

地震動による飲食店等におけるフライヤーの挙動の検証

奥野 博明*, 谷脇 裕規**, 千島 清奈生***, 中山 崇****

概 要

地震が発生した場合、飲食店においてフライヤーから油が飛散し、周囲にあるガスこんろ等のガス機器により着火するおそれがある。特に出火危険が高い状況としては、飲食店が高層階にあることで揺れが増幅される状況や、地震動が長周期となりガス機器と接続しているマイコンメーターの感震自動停止装置が作動しない状況が挙げられる。本検証では今後発生が予想される首都直下地震の高層階における想定地震動や、感震自動停止装置が作動しない程度の長周期地震動を用い、フライヤーの油の飛散挙動について調べた。また、業務用のガスこんろに油が飛散した場合の着火危険について検証を行った。

その結果、フライヤーの油槽の形状から、比較的正面付近への飛散量が多くなること、また飛散した油はガスこんろ等の炎に継続して接炎しなければ着火しないことが判明した。

1 はじめに

「高層化する建築物における防火安全対策」(火災予防審議会答申 2015)¹⁾によると、東日本大震災時の高層の建築物の厨房等を調査した結果、調査した全ての厨房においてフライヤー内の調理油があふれて床に油だまりができるような状況がみられており、ガスこんろ等の何らかの火源によって火災に至る可能性が示唆されている。

当庁においては、過去に卓上型のフライヤーに観測地震波を与えた時の飛散状況²⁾や使用中の家庭用こんろに高温の天ぷら油が飛散した際の着火の有無³⁾について検証を行っている。しかし、業務用のフライヤーやガスこんろによる出火危険についてはまだ調べられていない。大型フライヤーは調理油の使用量が多いため、飛散する量及び距離も増加するおそれがある。また、ガスこんろについても業務用の大型ガスこんろでは家庭用のものに比べ、火力が強いため調理油が飛散したときに着火しやすいと考えられる。

本検証では、飲食店等の厨房において使用されているフライヤーに関連した地震時の出火危険を明らかにするため、地震によるフライヤーの調理油の飛散距離を測定するとともに、フライヤー周囲に設置された使用中のガス機器へ調理油が飛散した場合の着火危険を検証した。

2 フライヤーやガス機器に関する指導基準、安全装置について

「東京消防庁 予防事務審査・検査基準」において、高層の建築物(原則として高さ31mを超える建築物)の

厨房設備は、長周期地震動の影響も考慮した地震発生時の出火防止性能を有するように、高温の調理油と裸火又は水を隣接させないレイアウトとするように指導している。

また「ガス工作物の技術上の基準を定める省令」及び「ガス工作物技術基準の解釈例」において、ガス事業者のガスメーター(マイコンメーター)には、250galを超える地震動を継続して検知した場合にガスを遮断する性能を持たせるように定めている。ただし、ガス遮断後もガス機器は高温となっているため、調理油がガス機器に飛散すると熱せられて発火する可能性がある。また、長周期地震動の場合は変位が大きくなる傾向があるため、感震自動停止装置が作動しない程度の揺れであってもフライヤーから調理油が飛散し、着火する危険性が高いと考えられる。

3 検証概要

今回の検証のフローチャートを図1に示した。まず、現時点で想定されている東京湾北部地震発生時の高層階におけるフライヤーの調理油の飛散挙動を調べた。東京湾北部地震については、想定地震動のデータが作成されており、当庁の振動発生装置において再現することができる。フライヤー内の調理油の揺動は、地震の揺れの大きさだけでなく、揺れの周期とも密接な関係がある。フライヤーは油槽の寸法に応じて共振周期というものが存在し、理論式が得られている。フライヤーの共振周期と地震の揺れの周期が一致した時、共振という現象が発生

* 深川消防署 ** 向島消防署 *** 目黒消防署 **** 消防技術課

し、液面が激しく揺動する。今回の検証では、東京湾北部地震の高層階における想定地震動の周期と共振周期が同程度であるフライヤーを選定し、共振が発生しやすい状況において、調理油の飛散挙動を調べた。また、溢流防止のためフライヤーの油槽の縁に加工を行うことで飛散挙動が変化するか調べた。

