

ノンダクト式焼肉器の出火危険の解明について

Fire Hazards of Grills without Grease Ducts

野 口 義 憲*

渡 辺 孝 夫*

小 川 弘 行*

概 要

最近、安全とみられていたノンダクト焼肉器が原因と思われる火災が発生したことから、ノンダクト焼肉器の出火危険を解明し、かつ安全対策を推進するための基礎資料を得ることを目的として、実験を行い結果を得たので報告する。

1. 焼肉器を正常な状態で使用した場合、出火危険は認められなかった。
2. ドレンパン内に油脂が溜った状態で使用していると、異常燃焼を起こし出火の危険性が認められた。
3. フィルターからの出火危険はみられなかったものの、フィルターの経年劣化等のため電気集塵機に可燃物が入った場合、出火の危険性が認められた。
4. 安全制御装置の劣化による機能低下は認められなかったが、異常時には電気系統がすべて停止したにもかかわらず、ガスは供給されていたためガスを停止する制御装置が必要である。

Grills without Grease Ducts(Non-duct grills) have been considered to be safe from the viewpoint of fire prevention, because there is no risk of duct fires. But there occurred a fire, which is considered to have started from a non-duct grill. We conducted experiments on non-duct grills, and we obtained the following findings.

1. When non-duct grills were in proper use, we could not find any fire hazards.
2. When the grills were without water in the pan, there were abnormal combustions and we could see fire hazards.
3. We could not observe no case of fire starting from the filter. But if combustible materials got into the air cleaners, we could see fire hazards.
4. We could not observe the lowering in the function of the safety system. A stopping device is necessary for fuel supply in case of emergency. just like safety devices in electric appliances.

1. はじめに

営業用焼肉器には大きく分けて、2つの方式がある。1つは床排気式等のダクトを有するダクト方式、他方はダクトがないノンダクト方式である。これらの焼肉器の大半はダクト方式で占められているが、ここ2、3年ノンダクト式焼肉器が出回り始めている。

火災予防上からみても、ダクトがないためダクト火災を発生させることがなく、安全とみられてきたが、最近ノンダクト式焼肉器が原因と思われ

る火災が発生した。このことから、この新しいタイプのノンダクト式焼肉器の出火危険を解明するとともに、その安全対策を推進するための基礎資料を得ることを目的として、実験を行った。

2. ノンダクト式焼肉器について

ノンダクト式焼肉器は、従来のダクト式焼肉器と比べた場合、ダクトの取付工事等の必要がないため、それに伴う工期や経費を気にせずに設置できるメリットがある。さらに、テーブルセッティングが自由にでき店舗スペースを有効に活用することができるメリットがある。

構造、性能については、メーカーによって多少

*第二研究室

異なるが、一般的に、焼肉時に出る煙や汚れた空気を焼肉器本体内に吸収し、内蔵された電気集塵機で捕集、清浄化してから送風機で店舗内へ排出している。ただし、二酸化炭素 (CO₂)、一酸化炭素 (CO) 等のガスは捕集されない。

〈電気集塵機の捕集原理〉

図1のとおり、油脂・煙等の粒子が直流高圧電源部において直流 (DC) 8KV~13KVで印加されたイオン化部を通過することにより+に荷電され、さらに、直流4KV~6.5KVに印加された+極板と-極板との間を通過することにより、平等電界によって-極板に油脂・煙等の粒子が付着捕集される。

