直に活用するだけであったのを、ビルの地下部分を水平方向に利用するようにしたもので、車路を省いて収容台数を増やし、駐車場用途面積を節約する意図で開発されました。水平面内に多数の搬器を2列以上配置して循環移動する方式で、循環の形状によって円形循環式と箱型循環式に分類されます。地下駐車場として利用されることが多く、実際に設置されているもののほとんど

が箱型循環式であり、昇降装置を組み合わせ、地上階で車を乗り捨てる型式です。



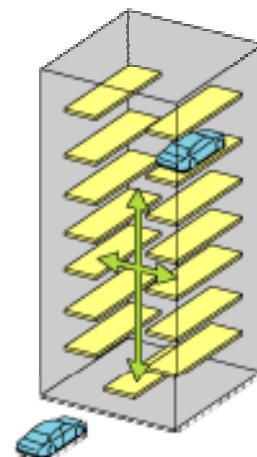
### 【エレベータ方式】



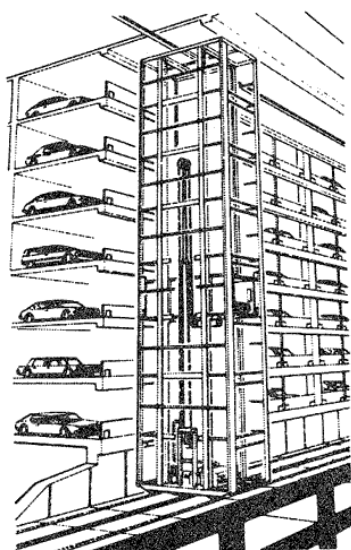
「エレベータ方式」は自動車を格納する駐車室と、自動車昇降装置を組み合わせる立体的に駐車する方式で、駐車室を昇降装置の前後方向に設ける縦式、左右方向に設ける横式、放射状に設ける旋回式の3タイプがあります。

昇降装置から駐車室への移動は、搬送装置によります。

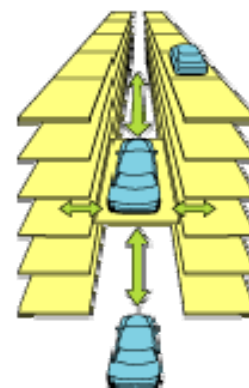
自動搬送する装置には、スライドフォーク、くし型フォーク、コンベア、ドーリーなどがあります。



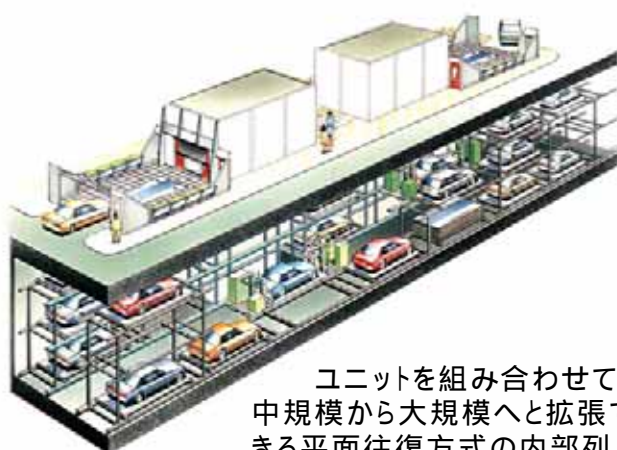
### 【エレベータ・スライド方式】



「エレベータ・スライド方式」は機構的にはエレベータ方式の昇降装置に走行機能を付加したもので、基本的にはスタッカークレーンを使った自動倉庫と同じ機能をもっています。



### 【平面往復方式】



ユニットを組み合わせることで中規模から大規模へと拡張できる平面往復方式の内部列

「平面往復方式」は、平面的に自動車を格納する方式で、元来は自走では入庫できないスペースに、入庫の障害になる手前の自動車を横に移動させながら、搬送したり、多重に駐車させるための装置です。平面駐車場の駐車効率向上の補助手段としては大変有効な新しい機械式駐車装置です。

最近では視点を改めて、道路地下駐車場にも適用できるような高性能・大規模なものが開発され、各社からいろいろな機能を付加した大規模地下駐車場向けの設備が販売されています。

## 【二段方式・多段方式】



「二段方式」は駐車している自動車の  
上または下にもう一台の自動車を駐車

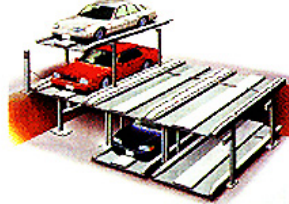
多段方式（昇降横行式・ピット式）



二段方式（昇降横行式・縦列式）



二段方式（昇降式・ピット式）



二段方式（昇降式）



ここに採用されている。

この二段方式の横行昇降式を拡大応用したのが3段式・4段式などの「多段方式」で、地上部分だけを利用するものから、ピット利用のものまで各種があり、最近では前後に多重駐車させる縦列式も実用化されています。

## 6.4.2 全域放出方式の二酸化炭素消火設備の安全対策ガイドライン

平成9年8月19日  
消防予第133号  
消防危第85号

### 全域放出方式の二酸化炭素消火設備の安全対策ガイドラインについて(通知)

二酸化炭素の放出に伴い死傷者を生じる事例が散見されることにかんがみ、消防庁では、二酸化炭素消火設備の安全対策について、平成8年3月に学識経験者等から構成される「二酸化炭素消火設備安全対策検討委員会」(以下「検討委員会」という。)を設置して検討を行い、同年9月に検討委員会における検討結果がとりまとめられた。これについては、「二酸化炭素消火設備の安全対策について」(平成8年9月20日付け消防予第193号・消防危第117号)により通知しているところである。

また、二酸化炭素消火設備の安全対策のうち、防護区画に隣接する部分の安全対策については、消防法施行規則の一部を改正する省令(平成9年自治省令第19号)により、基準化を図ったところである。

今般、検討委員会における検討結果等を踏まえ、全域放出方式の二酸化炭素消火設備に係るなお一層の安全対策の充実を図るため、「全域放出方式の二酸化炭素消火設備の安全対策ガイドライン」(以下「ガイドライン」という。)を別添のとおりとりまとめたので通知する。

貴職におかれては、下記事項に留意のうえ、その運用に遺憾のないよう配慮されるとともに、貴管下市町村に対してもこの旨示達され、よろしく御指導願いたい。

### 記

- 1 全域放出方式の二酸化炭素消火設備に係る設置計画について、消防機関に事前相談等がなされた場合にあっては、次の事項に留意すること。
  - (1) 二酸化炭素消火設備の性状等について、ガイドライン第2に基づいて関係者に情報を提供すること。
  - (2) 当該設置場所がガイドライン第3からまでに掲げる場所に該当するものであるかどうか、十分確認すること。該当する場合にあっては、他の消火設備の設置について検討するよう指導すること。
  - (3) ガイドラインに掲げられている事項は、法令に規定されている二酸化炭素消火設備の安全対策を更に充実するためのものであることから、関係者の同意を得られるよう、設置場所の用途、利用状況等に応じて適切に対応されたいこと。
- 2 全域放出方式の二酸化炭素消火設備を設置している既存の防火対象物又は危険物施設(以下「防火対象物等」という。)にあっては、二酸化炭素消火設備に係る防火安全対策の充実を図るため、機会をとらえ、上記1に準じて対応されたいこと。
- 3 全域放出方式の二酸化炭素消火設備を任意で設置する防火対象物等にあっては、二酸化炭素消火設備に係る安全対策の充実を図るため、当該設置場所の状況に応じ、上記1に準じて対応されたいこと。また、既存のものについても、同様の取扱いとされたいこと。

別添

### 全域放出方式の二酸化炭素消火設備の安全対策ガイドライン

#### 第1 趣旨

二酸化炭素消火設備は、消火に伴う汚損が少ない、電気絶縁性がある等の特徴を有しており、通

信機器室、電気室、ボイラー室、駐車場等の火災を有効に消火することのできる設備として、国内において多数設置されている。

しかしながら、全域放出方式の二酸化炭素消火設備については、消火に必要な量の二酸化炭素を防護区画に放出した場合において、高濃度の二酸化炭素の作用により、人体に影響を与え、場合によっては生命の危険性が生じるおそれがあるものである。二酸化炭素の放出に伴う人身事故を防止するためには、その危険性を認識し、二酸化炭素消火設備の設置場所、建築物の利用形態等に応じた安全対策を十分に講ずることが必要である。

このため、消防法令上、全域放出方式の二酸化炭素消火設備を設置する防護区画及び当該防護区画に隣接する部分には、これらの部分に存する人を二酸化炭素を放出する前に予め退避させるための音響警報装置、防護区画に消火剤が放出された旨を表示する放出表示灯、放出後再入室する場合に消火剤を排出するための措置等の安全対策が講じられているところである。

このガイドラインは、消防法施行令(以下「令」という。)第16条及び消防法施行規則(以下「規則」という。)第19条の規定に加え、全域放出方式の二酸化炭素消火設備の安全性を確保するために必要な細目についてとりまとめたものである。

また、全域放出方式の二酸化炭素消火設備について、所要の安全対策を確保するためには、既存のもの及び任意で設置するものも含め、このガイドラインの趣旨を反映した設計、設置・維持管理等を行うことが適当である。

## 第2 二酸化炭素の性状等について

二酸化炭素消火設備に消火剤として使用されている二酸化炭素の性状等は、次のとおりである。

### 1 二酸化炭素の主な性質及び影響

(1) 物理・化学的性質は、次のとおりである。

常温で気体、無色、無臭	化学式 $\text{CO}_2$
分子量 44.01	融点 - 56.6 (5.11気圧)
昇華点 - 78.5 (1気圧)	比重 1.529(空気 = 1)

