

自動車火災の性状について

川 茂 隆*
市 川 治 臣**
倉 林 慶 次*

1. 序 論

わが国の自動車産業は、戦後における最もめざましい発展をとげた産業の一つであるといわれ、自動車の保有台数も昨年6月には、ついに1,000万台を突破し、いよいよモーターリゼーションの時代に入ったといえよう。しかし、その反面自動車に基因する交通災害は、幾何級数的に増加の一途をたどり、ゆゆしい社会問題となっている現状にある。

広い意味では、交通災害の一つであるが、自動車火災も毎年1,000件程度は発生している実状にあり、これらの中には、西宮市におけるLPGタンクローリーの爆発火災とか、鈴鹿トンネルにおける火災等、中には極めて重大な被害をもたらした災害も多く発生するようになって来たことは、注目すべき現象である。このような災害は、自動車の異状な増加はもとより、道路状態の後進性に基因するところも多いと考えられるが、産業の高度化というような問題が、その底流として遠因になっているといえよう。

特に、最近においては、従来のガソリン車によってLPGを燃料とする車輛が、非常な勢いで増加しており、トラック等の積載物も単なる可燃物でなく、各種の危険性物品などが増加しているので災害条件はますます悪化する傾向にあるといえよう。このような実状から或る特定の自動車火災となる場合も問題であるが、むしろ群としての自動車火災となった場合にこそ、それが社会的に与える影響は極めて重大であり、この対策こそ緊急を要する課題であるといえよう。しかし、この種災害に対する実験研究なりは、現在のところ実施されたという事例を聞いていないのである。

今回企画した実験は、基礎的な燃焼等に関する実験研究をはじめ、自動車燃料タンク、LPGボンベの性状および自動車を群としてとらえ、それが火災となった場合の状況について、その実体を研究把握し消防対策に反映することを目的として実施したものである。

2. 主 催

東京消防庁

3. 統 裁 者

消防科学研究所長

4. 実験項目および日時・場所

実験は、前後数回にわたって行ったが、その項目、日時および場所等は第1表のとおりである。

第1表 実験日時・場所・実験項目

	予 備 実 験			本 実 験	
	1	2	3	1 次	2 次
日時	6, 7, 8 月	8 月 8 日 9.00—15.00	8 月 15 日 9.00—15.00	8 月 17 日 9.00—13.00	11 月 10 日 9.30—11.30
場所	研 究 所	東京湾第12号埋立地	“ “	“ “	“ “
実	1. 自動車用可燃物の発火温度測定 2. 自動車用窓硝子	1. 燃焼実験(1) (燃焼面1m ²) (1) 燃焼速度	1. 加熱実験(1) (燃焼面1m ²) タンクボンベの	1. 加熱実験(1) 予備3の実験 (1)に準ずる	1. 避難実験(1) 乗降口のみ使用

* 第二研究室

** 立川消防署

	予 備 実 験			本 実 験	
	1	2	3	1 次	2 次
実験項目	の放射熱量透過率の測定 3. 燃焼に関する基礎実験その他	(2) 火炎温度 (3) 燃焼状況 (4) 放射熱量 (5) タンク、ボンベ、タイヤの加熱実験 2. 燃焼実験(2) (燃焼面1m ²) (1) 受熱量測定 (2) 実験(1)に準ずる 3. 燃焼実験(3) (燃焼面4m ²) 実験(2)に準ずる 4. 燃焼実験(4) (燃焼面4m ²) 実験(2)に準ずる	放射加熱実験 2. 加熱実験(2) (燃焼面1m ²) タンクボンベの直接加熱実験 3. 加熱実験(3) (燃焼面10m ²) (1) 自動車1台の加熱実験 (2) 火炎温度 (3) 放射熱量	2. 加熱実験(2) 予備3の実験(2)に準ずる 3. 火災実験(1) (燃焼面1m ²) 自動車群5台 4. 火災実験(2) (燃焼面10m ² 2面) 自動車群5台	2. 避難実験(2) 乗降口および非常口使用 3. 火災実験 (燃焼面25m ²) 自動車群16台

5. 予 備 実 験 1

1. 実験方法

(1) 可燃物の発火温度測定

自動車に使用されている可燃物等の発火温度は、自動車およびLPGボンベ等から採取した資料(0.1～0.05g)を、マッフルが(電熱1kw)で加熱し、熱電対(A, C線)によって測定した。

(2) 窓硝子等の放射熱量透過率の測定

この実験は、自動車の内部が窓硝子等を通して外部から加熱された場合の状況を把握するため実施したものである。

実験は、熱源として、反射型写真電球(マツダ、スポット型100V-300W)を使用し、輻射計で測定した。なお、硝子の位置によって測定結果に変動は認められなかったため、熱源と硝子の位置を10cmに固定し、10cm間隔で150cmまでの値を測定し、硝子がない場合と比較した。なお、電圧変動については、調整器で一定に保ち誤差の生じないように配慮した。

2. 実験結果および考察

(1) 可燃物の発火温度

発火温度の測定結果は第2表のとおりである。

第2表 自動車用可燃物の発火点

	品 名	発火点℃	燃焼の継続性	発煙性
1	座席 ビニールシート	540	あり	中

	品 名	発火点℃	燃焼の継続性	発煙性
2	座 席 綿	565	あり	小
3	* ウレタンフォーム	510	"	大
4	ビニール電線(黒)	540	"	中
5	" (青)	575	"	"
6	" (赤)	570	"	"
7	" (白)	570	"	"
8	ポリエチレンパイプ	575	"	中
9	道路アスファルト	580	"	"
10	アスファルト(純)	575	"	"
11	安全弁(Oリング)	615	"	小
12	* (パッキング)	570	"	"
13	ポリカーボネート	725	"	"
14	強力ガラス	600	なし	なし

(注) 13・14はボンベの液面計材料(のぞき窓)
14の発火点は一次転移点である。

表から明らかなごとく、その発火温度は大抵600℃程度と認められる。道路アスファルトは、道路自体の火災に関する資料とするために行ったものであるが、実際の道路に含まれている純アスファルト量は、4.5%から12.0%、程度であるといわれるので、

この発火温度だけのデータからその危険性を判断することは問題であろう。しかし、多量の石油類等が道路に漏洩した場合の火災等では、発煙性の問題もあり、現場行動等は極めて困難になるものと推定されよう。

次にポンペのバルブに使用されているOリング等であるが、実際の火災現場においてはこれらが最初に問題となる可能性もあろう。

(2) 窓硝子等の放射熱透過率

実験の結果明らかになったことは、電球からの放射熱強度は、電球の表面で $0.2468\text{cal/cm}^2\text{sec}$ 、 150cm の距離において $0.0044\text{cal/cm}^2\text{sec}$ という値であった。なお、このデータから距離(t)と放射熱量(Q)の関係を求めて見ると $Q=0.2\times 0.0527^t$ となる。

さて、その間に硝子を入れた場合の減衰は平均、フロント硝子で83.8%、側面硝子で78.4%、合わせ硝子で68.7%であった。

以上の結果を予備実験で測定した放射熱量と距離の関係を適用して見ると次のようになる。

先づ、 1m^2 のオイルパン実験では、そのふちにお

ける最大値が $0.48\text{cal/cm}^2\text{sec}$ であるからこの値をとり、安全のため遮蔽率の悪いフロント硝子の83.8%を参考として計算して見ると $0.4032\text{cal/cm}^2\text{sec}$ となり、硝子がない場合に比較してその距離差は 40cm 程度となる。

さらに、 4m^2 の実験結果から検討して見るとその最大値は $0.9\text{cal/cm}^2\text{sec}$ であるから硝子のそう入によって $0.756\text{cal/cm}^2\text{sec}$ となり、その距離差は 50cm 程度となる。

以上の結果から明らかなごとく放射熱量が増加すると、距離的には若干、その効果が期待されるとも考えられる。しかし、この程度では、実際の場合ほとんど問題にする余地はなからう。

6. 予 備 実 験 2

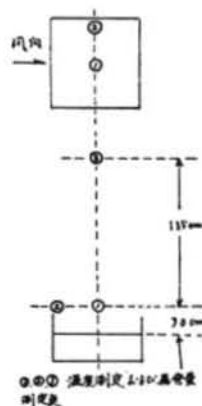
1. 実験方法

(1) 燃焼実験(1)

この実験は、第1図のごとく $1\text{m}^2(1\times 1\text{m})$ のオイルパンで重油 70l を燃焼させ下記項目の測定を行った。

ア 燃焼速度

燃焼実験(1) (第1図)



点火から燃焼終了までの時間を測定して、重油の燃焼速度を求めた。

イ 火災温度

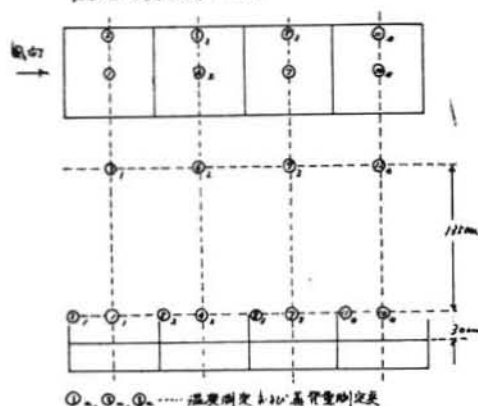
点火後1分毎に、熱電対を使用して燃焼面上3ヶ所の火災温度を測定した。

ウ 燃焼状況

点火後1分毎に、火災の高さ、傾きおよびその長さを分度器等を利用して観測した。

エ 放射熱量

燃焼実験(2) (第2図)



燃焼状況が、ほぼ定常になったと認められる時点(3分後)から、オイルパン周囲の放射熱量を輻射計で測定した。

(2) 燃焼実験(2)

この実験は、実験(1)のセットをそのまま使用し、熱量計の位置へさらに蒸発測定容器(直径 15.4cm 深さ 16.8cm の円筒型:金属性)を設置し、その中へ水 1l を入れ、その蒸発量から容器が火災から受ける熱量を測定した。使用した重油は 40l であり、その他の

項目についても実験(1)に準じて測定した。

(3) 燃焼実験(3)

この実験は、実験(1)をスケールアップしたもので第2図のごとく1[㎡]のオイルパン4を使用して実施した。従って測定項目は実験(1)と同様であり、燃料は各オイルパンに70^ℓ合計280^ℓを使用した。

(4) 燃焼実験(4)

この実験は第2図のごとく、実験(3)でセットした熱電対の位置へ、実験(2)に準じて蒸発測定容器を設置し、火炎からの熱量を求めるための測定を行った。燃料は各20^ℓ、合計80^ℓを使用し、その他の項目についても実験(1)と同様に測定した。

(5) 燃料タンク等の加熱実験

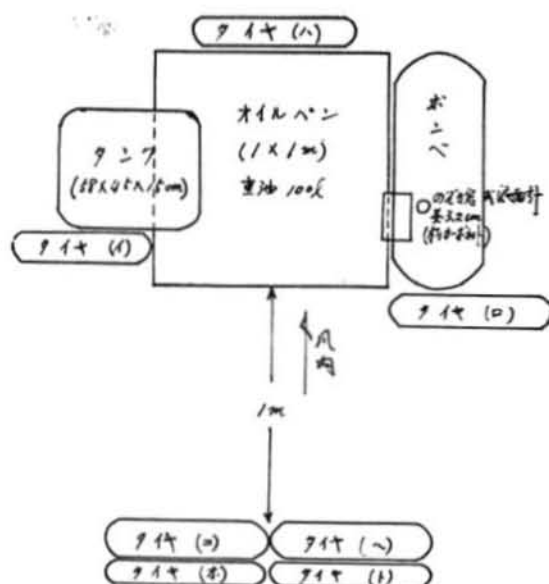
この実験は、第3図のごとく重油を1[㎡]のオイル

パンで燃焼させ、その周囲に、燃料タンク、LPGボンベおよびタイヤを配置して行ない、その加熱状況を観測した。なお、タンクにはガソリンを20^ℓ、LPGボンベには自動車用LPG(第3表)70^ℓを充填した。

第3表 LPGガス組成

日本名	メタン	エタン	プロパン	イソブタン	正ブタン
化学式	$\text{air} + \text{CH}_4$	C_2H_6	C_3H_8	C_4H_{10}	$\text{n-C}_4\text{H}_{10}$
%	2.02	0.50	5.70	0.38	17.40

第3図 タンク、ボンベ、タイヤの加熱実験



- 注.
- (1) ボンベは片面だけの接点 油面上30cm
 - (2) タイヤは片面だけの接点 油面上30cm
 - (3) タイヤは接点と放射熱による60熱。
 - (4) ボンベの記号
HC-867 3.1964.
V 95.3ℓ W-55.9kg
安全弁 (HAMAI W06 P20)
LPG充填量 60ℓ
 - (5) タイヤボンベの充填量 20ℓ
 - (6) タイヤサイズ
イ. 径 67cm 径 30cm 厚 14cm
ロ. " 70cm " 40cm " 15cm
ハ. " 66cm " 45cm " 10cm
ニ. " " " " " "
ホ. " " " " " "

2. 実験結果および考察

(1) 気象状況

実験当日の気象状況は第4表のとおりである。

第4表 気 象 状 況 (決晴)

測定時間	気 温℃	風 向	風 速m/sec
10 時	31	SSE	1.7
13 時	32	SSW	3.0
15 時	33	SSW	6.6

(2) 燃焼速度

燃焼速度の実験結果は第5表のとおりである。

この結果から明らかなごとく、オイルパン1の場合における燃焼速度は平均3.58mm/minであり、4の場合は4.17mm/minであった。

しかも、その燃焼速度は風による影響を十分に受けるということも明らかになった。このことはオイルパン4を使用した場合の燃焼速度を風上と風下で比較して見ると、風下は風上に比較して2倍程度速くなっていることから明らかである。なお、オイルパン1の場合の各燃焼速度を比較して見ても、気象状況、特に風速の影響を相当受けているのではないかと推定された。

第5表 燃 焼 速 度

実験番号	1	2	3				4				5
			1	2	3	4	1	2	3	4	
燃料注入量 (l)	70	40	70	70	70	70	20	20	20	20	100
燃焼所要時間 (分・秒)	19'00"	11'30"	28'00"	15'30"	15'00"	14'00"		6'10"	5'30"	4'27"	19'30"
燃焼速度 (mm/min)	3.7	3.47	2.5	4.51	4.66	5.0		3.25	3.64	4.45	5.13