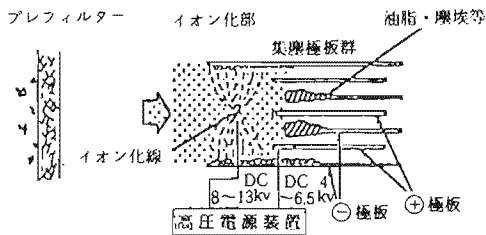


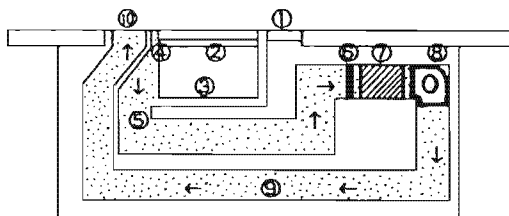
図1 電気集塵機の捕集原理

3. 焼肉器の概要

A社のノンダクト式焼肉器を使用して実験を実施した。

(1) 構造

構造は、図2に示すとおりである。



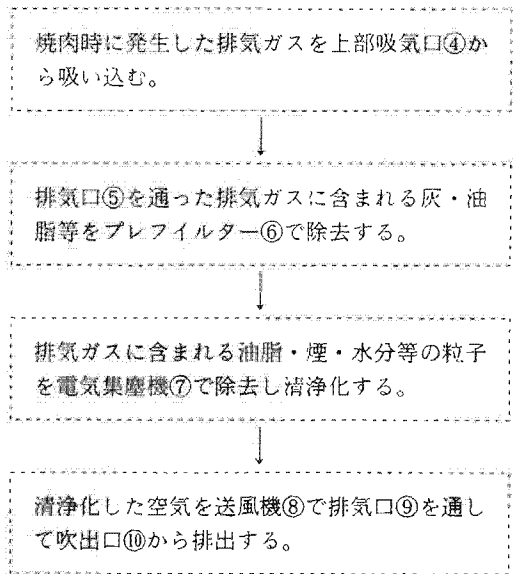
- ① 操作BOX
- ② バーナー
- ③ ドレンパン
- ④ 吸気口
- ⑤ 排気口
- ⑥ プレフィルター
- ⑦ 電気集塵機
- ⑧ 送風機
- ⑨ 排気口
- ⑩ 吹出口

※ [Dotted pattern] 部分は、煙流通経路 (④~⑩)

図2 ノンダクト式焼肉器の構造

(2) 原理

システムの流れは、次に示すとおりである。
(○数字は、図2参照)



(3) 特性

安全性を高めるために、次のような制御装置等が設置されている。

ア サーキットブレーカー

電気配電がショート等を起こした場合、自動的に電源を遮断する。

イ 温度センサー

異常燃焼によりドレンパンの外側の釜 (アウターケーシング) の部分の温度が70°C以上に上昇した場合、自動的に電源が停止する。

ウ メンテナンスランプ

集塵機能に異常が発生した場合、黄色のランプが点灯する。

エ 漏電ランプ

焼肉器を使用中に本体内で漏電になった時、電源が遮断され、赤色のランプが点灯する。

オ オンデレ・オフデレ装置

ガスコックを停止すると、3分後に全ての電気系統が自動的に遮断される。

4. 実験項目

(1) 使用時における出火危険に関する実験

ア 正常な状態で使用した場合

- イ 異常な状態で使用した場合
- (2) 経年変化における出火危険に関する実験
 - ア 煙流通経路に塵埃・油脂等が付着した場合の出火危険
 - イ プレフィルターに油脂等が付着した場合の出火危険
- (3) 電気集塵機の出火危険に関する実験
- (4) 安全制御装置等の劣化による出火危険に関する実験

5. 実験内容

(1) 使用時における出火危険に関する実験

焼肉器本体各箇所の出火危険性の有無及び出火の要因となる油脂分の付着量を把握するために、実際に牛肉20kgを用いて一回の実験につき1kg～2kgに分けて、それぞれ30分～1時間で焼くようにして、以下の実験を実施した。

ア 正常な状態で使用した場合

焼肉器を正常な状態でかつ、適正な方法で使用し、次の(ア)、(イ)について実験を実施した。

(ア) 燃焼時における各部の温度測定及び出火状況等の観察

(イ) 焼肉器に付着した油脂量の測定

イ 異常な状態で使用した場合

焼肉時に起こりやすい異常な状態を想定し、次の(ア)、(イ)について実験を実施した。

(ア) ドレンパンの中に水が無い状態で使用した場合の出火状況等の観察

(イ) ドレンパンの中に油脂が溜った状態で使用した場合の出火状況等の観察

(ア)、(イ)の実験で異常燃焼が起きた場合、出火状況を観察するとともに、焼肉テーブル上から炎が排気口内に吸引されるかの有無、また、吸引された場合の距離等についても観察した。