(2) 中毒量の評価値である最低中毒濃度は、2%とされている。

(3) 二酸化炭素を吸入した場合の症状は、次のとおりとされている。

気中濃度が3～6%では、数分から数十分の吸入で、過呼吸、頭痛、めまい、悪心、知覚の低下などが現れる。

気中濃度が10%以上では、数分以内に意識喪失し、放置すれば急速に呼吸停止を経て死に至る。

気中濃度が30%以上では、ほとんど8～12呼吸で意識を喪失する。

### 2 消火剤としての消火作用

二酸化炭素は、熱容量の大きい気体で、一般の火災に対しては化学的に不活性(分解、化学反応等を起こさない。)である。したがって、二酸化炭素の消火作用には、燃料と空気の混合によって形成される可燃性混合気中の燃料及び酸素濃度を低下させ、燃焼反応を不活発にし、消火に導く作用と、二酸化炭素の熱容量で炎から熱を奪い、炎の温度を低下させ燃焼反応を不活発にし、消火させる作用の2つがあり、それらが複合し消火効果をあらわす。また、保存容器中に液化され貯蔵されている二酸化炭素が、放出時気化する時の蒸発潜熱も火災の冷却に寄与し、消火剤としてより効果的に作用する。

### 3 消火剤として防護区画に放出された場合の危険性

消火剤として防護区画に放出された場合の危険性は、次のとおりである。

- (1) 消火に用いる濃度(概ね35%)では、ほとんど即時に意識喪失に至る。
- (2) 高濃度(55%以上)の二酸化炭素が存在すると、酸素欠乏症とあいまって、短時間で生命が危険になる。

### 第3 二酸化炭素消火設備の設置場所について

次に掲げる場所には、原則として全域放出方式の二酸化炭素消火設備を設置しないこと。

なお、当該部分にやむを得ず全域放出方式の二酸化炭素消火設備を設置する場合には、このガイドラインによるほか、二酸化炭素の危険性を考慮した極めて高い安全対策を施す必要があること。

当該部分の用途、利用状況等から判断して、部外者、不特定の者等が出入りするおそれのある部分

当該部分の用途、利用状況等から判断して、関係者、部内者など定常的に人のいる可能性のある部分

防災センター、中央管理室など、総合操作盤、中央監視盤等を設置し、常時人による監視、制御等を行う必要がある部分

### 第4 防護区画に係る安全対策について

二酸化炭素消火設備の防護区画は、令第16条第1号及び規則第19条第4項第4号の規定によるほか、次によること。

- 1 防護区画には、2方向避難ができるように2以上の出入口が設けられていること。  
ただし、防護区画の各部分から避難口の位置が容易に確認でき、かつ、出入口までの歩行距離が30メートル以下である場合にあっては、この限りでない。
- 2 防護区画に設ける出入口の扉は、当該防護区画の内側から外側に開放される構造のものとする。とともに、ガス放出による室内圧の上昇により容易に開放しない自動閉鎖装置付きのものとする。
- 3 防護区画内には、避難経路を明示することができるよう誘導灯を設けること。ただし、非常照明が設置されているなど十分な照明が確保されている場合にあっては、誘導標識によることができる。

### 第5 防護区画に隣接する部分に係る安全対策について

防護区画に隣接する部分は、規則第19条第4項第19号の2の規定によるほか、次によること。

なお、規則第19条第4項第19号の2ただし書の「防護区画において放出された消火剤が開口部から防護区画に隣接する部分に流入するおそれがない場合又は保安上の危険性がない場合」としては、隣接する部分が直接外気に開放されている場合若しくは外部の気流が流通する場合、隣接する部分の体積が防護区画の体積の3倍以上である場合(防護区画及び当該防護区画に隣接する部分の規模・構造等から判断して、隣接する部分に存する人が高濃度の二酸化炭素を吸入するおそれのある場合を除く。)その他 漏えいした二酸化炭素が滞留し人命に危険を及ぼすおそれがない場合が該当するものであること。

- 1 防護区画に隣接する部分に設ける出入口の扉(当該防護区画に面するもの以外のものであって、通常の出入り又は退避経路として使用されるものに限る。)は、当該部分の内側から外側に容易に開放される構造のものとする。
- 2 防護区画に隣接する部分には、防護区画から漏えいした二酸化炭素が滞留するおそれのある地下室、ピット等の窪地が設けられていないこと。

### 第6 起動装置について

全域放出方式の二酸化炭素消火設備の起動装置は、規則第19条第4項第14号から第16号

までの規定及び「ハロゲン化物消火設備・機器の使用抑制等について」(平成3年8月16日付け消防予第161号1消防危第88号。以下「抑制通知」という。)第3(4を除く。)によるほか、次によること。

- 1 起動装置が設けられている場所は、起動装置及び表示を容易に識別することのできる明るさが確保されていること。
- 2 起動装置は、照明スイッチ、非常ベル等値の設備の操作とまぎらわしい操作方法を避け、消火のため意識して操作しなければ起動することができない機構とすること。
- 3 手動起動装置又はその直近の箇所に表示する保安上の注意事項には、次に掲げる内容を盛り込むこと。

火災又は点検のとき以外は、当該手動起動装置に絶対に手を触れてはならない旨

手動起動装置を設置した場所は、防護区画において放出された消火剤が流入するおそれがあるため、二酸化炭素消火設備を起動した後、速やかに安全な場所へ退避することが必要である旨(当該場所について、消火剤が流入するおそれがない場合又は保安上の危険性がない場合を除く。)

#### 第7 消火剤を安全な場所に排出するための措置について

消火剤を安全な場所に排出するための措置は、規則第19条第4項第18号及び第19号の2イの規定によるほか、次によること。

- 1 自然排気又は機械排出装置により、屋外の安全な場所に排出できること。
- 2 機械排出装置は、原則として専用のものとする。ただし、防護区画等から排出した消火剤が他室に漏れいしない構造のものにあつては、この限りでない。

なお、防護区画に係る機械排出装置と当該防護区画に隣接する部分に係る機械排出装置は、兼用することができること。

- 3 排気装置の操作部は、防護区画及び当該防護区画に隣接する部分を経由せずに到達できる場所に設けること。

#### 第8 放出表示灯について

全域放出方式の二酸化炭素消火設備の放出表示灯等の保安措置は、規則第19条第4項第19号八及び第19号の2ロの規定によるほか、次によること。

- 1 消火剤が放出された旨を表示する表示灯は、次図(省略)の例により設置すること。

なお、防護区画に係る放出表示灯と防護区画に隣接する部分に係る放出表示灯は、同一の仕様のもので設置することができること。

- 2 放出表示灯は、防護区画又は防護区画に隣接する部分の出入口等のうち、通常の入出り又は退避経路として使用される出入口の見やすい箇所に設けること。
- 3 放出表示灯を設ける出入口の見やすい箇所に、保安上の注意事項を表示した注意銘板を次図の例により設置すること。

防護区画の出入口に設置するもの

防護区画に隣接する部分の出入口に設置するもの

- 4 放出表示灯の点灯のみでは、十分に注意喚起が行えないと認められる場合にあつては、放出表示灯の点滅、赤色の回転灯の付置等の措置を講じること。

#### 第9 音響警報装置について

全域放出方式の二酸化炭素消火設備の音響警報装置は、規則第19条第4項第17号及び第19号の2ハの規定によるほか、次によること。

- 1 防護区画に係る警報と防護区画に隣接する部分に係る警報は、同一の内容とすることができること。
- 2 防護区画内の見やすい位置に、保安上の注意事項を表示した注意銘板を次回の例により設置すること。
- 3 音声による警報装置のみでは、効果が期待できないと認められる場合には、赤色の回転灯を付置すること。

#### 第 10 二酸化炭素消火設備の管理について

消防用設備等は、消防法令に規定する技術上の基準に適合するように設置するとともに、設置後においても当該基準に適合するように維持管理しなければならないとされている。

さらに、全域放出方式の二酸化炭素消火設備については、その特性を踏まえて適正な管理を行うことが必要であることから、次に掲げる事項に留意すること。

- 1 常時十分な点検整備を行うこと。  
なお、点検の実施にあたっては、点検時の安全を確保するため、抑制通知第 3、4 によること。
- 2 防護区画及び当該防護区画に隣接する部分の利用者、利用状況等について、入退室等を含め十分な管理を行うこと。  
また、維持管理、点検等を行う場合にあっては、関係者以外の者が出入りできないように、出入口の管理の徹底を図ること。
- 3 防火管理者、利用者等に対して、二酸化炭素の人体に対する危険性、設備の適正な取扱い方法、作動の際の通報、避難方法等について、周知徹底すること。
- 4 二酸化炭素消火設備が作動し、二酸化炭素が放出された場合には、直ちに消防機関への通報、当該設備の設置・保守点検等に係る専門業者等への連絡を行うとともに、二酸化炭素が放出された防護区画及び当該防護区画に隣接する部分への立入りを禁止すること。
- 5 二酸化炭素が放出された防護区画及び当該防護区画に隣接する部分に立ち入る場合にあっては、消防機関、専門業者等の指示に従うとともに、次の事項に留意すること。
  - (1) 二酸化炭素の排出は、消火が完全にされていることを確認したうえ行うこと。
  - (2) 防護区画及び当該防護区画に隣接する部分に入室する場合には、二酸化炭素を十分に排出した後とすること。