実験番号3, 4の下段の数字は風上よりのオイルパンの番号

第6表 火 炎 温 度

実験(1)($1m^2$) 単位 $^{\circ}C$

時 間	測 点 ①	測 点 ②	測 点 ③
0	32	32	32
30 秒	570	210	50
1 分	718	260	60
2 "	660	520	62
3 "	708	515	65
4 "	740	510	75
5 "	750	320	75
6 "	780	335	80
7 "	765	370	82
8 "	795	423	83
9 "	730	375	72
10 "	790	370	69
11 "	762	423	68
12 "	775	375	70
13 "	728	320	72
14 "	775	320	87
15 "	750	365	75
16 "	762	395	79

(3) 火炎温度

火炎の温度は、実験(1)から(4)にわたって測定したがその結果は第6, 7, 8および9表のとおりである。

第7表 火 炎 温 度

実験(2)($1m^2$) 単位 $^{\circ}C$

時 間	測 点 ①	測 点 ②	測 点 ③
0	32	32	32
1分	450	360	40
1分30秒	510	430	35
2 分	445	450	40
2分30秒	470	390	42
3 分	495	410	45
4 "	470	410	45
5 "	550	465	47
6 "	590	400	45
7 "	550	470	47
8 "	570	440	41
9 "	550	580	40
10 "	580	440	40
11 "	550	460	35

第8表 火 炎 温 度

実験(3)($4m^2$) 単位 $^{\circ}C$

測点 時間	① ₁	② ₁	③ ₁	① ₂	② ₂	③ ₂	① ₃	② ₃	③ ₃	① ₄	② ₄	③ ₄
0	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32
30秒	200	205	95	650	235	150	600	190	100	610	250	210
1分							750	400	70	750	235	200
2 "	345	410	130	780	430	190	750	420	80	750	350	240

時間 \ 測点	① ₁	② ₁	③ ₁	① ₂	② ₂	③ ₂	① ₃	② ₃	③ ₃	① ₄	② ₄	③
3 分	450	405	150	875	410	210	700	390	210	700	380	250
4 "	435	435	155	780	400	225	790	420	250	750	350	270
5 "	435	145	135	801	451	225	800	420	310	730	400	300
6 "	465	380	130	805	450	215	780	430	300	750	350	360
8 "	475	375	160	785	395	225	750	400	300	740	420	300
10 "	415	435	135	830	485	220	820	470	260	780	440	300
12 "	400	440	135	875	595	195	800	490	270	780	440	300
14 "	560	430	140	910	520	190	820	490	200	470	250	190

第9表 火 炎 温 度

実験(4)(4m²)

単位℃

時間 \ 測点	① ₁	② ₁	③ ₁	① ₂	② ₂	③ ₂	① ₃	② ₃	③ ₃	① ₄	② ₄	③ ₄
0	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33
30 秒	200	240	90	640	350	80	700	280	50	660	180	40
1 分	420	400	110	740	425	80	730	380	80	740	340	170
2 "	470	420	90	740	410	110	690	400	120	740	350	180
3 "	500	410	75	700	400	100	650	400	100	750	390	150
4 "	510	480	60	530	270	90	630	390	100	780	400	130
5 "	450	400	50	432	230	82	640	380	70	660	370	90
6 "	370	340	50	250	110	50						

表から明らかなごとく、3測定点の温度順位は、各オイルパンとも同様な傾向を示しており、①点（油面上30cmの中央）が最高で、②点（油面上30cmのオイルパンふち）および③点（油面上165cmの中央）の順序となっている。

次に、オイルパン4(4m²)の場合の実験値について、各オイルパンとも、同一の測定点温度を平均し、オイルパンごとにその平均値を比較して見ると、①n点では、実験(3)の場合、風上から数えて第2オイルパンの温度(809℃)が最高を示しており、実験(4)の場合は、第4オイルパンの温度(721.6℃)が最高となっている。しかし、③n点を比較して見ると実験(3)、(4)とも第4オイルパンの温度が最高を示しており、大体(2)でのべた燃焼速度の順位に従っていると推定される。

(4) 燃焼状況

燃焼状況の観測結果は第10表および第11表のとおりである。

第10表 燃 焼 状 況

実験(1)(1m²)

時 間	火炎の高さ	火炎の長さ	火炎の傾き	そ の 他
30秒	1~2m	2.5m	26°	
1分15秒	1.5~2*	3~3.5*		
2' 00"	1.5~2*	3~3.5*	19	
2' 45"	1.7~2*	3.5~4*	12	
3' 30"		4*	25	
3' 50"		4*		
4' 00"			20	
4' 30"		3.5~4*	12	
5' 30"	1.5~2*	3.5~4*		
6' 10"	2*	4.5*	30	
6' 30"			30	

時 間 分秒	火炎の高さ m	火炎の長さ m	火炎の傾 き 度	そ の 他
7.00	2.3	4.5		
7.50	2.3	4.5		大きいいき づきあり
8.30		3.5~4.5		
9.00		3.5~4.5	30~28	
10.00		4~4.5		
10.20		4~4.5	7	
11.00	2~2.2			
12.30	1.5~1.7	2.7~3		
13.00	1.7	2.5~3		火勢が少し 弱くなる
15.00		3~4		
16.30	1.5~2	3~4		
18.30	1.5	2		
19.00	1~1.3	1~1.5		燃料はほと んどなし

第11表 燃 焼 状 況
実験(3)(4m²)

時 間 分50秒	火炎の高さ	火炎の長さ	火炎の傾 き 度	そ の 他
	3m	5m		
1.00			35°	
1.15	3~4	5.5		
2.10			22	
3.00	3	6	22	
3.30	3.5	6.5		
4.00	3.5	7		
4.30	3.5	6.5		風上から見た火炎の巾 2m(一番広 がった所) 炎の先端は 煙の中で見 えず、バツ トふちにな るといきが 相当あり周 期的にのび る
6.00	3.5	7		
6.45	4	7		
7.20	4	7.5		
8.00	3.5	7.5		
9.00	3.5	7.5		
10.00		7.5~8		
13.00	1.7	5		火勢少し弱 まる
14.00				一番風下燃 料なし
15.00				二番風下燃 料なし

時 間 分秒	火炎の高さ	火炎の長さ	火炎の傾 き 度	そ の 他
15.30				三番風下燃 料なし
28.00				風上の燃料 なし

表から明らかなごとく、火炎の高さは実験(1)のときが1~2mで、最高となったのは7分後の2.3mであり、実験(4)では2~4m、最高は同じく7分後の4mであった。次に火炎の傾きと長さであるが、実験(1)では最大30度で火炎長は4.5mであったが、実験(4)では35度で火炎長は7.5mから8mに達した。

(5) 放射熱量

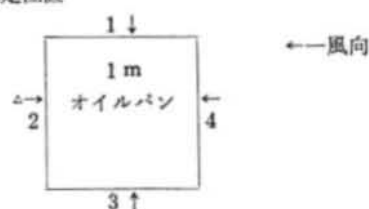
放射熱量の測定結果は第12、13および14表のとおりである。以上の結果を片対数グラフにプロットとして、等放射熱量線図を作成して見ると第4、5、6および7図のごとくなる。

第12表 放 射 熱 の 状 況

実験(1)

油面上の 高さ(m)	測 定 位 置*	オイルパン の周囲より の距離(m)	計器の読み (mv)	放 射 熱 量 (cal cm ⁻² sec ⁻¹)
0	1	2	5	0.04
		1	11	0.09
		0.5	19	0.15
	2	4	5	0.04
		3.5	7	0.06
		2.5	10	0.08
		2	12	0.09
		1.5	15	0.12
		1	19	0.15
	4	2	5	0.04
		1	10	0.08
1.2	1	0.5	18	0.14
		2	6	0.05
		1	10	0.08
	2	0.5	20	0.16
		4	4	0.03
	3	2	10	0.08

*測定位置

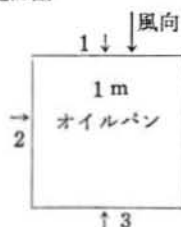


第13表 放射熱の状況

実験(2)

油面上の 高さ(m)	測定 位置*	オイルパン の周囲より の距離(m)	計器の読み (mV)	放射熱量 (cal·cm ⁻² ·sec ⁻¹)
0	1	3	3	0.02
		2	4	0.03
		1	9	0.07
		0.5	17	0.16
	2	4	3	0.02
		3	4	0.03
		2	9	0.07
		1	13	0.10
		0.5	17	0.16
	3	6	3.5	0.02
		5	4.5	0.03
		4	7	0.06
		3	12	0.10
1.2	1	3	3	0.02
		2	3.5	0.03
		1	9	0.07
		0.5	15	0.12
	2	4	2.5	0.02
		2	6.5	0.05
		1	12	0.10
	3	6	2	0.01
		4	4	0.03

*測定位置

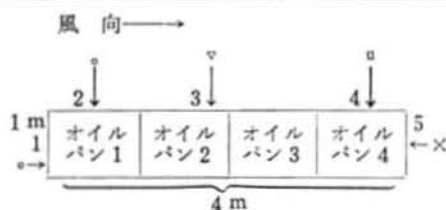


第14表 放射熱の状況

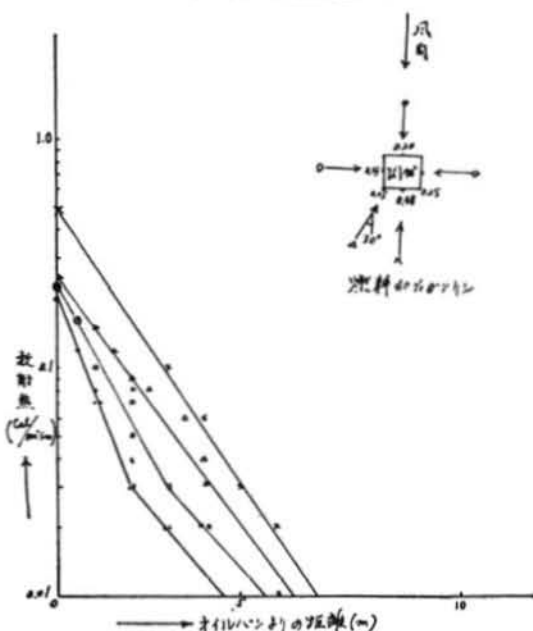
実験(3)

油面上の 高さ(m)	測定 位置*	オイルパン の周囲より の距離(m)	計器の読み (mV)	放射熱量 (cal cm ⁻² sec ⁻¹)
0	1	4	4.5	0.040
		3	6	0.050
		2	8	0.060
		1	14	0.110
		0.5	26	0.240
	2	3	11.5	0.0920
		2	14.5	0.1124
		1	16	0.1280
	3	4	20	0.1600
		3	30	0.2400
	4	6	13	0.1040
		4	23	0.1840
		3	37	0.2960

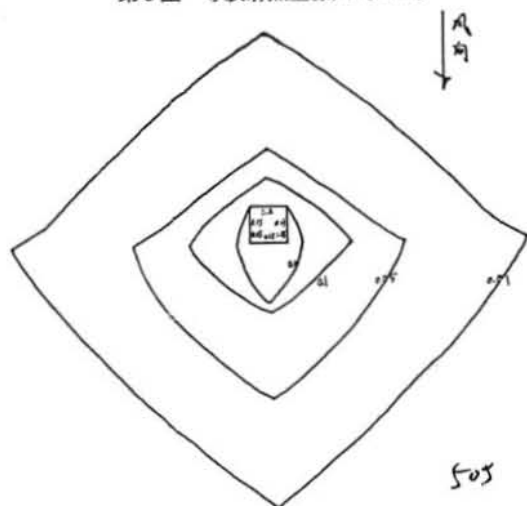
油面上の 高さ(m)	測定 位置*	オイルパン の周囲より の距離(m)	計器の読み (mV)	放射熱量 (cal·cm ⁻² ·sec ⁻¹)
1.2	5	14	1.5	0.0120
		9	3.0	0.0240
		4.5	7.0	0.0560
	1	4	4.0	0.0320
		3	6.5	0.0520
		2	9.0	0.0720
		1	14.5	0.1160
	2	3	7.5	0.0560
		2	11.5	0.1000
	3	4	8.0	0.0640
	4	6	10	0.0800
		4	25	0.2000
	5	14.0	1.0	0.008
		9	2.0	0.016
		4.5	7.0	0.056



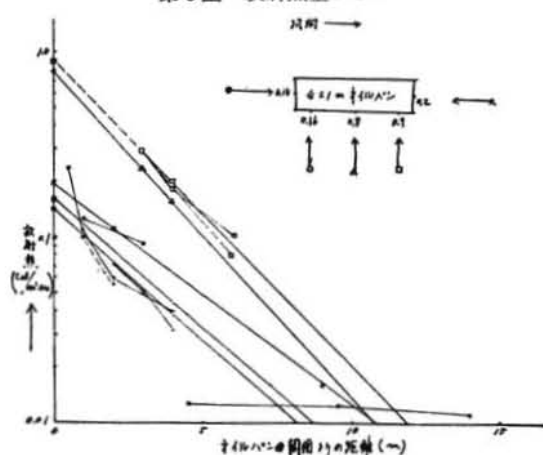
第4図 放射熱量グラフ



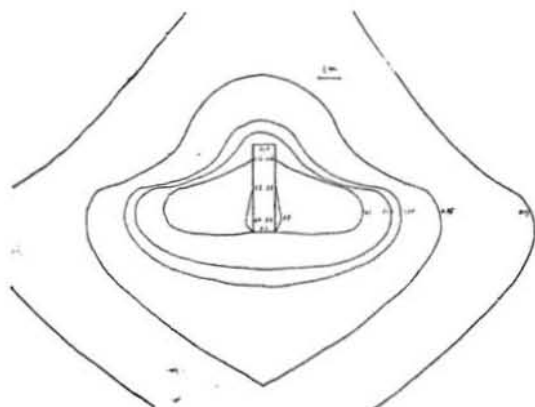
第5図 等放射熱量線図 (1 m²)



第6図 放射熱量グラフ



第7図 等放射量線 (4 m²)



これらの図から明らかなごとく、その放射熱量は風下側で強い傾向を示しているがこのことは風の影響による燃焼速度の差異などにもとづくものと推定されよう。なお、燃焼面 1 m²の風上と風下を比較して見ると風下が風上の2倍以上となっているが、燃焼面 4 m²の場合では2倍にも達していないことがわかる。その理由は多分煙などによる影響と考えられよう。

(6) 火災からの受熱量

蒸発量測定容器(熱効率32%)が火災から受けた熱量および平均火災高等から火災全体の熱量を計算し重油から計算した値と比較した結果は第15表および第16表のとおりである。

第15表 火災からの熱量(1 m²)