一方で、長周期地震動が発生した場合、加速度が小さい場合においても変位が大きくなるため、液面が大きく揺動することが考えられる。震度4以下ではマイコンメーターの感震自動防止装置が作動しないと考えられることから、フライヤーから他のガス機器に調理油が飛散して着火する危険性が高いと考えられる。一般にフライヤーの長辺が長くなると共振周期も長くなる。今回は東京湾北部地震の想定地震動と共振するフライヤーより大型のものを用意し、その共振周期に対応した1次元の長周期地震動を作成して飛散挙動を調べた。

最後に、フライヤーから周囲のガス機器に調理油が飛散して着火する危険性があるか調べた。業務用のガス機器の例として大型ガスこんろを使用している際の温度分布を確認し、高温の部位、すなわち調理油が飛散した時に着火する危険性が高い部位を調べた。このとき、鍋を置いた場合と下ろした場合で温度分布に違いがあるかについても確認した。次に温度が高いこんろの部位に少量の調理油を滴下し、着火の有無を確認し、さらに調理油の温度や量を変化させたときの着火の有無を調べた。また、調理中の鍋の外面に調理油が飛散した場合や、地震によりマイコンメーターが作動し自動消火した場合を想定し、大型ガスこんろを消火した直後に調理油を滴下した場合の着火の有無を調べた。

以上を踏まえて、地震時のフライヤーにより出火する危険性の評価及び対策の検討を行った。

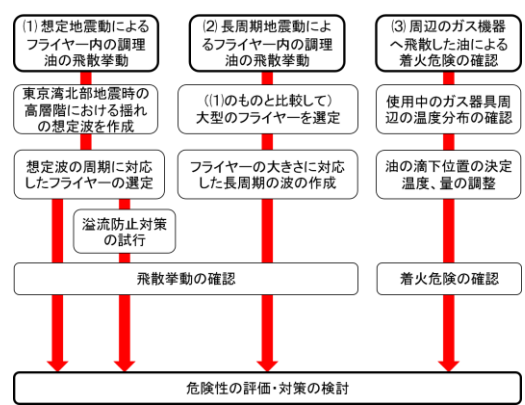


図1 検証のフローチャート

4 検証に用いた実験装置、測定機器

(1) 振動発生装置

振動実験は消防技術安全所の振動発生装置を用いた。

振動発生装置は加振機、振動台、制御装置等によって構成されており、3軸（3次元）による観測地震波の再現が可能である。本検証においては、フライヤーからの調理油の飛散挙動を広い範囲において検証するため、台座上に拡張板を設置した(図2)。諸元・性能は表1のとおり。



図2 拡張板を設置した振動発生装置の外観

表1 振動発生装置の諸元・性能

項目	諸元・性能
振動機構	水平2方向(XY軸) 垂直1方向(Z軸)
振動台寸法	2.5m×2.5m
拡張板設定時の台座寸法	3.5m×3.5m
振動数範囲	0.1~200Hz
最大搭載質量	10,000 kg
最大変位	X軸: 600mm ^{P-P} ※ Y軸: 400mm ^{P-P} Z軸: 150mm ^{P-P}

※ mm^{P-P}:peak-to-peak で両振幅の範囲を示す。

(2) 重量計

飛散したグリセリン溶液の重量測定に重量計を用いた(図3)。諸元・性能等は表2のとおり。



図3 重量計の外観

表2 重量計の諸元・性能

項目	諸元・性能
測定範囲	0~30 kg
測定単位	2 g

(3) 熱画像撮影装置

使用中のガス機器の温度分布測定に熱画像撮影装置を用いた(図4)。諸元・性能等は表3のとおり。

表3 熱画像撮影装置の諸元・性能

項目	諸元・性能
測定温度範囲	-40~2,000℃
記録画素数	640px×480px



図4 熱画像撮影装置の外観

5 検証方法

(1) 想定地震動によるフライヤー内の調理油の飛散挙動 ア 使用した想定地震動

建物内の揺れは、地表面の揺れが同じであったとしても、建物の寸法や構造等によって揺れの加速度や周期は異なる。一般に、建物が高いほど揺れは大きくなり、同じ建物内でも高層階では低層階に比べ揺れが大きくなる傾向がある。「高層化する建築物における防火安全対策」（火災予防審議会答申 2015）¹⁾では高層階における厨房からの出火危険が指摘されている。今回の検証では、高層階に設置されたフライヤーからの出火危険を評価するため、首都直下地震等による東京の被害想定（平成 24 年 4 月 18 日公表）の工学的基盤の想定地震動分布のうち、都内において延焼危険が高い品川区豊町五丁目のメッシュを選定し、その工学的基盤における地震波形を元に、RC 造 14 階建ての 12 階における応答を考慮して波形を作成した。