## ガス系消火設備比較表

## ガス系消火設備比較表

項目		不活性ガス消火設備				ハロゲン化物消火設備			
		二酸化炭素消火設備	イナージェン消火設備	アルゴナイト消火設備	窒素消火設備	ハロン1301消火設備	FM-200消火設備	FE-13消火設備	ノベック1230設備
消火原理		酸素濃度希釈と冷却	酸素濃度希釈			燃焼連鎖反応抑制			
人体への安全性 (米国EPAによる)	ガス自体	毒性はないが、8%以上の濃度で中毒の危険	無毒			無毒性濃度			
			NOAEL:43%			NOAEL: 5%	NOAEL: 9%	NOAEL: 50%	NOAEL: 10%
	放出後	人命に対し非常に危険	酸素濃度10%～12%の範囲において30秒～1分以内に退避する。			有毒な熱分解生成が発生			
		放出後の視界不良	視界良好			視界不良の可能性有			
環境評価	オゾン層破壊係数ODP	0	0	0	0	12	0	0	0
	地球温暖化係数GWP	1	0.08	0	0	5400	2900	11700	1
人員在室状態(消防法)		常時人がいない部分				「常時人がいない部分」以外にも可能	常時人がいない部分		
対象物への影響		冷却衝撃、着霜、結露の恐れあり	なし			結露の恐れあり			
						腐食性ガス発生			
		室内圧力上昇				室内圧力上昇微少	室内圧力上昇		
比重	ガス自体	1.52	1.17	1.17	0.97	5.14	5.863	2.41	11.29
	設計濃度(混合後)	1.21	1.07	1.07	0.98	1.21	1.44	1.23	1.57
区画容積1,000m <sup>3</sup> 当りのガス容積(20 )		437m <sup>3</sup>	472m <sup>3</sup>	477m <sup>3</sup>	516m <sup>3</sup>	52m <sup>3</sup>	76m <sup>3</sup>	177m <sup>3</sup>	62m <sup>3</sup>
放出時間		60秒	60秒	60秒	60秒	30秒	10秒	10秒	10秒
放出後の室内酸素濃度		13.60%	13.10%	13.00%	12.50%	20%	19.50%	17.60%	19.78%
放出後の室内CO <sub>2</sub> 濃度		35.40%	3.00%	-	-	-	-	-	-
放出後のガス排出装置		必要	必要(一般排気兼用可)			必要			
NFPA記載記号		NFPA12 CO <sub>2</sub>	NFPA2001 IG-541	NFPA2001 IG-55	NFPA2001 IG-100	NFPA12A BFC-1301	NFPA2001 HFC-227ea	NFPA2001 HFC-23	NFPA2001 FK5-1-12
化学式		CO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub> 52% Ar 40% CO <sub>2</sub> 8%	N <sub>2</sub> 50% Ar50%	N <sub>2</sub> 100%	CF <sub>3</sub> Br	CF <sub>3</sub> CHF <sub>2</sub> CF <sub>3</sub>	CHF <sub>3</sub>	CHF <sub>3</sub> CHF <sub>2</sub> C(O)CF(CF <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>
基準設計濃度		0.8Kg/m <sup>3</sup> : 35.4%	0.472m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> :37.6%	0.477m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> :37.9%	0.516m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> :40.3%	0.32Kg/m <sup>3</sup> : 5.0%	0.55Kg/m <sup>3</sup> : 7.0%	0.52Kg/m <sup>3</sup> : 16.1%	0.84Kg/m <sup>3</sup> : 5.8%
自動放出方式		原則不可: 無人室は可	原則自動			原則可	原則自動		



## 6.4.4

## 二酸化炭素の人体への影響

CO <sub>2</sub> 濃度	人体への影響
0.036%	大気中の現在の濃度。
0.5%	労働衛生上の許容濃度(1日8時間の労働)。
1.8%	換気を50%に増加する必要がある。
2.5%	換気を100%に増加する必要がある。
3%	呼吸困難に陥る。頭痛、吐き気、弱い麻酔性を伴い、視覚が減退し、血圧や脈拍が上がる。
4%	換気を300%に増加する必要がある。頭痛が激しくなる。
5%	30分後に毒性の兆候が現れ、頭痛やめまいのほかに、発汗する。
8%	めまいがして、人事不省の昏睡状態に陥る。
9%	血圧が失われ、充血して、4時間後に死ぬ。
10%以上	視力障害、けいれん、呼吸が激しくなり、血圧が高くなって、意識が失われる。
25%	中枢神経がおかされ、昏睡、けいれん、窒息死。

(東京消防庁提供の資料による)

## 6.4.5

### 二酸化炭素を放射する不活性ガス消火設備の点検における安全のための遵守事項

平成 15 年 2 月

社団法人日本消火装置工業会

点検作業には作業前、作業中、作業後のそれぞれに適切な作業準備あるいは手順があり、それらを正しく実施しなかったために、消火設備が予期しないうちに起動し、消火剤の誤放出あるいは死亡事故等の不測の事故を起こす可能性がある。

そこで、安全に作業を行うための厳守事項を示すので、その現場に応じた作業手順を作成し、点検作業を行い、事故防止に努める必要がある。

#### 1. 点検前の準備

点検実施前には、関係図書等により対象設備の種類、システム構成、システム起動方式、機能、構造等及び他の設備との連動等を十分把握しておくこと。

消火剤の性状を常に念頭に入れておくこと。

設備上の主なシステム構成は、メーカーごとの大きな相違はないが、個々の機器については構造・機能・作動原理等の異なるものが多い。従って、対象設備に精通した担当者を選任するとともに、設備方式、機器の構造等について事前に十分確認しておくこと。

点検に使用する測定器、点検工具、消耗品等常備品を事前に用意し、チェックしておくこと。

代替容器、試験容器の運搬に際して、トラックを使用する場合は、直射日光を避けるとともに、雨水がかからないよう十分な養生を行うこと。

必要に応じて、防護服、ヘルメット、安全靴を用意すること。

当日の点検の内容、範囲及び注意事項並びに非常事態の対応等について、点検者全員に徹底しておくこと。

点検開始に先立ち、関係者と点検作業の範囲、内容、時間割について十分に打合せを行い、在室者等に周知徹底を図ること。

点検中に火災、事故等が起きた場合の対応策、緊急連絡先等については予め関係者と打合せを行い、具体的に決めておくこと。

点検中はその消火設備が使用できない状態にあり、自動火災報知設備の活用等他の設備で監視することが肝要であるため、その具体的な方法、手段について関係者と十分に打合せすること。

機器の操作等により点検を実施する場合には、点検実施者相互間で密に連絡を取り合うことを徹底しておくこと。

#### 2. 点検開始に際しては次の順序による

点検開始に際し、誤った操作等によって、消火剤が放出されないよう、以下に示す十分な対策を行うこと。

点検用閉止弁が設けられている設備にあつては閉止弁を閉止し、操作箱及び制御盤又は火災受信機に閉止の信号が表示されていることを確認する。

制御盤の電源スイッチは「断」にする。

(蓄電池設備がある場合は、この負荷側スイッチも「断」にする。)

(電源が「断」になったことをテスター、表示灯で確認する。)

貯蔵容器に電気式容器弁開放装置が直接取り付けられている場合は、集合管あるいは連結管から、貯蔵容器のガス圧式開放装置に連結している操作銅管を外す。

起動容器に電気式容器弁開放装置が直接取り付けられている場合は、起動容器から貯蔵容器のガス圧式開放装置に連結している操作鋼管を外す。

電気式容器弁開放装置を外す。

(ロック機構のある開放装置は、ロックを行った後に外す。)

### 3. ガス放出試験に際しでは次の順序による

放出区画の出入口には点検中を示す標識を掲げる。

放出に使用する貯蔵容器又は試験容器(以下「放出貯蔵容器」という。)以外の貯蔵容器は、容器弁開放装置を取り外すと共に、集合管から取り外す。集合管には閉止キャップ又はプラグを取り付ける。

放出貯蔵容器を集合管に取付けた後下容器弁開放装置及び操作管を取り付け、接続する。

消火剤排出措置と、排出過程における安全面は确实かどうか確認すること。二酸化炭素を放出した場合は、単に閉口部があるというだけでは安全とは言えない。

放出する区画が無人であることを確認後、放出試験を行う。

(注) 放出区画には、完全に換気するまでは中に入らないこと。

やむを得ず入るときは空気呼吸器を着用すること。

### 4. 設備復旧に際しては次の順序による

貯蔵容器、選択弁、ガス圧式容器弁開放装置、連結管、閉口部閉鎖装置等の復旧が完了後、設備復旧に際しては、電源投入時に設備が起動しないよう十分な確認作業を実施した上で行うこと。なお、閉止キャップ・閉止プラグを取り外す場合は、内圧が加わっていないことを十分に確認した上で取り外すこと。

電気式容器弁開放装置を容器に取り付ける。

(ロック機構のある設備は、ロック後に取り付け、(3)の作業終了後に取り外す。)

制御盤の電源スイッチを投入する。

(蓄電池設備がある場合は、この負荷側スイッチも投入する。)

(電源が入ったことをテスター、表示灯で確認する。)