測定位置	端②	中心①	中心上部③
測定結果			
燃 焼 時 間(sec)	600		
残 水 量 (cc)	—	—	—
100℃ までに達する加熱時間 (sec)	207	93	600
蒸発所要時間(sec)	—	—	—
単位受熱量×効率 (cal/cm²sec)	1.5625	3.4375	0.625
炎 の 高 さ (cm)	320		
④ $\int_0^H q(h)dh$ (Kcal/sec)	378.64		
総熱量(火災の熱量) $TX \int_0^H q(h)dh$ (Kcal)	227185.92		
使 用 燃 料 (l)	80		
燃 料 (kg)	32		
燃料発熱量(Kcal)	317950		
蒸発潜熱(Kcal)	2050		

註④は第25表の計算式④を参照

第16表 火炎からの熱量(4 m²) (火炎の総熱量456868Kcal, 燃料の総熱量635904Kcal)

計 算 式	測定位置 測定結果	第1 オイルパン			第2 オイルパン			第3 オイルパン			第4 オイルパン		
		② ₁ 端	① ₁ 中心	③ ₁ 中心 上部	② ₂ 端	① ₂ 中心	③ ₂ 中心 上部	② ₃ 端	① ₃ 中心	③ ₃ 中心 上部	② ₄ 端	① ₄ 中心	③ ₄ 中心 上部
	燃 焼 時 間 T(sec)	668			370			330			247		
	残 水 量 V ₂ (cc)		775	960	465	800	905	280	700	860	145	780	670
①	100℃ までに達するま での加熱時間 t ₁ (sec)		223.6	497	60.6	133.6	203	40.4	88.9	148.4	25.2	83.6	61.69
②	蒸 発 所 要 時 間 t ₂ (sec)		552	170	309	236	167	290	241	182	222	165	185
③	単位受熱量 (cal/cm ² sec) × 効率		1.4563	0.6500	5.3281	2.4250	1.6000	8.1250	3.6531	2.1969	12.8969	0.4156	5.2406
	火 炎 の 高 さ H(cm)	415			370			300			190		
④	$\int_0^H q(h)dh$ (cal/sec)	202.69 × 10 ³			357.4 × 10 ³			432.93 × 10 ³			187.71 × 10 ³		
	総熱量(火炎の総熱量) $T \times \frac{100}{32} \times \int_0^H q(h)dh$ (Kcal)	135398			132238			142867			46365		
I	使 用 燃 料 (l)	20			20			20			20		
II	燃 料 (kg)	16			16			16			16		
III	燃 料 発 熱 量 (Kcal)	160000			160000			160000			160000		
IV	蒸 発 潜 熱 (Kcal)	1024			1024			1024			1024		
V	火 炎 の 総 熱 量 III-IV(Kcal)	158976			158976			158976			158976		

$$\text{計算式 ① } t_1 = \frac{66000 \times T(1000 + 7.7 \times 7.7 \times 15.4 \times 3.14 + V_2)}{632.34 \times 539 \times 7.7(1000 - V_2) + 66000(1000 + 7.7 \times 7.7 \times 15.4 \times 3.14 + V_2)} \text{ (sec)}$$

$$\text{② } t_2 = T - t_1$$

$$\text{③ } q = \frac{66000}{632.34 \times t_1}$$

$$\text{④ } \int_0^H q(h)dh = lH \left(\frac{2}{3}n + \frac{8}{3}\frac{1}{n} + \frac{3}{2} \right) + \frac{lH^2}{3D} (1 - \frac{1}{n}) \text{ (但し } l=100\text{cm, } D=165\text{cm)}$$

以上のデータからオイルパン1と4の場合を重油の総発熱量, 火炎の総熱量および蒸発量測定容器の受熱量等のおおのについて比較した結果は第17表のとおりである。

第17表 火炎からの熱量比較

	オイルパ ン 1 個	オイルパ ン 4 個	比 率
重油の総発熱量 (Kcal)	317950(a)	635904(b)	2(b/a)
火炎の総熱量 (Kcal)	227185.92(a ₂)	456868(b ₂)	2.01(b ₂ /a ₂)
缶の受熱量 (cal/cm ² sec)	1.89(a ₃)	3.998(b ₃)	2.115(b ₃ /a ₃)
放射熱距離 (m)	1.5(a ₄)	3.5(b ₄)	2.33(b ₄ /a ₄)
比 率	1.399(a/a ₂)	1.392(b/b ₂)	

この表から明らかなごとくその実験結果等は一応妥当性を持っていると推定される。

本実験は, 火炎を第1次発熱体であるという仮定にもとづき, 火炎全体の熱量と燃料から直接計算した熱量を比較することによってその燃焼状況を検証するとともに, 火炎から加熱される物体の受熱量等に関する問題を明確にすることを目的として行ったものである。

(7) 燃料タンク等の加熱

この実験結果は第18表(状況観測)および第19表(表面温度)のとおりである。

第18表 可燃物の燃焼状況

実験(5)

時 間	自動車用LP ボ ン ベ	自動車用燃料 タ ン ク	タイヤ類
分 0 秒		半分以上に火 炎 覆 う	
0.30			(ハ)が発煙

時 間	自動車用LP ポンベ	自動車用燃料 タンク	タイヤ類
0.35			(イ)が発煙
0.53		着火(火を吹く)	
1.25			(ニ)に着火
2.00			各タイヤ本格的に燃焼
2.53	1回目安全弁作動		
3.08	2回目安全弁作動		
3.18	3回目安全弁作動		
3.25	4回目安全弁作動		
3.33	5回目安全弁作動		
3.43	6回目安全弁作動		
3.50	7回目安全弁作動(火炎の長さ6m)		
3.55			
4.00	きれ目なし連続作動		
4.35	のぜき窓から火炎が出る		
4.53	火炎の長さ30~40cm		各タイヤ火勢強くなる
5.30	吹き飛ぶ		
7.33	火完全に消える		
13.00			(へ)燃えつきる
14.30			(ト)倒れる
17.00			(ニ)大部分の燃焼
18.00			
19.00			
19.30			

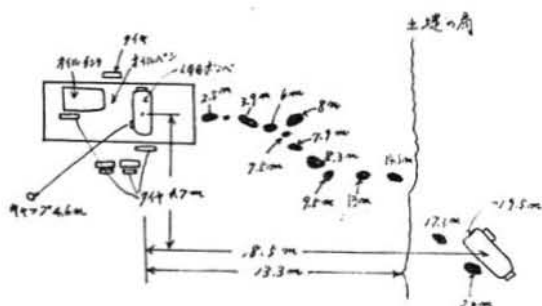
第19表 タンクポンベの表面温度状況

時 間	ガソリンタンク	LP ポンベ
0分0秒	33℃	33℃
30秒	520	340
1	650	420
1.30	750	480
2	840	470
3	810	440
4	890	250
5	900	300
6	810	600

状況観測結果によると、ポンベの安全弁は2分53秒で作動しており、4分35秒には液面計から噴炎を

始めた。その後5分30秒で第8図のごとくポンベは液面計の反対方向へロケット状となって噴炎を続けながら吹き飛び、その距離は約20mに達した。このときの表面温度は900℃であった。これはポンベの破裂ではなく液面計の材料であるポリカーボネイトが焼きれてそれからガスが噴出しその燃焼と反動力によって飛んだものである。

第8図 ポンベの飛散状況



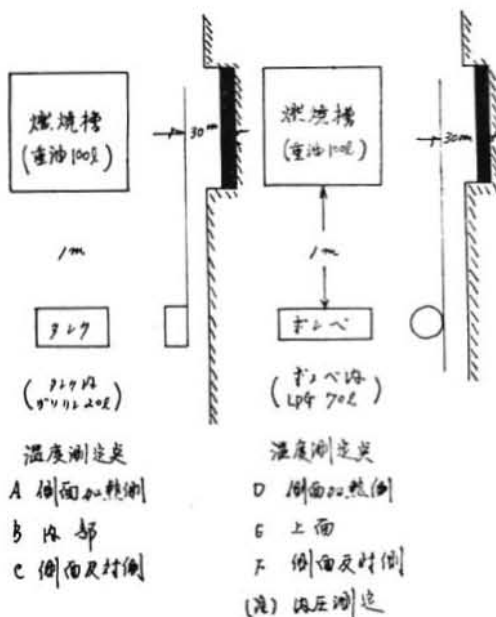
●は、ポンベの落下した場所を示す
数字は、その場所からの距離を示す

燃料タンクは53秒で噴炎を開始し、猛烈な勢で燃焼し、表面温度は30秒で520℃に達し5分には900℃となった。

タイヤは30秒頃から発煙しはじめ2分頃には全部が燃焼を開始した。

7. 予 備 実 験 3

第9図 タンクおよびポンベの放射加熱実験



1. 実験方法

(1) タンクおよびポンベの放射加熱実験

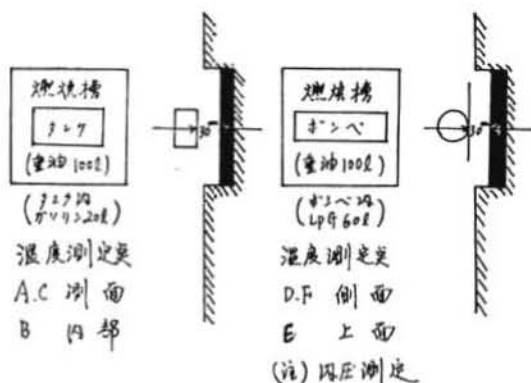
この実験は第9図のごとく重油100lを1m²の槽で燃焼させ、自動車用燃料タンクおよびポンベを1mの距離で加熱しその状況を観測した。

計測は、被加熱体の表面温度およびタンク内温度を熱電対で測定し、ポンベの内圧は動的歪計（ヘッド35kg/cm²）を用いて測定した。

(2) タンクおよびポンベの直接加熱

この実験は第10図のごとく被加熱体を直接加熱するもので、燃料および計測等は(1)に準じて行った。

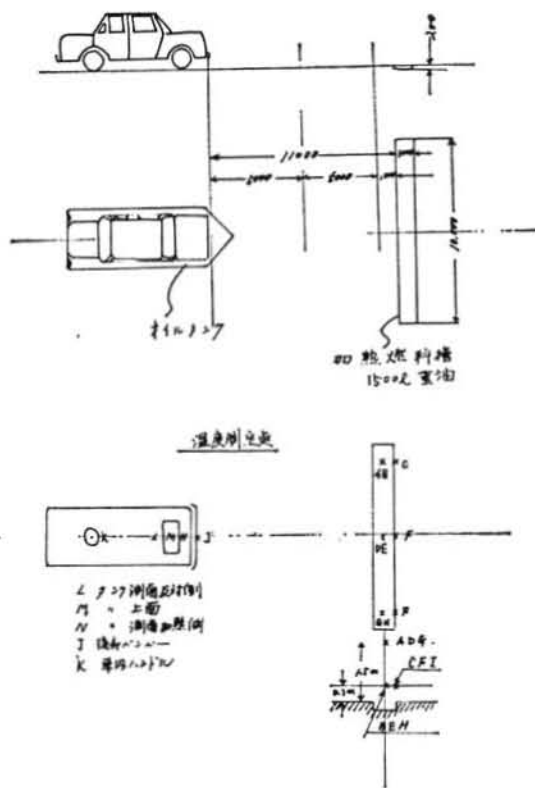
第10図 タンクおよびポンベの直接加熱



(3) 自動車の加熱実験

この実験は、第11図のごとく計画して実施した。使用した乗用車はトヨペットクラウン（63年型）で、燃料タンク内へはガソリン10lを充てんした。燃焼槽は10m²（10×1m）で、重油1500lを用意し、自動車の加熱は5m、1mおよび槽のふちとし各距

第11図 自動車の加熱実験



離で10分間、合計30分の加熱を行った。

計測は、自動車の内外温度、槽の火炎温度および放射熱量の測定を行った。

2. 実験結果および考察

(1) 気象状況

当日の気象状況は第20表のとおりである。

第20表 気 象 状 況 42.8.15 (水) 快晴

気 象	時 間	気 温	湿 度	気 圧		風 向	風 速
				mmHg	mb		
実験1 10.00開始	0	27.0	82	769.8	1026.2	NE	1.49
	5	27.5	80	"	"	"	1.14
	10	28.0	78	"	"	"	1.07
	15	27.5	"	"	"	"	1.11
	20	"	76	"	"	E	0.98
	25	28.0	70	"	"	"	0.80
	30	27.5	72	"	"	"	
	0	29.5	70	769.2	1025.5	SE	1.12
	5	"	"	"	"	"	0.88

実 験 気 象	時 間	気 温	湿 度	気 圧		風 向	風 速
	分	℃	%	mmHg	mb		m/sec
実験2 11.30開始	10	30.0	68	768.8	1024.8	SE	0.81
	15	30.5	65	"	"	"	1.11
	20	30.0	"	"	"	ESE	
実験3 13.00開始	0	32.0	62	768.0	1023.8	S	2.20
	5	"	"	"	"	SE	1.43
	10	33.0	"	767.8	1023.6	SSE	2.23
	15	32.5	60	767.6	1023.5	SE	2.53
	20	33.0	"	767.5	1023.4	SSE	1.98
	25	"	"	"	"	S	2.23
	30	33.5	"	"	"	SE	2.26
	35	33.0	"	"	"	"	2.26
	40	"	"	"	"	S	2.48

(2) タンクおよびポンベの放射加熱

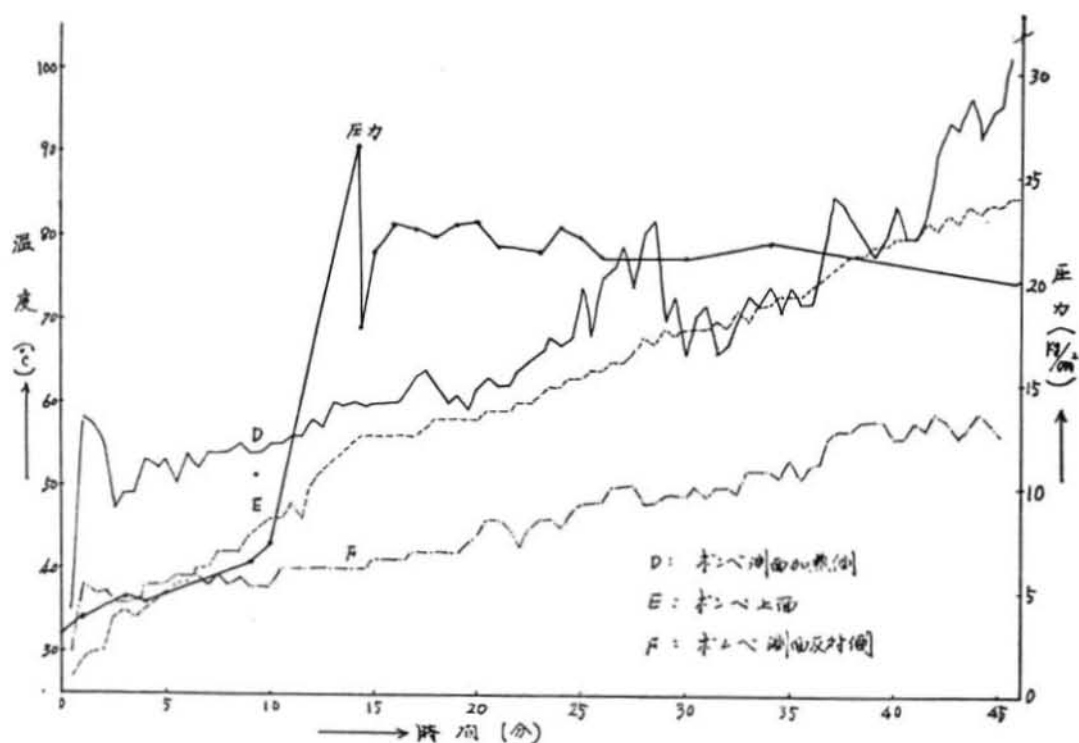
放射加熱実験は、風の影響もあり特別な変化が認められなかった。ポンベの状況は第12図のとおりで、14分30秒その安全弁は内圧26.4kg/cm²で作動し