建物等の物体が地震等により振動するとき、特定の周期の振動が増幅される共振現象というものが発生することがある。この時の周期を共振周期といい、今回想定した建物の共振周期の一つは 0.78 秒であるため、今回の実験では東京湾北部地震のうち周期 0.78 秒付近の成分が増幅される。実際にフーリエ変換の手法を用いて想定地震動の周期成分を分析すると、南北方向は 0.74 秒、東西方向は 0.77 秒の成分が最も強い。

今回用いた想定地震動の各方向の揺れの最大加速度を表 4 に示す。計測震度は 6.72 で震度 7 に相当する。

表 4 使用した想定地震動の最大加速度と計測震度

南北	東西	上下	計測震度
1,049gal	749gal	108gal	6.72(震度 7)

イ 想定地震動により共振を起こすフライヤー

重力加速度を g としたとき、長辺の長さ $2L$ 、高さ H の矩形油槽の共振周期 T_s については、Housner⁴⁾ により次のような理論式が得られている。

$$T_s = \frac{2\pi}{\sqrt{1.58 \frac{g}{L} \tanh(1.58 \frac{H}{L})}} \quad (5.1)$$

フライヤーの共振周期が地震動の周期と一致したとき、調理油が飛散する危険性が高まる。今回の想定地震動は建物の共振周期 0.78 秒付近の成分が増幅されているので、フライヤーの共振周期についても 0.78 秒程度となるものを選定した（図 5）。今回使用したフライヤーの油槽の容量は 18L で、油槽の側面及び背面は垂直となっているが、正面は傾斜が見られる（図 6）。油槽は厳密には矩形ではないが、式 (5.1) より長辺 40cm、水深 15cm の矩形水槽の共振周期の理論値が 0.78 秒となることから、短辺方向（37cm）と長辺方向（41cm）のいずれの方向についても同程度の共振周期をもつことが予想される。

なお、フライヤー内の液体については、調理中の菜種油と同じ粘度の常温のグリセリン溶液を調製して用いた。180℃の菜種油の動粘度は $3.4 \text{ mm}^2/\text{s}$ ⁵⁾ であり、グリセリンの重量比 40% の水溶液を調製することで同程度の動粘度を持つ常温の溶液を得た。このとき、密度は 1.1 g/mL ⁶⁾ となる。

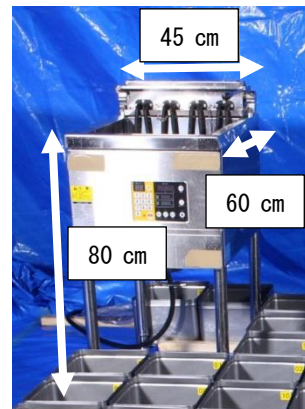


図5 使用したフライヤーを正面から見た図

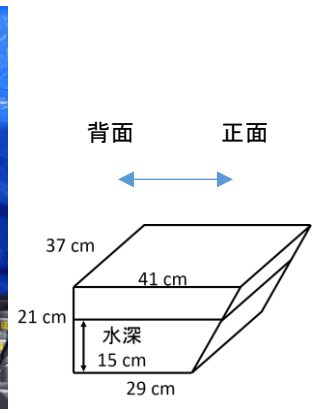


図6 使用したフライヤーの油槽の側面図

ウ フライヤーの配置と飛散量の測定方法

拡張板を設置した振動台にフライヤーを固定し、その周囲に一辺 24cm、高さ 17cm の角形金属缶を配置した（図 7）。振動前に各缶の重量測定を行い、フライヤーに重量濃度 40% のグリセリン溶液をフライヤー規定量の線まで入れた。東京湾北部地震の想定地震動を与え、フライヤー内の液体が飛散した後に各缶の重量を測定した。振動前と振動後の重量変化から缶の位置に飛散した溶液の重量を求め、溶液の密度 (1.1 g/mL) を用いて体積に換算した。飛散量の測定回数は 3 回とした。