タイマー設定の時間経過後も、電気式容器弁開放装置が起動しないことを確認する。

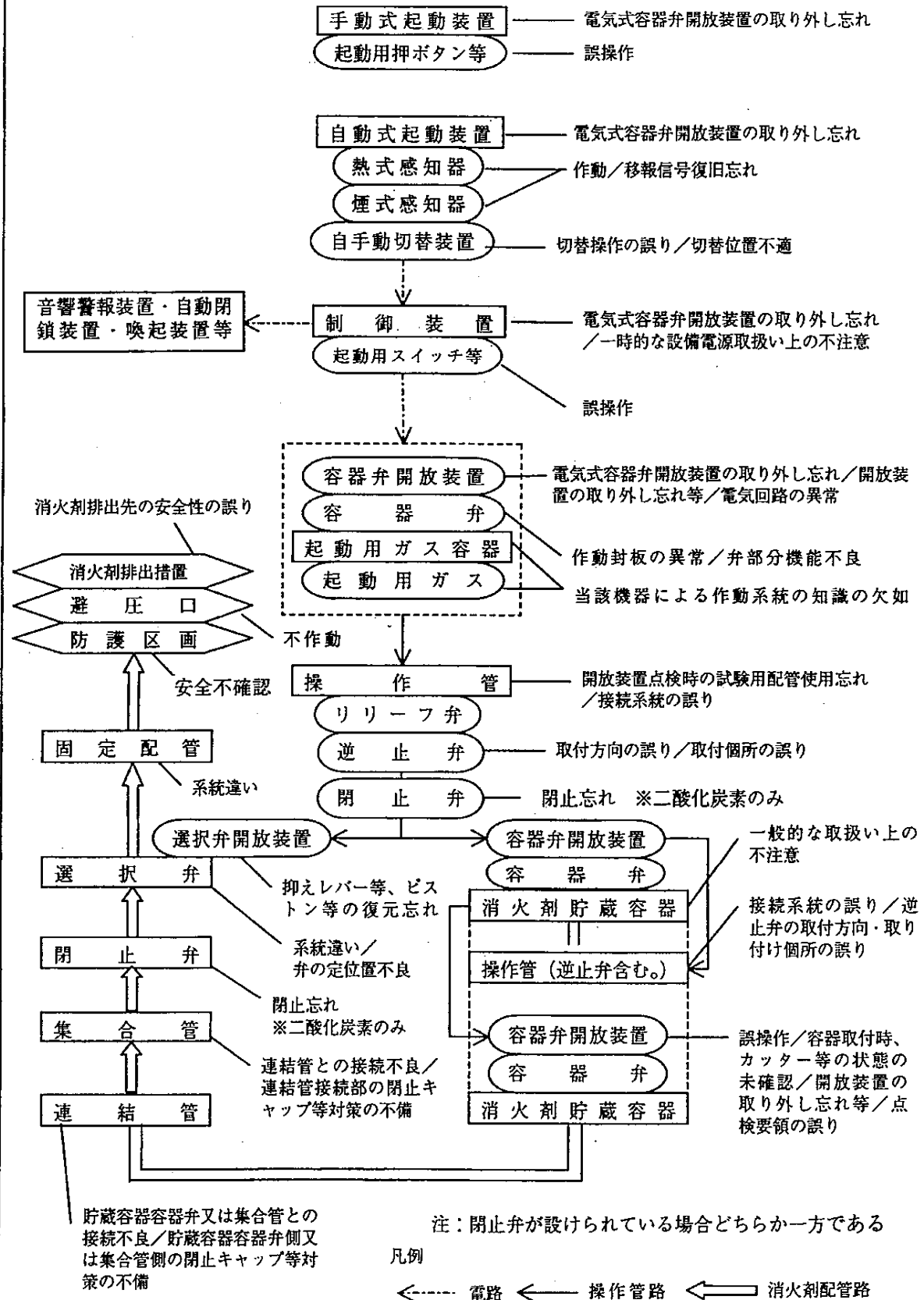
取り外した操作銅管を接続間違いのないよう、正確に接続する。

消火設備を復帰した後、個々の機器が適正、確実に接続されているかどうかを確認する。

点検の結果を関係者に報告し、館内放送で点検が終った旨を告げる等の手配りをする。

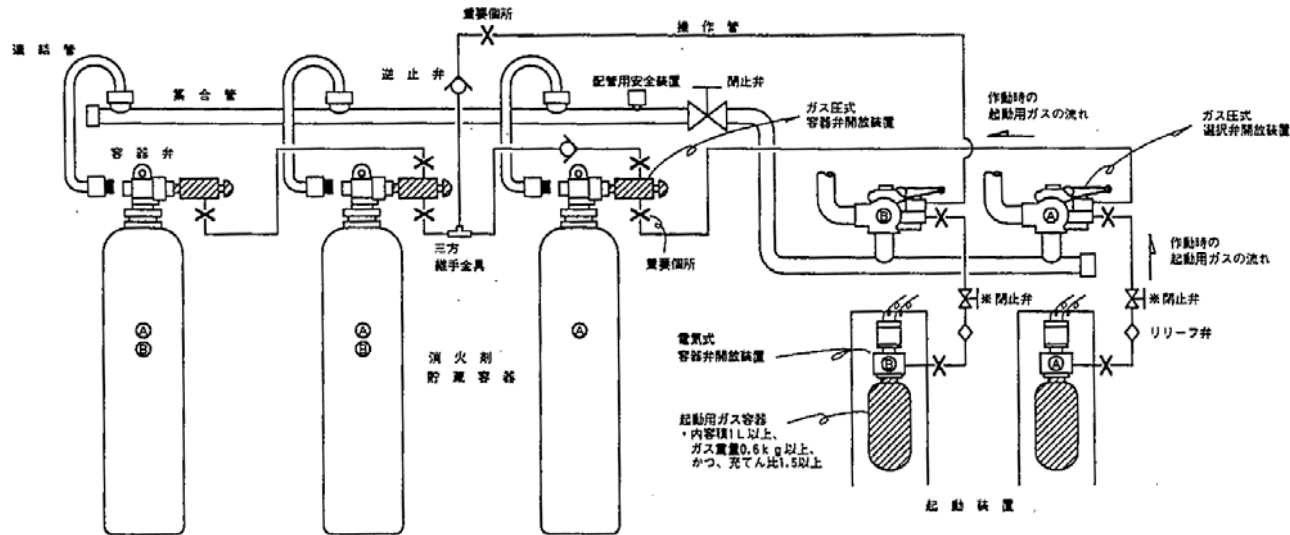
点検の都度、人手が代わるような手段をとることは、厳に慎むこと。

### 点検時における消火剤の誤放出に関連する要因例



## 点検時における消火剤誤放防止上の関連機器等の安全対策例

図説



### 参考例の概要

- 1) 図は、起動用ガス(二酸化炭素)により選択弁開放装置作動後、当該ガスにより、更に容器弁開放装置を作動させるタイプのものである。
- 2) 図は、二酸化炭素を放射する不活性ガス消火設備の安全対策として、閉止弁を設置した例であり、印は主管に閉止弁を設けない場合を示す。
- 3) 斜線記入機器は、点検に先立ち、先ず制御装置の設備電源遮断後、起動用ガス容器及び消火剤貯蔵容器用容器弁開放装置の全数取り外し対象のものを示す。
- 4) ×印は、操作管取り外し個所の例(重要箇所)を示す。
- 5) 連結管の黒塗り潰し部分は、消火剤貯蔵容器用容器弁側で連結管を外した後のキャップ又はプラグ止による閉止対策を示す。
- 6) 連結管の集合管側を取り外した場合は、集合管側に閉止対策が必要である。
- 7) 選択弁開放装置の点検時は、容器弁開放装置側操作管の取り外し個所のキャップ又はプラグ止による閉止対策が必要である。
- 8) 容器弁開放装置のほか、連結管も取り外した場合の復元時は、当該貯蔵容器用のものを使用すること。
- 9) 設備全体の復元は、最終段階において、選択弁開放装置・容器弁開放装置・起動用ガス容器装着並びに当該起動用ガス容器直近個所での操作管接続の順に行い、安全を確認後、制御装置の設備電源を入れ平常状態にする。

## 6.4.6 自動車燃焼実験（その1 実験概要と燃焼拡大性状）

平成15年度  
日本建築学会近畿支部  
研究報告集

### 自動車燃焼実験（その1 実験概要と燃焼拡大性状）

正会員 ○ 原田 和典<sup>1</sup> 同 新谷 祐介<sup>2</sup>  
同 抱 憲誓<sup>3</sup> 同 高橋 済<sup>4</sup>  
同 増田 秀昭<sup>5</sup> 同 五頭 辰紀<sup>5</sup>  
森本 崇徳<sup>6</sup>

#### 1. はじめに

2000年6月に公布制定された建築基準法施行令とその関連告示により、火災安全設計における設計火源がより重要な役割を果たすようになった。その一方で、設計火源を設定するための技術資料は十分であるとは言えないのが現状である。そこで、車輛の燃焼性状の実態に則して設計火源を設定するために、実大車輛燃焼実験が必要となっている。

実大車輛燃焼実験は過去には数例行なわれており、古くは1968年に、英国で屋内駐車場の火災実験が行なわれた例がある。

<sup>1)</sup> 1991年にはFRSでMartinらによる実験が行なわれ、80年代に製造された2台の乗用車の発熱速度、燃焼速度、有害物質、車輛付近、車輛内の温度、放射熱流束などが測定された。

<sup>2)</sup> (最大発熱速度は約4.5MW、約7.5MW) また、VTTではMangsらによって実験がおこなわれ、1970年代に製造された3台の乗用車の最大発熱速度は約1.5~2MWであった。<sup>3)</sup> 1995年から1996年にわたって行なわれたZHAOらによるCTiCM実験では、同じクラスの乗用車の70、80年代に製造された車両と90年代に製造された車両の新旧2台を燃焼させ、それぞれの最大発熱速度は2MW、8MWであった。<sup>4)</sup>

これらの研究では、特定の車輛の燃焼とそれに伴う発熱速度及び放射熱流束の実験データが測定されているが、一般化して建築設計に使いやすい形には整理されていない。

そこで、本研究では車輛の燃焼性状、特に発熱速度及び周辺への放射熱流束をモデル化し、設計火源を設定するための方法を提案する。そのため、実大の車輛燃焼実験を行い、車輛の部位別燃焼継続時間、車輛の部位から部位への延焼時間、燃焼部位毎の火災高さなどの車輛の燃焼性状をモデル化して、発熱速度及び周辺への放射熱流束を予測する方法を提案する。本報(その1)では実験の概要及び燃焼拡大性状に関する考察を行なう。

#### 2. 車輛燃焼実験

##### 2.1 概要

車両火災の性状を調べるために建築研究所において屋外実験と屋内実験を行なった。燃焼車両の仕様を表1に示す。実験に供したのは主として、一般的な5人乗りセダン(排気量は1800cc~3000cc)である。また、軽自動車(カプリオーレ)とワンボックス車を各1台供したが、今回の考察からは除外する。

表1 実験車輛詳細

屋外実験	形状	車輛重量[kg]	排気量[cc]	天井
1	セダン	1365	1800	なし
2	セダン	1920	3000	なし
3	ワンボックス	2370	3000	なし
屋内実験				
1	セダン	1170	1800	あり
2	カプリオーレ	575	660	あり
3	セダン	1425	2000	あり
4	セダン	1920	3000	あり
5	セダン	1380	2000	なし