たがその時の表面温度は60℃にとどまった。

タンクもその表面温度は100℃未満で引火するにいたらなかった。

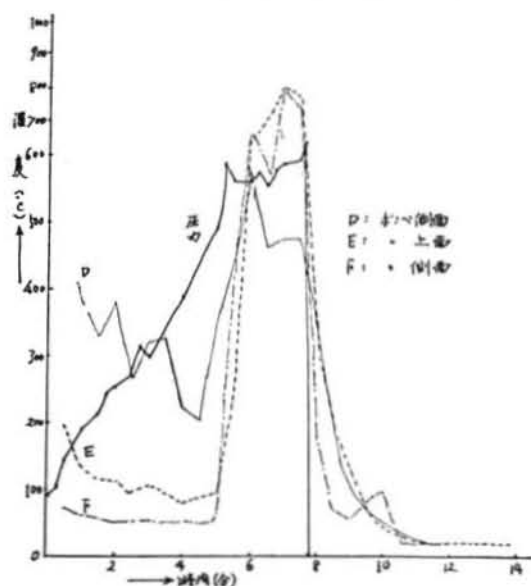
(3) タンクおよびポンベの直接加熱

第12図 ポンベの放射加熱

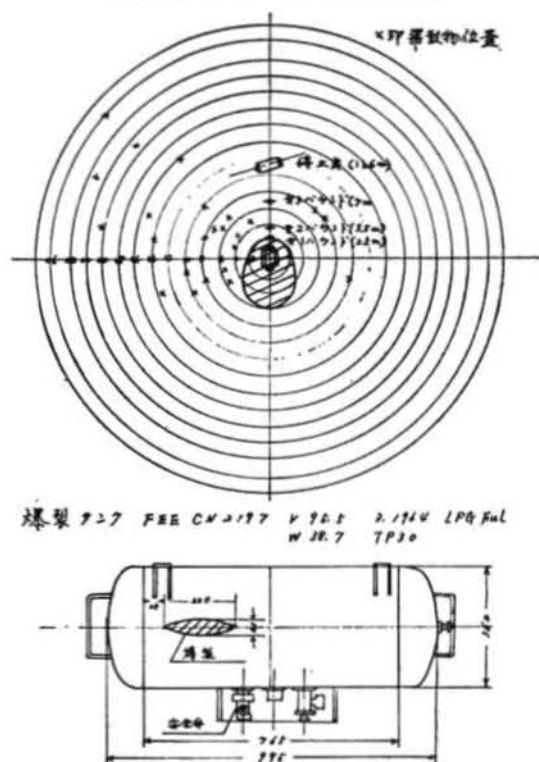


タンクの状況であるが、30秒で引火し1分50秒で表面温度は600℃に達した。この頃から猛烈な燃焼をはじめ、内部温度も10分で170℃に達した。しかし、このことからタンク内のガソリンは10分頃にはほとんど燃え切ったものと推定される。

第13図 ポンベの直接加熱



第14図 ポンベの爆発状況

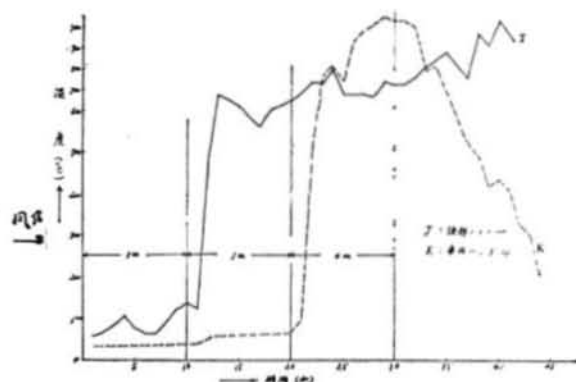


ポンベの状況は第13図のとおりであるが、5分21秒で安全弁が作動し、そのときの表面温度は上面で150℃、内圧は23.7kg/cm²であった。ポンベはその約2分30秒経過した7分30秒で爆発したが、このときの表面温度は650℃、内圧は25kg/cm²であった。爆発の状況は第14図のごとくポンベの吹き飛んだ距離は約11.6mに達しブロック台はその爆発力で破壊し20m四方に飛び散った。ポンベの破裂口は縦方向に22cmその巾は4.5cmであり、安全弁の口径は9mmであった。

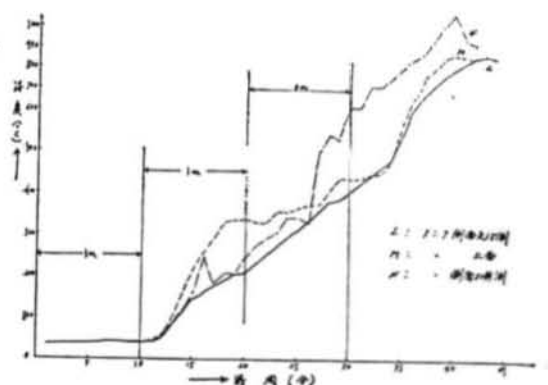
(4) 自動車の加熱実験

自動車の加熱状況は第15図および第16図のとおりである。図から明らかなごとく、最初の槽から5mの距離における10分間には特別な変化が認められなかった。しかし、1mにした頃からはバンパー部

第15図 自動車に対する外部からの加熱



第16図 燃料タンク温度



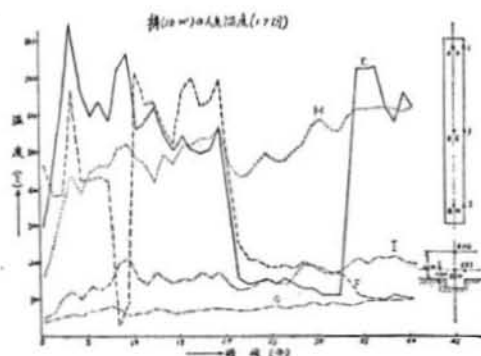
分の温度が急上昇し、13分で680℃に達した。この間11分35秒で右側の車輪が発火し、11分45秒にはトランク内タンクのガソリンに引火している。車内のハンドル部分も21分(0m)から急上昇し24分で

800℃、29分には最高の1050℃に達した。車内温度が800℃以上となっていた時間は約10分間である。この時間中バンパーの温度は下降しておりその差が最高300℃でほとんど200℃以上を示していたことおよび最高温度が槽の火炎温度以上であったことなどから推定して車内の可燃物が無視出来ない威力となることを示しているといえよう。

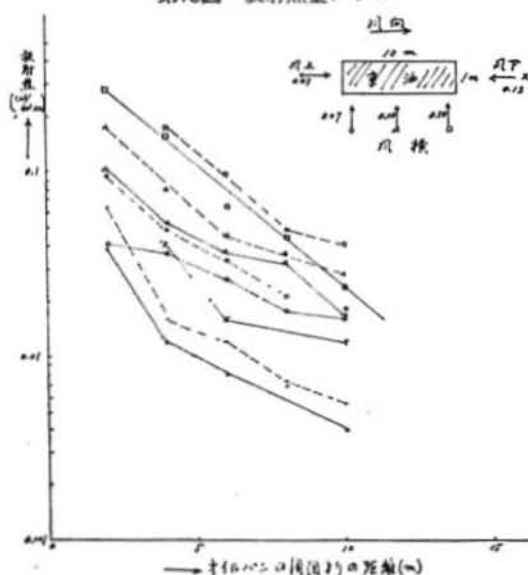
(5) 槽の火炎温度

槽の火炎温度は9ヶ所の測定を行ったが、最高温度は第17図のごとく中央部分の油面上30cmで13分30秒845℃、同じくふちで10分30秒に710℃を示した。全体としての傾向は風上側より風下側が高い値を示していた。

第17図 火炎温度(10m²)



第18図 放射熱量グラフ



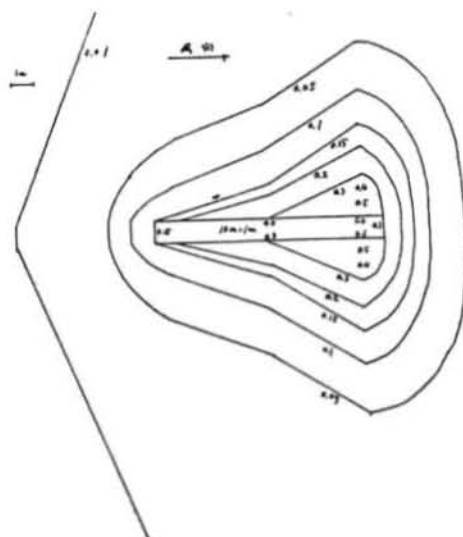
(6) 槽からの放射熱量

放射熱量は、油面上0mおよび1.5mのレベルで測定したがその結果は第21表のとおりである。な

お、予備実験2のごとくこのデーターから等放射熱量線図を作成して見ると第18および第19図のようになる。

以上の結果から明らかなごとく、槽のふちで、風上0.03、風横中央部で0.2、風下で0.13cal/cm²secであった。なお、タイヤおよび車体が1mの距離で受けた熱量は0.2および0.28cal/cm²であったと推定される。

第19図 等放射熱量線図



8. 第一次実験

1. 実験設備およびその配置

実験設備と配置については、特に風向が問題となるので、数日前から予備観測を行なって万全を期した。これらの状況は第20図のとおりである。

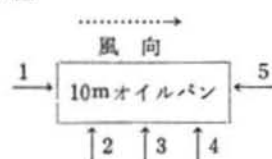
第21表 放射熱の状況

油面上の 高さ (m)	測定 位置*	オイルパン の周囲より の距離(m)	計器の読み (mV)	放射熱量 (cal cm ⁻² sec ⁻¹)
	1	10	0.5	0.0040
		8	0.9	0.0070
		6	1.0	0.0080
		4	1.5	0.0120
		2	4.9	0.0392
	2	10	2.0	0.0160
		8	2.2	0.0176

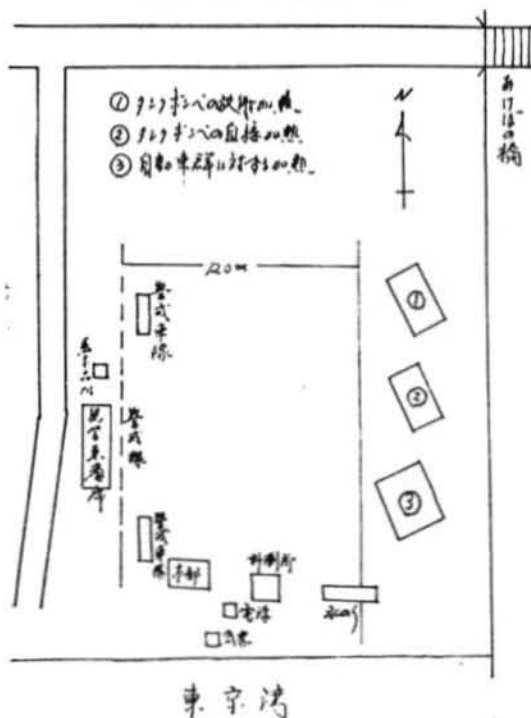
油面上 の高さ (m)	測 定 位 置*	オイルパン の周囲より の距離(m)	計器の読み (mV)	放射熱量 (cal cm ⁻² sec ⁻¹)
0		6	3.2	0.0256
		4	4.5	0.0360
		2	8.0	0.0400
	3	10	2.0	0.0160
		8	4.0	0.0320
		6	4.7	0.0376
		4	6.5	0.0520
		2	13.5	0.1080
	4	10	3.0	0.0240
		8	5.5	0.0440
		6	8.0	0.0640
		4	19.0	0.1520
		2	35.0	0.2800
	5	10	1.5	0.0120
		8	1.5	0.0120
		6	2.0	0.0160
		4	5.0	0.0400
		2	—	—
1.5	1	10	0.7	0.0056
		8	0.9	0.0072
		6	1.5	0.0120
		4	2.0	0.0160
		2	8.0	0.0640
	2	10	2.2	0.0176
		8	2.6	0.0208
		6	4.2	0.0336
		4	6.0	0.0480
		2	12.0	0.0960
	3	10	3.5	0.0280
		8	4.5	0.0360
		6	5.5	0.0275
		4	10.0	0.0800
		2	22.0	0.1760
		10	5.0	0.0400

油面上 の高さ (m)	測 定 位 置*	オイルパン の周囲より の距離(m)	計器の読み (mV)	放射熱量 (cal cm ⁻² sec ⁻¹)
	4	8	6.0	0.0480
		6	12.0	0.0960
		4	22.0	0.1760
		2	—	—
	5	10	1.5	0.0120
		8	2.0	0.0160
		6	2.5	0.0200
		4	5.5	0.0440
		2	—	—

* 測定位置



第20図 実験 配置 図

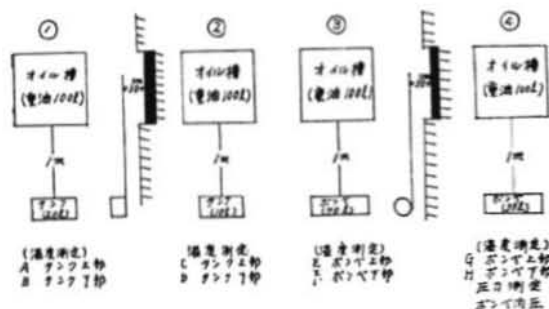


2. 実験方法

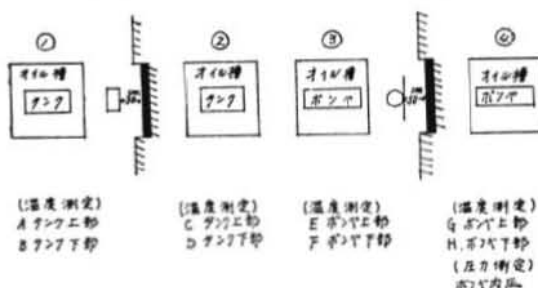
(1) タンクポンベの加熱実験

この実験は予備実験3に準じて行ったもので、その状況は第21図および第22図のとおりである。

第21図 タンクおよびポンベの放射加熱



第22図 タンクおよびポンベの直接加熱



今回は放射加熱および直接加熱ともタンクおよびポンベを2本宛使用したがこれは充填量を変えて実験するためである。

なお、ポンベに充填したLPGは自動車用のガスで予備実験2と同じくその組成は第3表のとおりである。

(2) 自動車群の火災実験(1)