(2) 経年変化における出火危険に関する実験

永年使用や清掃不良等によって、煙流通経路に付着堆積した塵埃・油脂等からの出火状況等を観察した。

ア 煙流通経路に塵埃・油脂等が付着した場合の出火危険

(ア) 牛肉を用いた実験の出火危険

煙流通経路内を清掃しないで牛肉20kgを焼いて、正常な状態で使用した場合と異常な状態で使用した場合の出火状況等を観察した。

(イ) 煙流通経路内にヘッド(牛脂)を含ませた可燃物(脱脂綿)を置いた場合の出火危険

焼肉器内に付着した塵埃等の可燃物の代替として脱脂綿を用い、それにヘッド3.0gを含ませた試料(以下「試料1」という。)を煙流通経路〔図2の⑤の底部、底部から高さ3cm、6cm、9cm、12cm、15cm、18cm(天井部分)の位置〕に計7個置き、正常な状態で使用した場合と異常な状態で使用した場合について出火状況等を観察した。

(ウ) 油脂等を含んだ塵埃の着火性

恒温槽を使用し、一定温度(20℃、180℃)において、油脂等を含んだ塵埃の代りとして、容量の異なった脱脂綿にそれぞれヘッド3.0gを含ませた試料(以下「試料2」という。)とし、それに簡易ガス点火装置の口火で接炎して着火の状況を観察した。

イ プレフィルターに油脂等が付着した場合の出火危険

(ア) プレフィルターの材質

赤外分光光度計(島津製)を用いてフィルターの成分分析を実施した。

(イ) プレフィルターに油脂等が付着した場合の出火危険

(1)の油脂付着量の測定結果から、牛肉を10kg、50kg、100kg焼いた場合を想定し、それぞれフィルターに付着する油脂と同量のヘッドをフィルターに塗布して正常な状態で使用した場合と異常な状態で使用した場合の出火状況等を観察した。

(ウ) プレフィルターに付着した油脂量に対する着火性

フィルターの代りにろ紙(6cm×15cm×0.1cm東洋ろ紙 密度0.16mg/cm²セルロース100%)にヘッド0.1g、0.3g、0.5g、1.0g、3.0gを含ませた試料(以下「試料3」という。)を作り、JIS-K-7201(酸

素指数法による高分子材料の燃焼性試験方法)に規定する燃焼試験装置で着火性の実験を実施した。

同様に、未使用のフィルターとヘッド3g(牛肉10kgを焼いた時に付着する油脂量に相当)を塗布したフィルターの着火性の実験を実施した。

(3) 電気集塵機の出火危険に関する実験

内蔵された電気集塵機は、高い電圧で常時煙等を処理しているが、集塵部の油脂等の除去・手入れが悪かったり、機構上、手入れができなかった場合やプレフィルターを長い間交換せず、または、破損等により電気集塵機に肉片等の可燃物が入った場合、高電圧がリークして内部でスパークする現象が起きる可能性があるため、次のような実験を実施した。

電気集塵機の極板間に可燃物が付着した場合を想定(極板間に肉片を挟んだ状態)して、集塵部の作動状況及び出火状況等を観察した。

(4) 安全制御装置等の劣化による出火危険に関する実験

(1)、(2)の実験を通して、安全制御装置等の劣化の要因となる油脂等の付着状況を観察するとともに、油脂等の付着が安全制御装置の機能にどう影響するかを観察した。

6. 実験結果及び考察

(1) 使用時における出火危険について

ア 正常な状態で使用した場合

(7) 燃焼時における各部の温度測定及び出火状況等の観察

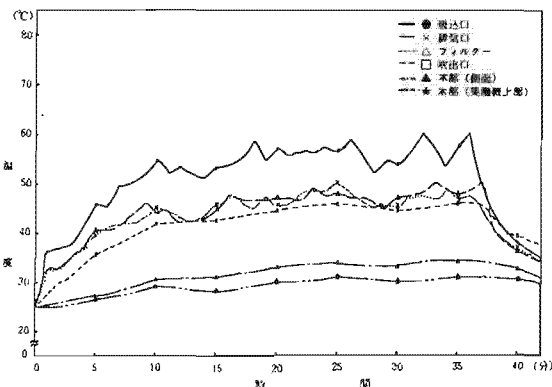


図3 牛肉1kgを焼いた時の各部の温度変化

牛肉1kg当りの燃焼時における各部の温度変化を図3に示す。最高温度は吸気口部分で60°C~62°Cを示した程度で(表1参照)、出火危険は認められなかった。

表1 各部の最高温度

名称	1	2
木部(側面)	38°C	35°C
木部(集塵機上部)	31	31
フィルター部分	58	50
吹出口	48	47
吸気口	62	60
排気口	52	50