#### 2.2 測定項目及び方法

屋外及び屋内実験の配置図を図1、2に示す。

熱のフィードバックの効果を調べるために、屋外実験及び屋内実験5では天井無しで、屋内実験1~4では、天井を設置して実験を行った。

##### (1) 屋外実験

排気量及び形状の異なる3台の車両を燃焼させ、車の天井の上50cm、100cmにおける温度分布を測定した。(結果は省略) また、熱流計を車輛の4方向に車輛から3mの距離で、高さを車高に合わせて設置し、放射熱流束を測定した。各実験で、車体の前後左右、5mの位置からビデオカメラで記録するとともに目視による観察も行なった。

いずれの実験車両もドアは全て閉じられており、運転席側と助手席側の窓のみ約10cm開放した。また、燃料タンク内にガソリンはほとんど残っていなかった。なお、着火場所は運転席とした。

##### (2) 屋内実験

排気量及び形状の異なる5台の車両を燃焼させ、車輛上に設置した天井直下の気流温度分布を測定した。HF2,4は車輛からの距離1.2m、高さ1.36mに、HF1は高さ2.47mの天井の中央に、HF3は車両の後方3.25mに高さ2.04mで、熱流計を設置し、放射熱流束を測定した。屋内実験5ではさらに右側面3.25mの位置に高さ1.4mで、HF0を設置した。車輛の重量変化をロードセルで測定し、この重量減少速度に単位発熱量(本研究では40MJ/kg)をかけて、発熱速度を求めた。

なお、屋内実験1、4では燃料タンク内にガソリンが1/4残っていたが、他の実験ではほとんど残っていなかった。その他は屋外実験と同じ条件で実験を行った。

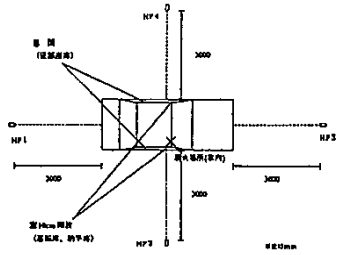


図1 屋外実験試験配置図

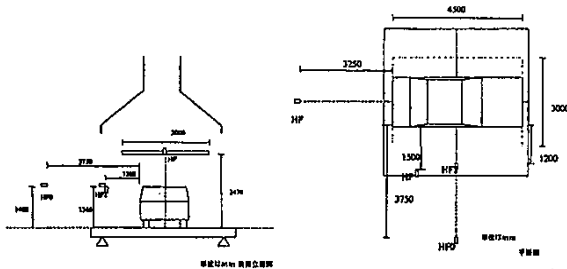


図2 屋内実験試験配置図

2.3 結果

以下に、屋内実験3の結果を示す。観察記録及びVTR記録から車輛の燃焼部位を前列+ダッシュボード、後列座席、エンジンルーム、トランクルーム、タイヤ(4本)、前後の落下物の計10部位に分類し、各部位が激しく燃焼している時間帯を図3に示す。また、車輛の燃焼初期、車輛前方部の盛期、後方部の盛期、終期の様子を図4に示す。

運転席のシートに着火した直後はシートが急速に炎上したが、車内はすぐに酸欠状態となり8分間くん焼状態が続いた。8分後のフロントガラスの破壊により、車内がフラッシュオーバーした。(図4a) その後、15分時には後部座席、24、25分時にはエンジンルーム、前の両タイヤに延焼した。30分時には前バンパー等が炎上脱落し、大きな火炎が生じた。(図4b) 40分前後にトランクルーム、後タイヤ、後バンパー等に次々に延焼し、後方部分が激しく燃焼した。(図4c) 60分ほどで全体が下火になり、燃焼がほぼ終了した。(図4d)

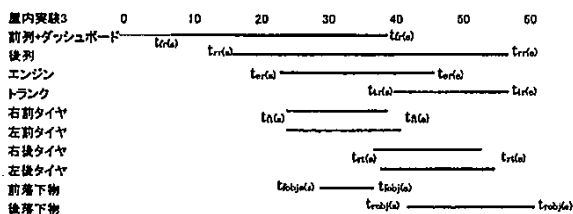


図3 屋内実験3 各部位の燃焼時間

重量減少から算出した発熱速度曲線を各部位が激しく燃焼している時間帯とともに図5に示す。着火後8分間は、発熱速度は400kW程度でごく小さい。8分時点でEO後、急速に上昇し、約2MWを記録した。24分時にはエンジンルームに延焼したが、この時間帯は換気支配型の火災と考えられほぼ一定の値を示した。30分時にはバンパー、タイヤなど外部での燃焼が

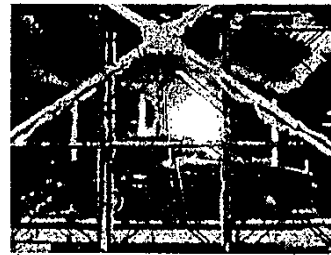


図4a 屋内実験3 燃焼初期(着火後8'00)



図4b 屋内実験3 前方部の盛期(着火後30'00)



図4c 屋内実験3 後方部の盛期(着火後47'00)

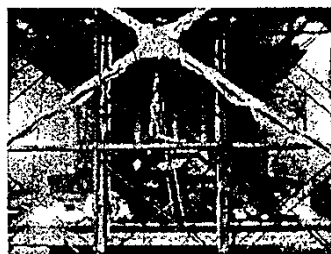


図4d 屋内実験3 燃焼終期(着火後60'00)

激しくなったためその分発熱速度は上昇し、約4MWを記録した。35分時から低下し始めたが、後方部分の燃焼が激しくなった44分時から再び急激に上昇し、47分時には約4.5MWを記録した。その後急激に減衰し、60分時には約400kWとなり、燃焼はほぼ終了した。

放射熱流束と各部位が激しく燃焼する時間帯を図6に示す。天井面への放射熱流束はフロントガラスが脱落(8分)し、そこからの噴出火炎が大きくなり、天井に接触した10分時にピーク(約34kW/m<sup>2</sup>)となる。火炎が接触しなくなってからは燃焼の中心が前方に移ってからも(25分)減少し続けたが、後方部分に延焼した40分すぎから再び上昇し、47分時に後部の燃焼が盛んになった段階で第二のピーク(約20kW/m<sup>2</sup>)となり、直後から急激に低下する。

右側面1.2mの位置での放射熱流束は、フロントガラスが脱落し、噴出火炎が大きくなった10分から後部が激しく燃焼し始めるまでは、水平向きが10~15kW/m<sup>2</sup>の範囲、鉛直上向き

が5kW/m<sup>2</sup>程度であり、水平向きの放射熱流束が支配的である。後方部分が最も激しく燃焼した47分時には、それぞれ約30、10kW/m<sup>2</sup>を示した。その後、急激に値は減少し60分にはごく小さくなった。

また、後方3m離れた位置での放射熱流束は後方部分が激しく燃焼する45~50分以外はごく小さい。

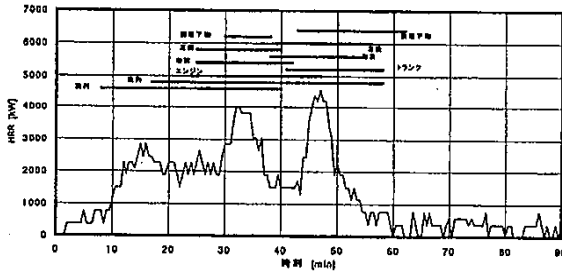


図5 屋内実験3 発熱速度曲線  
(重量減少速度に単位発熱量40MJ/kgをかけて算出)

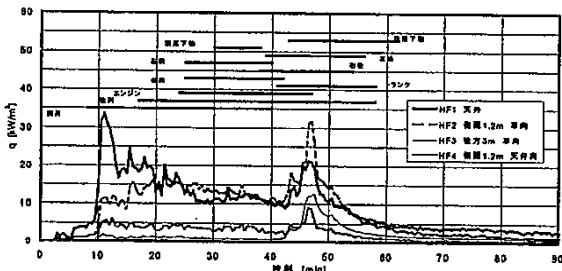


図6 屋内実験3 放射熱流束の時間変化

### 3. 燃焼拡大性状の考察

今回の実験に供した車両のうち、セダンタイプのみを選び、車両重量と各部位の燃焼継続時間や部位間の延焼時間との関係を考察する。すなわち、図3に示す各部位の燃焼継続時間及び部位間の延焼時間をすべての実験について求め、これを車両重量と相関させる。

#### 3.1 車両全体の燃焼継続時間

車両全体の燃焼継続時間を、車両重量に対してプロットした結果を図10に示す。ここで、車両の燃焼継続時間とは、運転席に点火した後、車内がフラッシュオーバーしてフロントガラスが脱落した時点から、車両全体に渡って有炎燃焼が終了し、いわゆる「おき」状態になった時点までとした。図10に示すように燃焼継続時間は、車両重量にほぼ比例し、[注] 図3で定めた記号を用いて表すと次式となる。

$$t_{ob(c)} - t_{b(s)} \text{ [min]} = 0.0352 \times (\text{車両重量 [kg]})$$

#### 3.2 各部位の燃焼継続時間

ここでは図3で分類した中から内部燃焼(前列+ダッシュボード、後列、エンジン、トランク)と外部燃焼(タイヤ、落下物)のうち一つずつを選び、車両重量との相関を示す。

##### (a) 前列+ダッシュボードの燃焼継続時間

前列+ダッシュボードの燃焼継続時間(フロントガラスが完全に脱落した時点からフロントガラスからの噴出火炎が小さ

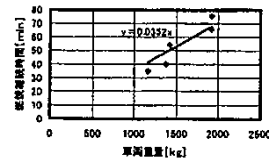


図10 車両全体の燃焼継続時間

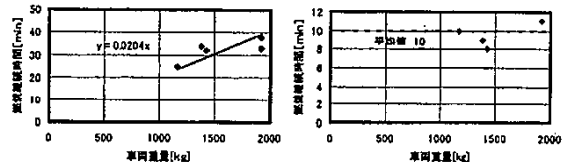


図11 前列+ダッシュボードの燃焼継続時間(左)