実験の配置状況は第23図のとおりで、幅員5mの仮想道路上に合計5台の自動車を2列に、車両距離を約1mとして配置した。漏洩ガソリンは重油で代用して2号車の下に100ℓ、しかも1m²の範囲に流出するものとした。

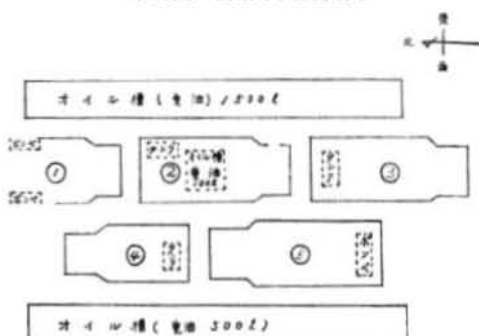
自動車用LPGポンベは、1号車の場合は横だしとし、5号車の場合はトランク内とした。

計測は自動車内部のハンドル部分とタンクおよびポンベの表面温度とし、5号車のポンベについては

内圧上昇を測定した。

実験に使用した自動車の種別等は第22表のとおりである。

第23図 自動車火災実験



第22表 自動車の種別

記号	車 種	燃 料	量
①	トラック (トヨエース64年型)	LPGガス (ポンベ二本)	10ℓ 30ℓ
②	乗用車 (トヨベッタコナ61年型)	ガソリン	10ℓ
③	ライトバン (トヨベッタマスタラーライン62年型)	ガソリン	10ℓ
④	小型乗用車 (ルノー61年型)	ガソリン	10ℓ
⑤	タクシー (トヨベッタクラウン63年型)	LPGガス (ポンベ一本)	30ℓ

(注) ポンベの容器種別は①がP-15 ⑤がP-40である。

(3) 自動車群の火災実験(2)

この実験は、実験(1)の終了後そのセットをそのままの状態で使用して行ったものである。実験方法としては、沿道の建物火災を、仮想道路の両側に設置した槽 (10×1m) の重油火災で代用し、重油の量は東側の槽へ1500ℓ 西側の槽へ500ℓ 用意した。なお、自動車と槽の距離は約50cmとした。

3. 実験結果および考察

(1) 気象状況

実験当日の気象状況は第23表のとおりである。

第23表 気 象 状 況 (快 晴)

気 象	時 間	気 温	湿 度	気 圧	風 向	風 速
	分	℃	%	mmHg	mb	m/sec
実験1 開始9.05	0	32.5	64	764.6	1019.5	NE 0.46
	5	32.0	62	764.6	"	" 1.76
	10	32.0	62	764.5	1019.2	N 1.03

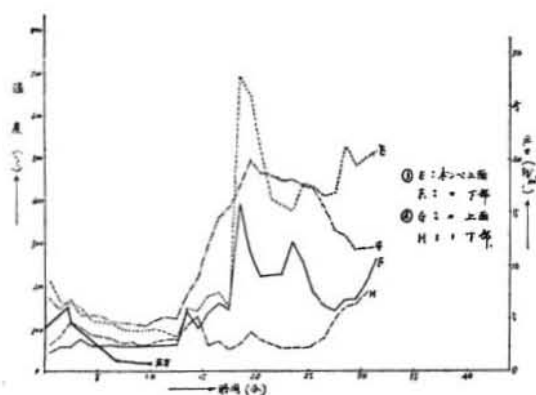
気 象 実 験	時 間	気 温	湿 度	気 圧		風 向	風 速
	分	℃	%	mmHg	mb		m/sec
終了9.35	15	31.0	66	"	"	NE	1.46
	20	31.0	66	"	"	"	1.13
	25	31.5	65	"	"	E	2.00
	30	31.5	65	"	"		
実験2 開始9.50 終了10.15	0	32.5	64	764.5	1019.2	ESE	0.41
	5	"	"	"	"	"	1.86
	10	32.0	"	764.4	1019.0	"	
実験3 開始11.23 終了11.48	0	34.0	62	764.2	1018.8	SSE	0.87
	5	"	60	"	"	S	2.74
	10	33.5	62	"	"	SSE	2.36
	15	32.0	64	"	"	SSW	2.93
	20	"	"	"	"	"	2.74
	25	33.0	"	"	"	SSE	2.79
	30	"	"	"	"	"	
実験4 開始11.23 終了11.48	0	33.0	64	763.8	1018.4	SSW	2.49
	5	"	"	"	"	"	2.88
	10	"	"	763.6	1018.2	"	3.21
	15	"	"	"	"	"	3.34
	20	"	"	"	"	"	3.34

(2) タンクおよびポンベの加熱

放射加熱の状況であるが、タンクは35秒で2号に引火、50秒で1号にも引火し猛烈な燃焼を開始した。しかし、その後特別な変化は認められず6分頃から火勢は次第におとろえていった。なお、表面温度は下部より上部が高く、1号の最高は上面で680℃(27分30秒)、2号は525℃(15分)であった。

ポンベの状況は1分45秒4号が液面計から激しく噴炎し、13分頃までその状況が続いた。3号は14分15秒に安全弁が作動し18分頃には火炎の高さが10m位にも達した。表面温度と内圧の状況は第24図のとおりで、3号の上面が点火後間もなく200℃まで上昇したが、その後は100℃位まで下降し12分頃から4号の下部をのぞき全般的に、急上昇した。そしてこの傾向はタンクの場合と同じく上面温度が下部温度より高くなっている。最高温度は3号の上面で690℃(18分30秒)に達したが4号では500℃(19分30秒)であった。その内圧は2分後6kg/cm²を示した

第24図 ポンベの放射加熱



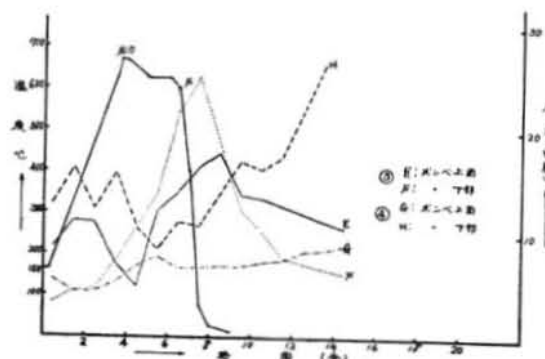
が、液面計の焼きによりその後は急速に下降して行った。

直接加熱の状況は、タンクの場合、50秒で1号が1分20秒で2号が引火し激しく燃焼する。最高温度

は2号の下部で800℃、(5分)上面温度は670℃(12分)に達し、1号では上面が780℃(15分)下部で700℃(14分)を示した。今回の場合6分頃でそれまで高かった下部温度と低かった上面温度が反転しているがその理由は明らかでない。

ポンペの状況は、3号が3分7秒、4号が4分2秒で噴炎し、5分頃にかけて爆発寸前の状況を呈して激しく燃焼し、4号の火炎は8分30秒には8mにも達した。表面温度と内圧の状況は第25図のとおり

第25図 ポンペの直接加熱

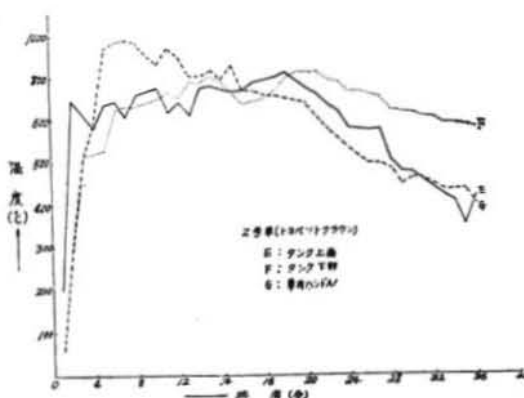


であるが、上面温度の最高は3号で440℃(8分30秒)、4号では190℃(5分30秒)、下部温度の最高は、3号では625℃(7分30秒)、4号では660℃(13分30秒)であった。4号の内圧は3分40秒で26.5kg/cm²に達したがそのときの上面温度は140℃にすぎなかった。なお充てん量の差による影響は特に認められなかった。

(3) 自動車群の火災実験(1)

状況観測によると点火後間もなく炎の高さは4～7mに達し、2号車は1分40秒でガソリンタンクに着火、その後全面的に燃焼を開始し7分頃には殆んど全焼したものと認められた。温度の状況は第26図

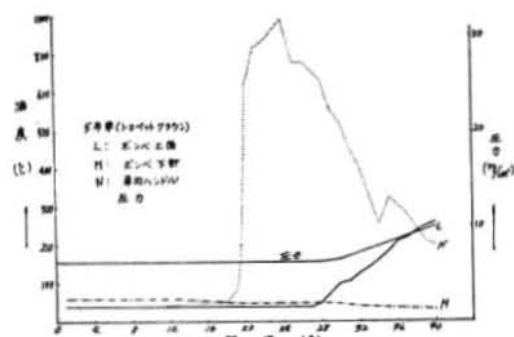
第26図 自動車群火災



のとおりであるが、その上昇は極めて急激であり、5分で車内ハンドル部分の温度は970℃に達した。その特徴としては予備実験に類似しており4分から18分の間車内温度は800℃でタンクの表面温度を越えその差が最高300℃に達していた点である。1号車は2分10秒前の部分が燃焼を始め西側の安全弁が作動した。しかし、その表面温度は90℃に止った。3号車は煙のため状況不明、4号車は8分頃後部タイヤが着火し14分頃から激しく燃焼した。タンク温度は29分上面温度が800℃を示した。

5号車は7分30秒前車輪が燃焼し、19分頃になると車内も激しく燃焼し始めた。温度と内圧の状況は第27図のとおりであるが、車内温度は18分頃から急上昇し20分で600℃、24分で最高の990℃を示した。しかし、ポンペの表面温度は28分頃までは50℃にすぎずその後次第に上昇したが、33分の消火当時で

第27図 自動車群火災



150℃程度であった。

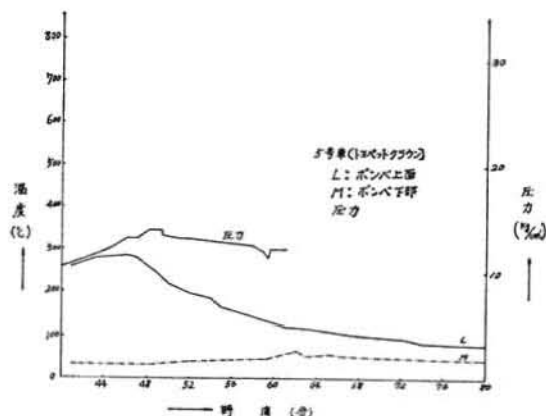
以上の結果、2号車から他の自動車へ延焼した時間をまとめて見ると1号車へ2分10秒で4号車へ8分、5号車へは7分30秒であったことがわかる。

(4) 自動車群の火災実験

この実験は、実験(1)を開始後33分の終了とともに消火し、約1時間後にそのまゝの状態を開始したものである。実験開始と同時に東側の槽へ点火し13分後西側の槽へも点火した。点火後30秒で炎の高さは15mにも達し、4分30秒、1号車の東側ポンペの安全弁が作動し、激しいサージングを起しながら猛烈な勢で燃焼する。6分30秒、西側ポンペの安全弁も作動し、9分頃には両方とも爆発寸前の状態となる。ポンペの表面温度は8分頃から急上昇し、9分で600℃、12分には東側の上面温度が640℃、下部温度が800℃を示した。2号車は実験(1)で全焼し特別の状況は認められなかった。3号車は55秒頃から激しく燃焼しタンク表面温度も2分頃から急上昇し、11分

上面温度は580℃に達した。4号車は温度の状況から見る限り実験(1)の終了後もなかなか下降せず、実験開始当時も150℃を示していた。しかし、すでに全焼したものと認められ、その後は加熱を受けながらも次第に下降して行った。5号車も実験(1)でそのほとんど全焼したものと認められ温度および内圧とも第28図のごとく特別な変化は認められなかった。

第28図 自動車群火災



9. 第二次実験

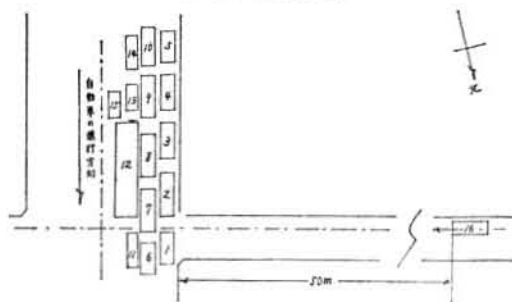
1. 概要

第一次実験で行った自動車群の火災実験は、車種および台数も限定されたもので積載物品等も考慮外とした極めて基礎的なものであった。今回企画した第二次実験は、自動車台数の増加に加え車種および積載物品等も多様化し現実に予想される自動車群を想定して実施したものである。

2. 実験設備および配置

実験場は、第一次実験に準じて配置したが、直接実

第29図 実験配置



験に関する設備の状況は第29図のとおりである。

図から明らかなごとく、片側3車線の仮想道路上に、合計15台の各種自動車を配置し、衝突用は、自動車群の先頭部分左側50mの位置に準備した。

実験に使用した自動車の種別および積載物品等の状況は第24表のとおりである。

第24表 自動車種別および積載物等の状況

号	車名	用途	全長・巾 (m)	タンクの 容量充て ん量(l)	積載物
1	トヨベッタ	乗用	4.3×1.6	47(30)l	
2	セドリック	" "	4.5×1.7	35(30)l	
3	トヨエース	トラック	4.3×1.7	36(30)l	木毛ヘヤス プレー
4	ダットサン	乗用	4.1×1.5	25(20)l	
5	トヨベッタ	" "	4.3×1.6	47(30)l	
6	ダットサン	トラック	4.1×1.5	21(21)l	木毛
7	" "	" "	" "	26(26)l	P ₁ P ₂ T ₁ t ₁ t ₂
8	トヨベッタ ライトバン	乗用トラック	4.3×1.7	32(30)l	木毛
9	トヨベッタ	乗用	4.3×1.6	47(15)l	
10	セドリック ライトバン	乗用トラック	4.6×1.6	51(35)l	木毛
11	トヨベッタ	乗用	4.3×1.6	39(30)l	
12	いすゞ	バス	8.2×2.4	89(60)l	
13	ダットサン	トラック	4.1×1.5	25(20)l	P ₃ T ₃ t ₃
14	トヨベッタ	乗用	4.3×1.6	40(30)l	