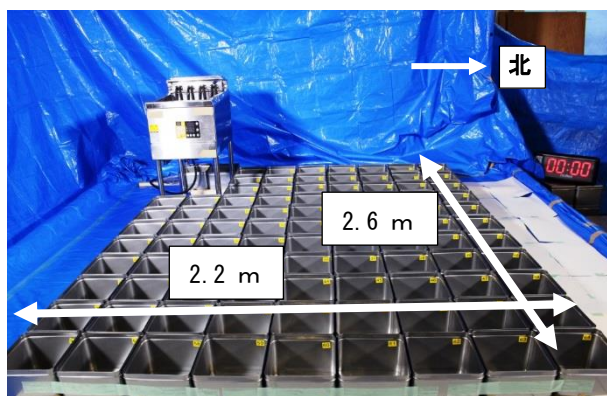


図7 フライヤーと金属缶（1辺 24 cm）の配置

エ 溢流防止対策

今回のフライヤーの縁の部分に木製の三角柱を設置することで油槽壁面付近の液体の移動方向を油槽内側に向けることで溢流防止を図った。2 cm 角の三角柱を正面と側面の計 3 面に設置した物を溢流防止対策 A とした（図 8、9）。さらに A の三角柱に対して 5 cm 幅の板を設置したものを対策 B とした（図 10、11）。A、B それぞれについてウと同じ設定で飛散量の測定を 1 回ずつ実施した。



図8 溢流防止対策 A
模式図



図9 溢流防止対策 A
実施状況

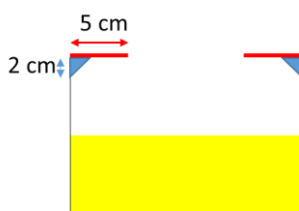


図10 溢流防止対策 B
模式図



図11 溢流防止対策 B
実施状況

(2) 長周期地震動によるフライヤー内の調理油の飛散挙動

ア 検証に使用したフライヤー

長周期地震動において共振を起こすフライヤーとして、(1)で用いたフライヤーよりも大型のフライヤーを用意した（図 12）。このフライヤーの油槽の形状は図 13 のとおりである。正面側は 1 段浅い部分があり、また正面上部

は傾斜している。式(5.1)より長辺 80cm、水深 10cm の矩形水槽の共振周期の理論値が 1.65 秒であることからフライヤーの長辺（82cm）についても同程度の共振周期となることが予想される。