(イ) 焼肉器に付着した油脂量の測定

牛肉1kg当り平均約370gが灰・油脂・水分等となり、そのうちの約0.3gの油脂がプレフィルターに付着した(表2参照)。なお、他に付着した油脂量については、測定できなかった。

表2 肉の重量変化と油脂等の付着量

肉の重量変化			フィルターに付着した油脂等の重量
焼く前	焼いた後	減量分	
1000g	727g	273g	0.3525g
1000g	612g	388g	0.2666g
2000g	1147g	853g	0.6356g
1000g	678g	322g	—
1000g	609g	391g	—
1000g	664g	336g	—
1000g	655g	345g	—

(付着した油脂等の引火点は310°C~340°C、発火点は370°C~400°Cである。)

イ 異常な状態で使用した場合

(7) ドレンパンの中に水が無い状態で使用した場合

牛肉1kg当りの燃焼中の各部の温度変化を図4に示す。正常な状態で使用した場合に比べると、全体的に温度は高くなっている(表3参照)が、炎の吸い込みや異常燃焼は見られなかった。このと

表4 各部の最高温度

名称	No	1	2	3
ドレンパン裏面No 1		172°C	200°C以上	192°C
ドレンパン裏面No 2		200°C以上	200°C以上	200°C以上
排気口の底から3cm		96	84	70
排気口の底から6cm		61	90	64
排気口の底から9cm		65	84	66
排気口の底から12cm		94	163	90
排気口の底から15cm		66	77	108
吸気口		92	85	153
吹出口		68	63	64
フィルター部分No 1		87	76	86
フィルター部分No 2		97	176	162
フィルター部分No 3		103	105	76

※「200°C以上」とあるのは、温度計の最高温度

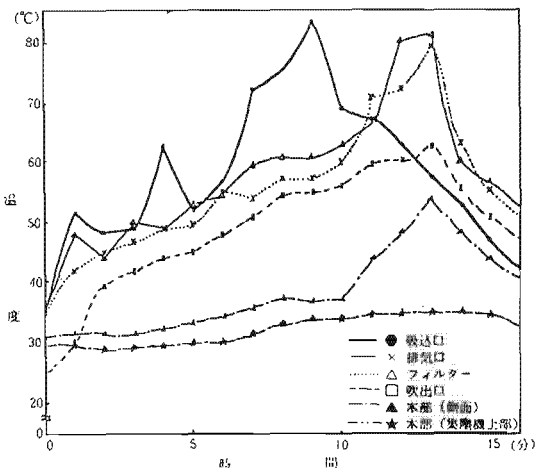


図4 牛肉1kgを焼いた時の各部の温度変化 (ドレンパンの中に水が無い場合)

表3 各部の最高温度

名称	1	2
木部(側面)	54°C	52°C
木部(集塵機上部)	35	35
フィルター部分	81	80
吹出口	63	62
吸気口	83	82
排気口	79	76

き、煙流通経路内の最高温度は70°Cを超えていたが、温度センサーは作動しなかった。このことは、温度センサーがドレンパンの外側の蓋(アウターケーシング)に設置されているため、センサー部分の温度が設定温度に達しなかったためである。

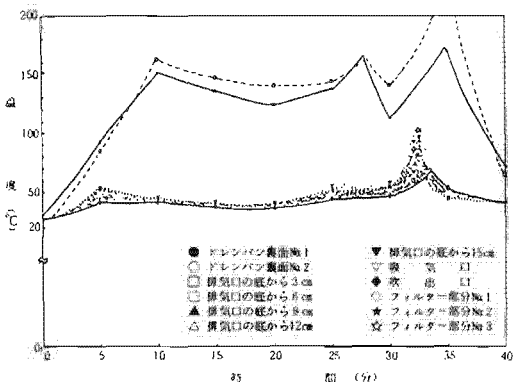


図5 牛肉1kgを焼いた時の各部の温度変化 (ドレンパンの中が油脂だけの場合)