記号	種別	充てん量
*P ₁	ボンベ(50K)	LPG 20kg
*P ₂	" "	" 50kg
P ₃	" "	" 50kg
P ₁	ボンベ(10K)	" 3kg
*p ₂	" "	" 10kg
*P ₃	" "	" 3kg
P ₄	" "	" 10kg
T ₁	ドラム缶	灯油100l
T ₂	" "	" 200l
T ₃	" "	" 50l
t _n	石油缶	" 18l

- (註) 1. 木毛は総てダンボール入り(24箱)
 2. ヘヤスプレーはウォーターベース360ml/35本
 3. *P_nの記号は安全弁に石膏をつめたもの
 4. P₁の位置は第2槽上30cm 7号8号の間(横)

号	車 名	用 途	全長・巾 (m)	タンクの 容量充て ん量 (l)	積 載 物
15	トヨベツト	乗 用	4.3×1.6	47(25)l	
16	トヨベツト コロナ	＊	4.1×1.5		

5. P_2 の位置は第3槽上30cm 8号9号の間(横)
6. p_3 の位置は第1槽のふち7号12号の間(立)
7. p_4 の位置は第6槽上30cm 5号10号の間(立)
8. T_2 の位置は第5槽上30cm 4号9号の間(立)
9. t_3 の位置は第3槽上8号と12号の間(立)

3. 実験方法

(1) 避難実験

避難実験は、15台が配置されている自動車群の状態でいった。実験用自動車はその中の12号車(大型バス)で、乗車定員は、52名であるが実際に乗客として実験に参加した要員は48名である。

実験は2回実施することとし第1回は乗降口だけを使用し、第2回は乗降口と非常口の両方を使用する実験としこの場合避難口の選択は要員の判断にまかせた。計測はストップウォッチにより、実験開始から、全員が、自動車群の右側5mの位置に集合するまでの所要時間を計ることとした。

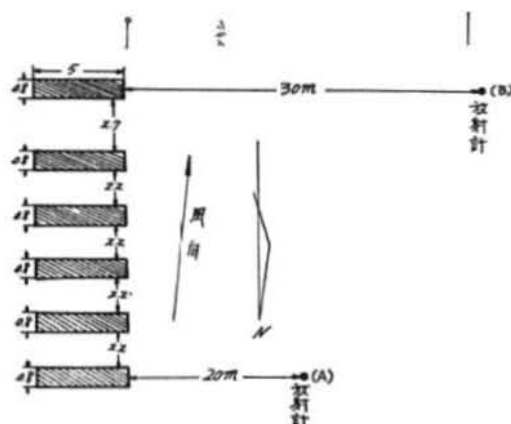
(2) 自動車群の火災実験

ア 漏洩灯油および燃料タンクの状況

イ 漏洩灯油

漏洩を想定した灯油は2,000lとし、第30図のごとく自動車群の下に掘った槽の中へ、表面積に比例した量を、あらかじめ注入しておいた。

第30図 燃焼槽および放射熱測定状況



イ 燃料タンク

各自動車のタンク内燃料はすべて灯油で代用し、実状に合わせるため平均30lを充填して実験することとした。以上の状況は第24表のとおりである。

イ 積載物品

イ LPGボンベ

積載物等として使用したLPGボンベは、一

般用のもので、50kg (P-50) 3本と10kg (P-10) 4本の計7本を使用し、充填したLPGは3号プロパンである。なお、このボンベのうち、50kg 2本と10kg 2本の安全弁は内部へ石膏を充てんし作動不能の状態で実験した。ボンベの積載位置その他の状況は第24表のとおりである。

イ) その他の積載物

その他の積載物としては、ドラム石油缶、ヘアースプレーおよび木毛を使用した。ドラムは3本で灯油を充てんし、石油缶は5本で完全に密封されたものを使用した。ヘアースプレーは35本でウォーターベースの殺虫剤であり、木毛は合計74kgを24ヶのダンボールにつめたものを使用した。

以上の状況は第24表のとおりである。

ウ 衝突および点火方法

衝突用自動車のけん引方法はロープを使用し、自動車群をへだてた反対側で自動車によりけん引する方法とした。漏洩灯油への着火方法は、点火用ガソリン5lを缶に入れて準備し、衝突の直前槽の中へ散布し、衝突による衝撃火花によって引火させる方法を試みることとしたが、引火しない場合の対策として電気発火装置を準備した。

エ 計測および方法

イ) 温度および圧力の測定

温度および内圧の測定は、第31図のごとく合計16ヶ所に熱電対をセットしてその温度を、ボンベの内圧は p_4 (16)に動的歪計(ヘッド35kg/cm²)をセットしてその圧力上昇を測定した。

イ) 放射熱量の測定

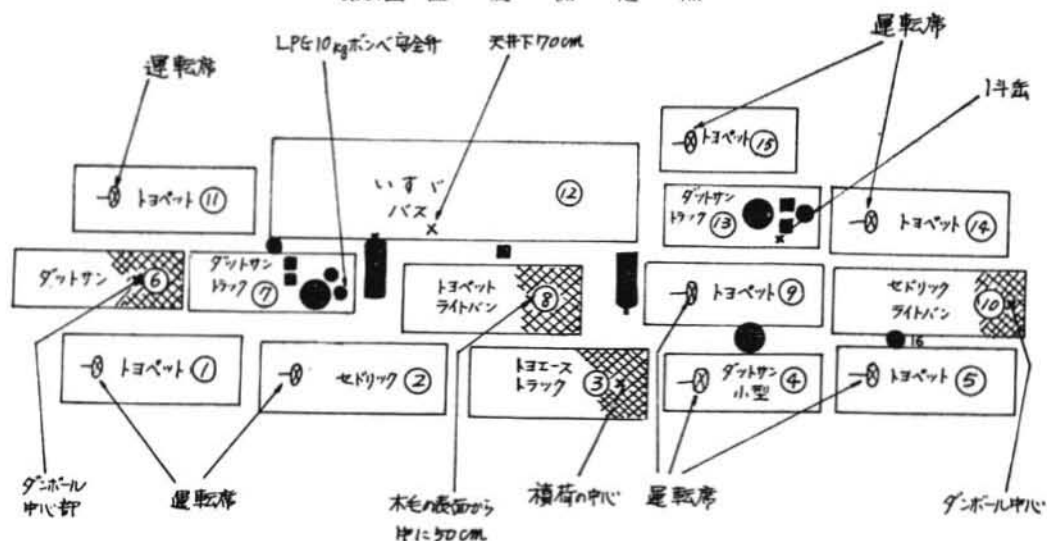
自動車群からの放射熱量は第30図のごとく、その右側2ヶ所の風上側20mおよび風下側30mの位置に輻射計を固定して測定した。

4. 実験結果

(1) 気象状況

実験当日の気象状況は第25表のとおりであった。

第31图 温度测定点



第25表 氣 象 状 況

時 刻	氣 溫	濕 度	氣 壓	風 向	風 速	雲 量	備 考
時 分	℃	%	mmHg		m/sec		
9.40	11.0	60	774.4	NNE	1.92	10	避難實驗1
45	"	"	"	"	1.97	"	
50	12.0	50	774.2	NE	1.90	"	避難實驗2
55	"	"	774.0	NNE	2.67	"	
10.00	"	"	"	NE	2.72	"	
5	"	44	"	NE	3.08	"	自動車群實驗
10	11.0	"	"	NNE	3.20	"	
15	12.5	"	773.6	N	2.83	"	
20	"	"	"	NE	2.90	"	
25	12.0	"	773.8	NNE	3.27	"	
30	"	"	"	NE	3.00	"	
35	"	"	"	"		"	

(2) 避難実験

避難に要した時間は、第1回が54秒であり、第2回が20秒であった。なお、第2回の時乗降口を使用した者が20名であり、非常口を使用した者が28名であった。

第2回の所要時間が、第1回の $\frac{1}{2}$ 以下であったことは、自動車の配置状況から見て乗降口を使用する場合は自動車群の中を通過しなければならないのでその障害によって、時間が非常にかゝったためと

推定される。さらに、定員52名に対し48名という乗客の状態では特に混雑しているとは考えられず、実際の場合にはこの他にも考人とか子供などが当然乗車しているとも考えられ、危機場面という心理上の問題も無視出来ないで、この程度の時間ではどうてい避難することは不可能な場合もあり、相当な混乱を来すであろう。

(3) 自動車群の火災実験

ア 概 要

実験は、11.05分に開始した。11秒後、衝突用自動車、自動車群に衝突し、その時の最終速度は、約30km/hであった。しかし、衝突と同時に出火しなかったため衝突から5秒後、電気着火装置によって点火した。

全部の槽へ延焼したのは、約3分である。

各部の温度であるが、出火点に近い所では、2分頃から急速に上昇し始め、13号車に積載した石油缶の表面温度は6分で1,200℃に達しスケールオーバー（測定限界1,200℃）した。

LPGボンベは、1分15秒、 p_3 (10kg)の安全弁が作動し、3分13秒には、弁が吹き飛んでいる。3分32秒になると P_1 (50kg)が、猛烈な噴炎と共に最初に爆発した。

バスの状況は、1分15秒、運転台付近に着火し、2分25秒には、全体に火が廻り、6分には、車内の最高温度が970℃に達した。

放射熱量も4分頃、30m（風下側）の位置では0.0725cal/cm²sec (2,510Kcal/m²h)に達し、20m（風上側）の位置では最高の0.048cal/cm²sec (1728Kcal/m²h)を示しスケールオーバーした。

以上の結果などから見て、全体の自動車が、燃焼を開始した時刻は、点火後数分程度ではないかと推定された。

イ 延焼状況

自動車群火災の状況観測結果は、第26表のとおりであるがその結果を整理して見ると次の様にな

第26表 状況観測結果

分 秒	状 況
0. 0	実験開始 (11.05) 衝突用車輻けん引開始
11	衝突
16	発火
24	2号車前部に着火、後部に煙が流れる
43	第1槽全面に着火
1. 3	第2槽に着火
15	12号車運転台に着火
40	7号車全面に着火 p_3 噴炎激し、12号 $1/2$ 車火炎
50	12号車窓硝子破損落下激し
2. 10	第3槽全面に着火
25	12号全体に火が廻る7号車上 t_1 , t_2 炎上
50	T_1 噴出し始める
3. 13	p_3 の安全弁吹き飛ぶ

分 秒	状 況
32	P_1 爆発、7号車後部側板が上空30m南々西54m飛行
50	2, 3, 4, 6, 7, 8, 11, 12号車炎上盛ん
4. 10	3号車へアースブレー爆発盛ん
24	15号車に着火
4. 35	12号車炎上最盛期
5. 5	p_1 爆発 p_2 激しく噴炎安全弁飛び散る
25	P_2 噴炎を始める
50	P_2 爆発13号車上の T_2 噴炎
6. 50	15号車全面火災
7. 42	バス後車輪右側爆発
8. 5	13号車上 t_1 , t_2 爆発 P_3 噴炎盛ん(上方30m位)
10	p_4 音を立てて噴炎
9. 25	T_1 激しく炎上す
55	p_4 安全弁連続的に作動
10. 30	7号車上積載物激しく炎上
11. 00	東方150m位で顔面暖い程度の放射熱を受ける
13. 20	P_3 , p_4 安全弁からの噴炎止む
15. 00	南方50m位で顔面やける程の放射熱を受ける
40	12号車焼損崩壊15号車炎上最盛期
16. 30	T_1 , T_2 激しく炎上
17. 40	6号車前部運転台まで燃焼中
19. 00	ほぼ定常燃焼、異状爆発等止む

る。

(7) 槽への延焼状況

第1槽は、43秒で全面が燃焼し、第2槽は、1分3秒、第3槽は、2分10秒となっている。第4槽以下は、猛烈な火炎と煙にまたげられ、観測困難となったが、写真等から見て、全体に延焼したのは、3分頃ではないかと推定された。

(8) 自動車への延焼

2号車の前部に着火したのが、24秒。12号車の運転台が、1分15秒。7号車が約2分と推定される。その後3分50秒には、ほとんどの車が盛んに燃焼する状況が観測された。このことから数分程度で、風上に位置した自動車の前部を残し殆ど自動車が完全に燃焼を始めたものと推定された。

(ウ) 積載物等の状況

1分15秒 p_3 の安全弁が作動, 2分50秒 T_1 より噴炎, 3分15秒 p_3 の安全弁が吹き飛ぶ, 3分32秒には P_1 が爆発しその勢で7号車(トラック)の後部側板が上空約30m飛び上がる。4分10秒になるとヘヤースプレーが爆発を始め, 5分5秒で p_1 も爆発し, 5分25秒には P_3 も噴炎し, 5分50秒に P_2 が爆発している。

ウ 計測

(イ) 温度の状況

1号車は11分30秒で 100°C を示し, その後急速に上昇し12分で 620°C , 16分30秒で 770°C の最高温度に達した。

2号車は4分30秒で 730°C となったが, その後はたいした変化がなく16分30秒に 860°C となったのちは, 下降して行った。

3号車の積荷温度は4分で 420°C , 9分30秒には 670°C の最高温度に達したが16分には 200°C とその後次第に下降して行った。

4号車は, 5分頃から上昇を開始し8分30秒で 1050°C に達したが, 10分30秒に 670°C まで下降し, その後再び上昇し, 16分に 1020°C を示した。

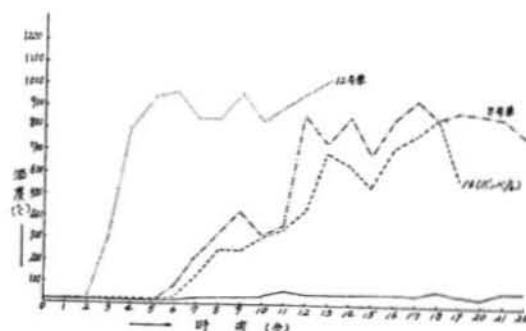
5号車は, 7分30秒から急上昇し, 12分に $1,000^{\circ}\text{C}$ を示した。