図12 前落下物の燃焼継続時間(右)

くなった時点まで)を車両重量に対してプロットした結果を図11に示す。

図より前列+ダッシュボードの燃焼継続時間も車両重量に対して高い相関関係がある。この関係を図3で定めた記号を用いて表すと次式となる。

$$t_{b(c)} - t_{b(s)} \text{ [min]} = 0.0204 \times (\text{車両重量 [kg]})$$

##### (b) 前落下物の燃焼継続時間

前落下物の燃焼継続時間を車両重量に対してプロットした結果を図12に示す。前落下物の燃焼継続時間は前落下物(ライトやバンパーなど)にエンジンルーム等から延焼してそれらが落下した時点から、「おき」状態になる時点までとした。

前落下物の燃焼継続時間は車両重量に対して相関は低い。この理由として車両重量が大きいほど可燃物量は多くなるが、その分燃焼が激しくなるだけで燃焼継続時間には影響を与えないとも推察される。よって、燃焼時間は、平均値をとって次のように定める。

$$t_{ob(c)} - t_{b(s)} = 10 \text{ [min]}$$

##### (c) まとめ

内部燃焼(前列座席+ダッシュボード、後列座席、エンジンルーム、トランクルーム)は区画火災で言うところの換気支配型火災に近い。よって、燃焼速度は窓の大きさと決まり、窓形状は車両重量が異なっても大きく変わるものではないので燃焼速度は車両重量に依らず一定で、燃焼継続時間が可燃物の総量に比例すると考えると符合する。

一方、外部燃焼であるタイヤ、落下物火災は自由燃焼であり、燃焼継続時間は可燃物重量と燃焼速度の比によって決まる。しかし、外部燃焼の燃焼継続時間と車両重量との関係を見てみると、それぞれの燃焼継続時間は実験を行った範囲では車両重量との間に有意な相関性は見られない。

#### 3.3 部位間の延焼時間

ある部分が激しく燃焼してから次の部分が激しく燃焼するまでの時間すなわち部位間の延焼時間についても車両重量との相関があると考え、整理を行った。例として、前列+ダッシュボードからエンジンルームへの延焼時間について考察する。前列座席からエンジンルームへの延焼時間を車両重量に対し



てプロットした結果を図 13 に示す。前列座席からエンジンルームへの延焼時間は運転席に着火後、車内がフラッシュオーバーしてフロントガラスが脱落した時点からエンジンルームから火炎が噴出する時点までとする。

前列座席からエンジンルームへの延焼時間は車輦重量と相関性は低い。その理由として、前列座席からエンジンルームへは電気コード等の貫通部から延焼すると考えられ、それは車種に依存しないためである。よって、前列からエンジンルームへの延焼時間は、平均値をとって次のように定める。

$$t_{tr(s)} - t_{tr(e)} = 16 \text{ [min]}$$

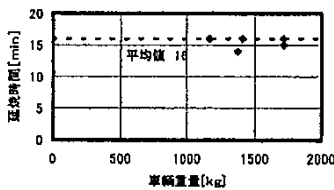


図 13 前列座席からエンジンルームへの延焼時間

3.4 燃焼拡大性状のまとめ

3.1~3.3 と同様にて全ての部位の燃焼継続時間や部位間の延焼時間についても整理し、車輦重量に対して成り立つ関係を表 2 にまとめた。

表 2 燃焼継続時間及び延焼時間

	時間 [min]
$t_{tr(e)} - t_{tr(s)}$	$0.0204 \times (\text{車輦重量 [kg]})$
$t_{tr(e)} - t_{tr(s)}$	$0.0252 \times (\text{車輦重量 [kg]})$
$t_{tr(e)} - t_{tr(s)}$	$0.013 \times (\text{車輦重量 [kg]})$
$t_{tr(e)} - t_{tr(s)}$	$0.0075 \times (\text{車輦重量 [kg]})$
$t_{tr(e)} - t_{tr(s)}$	14
$t_{tr(e)} - t_{tr(s)}$	14
$t_{rob(s)} - t_{rob(e)}$	10
$t_{rob(s)} - t_{rob(e)}$	12
$t_{tr(s)} - t_{tr(e)}$	$0.0084 \times (\text{車輦重量 [kg]})$
$t_{tr(s)} - t_{tr(e)}$	16
$t_{tr(s)} - t_{tr(e)}$	$0.0188 \times (\text{車輦重量 [kg]})$
$t_{tr(s)} - t_{tr(e)}$	$0.011 \times (\text{車輦重量 [kg]})$
$t_{tr(s)} - t_{tr(e)}$	$0.0144 \times (\text{車輦重量 [kg]})$
$t_{rob(s)} - t_{tr(s)}$	3
$t_{rob(s)} - t_{tr(s)}$	1

これらの式を用いて作成した燃焼拡大モデルと実際の燃焼拡大性状を比較した。その中で屋内実験 3 及び 4 の結果を図 14, 15 に示す。

各実験について比較してみると、比較的よく一致するもの(図 14 参照)もあったが、主として後部への延焼時間がばら

つくもの(図 15 参照)もある。ただし、部位別燃焼継続時間は一致しており、車輦燃焼性状の全般的な傾向はよく再現できている。

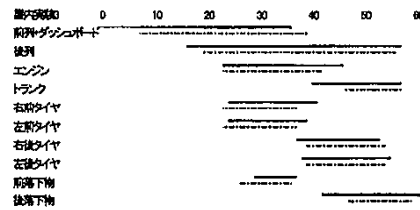


図 14 屋内実験 3 燃焼拡大性状のモデルと実際の比較

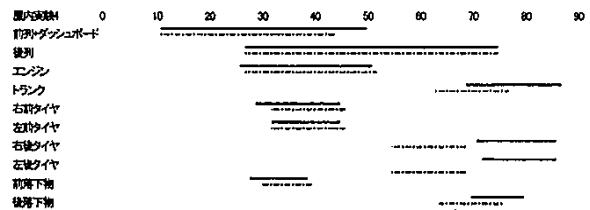


図 15 屋内実験 4 燃焼拡大性状のモデルと実際の比較

4. 結論

8 回の実大車輦燃焼実験を行い、燃焼拡大性状をモデル化した。

- 一般的なセダントタイプの車輦であれば運転席に着火後、前方に燃え広がりエンジンルームを中心に燃焼する。その後、後方に燃え広がり、トランクルームを中心に燃焼し、下火に向かう。
- 車輦全体の燃焼継続時間は車輦重量に比例する。車輦の各部位の燃焼継続時間、部位間の延焼時間はセダントタイプの車輦に関しては車輦重量と相関が見られる。
- 燃焼拡大性状のモデルは後方への延焼時間にばらつきがあるものの全体的な傾向はよく再現できている。

[注]ちなみに、一般的な車輦の可燃物は、車種にほとんど依存せずほぼ 19%である。

参考文献

- E.G. BUTCHER, G.H.LANGDON-THOMAS, G.K.BEDFORD, "Fire and Car Park Buildings" Fire Note 10, HMSO, U.K., July 1968.
- Martin Shipp and Michael Spearpoint, "Measurements of the Severity of Fires Involving Private Motor Vehicle", FIRE AND MATERIALS, VOL.19,143-151(1995)
- J.Mangs and O.Keski-Rahkonen, "Characterization of the Fire Behaviour of a Burning Passenger Car", Fire Safety J.,23, pp.17-35(1994)
- Bin ZHAO, Joel KRUPPA, "STRUCTURAL BEHAVIOUR OF AN OPEN CAR PARK UNDER REAL FIRE SCENARIOS", Second International Workshop 《Structures in Fire》-Christchurch-March 2002

\*1 京都大学大学院工学研究科 助教授・工博  
 \*2 京都大学大学院工学研究科 修士課程  
 \*3 京都大学大学院工学研究科 博士課程  
 \*4 アイ・エヌ・ジー (株)  
 \*5 (独) 建築研究所  
 \*6 三生技研 (株)

Assoc. Prof., Graduate School of Engineering, Kyoto Univ., Dr. Eng  
 Graduate Student, Graduate School of Engineering, Kyoto Univ.  
 Graduate Student, Graduate School of Engineering, Kyoto Univ.  
 ing Co.  
 Building Research Institute  
 Sansci Giken Co., Ltd

自動車燃焼実験 (その2 発熱速度と放射熱流束)

正会員 ○新谷 祐介<sup>1</sup> 同 原田 和典<sup>2</sup>  
同 抱 憲誓<sup>3</sup> 同 高橋 濟<sup>4</sup>  
同 増田 秀昭<sup>5</sup> 同 五頭 辰紀<sup>5</sup>  
森本 崇徳<sup>6</sup>

1. はじめに

(その1)に引き続き、本報(その2)では、発熱速度、火炎高さ、放射熱流束に関する考察を行い、それぞれを予測する方法を提案する。

2. 発熱速度のモデル化

2.1 目的

(その1)で示した実験結果からセダントタイプの車輛の発熱速度を予測するモデルを作成することを目的とする。

2.2 方法

図1で示したように、セダントタイプの燃焼は、大別して1)車内(シート等の内容物)、2)前部(タイヤ、バンパーなど)、3)後部(前部に同じ)の3つになる。このうち、1)の車内の燃焼は窓ガラスの脱落部分からの流入空気量により燃焼速度が決まる換気支配型燃焼、2)、3)の外部燃焼は自由空間での燃焼となることが予想される。