次に、吸込口とほぼ同じ温度を示したフィルター部分については、フィルターの抵抗が大きいため、熱気流がフィルターをスムーズに通過されず、熱が蓄積して温度が高くなったと思われる。

(イ) ドレンパンの中に油脂が溜った状態で使用した場合

牛肉1kg当りの燃焼中の各部の温度変化を図5に示す。ドレンパン裏面の最高温度が200°Cを超えたが(表4参照)、これはドレンパン中の油脂が燃焼して、その熱が直接ドレンパンに伝わったためである。

なお、油脂が燃焼した経過は、次のとおりである。

ドレンパン中の油脂の温度が160°C~170°C位まで達したところで、野菜等に付着していた水滴がドレンパン中に滴下すると、油脂は燃焼するが、炎は一瞬で消えてしまった。さらに、水滴が繰り返し滴下すると、完全に油脂が燃焼し始めた(写真1)。この時、温度センサーが作動し電気系統はすべて停止したが、ガスは供給され、燃焼した状態であったため、煙が焼肉器の上部に上がった。また、この異常燃焼により、フィルターの大半が燃焼した(写真2)。

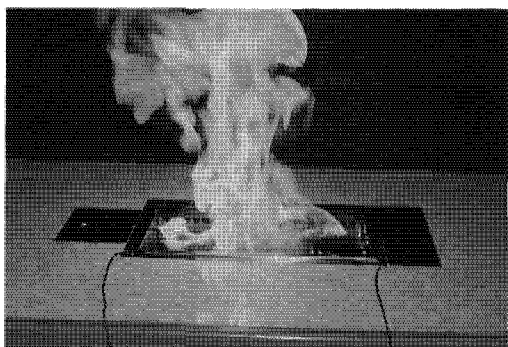


写真1 異常燃焼の状況

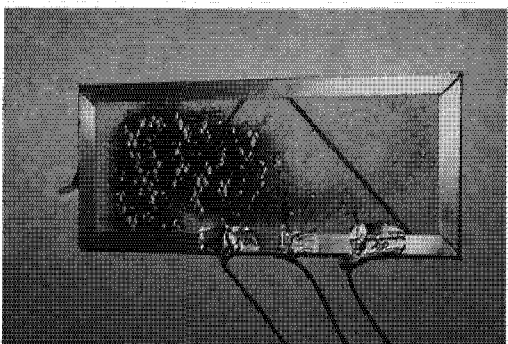


写真2 プレフィルターの焼き状況

(2) 経年変化における出火危険に関する実験

ア 煙流通経路に塵埃・油脂等が付着した場合の出火危険

(ア) 牛肉を用いて実験を行った場合の出火危険

正常な状態で使用した場合は、煙流通経路内からの出火は認められなかった。

異常な状態で使用した場合には、煙流通経路に炎が入り、雰囲気温度が高くなったにもかかわらず、出火が認められなかったのは、温度測定等の結果から、炎や熱気流が塵埃・油脂等のほとんど付着していなかった煙流通経路の天井部分に沿って進んだため、側面や底部に付着していた塵埃・油脂等には着火しなかったと思われる。

(イ) 煙流通経路内にヘッド(牛脂)を含ませた可燃物(脱脂綿)を置いた場合の出火危険

正常な状態で使用した場合は、煙流通経路内からの出火は認められなかった。

異常な状態で使用した場合には、異常

燃焼による炎のために、その底部から15cm及び18cm(天井部分)に設置した試料1の表面が焦げていた。このことから、異常燃焼が起きた場合、煙流通経路内の天井部分に油脂等を含んだ塵埃が付着していたならば、出火する可能性があることが確認できた。