6号車のダンボール中心温度は, 6分頃から次第に上昇し, 17分には 580°C となった。

7号車の積載ボンベ p_1 の安全弁温度は, 爆発等のため計測不能となった。

8号車の, 木毛中心温度は第32図のごとく6分頃から上昇し始め, 19分に 890°C となった。

第32図 自動車火災温度曲線



9号車は, 5分後 300°C になったがその後急速に下降して行った。

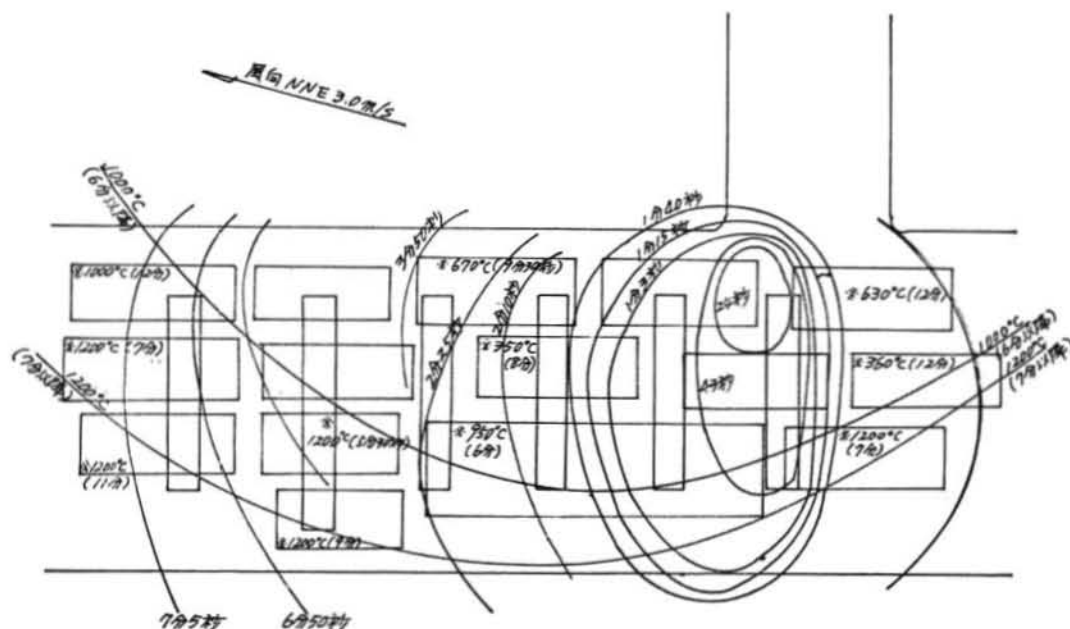
10号車のダンボール中心部は, 6分頃から急上昇し7分には $1,200^{\circ}\text{C}$ を越えた。

11号車は7分で $1,200^{\circ}\text{C}$ を越えたが15分には 600°C まで下降し, その後再び上昇し16分30秒で $1,200^{\circ}\text{C}$ を越えた。

12号車は第32図のごとく2分頃から上昇し, 6分には 960°C に達しその後若干下降したが再び上昇し13分30秒には 1050°C に達した。

13号車の石油缶表面は, 3分30秒から急上昇

第33図 燃焼状況線図



し6分には1200℃を越えた。

14号車は、9分30秒から急上昇し11分には1200℃を越えた。

15号車は、4分頃から上昇し始め、9分で1200℃に達しそのままの状況で推移した。

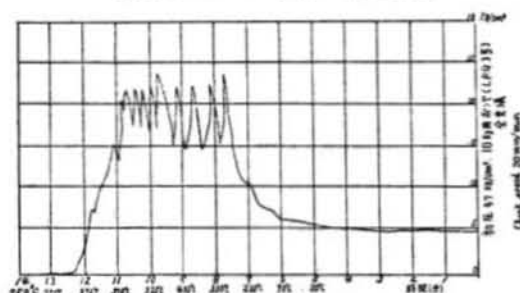
状況観測および温度の状況から延焼状況図を作成したがその状況は第33図のとおりである。

(イ) LPGボンベ(p₄)の状況

p₄の内圧は、4分頃から上昇を開始し、7分30秒(320℃)で最高の24kg/cm²に達した。この時点で安全弁が作動し、10分30秒22kg/cm²(340℃)にまで5~6kg/cm²の振巾ではげしいサージングをおこしたのも急速に下降し、12分で殆んど0になった。なお最高表面温度は17分で950℃に達したが内圧10kg/cm²以上の間における表面温度の最高は430℃(9分)であった。

以上の状況は第32および34図のとおりである。

第34図 ボンベ(P₄)の内圧状況



ウ 放射熱等の状況

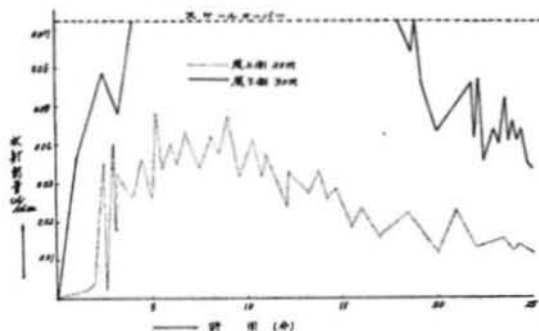
A点(風上側20m)の状況は、2分30秒には0.035cal/cm²secに達し、変動を続けながらも上昇に向かい5分頃には0.048cal/cm²secの最高に達し9分頃からは次第に下降して行なった。

B点(風下側30m)は、2分20秒には0.057cal/cm²secとなり3分すぎ、いったん0.048cal/cm²secまで下ったが4分には再び0.072cal/cm²secに達しスケールオーバーの状況となり、19分後まで続いた。20分に一時0.044cal/cm²secまで下降したが、23分には再び0.0575cal/cm²secに達した。

以上の状況は第35図のとおりである。

人間の放射熱量に対する安全限界は0.057cal/cm²secといわれているので、この程度の火災規模では、風上側20mまでは安全であるが、風下側30mの位置では、2分以後23分頃までは危険であると認められる。

第35図 放射熱グラフ



エ 積載危険物品

ア LPGボンベの爆発状況

実験に使用したボンベは計7本でありこのうち4本(50kg, 10kgとも2本)の安全弁は、内部に石膏をつめて加熱した。

爆発したボンベは3本であるが、2本(50kg)は安全弁に石膏をつめたものであり他の1本(10kg)は、安全弁(口径9mm)に工作したボンベではなかった。爆発した50kgボンベは2本とも板状になっており、10kgボンベはかたの部分で上下に完全に分断しており、その威力のものがすごさを示していた。しかし、特別遠方へ飛散したものはなく、p₁の上部が約3m、P₁は底の部分を残して12号(バス)の下へ飛び込んでいた程度であった。なお、ボンベではないが多分P₁の爆発によるものと考えられる7号車(ダットサントラック)の後部側板が上空30mまで飛び上がり南々西54mの位置まで吹き飛んだのは注目に値する現象といえよう。その他のボンベも爆発こそしなかったが、安全弁に石膏を充てんしたものは、安全弁自体がボンベ本体から離脱したものとか、安全弁が完全に溶解してしまっているものなどいづれも、加熱状況のきびしさを示していた。

(イ) その他の危険物品

ドラム、石油缶はその総てが上部を開閉しているが、特別激しい爆発を起した状況は認められず、実験終了後の調査でも異動した様な形跡は認められなかった。ドラムは使用したものが相当古く強度的にも問題があったために飛散しなかったとも推定される。しかし、260mも飛散した実験例があるので充分な警戒が必要であろう。

ヘヤースプレーも小型ながら、50~80m位は飛散した事例もあり、爆発によって鋭利な形状となる場合も多いのであなどり難い危険性を持

っているといえよう。

10. 実験結果および考察からの推論

1. 自動車の可燃物

一般に、自動車の可燃物と認められる物質の発火温度は、600℃程度であり、その総てに燃焼の継続性があることも、明らかになった。しかし、火災等の場合、問題となるのは、自動車全体に占める可燃物の量であろう。

自動車の主要材料は一般的に、重量比で金属材料が約80%、非金属材料が約20%であるといわれる。このことは、小型乗用車（国産）および大型乗用車（外国製四ドアセダン）の主要材料比から見ても妥当する値である。

しかし、現実には使用されている自動車は、燃料をはじめ、予備タイヤその他の可燃物も積載しているの、総重量の30%程度は可燃物であると推定されよう。

しかも、自動車は、その軽量化、加工性および量産上等の要請から、最近には特にプラスチックの使用が増加しており、既にボデー等に使用した試作車もある程度で、プラスチックの中には不燃性のものもあるが全体としては今後とも可燃性材料が増加する傾向にあるといえよう。

2. 放射熱量

(1) 火災の安定度

燃焼面1㎡、4㎡および10㎡の放射熱量と比較して見ると4㎡の場合が他に比較して最大になっていることがわかる。その理由であるが、燃焼する火災に注目して見ると、燃焼面積の形と火災の形に一定の関係があり、火災の形がほぼ安定した一つの山形を形成する条件は、燃焼面の縦と横の比が、大体1対3で、限界となっており、それ以上になると火災の形は非常な乱れを生じ、その上辺がのこぎり状に切れてくる傾向が認められた。現在のところ実験回数も少く今後の研究課題であるが火災の安定した状態はまたその充実している状態とも考えられるので4㎡の放射熱量が最大となったのはこの辺の事情によるのではないかと推定される。

このことはまた予備実験2.において実験した、火災からの受熱量計算結果とも付合するところがある。

(2) 火災の厚さによる影響

ガス体からの放射エネルギーは、その種類だけでなく、分圧、ガス塊の有効厚さ、ガスの温度等に関係するといわれる。この「ガス塊の有効厚さ」という点に注目して4㎡と10㎡の両方について検討して

見たが、その効果は表われなかった。すなわち4㎡の場合は、4㎡の面における有効厚さが1㎡であり、1㎡の面における有効厚さは4㎡であるから、上記の理由によると1㎡の面における放射熱量が4㎡の面におけるそれより大きくななければならないが、測定結果は4㎡の面における放射熱量が最大となっており、10㎡の場合も同様な結果であった。

(3) 安全限界受熱量

杉板に対する安全限界受熱量は、藤田博士の研究によると、有炎火粉の飛来接触を予期する場合、1棟火災(8分)で、新および中古板が7000Kcal/m²h (0.194cal/cm²sec)、大古板(30年ばくろ)が4000Kcal/m²h (0.111cal/cm²sec)であり、大火災(22分)では、新および中古板が4000Kcal/m²h (0.111cal/cm²sec)大古板が2500Kcal/m²h (0.069cal/cm²sec)であるといわれる。

また、人間のそれは、浜田、碓井両博士の研究によると、火災に直面した場合、3440Kcal/m²h (0.096cal/cm²sec)で2秒から6秒であるが、何らかの方法で身をまもる工夫をすれば耐熱時間は長くなるので、その値は2500Kcal/m²h (0.057cal/cm²sec)であるといわれる。

以上のデーターを基準として、実験結果の放射熱量から各燃焼規模に対する安全距離を求めると第27表のごとくなる。

第27表 放射熱量に対する安全距離

	限界受熱量 (cal/cm ² sec)	1㎡	4㎡	10㎡
人 間	0.057	3.9m	7.3m	7.2m
杉 板	0.069	3.4m	6.8m	6.5m

一般に放射熱量(Q)と距離(t)の関係は $Q=kr^4$ で表わされるので、この式を用いて計算し、測定値と比較して定めた。なお、各面からの放射熱量は、風向等によって異なるが、安全性を考慮してその最大値をとって計算した。

さらに、第二次実験の際の火面に対する安全性であるが、第35図から明らかごとく風上側20mの位置では安全であるが、風下側30mの位置では、点火から2分までと、22分以降でなければ危険である。

大たんな試算であるが、風上側と風下側における安全距離を推定してみると、風上側20mの最高放射熱量は、約0.043cal/cm²sec(5～9分)で、距離0mの値を各実験結果から推定して、15.0cal/cm²secと仮定すれば、

$Q=kr^4$ にこれらの値を代入することにより、この

火災の風上側における一般式は、

$Q=15 \times 0.746^4$ となる。この式に $0.069 \text{ cal/cm}^2 \text{ sec}$ (杉板)(Q)および $0.057 \text{ cal/cm}^2 \text{ sec}$ (人間)(Q)を代入して安全距離(t)を求めると、杉板で18.4m 人間の場合で19.0mとなる。

次に風下側30mでは最高放射熱量が不明であるが、風上側20mの値および各実験結果から推定してその値を $0.3 \text{ cal/cm}^2 \text{ sec}$ と仮定し、0mの値は風上側の場合と同様として計算すると風下側における一般式として $Q=15 \times 0.878^4$ が成立するので同様にして計算して見ると杉板で41.3m人間の場合が42.8mとなる。

勿論以上のデータには問題も多分にあると思われるが、一応の放射熱量と安全距離に関する目安になるものと推定されよう。

3. 自動車用燃料タンク

燃料タンクは容器の種類だけでも30ℓ程度から300ℓ程度まであり、さらに補助タンクを持っている自動車はタンク1基の容器が250ℓで合計500ℓにおよぶものもある。しかも容器自体は特別な強度を持っているとは考えられないのでトラック等に見られる露出型のものは衝突等の場合相当な危険があると考えられる。さらに給油口の構造および付属ゴムパイプ等も火災に際しては大きな弱点となる恐れがある。実験からも早いものは放射加熱(1m)で点火後50秒、直接加熱では30秒程度で引火している。

しかし、これらの弱点は爆発危険という点からは特別な事情がない限りボンベ等に比較すればむしろ安全性が高いともいえよう。実験においても燃料タンクに強い爆発現象は認められなかった。

次にタンク自体の問題ではないが、内部のガソリン等はその性質上相当な危険を持っていることである。参考までにその液体としての量と混合ガス体としての量的な関係を試算して見るとガソリンの50%溜分は $93^\circ\text{C} \sim 98^\circ\text{C}$ であるからヘプタン (C_7H_{16}) をとり比重を0.7、燃焼範囲を中間値の4%として試算すると1ℓのガソリン(液体)は実に3920ℓの可燃性混合ガスとなる。しかも空気に対するガス比重は3倍から4倍であるから低所を流動する性質があり自動車自体が着火源を多分に持っていると考えられるので、これらの危険性については充分留意する必要がある。

4. LPGボンベ

(1) 自動車LPG用ボンベ

自動車に使用されているボンベを一般用と比較すると液の充てん弁、取出し弁および液面計などのあることが変わった点であろう。そして液面計のうち覗き窓式および直視式にはその材料にポリカーボネ