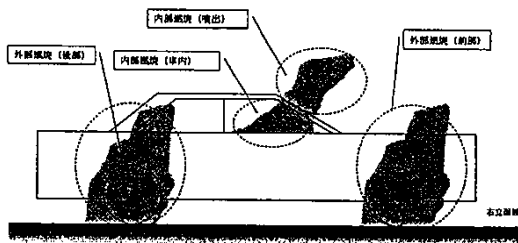


図1 内部及び外部燃焼

内部燃焼(車内)の発熱速度は建築火災と同様に換気因子

( $A\sqrt{H}$ )を用いて表すと

$$Q = 1500 \times A\sqrt{H} \quad [\text{kW}] \quad (1)$$

となる。換気支配燃焼時には、開口から火炎が噴出するが、噴出火炎部分の発熱速度を

$$Q = 400 \times A\sqrt{H} \quad [\text{kW}] \quad (2)$$

により見積れば、車内物品の燃焼による発熱速度は次式となる。

$$Q = 1900 \times A\sqrt{H} \quad [\text{kW}] \quad (3)$$

外部燃焼については、理論的な予測は難しいが、実験で測定された発熱速度から、上記の車内燃焼分を差し引いて、求めることができる。

2.3 結果

(1) 各車輛の発熱速度の整理

観察記録より各窓ガラスが脱落する時間帯を読み取り、時間ごとの開口因子を用いて式(3)により、各時間帯における発熱速度を計算した。前列+ダッシュボードの燃焼が終了する時間帯(その1参照)までを車内の燃焼が換気支配型であるとみなしその後、後列座席の燃焼が終了するまで、つまり、内部燃焼が終了する時間帯(発熱速度0kW)まで線形に減衰と示した。以下、屋内実験3を例にとってその結果を図2に示す。

運転席に着火したときの開口条件(運転席側及び助手席側の窓を約10cm開放)では流入空気量から算出した発熱速度はごく小さい値を示す。8分後にフロントガラスが脱落すると、発熱速度は約1MWにまで上昇する。その後、次々と窓ガラスが脱落し、全ての窓が脱落すると、その発熱速度は約2MWを示す。

発熱速度から内部燃焼による発熱速度を引いた外部燃焼の発熱速度を図3に示す。図3から前部(前タイヤ、前バンパーなど)の外部燃焼の部分及び後部(後タイヤ、後バンパーなど)の外部燃焼の部分から、燃焼継続時間( $t_1, t_2$ )及び最大発熱速度( $Q_{peak1}, Q_{peak2}$ )を読みとると、前部燃焼は燃焼継続時間が約8分間、最大発熱速度が約1.9MW、後部燃焼はそれぞれ約15分間、約3MWとなる。

各実験において、同じ方法に従って内部燃焼の発熱速度を求め、全体の発熱速度から引いて外部燃焼(前部及び後部)の発熱速度を求めた。全体の発熱速度及び内部燃焼の発熱速度を屋内実験1、4、5について図4、5、6に示す。なお、屋内実験3については、すでに図2に示しており、屋内実験2は軽自動車であるため今回の考察からは除く。

屋内実験1及び5では、前部の外部燃焼と後部の外部燃焼が同時に起こっている時間帯があった。そこで、VTR記録等から読みとったそれぞれの燃焼継続時間を参考に、前部の燃焼による発熱速度と後部の燃焼による発熱速度を図7に示すように分けた。

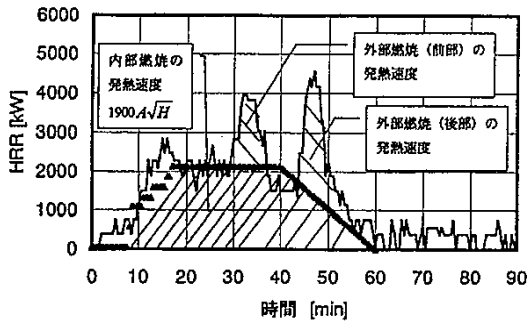


図2 屋内実験3 発熱速度曲線

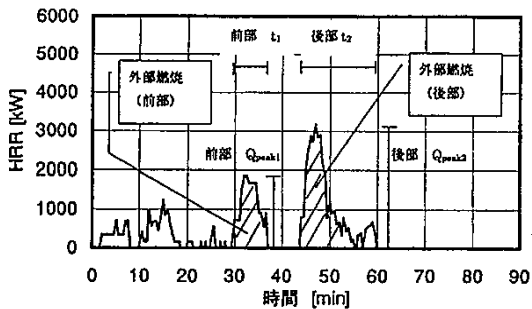


図3 屋内実験3 外部燃焼の発熱速度曲線

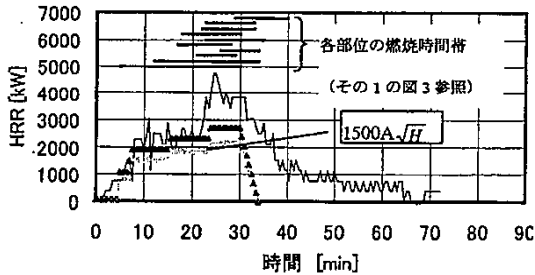


図4 屋内実験1 内部燃焼及び外部燃焼の発熱速度

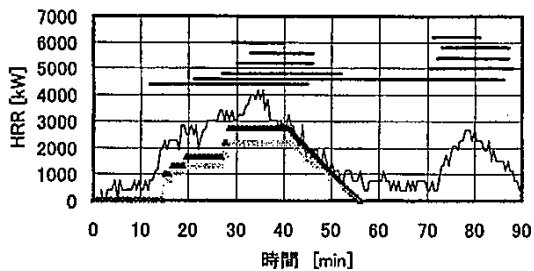


図5 屋内実験4 内部燃焼及び外部燃焼の発熱速度

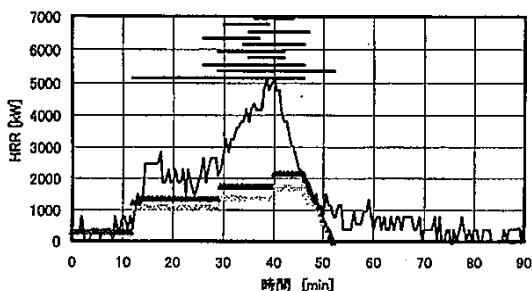


図6 屋内実験5 内部燃焼及び外部燃焼の発熱速度

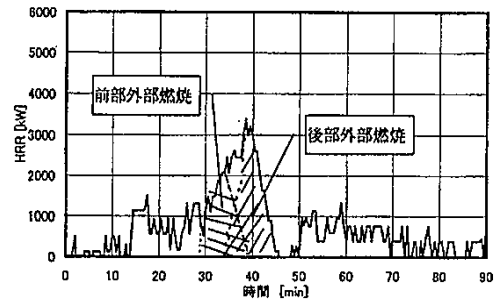


図7 屋内実験5 外部燃焼の発熱速度

(2) 車輦重量との相関

外部燃焼の継続時間 ( $t_1, t_2$ ) 及びピーク時の発熱速度 ( $Q_{peak1}, Q_{peak2}$ ) を整理して (その1) と同様に車両重量との相関をとった結果を図8~11に示す。

この結果、前部、後部の外部燃焼の継続時間及びピーク時の発熱速度は車両重量に関わらずほぼ一定の値を示す。よって、それぞれの値の平均をとって、継続時間、ピーク時の発熱速度を次のように定める。

(前部外部燃焼継続時間) = 8.5 [min]

(後部外部燃焼継続時間) = 15 [min]

(前部外部燃焼ピーク時発熱速度) = 1850[kW]

(後部外部燃焼ピーク時発熱速度) = 2980[kW]

また、外部燃焼の積算発熱量はどの実験も前部がほぼ 500MJ, 後部がほぼ 1200MJ であった。

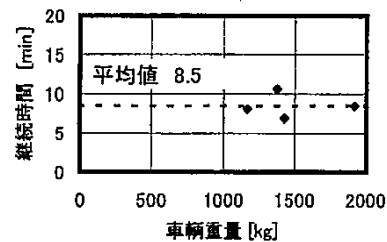


図8 前部外部燃焼の継続時間

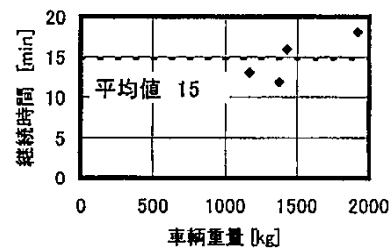


図9 後部外部燃焼の継続時間

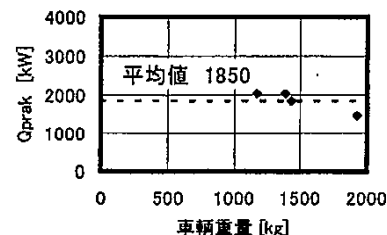


図10 前部外部燃焼の最大発熱速度

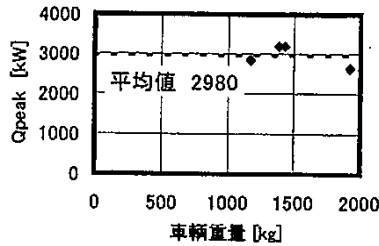


図 11 後部外部燃焼の最大発熱速度

3. 火炎高さの考察

VTR 記録から読みとった各部位の火炎高さを整理して、(その 1)と同様に車輻重量との相関を取った結果を示す。

例として、フロントガラスから単独で噴出する連続火炎高さ ( $h_{fg}$ ) の時間変化を図 12 に示す。図中の時間比とは、ある部位の燃焼継続時間を 1 とし、その時点が燃焼継続時間に対して経過した時間を表すパラメーターである。