(ウ) 油脂等を含んだ塵埃の着火性

ヘッドを含んでいない脱脂綿は、その形態、雰囲気温度に関係なく簡易ガス点火装置の口火で容易に着火、燃焼した。

ヘッドを含んだ試料2については、表5に示すとおりで、着火、燃焼したものとしなかったものがあった。

表5 ヘッド(3.0g)を付着させた脱脂綿の燃焼状況

形態	脱脂綿重量(g)	温度	0.05	0.08	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	1.00
			塊	20°C	×	×	×	×	×	×	○
	180°C	×	×	×	×	×	○	○	○	○	
繊維状	20°C	×	×	○	○	○	○	○	○	○	
	180°C	×	○	○	○	○	○	○	○	○	

※ ○: 燃焼、×: 変化なし

この結果から、着火はその形態、雰囲気温度、ヘッドの含有量に影響されることが確認できた。

イ プレフィルターに油脂等が付着した場合の出火危険

(ア) プレフィルターの材質

フィルターの材質を赤外分光光度計で分析した結果のスペクトログラムを図6に示す。この図からフィルターはウレタンフォームを主体としたもので、防炎剤や可塑剤等が含まれていると思われる。

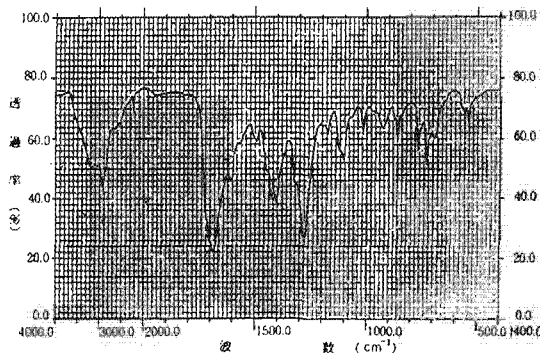


図6 試料(フィルター)の赤外吸収スペクトル

(イ) プレフィルターに油脂等が付着した場合の出火危険

プレフィルターにヘッドを塗布して、焼肉を行い出火状況を観察した結果を表6に示す。

表6 経年変化における出火危険（プレフィルター）

No	フィルターに塗布したヘッド量(g)	ヘッドに対する牛肉相当分(kg)	出火危険の有無	
			正常時	異常時
1	3	10	無	有
2	15	50	無	有
3	30	100	無	有

この結果から、正常な状態で使用した場合は、フィルターからの出火危険はなかった。ただし、長期間高温状態にさらされ、油脂等が付着することによって、フィルターの性能劣化が促進され、溶融や破損等によりフィルターの機能を果たさなくなる。その結果、肉片や野菜片等が直接集塵機に入り込み、6-(3)と同様な出火危険が生じる可能性が残されている。

異常な状態で使用した場合には、フィルターに付着したヘッドの量に関わりなく、異常燃焼による炎や熱の影響でフィルターが焼失してしまうことが確認できた。

(ウ) プレフィルターに付着した油脂量に対する着火性

試料3の酸素指数測定結果を表7に示す。

表7 試料3の酸素指数と酸素指数16.7の時の燃焼速度

試料3に含まれている油脂量(g)	酸素指数	酸素指数16.7の時の試料3の燃焼速度(cm/s)
0	15.4	0.147
0.1	14.5	0.132
0.3	14.0	0.119
0.5	14.0	0.109
1.0	15.4	0.074
3.0	16.7	0.066

この結果、最も燃え易い試料は油脂量が0.3g~0.5gの範囲であり、それ以上油脂量を含んだ場合は燃えにくかった。

このことは、塵埃等の可燃物に一定量以上の油脂が付着すると、その引火点が高くなるため着火しにくくなることが確認できた。

これらの油脂量をフィルターに付着した油脂量として換算すると表8になる。この表から、清掃等を行わないで牛肉を30kg~50kg焼いた時が、着火する危険性が最も大きくなる。

表8 試料3の付着油脂量に相当するフィルター付着油脂量

①試料3に含まれている油脂量(g)	②①の油脂量をフィルターに付着した油脂量として換算(g)	③②の油脂量に対する牛肉相当分(kg)	④①の酸素指数(%)
0	0	0	15.4
0.1	3	10	14.5
0.3	9	30	14.0
0.5	15	50	14.0
1.0	30	100	15.4
3.0	90	300	16.7