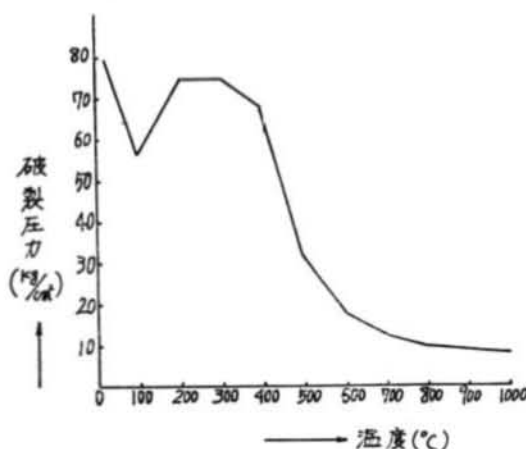
トなどの合成樹脂を使用(直視式のものには殆んど)したのがありこれが火災等の際には問題となる恐れがある。勿論、直視式のものには両側に閉塞弁があり覗き窓式のものには鉄製のキャップが取り付けられているので充てん者がこの量を確認したのち、これらのバルブ等を完全にしておけば安全と認められるがこれを忘れた場合は極めて危険である。予備実験2で覗き窓式液面計のキャップをはずして実験した際、そのボンベは点火後5分30秒で液面計が焼きし猛烈な火災を噴出しながらロケット状になって約20mも吹き飛んでおり、この事例などからもその危険性が認められよう。

(2) ボンベの爆発原因

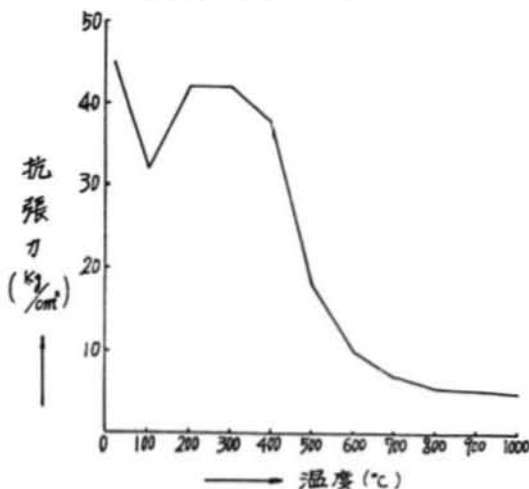
ア 加熱による材料強度の劣下

LPGボンベは溶接ボンベでありその材料は炭素鋼又は低合金鋼とされている。常温におけるその破壊圧力は 80 kg/cm^2 以上であるといわれるが火

第36図 容器温度に対する破裂予想圧力



第37図 容器材料の強度変化



災現場等の場合ボンベ自体が加熱されるとそのかわき面（ドライサ－ヘイス）の温度が上昇しこのためその時圧力は急激に下降し安全弁の作動圧力（20～24kg/cm²）以下で爆発してしまう可能性も考えられる。この関係を実験で使ったボンベについて計算して見ると第36図のごとくなる。なお破壊予想圧力は下記のごとく円筒肉厚計算式で求め、ボンベ強度の温度特性（第37図）は、その材料を同等と推定して「昭和42年度、可燃性ガス野外実験報告」（資源技術試験所）より引用した。

$$P = \sigma t / r \text{ (円筒肉厚計算式)}$$

$$P: \text{破壊予想圧力 (kg/cm}^2\text{)}$$

$$\sigma: \text{抗張力 } 45 \text{ kg/cm}^2 \text{ (常温)}$$

$$t: \text{ボンベの肉厚 } 0.32 \text{ cm}$$

$$r: \text{ボンベの内径 } 18.00 \text{ cm}$$

この図から明らかなごとく、予想破壊圧力は500℃で32kg/cm²、600℃で18kg/cm²、800℃では実に10kg/cm²という値になっている。普通の木造火災でも、最高温度は1300℃程度に上昇するので多分にその危険性があるといえよう。

イ 受熱量による問題点

ボンベが加熱されれば当然その内圧も上昇す

る。この上昇圧力を適当に解放して爆発を予防するのが安全弁の使命である。しかしボンベの受熱量が安全弁の設計で予想した値を越えてしまうような場合には内圧の上昇をその安全弁では解放しきれなくなるので爆発という事態に移行する恐れが出てくる。

一般にボンベの受熱量計算にはAPIの実験式が使用されるがこの実験式は火災実験から求めたものでボンベの周辺温度が800℃位のときに相当するといわれている。しかし、最近になって火災現場等のボンベがこの式から求めた受熱量以上を受けて爆発するという事例が多くなったのでその対策として安全弁の口径を従来の6mmから7.5mmへさらに現在では9mmへと太くして来た。しかしなお予備実験3および第二次実験でも明らかなごとく9mmの安全弁をつけたボンベが爆発しており予備実験の際の状況は内圧が23.5kg/cm²で安全弁が作動し2分30秒後内圧はさらに1.3kg/cm²に上昇し24.8kg/cm²で爆発していることからこのような傾向を示した事例の一つといえよう。次に今回実験したボンベの中で内圧を測定したものの受熱量を計算して見ると第28表のごとくなる。

第28表 L P G ボンベの受熱量

実験種別	ボンベ上面温度℃	内部圧力kg/cm ²	上昇温度℃	L P ガス容量l	L P ガス重量kg	時間sec	ぬれ面cm ²	総受熱量cal/sec	受熱量cal/cm ² sec
放射加熱(予備)	85	26.3	97	70	40.1	850	8104.40	2705.3866	0.33381
直接加熱(予備)	800	24.7	90	60	34.38	320	7304.89	5716.3626	0.78253
放射加熱(本)※	200	6.0	25	30	17.19	120	5020.58	2117.2266	0.421
直接加熱(本)	440	26.8	100	30	17.19	225	5020.58	4516.7680	0.89965

1. 総受熱量(cal/sec) = 重量(g) × 上昇温度(℃) × 比熱/時間(sec)
2. 受熱量(cal/cm²sec) = 総受熱量/ぬれ面(cm²)
3. 比熱 = 0.5912
4. 容量 → 重量の換算は比重0.573として計算(n-ブタン0.584, i-ブタン0.563を容積比により算出)
5. 液温は内部圧力より推定
6. 上昇温度は安全弁吹出し直前の液温
7. 実験開始前の液温は30℃とした
8. ※印は安全弁作動せず、上昇圧力が一定となったときの数値

その受熱量はすべてAPIのそれを下まわっていたがその単位受熱量は直接加熱の場合が放射加熱の場合の約2倍となっておりこれらの点は参考となろう。このデータをさらに検討して見ると、予備実験2で求めた火災(1m²)からの熱量(第15表)は油面上30cmの中心部で3.4375cal/cm²secであり、この値は容器の効率(32%)から逆算した火災そのものの値であるから、蒸発測定容器が実

際に受けた熱量は1.106cal/cm²secとなり表中予備実験の0.78253および本実験の0.89965cal/cm²secに比較してもそれ程の差は認められない。

さらにボンベの効率を20%程度としてその受熱量から火災の熱量を求めて見ると予備実験の場合が3.9126cal/cm²sec、本実験の場合が4.498cal/cm²secとなる。

一方、4m²の場合、最大火災熱量(第16表)は

12.896cal/cm²secとなっており、この値は実に1m²の場合の約3.7倍である。今この火災でボンベが加熱された場合の受熱量を同じように効率20%として求めて見ると2.579cal/cm²secという値にないKcal/m²hiに換算すると92,880という値になりAPIから予想される50,000程度の熱量を大きく上まわっている。勿論これらの計算値には相当大たんなる仮定を含んでいるので、このまゝに受取ることは問題であるが、相当大きな受熱もあるという推定は可能であろう。

以上の様な理由から前にもその対策として言及したごとく安全弁の口径をさらに大きくする方法も考えられるが、ガスの噴出量を多量にすることは反面二次的な災害の問題もあり新たな危険性を生ずるおそれがあり単純にそのような考え方をとることも出来ない実情にあるといえよう。

ウ 熱衝撃等の問題

加熱を受けているボンベについては、以上のべてきた外にも、温度の急激な繰返し変化を受ける場合の熱疲労、および温度の急激変化や熱膨脹係数の異方性に基づく熱応力に対して、ぜい性材料ではその吸収する熱ひずみが小さいことから、しばしば1回もしくは数回の熱応力の繰返しによって破壊するといわれる熱衝撃の問題などもある。

さらにはLPGの性質から多量に漏洩する様な場合には低温ぜい性破壊という現象なども問題となる可能性がある。

一口にボンベの爆発現象といってもその原因は種々ありかつこれらの原因が重なり合って作用する場合が多いと考えられるので、その対策は極めて困難といえよう。このように、現在のところ爆発するという可能性からのがれることは出来ない状況にあるのでこのことを深く認識して、常に周知警戒をおこなうことが重要であろう。

エ 燃焼範囲

LPGもガソリンなどと同様に液体の状態で燃焼する訳ではない。液体の状態から気体の状態となり、さらに空気と適当に混合し可燃性の混合ガス体となって燃焼するので、その量的な関係は計

第29表 LPGの液1ℓに対する混合ガス量

	分子式	分子量	比重	燃焼範囲(%)	液1ℓに液1ℓに対する混合ガス(I)ガス(I)	液1ℓに液1ℓに対する混合ガス(I)ガス(I)
プロパン	C ₃ H ₈	44	0.5	2.2~9.5	235.36	4.256
ブタン	C ₄ H ₁₀	58	0.6	1.9~8.5	230.72	4.614

(注) 燃焼範囲は中間値をとって計算した。

算によると第29表のごとくなる。

以上のごとく、LPGの液1ℓは約5,000ℓにもなっていて燃焼する性質がある。

5. 自動車群の燃焼

群として集合している自動車の一台が火災となった場合、周囲の自動車に対する燃焼の可能性については、その弱点であると認められるタイヤへの着火を基準として考察して見ると次のように推定される。

第一次実験結果によると、燃焼面1m²上の自動車は点火後約7分で車内温度が970℃に達しており、状況観測の結果からも全焼の状態にあったことが認められた。この7分間で燃焼する重油の量を計算して見ると、その燃焼速度を4mm/minとした場合、1m²の面積では28ℓとなる。定常燃焼となる時間を加味してもその量は30ℓ程度と見ればよいと思われる。次にタイヤは予備実験2から1m²の火災で加熱された場合風上1mの距離においては点火後1分25秒で着火している。このときタイヤが受けた熱量は1m²の放射熱量測定結果から約0.8cal/cm²secであり、これから1cm²当りの総熱量は68calとなる。この値は杉板の安全限界熱量0.069cal/cm²secと比較して見ると、その100秒間に相当するが、時間的に長くなっているため放熱量をおぎなう意味から20秒程度プラスしても2分程度の差である。

以上のことから自動車はその直下から1m²程度の燃焼面で加熱されれば重油にして30ℓ/時間にして7分程度で全焼し周囲の自動車に対しても1m程度の距離であれば2分程度でそのタイヤへも燃焼する可能性があり、その熱量は杉板の安全限界熱量0.069cal/cm²secとほぼ等しい値と見てもさしつかえないものと推定されよう。

さらに4m²と10m²の場合についてその安全限界距離を同様にして求めて見ると4m面の中央値をとった場合は6m、同じく10m面の中央値をとった場合は4.7m程度となる。

なお、第二次実験のように特別な火災では杉板の安全限界受熱量について試算したその値から風上側で18.4m、風下側では41.3mである。

しかし、放射熱量もつまるどころ被加熱体の放熱量によりその効果は大きく左右されるということである。特に自動車などの場合はその構造上から見て放熱量は相当大であると推定されるので、小規模火災による加熱位では、実際の場合着火したとしても独立燃焼に移行することは、極めてまれではないかと考えられる。

自動車の燃焼については大体以上のごとく推定されるがこれは積載可燃物のない場合であるから参考とす

る際にはこの点を考慮する必要がある。

6. 火災規模

第二次実験は、見方によっては極めてきびしい条件を設定して実験したとも考えられるが、下記のような理由から必ずしもそのようには判断されない。

その理由の第1は、自動車種別の問題であるが、都内の場合を例にとっても、それらの中には主な危険性物品の運搬車だけでも次のような種類と規模のものがある。先づタンクローリーであるが、石油類ではその最大積載量が10,000ℓ、たゞし引火点が130℃以上の場合には16,000ℓとなる。次にLPGをはじめとする高圧ガス関係ではその積載量が7.4tonであり中にはトレーラー式の10tonにおよぶトラックもある。さらに一般のトラックもまたドラム等による石油類などの運搬はもとより、LPG等高圧ガスの小形容器による運搬も多量に行われ、火薬類の運搬さえ行なわれている現状にある。

第2の理由は、自動車群の問題である。現在都内においては今回の実験規模程度の自動車群、群として停滯する場合は特別珍しい現象ではない。例えば都内交通のネックといわれる大原交差点をはじめ新四木橋際などでは朝夕のラッシュ時、一時的な停車ではあるが、車輛の列は3,000m（3車線）にもおよぶ台数にすると実に1,500台に達するといわれている。これらの自動車が1台平均30ℓの石油類を燃料として持っているとは仮定すると1,500台では45,000ℓということになる。しかもこの自動車群の中には前記のようなタンクローリーをはじめ大型バス等も混在している場合が多いと推定されているのでその火災危険は極めて重大であるといわなければならない。

今回の第二次実験は、たしかに予想以上の威力を示し、その被害の重大性も明らかにした。しかしなお以上のような理由から特別きびしい条件の設定に基づく実験であったとは考えられないのである。

11. 消 防 対 策

一口に自動車火災といってもその様相は千差万別でありその状況に対応した施策がとられなければならないことはいうまでもないことである。これらの対策については、漏洩事故対策を始め、避難救助対策、危害予防対策等が考えられるが、特に消防が当面する問題としての防御について考えて見ると次のようなことが重要な指針となろう。すなわち高圧ガスボンベ等の介在した自動車火災に対しては、前にのべたごとく、常に爆発の危険性があるということを充分に認識しておくとともにそれからの危害予防について必要な手段をとって行動することが重要である。現在のところボンベ等の爆発を予防する方法としては冷却手段が最良の方法と考えられるが、不徹底な冷却では、熱疲労とか熱衝撃の問題もありかえって爆発危険を助長するおそれがある。このため冷却する場合には出来る限り終始徹底して行うことが、最良の方法であろう。

12. あ と が き

昨年6月から開始した自動車火災実験も昨年11月10日に実施した第二次実験を契機とし一応の結論を得ることが出来た。なお、今回企画した一連の実験は東京湾の12号埋立地において行った実験だけでも前後4回におよぶ大規模なものであり、それだけに当研究所だけでなく各部の絶大なる協力によってはじめて可能となったものである。従って取りあげた問題も多岐にわたったがそれらの総てがこの実験によって解明された訳ではない。むしろ考え方によっては新たな多くの課題が提起された実験とさえいえよう。今後は本実験結果に対しさらに詳細な検討を加え必要な事項とか、不完全な問題についてはその都度実験研究を加えてより完全なものにして行くことが重要であろう。

おわりにのぞみ東京都プロパン協会をはじめNHKその他多くの方より多大の協力を賜ったことをしるして謝意にかえたい。