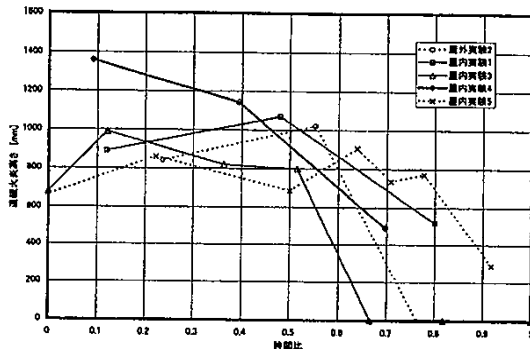


図 12 フロントガラスからの噴出火炎の連続火炎高さ

フロントガラスが全面的に脱落してからしばらくの間は、火炎高さが約 90cm で一定の状態が続く。そのときの平均の連続火炎高さを車輻重量に対してプロットした結果を図 13 に示す。フロントガラスからの噴出火炎が単独で存在している場合、連続火炎高さは車輻重量にほぼ比例する。これは、噴出火炎の火炎高さは内部の可燃物の表面積に依存し、表面積は可燃物重量に依存するからである。他の部位についても同様に整理した結果を表 1 に示す。

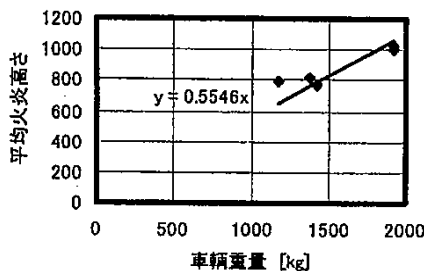


図 13 フロントガラス単独の平均連続火炎高さ

間欠火炎高さ ( $h_{fg(r)}$ ) についても同様に VTR 記録から読み取った結果を図 14 に示す。多くの時間帯では間欠火炎が天井 ( $h=2470\text{mm}$ ) に接触していたため、間欠火炎高さはこの図ではほぼ一定である。

他の部位から生ずる火炎の高さについても同様に行い、各部位において成り立つ車輻重量と連続火炎高さ、間欠火炎高さとの関係をまとめて表 1 に示す。

全体的な傾向としては、内部燃焼によって開口部から噴出する火炎の高さは車輻重量に依存した。一方、タイヤの火炎高さは車種による差は少なかったため、各実験の平均値とした。

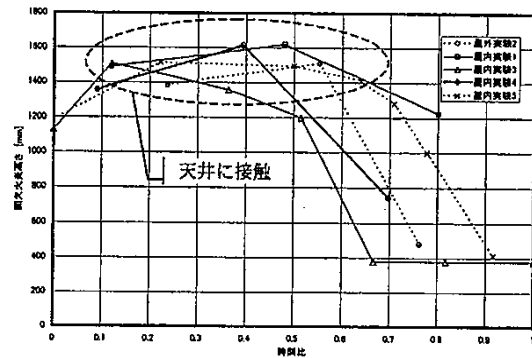


図 14 フロントガラスから噴出する間欠火炎高さ

表 1 各部位からの火炎高さ

	連続火炎高さ [mm]	間欠火炎高さ [mm]
$h_{fg}$	$0.5546 \times (\text{車輻重量 [kg]})$	1355 (天井に接触)
$h_{fg+fg}$	$0.5573 \times (\text{車輻重量 [kg]})$	1470 (天井に接触)
$h_{fg}$	440	524
$h_{fg+fg}$	$0.5293 \times (\text{車輻重量 [kg]})$	1391 (天井に接触)
$h_{rsg}$	$0.3618 \times (\text{車輻重量 [kg]})$	$0.5456 \times (\text{車輻重量 [kg]})$
$h_{er}$	$0.3526 \times (\text{車輻重量 [kg]})$	$0.4274 \times (\text{車輻重量 [kg]})$
$h_{er+fobj}$	$0.7671 \times (\text{車輻重量 [kg]})$	$1.0758 \times (\text{車輻重量 [kg]})$
$h_{tr+robj}$	$0.5787 \times (\text{車輻重量 [kg]})$	$0.7242 \times (\text{車輻重量 [kg]})$
$h_n$	616	754
$h_{n+er}$	1169	1778
$h_{tr}$	590	812
$h_{n+rg}$	1576	2257

h:火炎高さ fg:フロントガラス rg:リアガラス fsg:右前、左前窓  
 rsg:右後、左後窓 er:エンジンルーム tr:トランクルーム  
 ft:前タイヤ rt:後タイヤ fobj:前落下物 robj:後落下物

4. 燃焼車輻からの放射熱流束のモデル化

4.1 目的

燃焼状態の観察記録(観察メモ及び VTR 記録)をもとに、火炎の形態を直方体状の火炎柱で近似し、周辺への放射熱流束を求めるモデルを作成する。

### 4.2 方法

実験時の観察記録から、燃焼パターンを時間帯ごとに分け、各時間帯における典型的な火炎形状(連続火炎域及び間欠火炎域)をVTR記録から読み取り、それを直方体形状の火炎柱で近似する。上記の方法で確定した火炎面の温度を連続火炎域は800℃、間欠火炎域は500℃として受熱面から正対して見た時の形態係数を用いて放射熱流束を計算する。

### 4.3 結果

屋内実験5の着火後10分の画像とそのときに設定した火炎柱の形状を図15に示す。図中の火炎柱の奥行きは車幅を取って1360mmとした。

車輛の中心から距離3.25m離れた高さ1.4mの位置、屋内実験5におけるHF0(その1、図2参照)、から連続火炎域を正対して見た時の形態係数を求め、放射熱流束を計算すると

$$q = 5.67 \times 10^{-11} \times (273 + 800)^4 \times 0.005 = 0.40 \text{ [kW/m}^2\text{]}$$

となる。

間欠火炎域に対しても同様に計算した。また、この他にも車体表面からの放射熱流束が考えられ、左右の側面に関しては車内のフラッシュオーバー後20分より、車体の表面温度を300℃として、受熱面への放射熱流束を計算した。さらに、車輛からの距離が近い場合(車輛側面から1.2m、1.34m)には、周辺空気温を100℃、風速を2m/sとして対流熱流束を計算した。

以上の計算を車輛側面から3.25m(HF0)と1.34m(HF2)の位置に対して行い、測定値と比較した結果を図16及び図17に示す。HF0については、ほとんどの時間帯で良好な一致が見られる。図中の記号口は連続火炎域のみを放射面に算入したものであり、間欠火炎域やボディからの放射や周辺空気からの対流に比べ圧倒的である。従って、簡易には連続火炎域のみを計算対象としても計算精度は大きくは損なわれない。1.34mの位置での結果では実測値との一致は少し悪いが全般的な傾向は同一である。

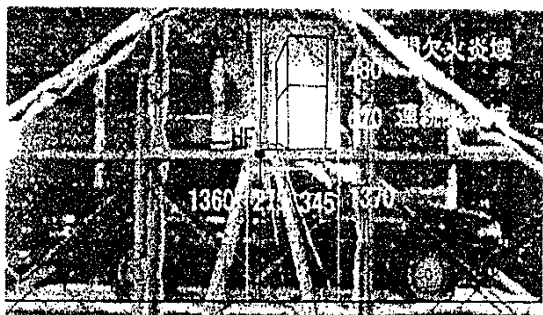


図15 屋内実験5 着火後10分 (単位はmm)

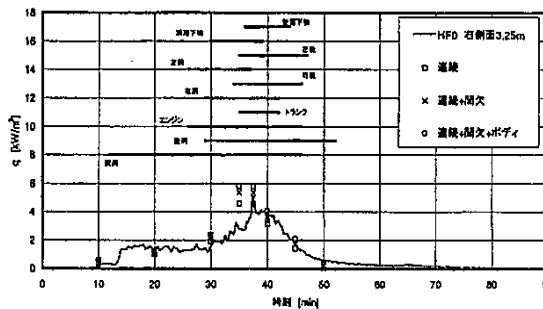


図16 屋内実験5 右側面3.25mにおける計算結果と実測値

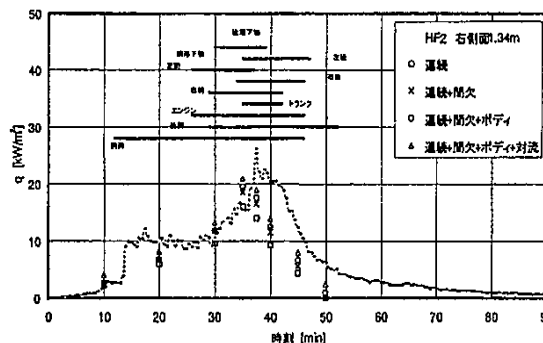


図17 屋内実験5 右側面1.34mにおける計算結果と実測値

### 5. 結論

車両燃焼実験結果から、発熱速度、火炎形状、放射熱流束の時間的経過を予測するモデルを作成した。

1. 発熱速度に関しては、車内の可燃物(シート、エンジンルーム、トランクルームなど)の燃焼を換気支配型燃焼と考えてガラス脱落部分の換気因子から発熱速度を予測できる。外部の可燃物(タイヤ、バンパーなど)は、車両重量への依存性は小さく、前部は最大発熱速度が1.85MWで継続時間が8.5分、後部は最大発熱速度が2.98MWで継続時間が15分である。
2. 火炎形状については、各部位の燃焼により生ずる火炎を立方体形状の火炎柱で近似し、連続火炎域と間欠火炎域の高さについて車両重量との相関を得た。
3. 周辺への放射熱流束については、上記2の火炎柱モデルから計算される値が測定値とおおむね一致することを確認した。

前報の車輛の燃焼拡大モデルと本報の発熱速度モデル及び放射熱流束モデルを組み合わせることによって車輛燃焼時の発熱速度や放射熱流束を予測することが可能であり、オーバーオールな予測精度については今後引き続き検討する。

\*1 京都大学大学院工学研究科 修士課程  
 \*2 京都大学大学院工学研究科 助教授・工博  
 \*3 京都大学大学院工学研究科 博士課程  
 \*4 アイ・エヌ・ジー (株)  
 \*5 (株) 建築研究所  
 \*6 三生技研 (株)

Graduate Student, Graduate School of Engineering, Kyoto Univ.  
 Assoc. Prof., Graduate School of Engineering, Kyoto Univ., Dr. Eng  
 Graduate Student, Graduate School of Engineering, Kyoto Univ.  
 ing Co.  
 Building Research Institute  
 Sansei Giken Co., Ltd