次に、未使用のフィルターの酸素指数を測定した結果は26であった。また、ヘッド3gを塗布したフィルターの酸素指数を測定した結果は、24の値を示した。この数値から、空気中（常温）では炎を付けても燃焼しないことがわかる。

この結果から、表8と同様に、フィルターにヘッド9g~15g（牛肉30kg~50kgを焼いた時、フィルターに付着する油脂量）を塗布して実験を行えば、酸素指数はより低い値を示し、燃え易くなると思われる。

今回の実験は、常温で油脂を含んだ塵埃やフィルターの着火性をみたものであるが、焼肉時には、煙流通経路の雰囲気温度が高くなるために、煙流通経路の天井部分に綿ぼりのような可燃物が付着していれば、異常燃焼時の炎がそこに入ることにより、より着火しやすくなり、出火する危険があると思われる。

(3) 電気集塵機の出火危険に関する実験

次の二つの実験条件により結果が得られた。

ア 肉が極板間に隙間なく挟まった状態の時
集塵部は何の変化も起こらず、メンテナンスランプが点灯し、集塵機が停止するため、危険性は認められなかった。

イ 極板間に若干の隙間ができるように肉を挟んだ状態の時

極板間の隙間間隔の微妙な違いにより、アーク放電が起こったり、起こらなかったりした。アーク放電が起きた場合には、激しい音とともに極板間に火花が発生した。この時、挟まった肉から発煙していたが、周囲に付着していた油脂等には変化は見られなかった（写真3）。

またバーナーの燃焼は継続したままでファンも作動していた。

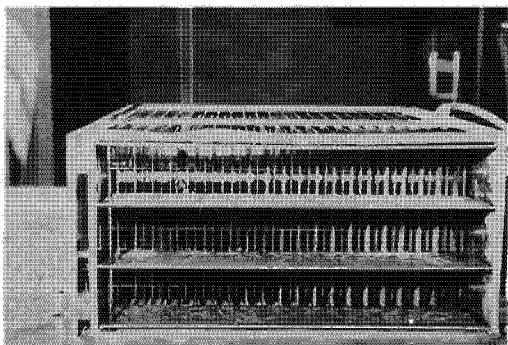


写真3 挟まった肉からの発煙状況

このような状態ならば、出火する危険性は少ないが、もし、ガスの立ち消えた状態の時にアーク放電が発生したならば、焼肉器内にガスが充満し、爆発等の危険な状態になることが予想される。

(4) 安全制御装置等の劣化による出火危険に関する実験

牛肉40kg、ヘッド1kgを使用して実験を行った結果、安全制御装置等には油脂等はほとんど付着しておらず、油脂等による影響は受けていなかった。

今回の実験では、詳細に調べることはできなかったが、かなり長期にわたって使用した場合や酷使した場合には、当然のことながら機能低下することは十分考えられる。また、機能低下に伴う危険性もあると思われるので、清掃及び定期点検をすべきである。

7. ま と め

- (1) 焼肉器を正常な状態でかつ適正な方法で使用した場合、出火の危険性は認められなかった。
- (2) 異常燃焼が起こると、炎が煙流通経路内に入るため、その天井部分・側壁等に付着している塵埃・油脂等に着火し、出火の危険性が十分あると思われる。
- (3) フィルターについては、焼肉器を正常な状態で使用した場合に出火の危険性は認められなかったものの、それに付着している油脂等が長時間高温状態にさらされたり、フィルターの材質であるウレタン部分が燃焼・溶融され、フィルターの役目を果たさなくなった。
この結果、肉片等がフィルターを通過し電気集塵機に入り込むと、アーク放電を起こし出火の危険性がある。
- (4) 安全装置については、機能の低下は認められなかったが、異常時において温度センサーが作動した時、電気系統はすべて停止したにもかかわらず、ガスは供給され、燃焼は継続していた。

8. 今後の対策

- (1) 異常燃焼を防ぐため、ドレンパンの中の水が一定以下に減少した場合に、警報を知らせる等の安全装置が必要である。
- (2) 異常時に、電気系統と同様にガスの供給を停止させる安全装置が必要である。
- (3) フィルターの材質を不燃材料にするなどの検討が必要である。