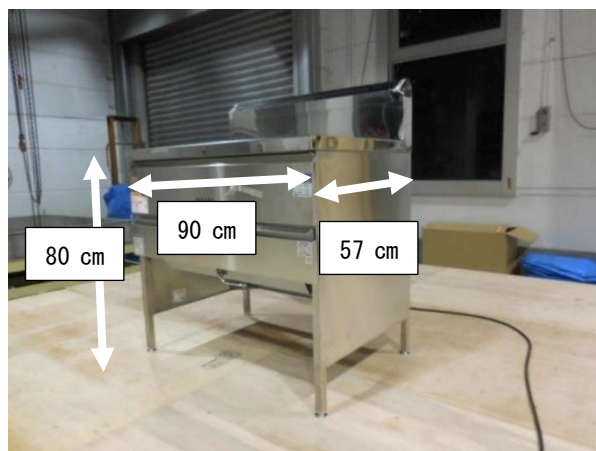


図12 使用したフライヤーの外観と寸法

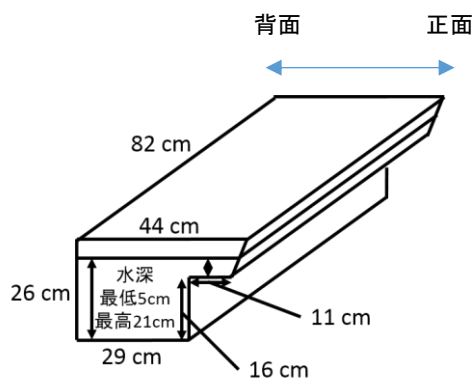


図13 使用したフライヤーの油槽の側面図

イ フライヤーと共振する長周期地震動の作成

アで選定したフライヤーに対して、周期 1.65 秒付近の様々な周期で加速度 10gal（震度 3 相当）の正弦波を与えて水面の状態を確認したところ、最も激しく液面が揺動する周期は 1.79 秒となった。飛散挙動の確認には周期 1.79 秒の正弦波を長周期地震動として用い、最大加速度についてはマイコンメーターの自動停止装置が作動しない 50gal（震度 4 相当）とし、加振時間は 3 分間とした。

ウ フライヤーの配置と飛散量の測定方法

振動台にフライヤーの長辺（横幅）方向と長周期地震動の振動方向が一致するようにフライヤーを設置し、その周囲に一边 24cm、高さ 17cm の角形金属缶を配置した（図 14）。振動前に各缶の重量測定を行い、フライヤーに重量濃度 40% のグリセリン溶液をフライヤー規定量の線まで入れた。長周期地震動によりフライヤー内の液体が飛散した後に各缶の重量を測定した。振動前と振動後の重量変化から缶の位置に飛散した溶液の重量を求め、溶

液の密度 (1.1g/mL) を用いて体積に換算した。飛散量の測定回数は3回とした。

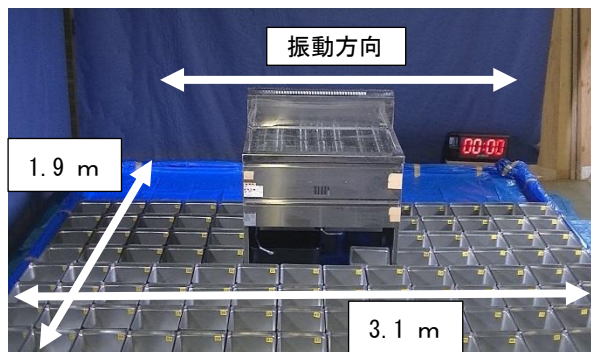


図 14 フライヤーと金属缶（一辺 24 cm）の配置

(3) 飛散した調理油による出火危険

ア 検証に用いた機器、器具

一般に用いられる業務用ガス機器として最大出力 9.3kW の大型ガスこんろ（都市ガス用）を用意し、こんろで使用する調理器具として直径 45cm、深さ 15cm の鍋を用意した（図 15、16）。

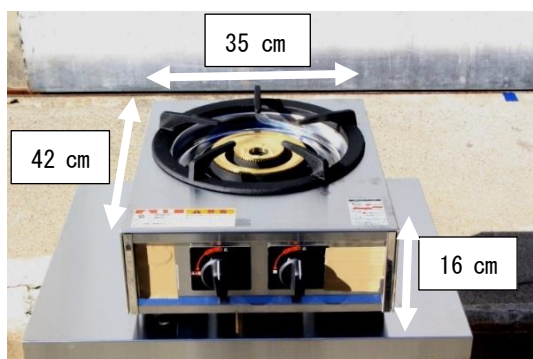


図 15 大型ガスこんろ



図 16 大型ガスこんろ上に置いた鍋

イ 使用中のガスこんろの温度分布の確認

室温 10℃、湿度 40%の屋内において、大型ガスこんろ

に何も置いていない状態で最大火力に設定し加熱した。熱画像撮影装置を用いて最高温度となる箇所を観察し、その温度が1分間に±5℃以内の範囲で安定したときを定常状態と判断した。こんろの炎による影響を防ぐため、定常状態から火を止めた直後のこんろの温度分布を記録した。熱画像撮影装置の測定レンジは0℃から 2,000℃の範囲とし、放射率については五徳部分が黒体に近いことから 0.9 に設定し、1秒に1回連続的に撮影した。

同様に鍋の半分の深さまで水を入れた鍋を置いて最大火力で加熱し、鍋の中の水が沸騰して定常状態となった後に火を止め、鍋をこんろから下ろし、こんろの温度分布を記録した。

ウ 一滴（約 0.03mL）の菜種油を滴下した時の着火の有無

使用中のこんろの五徳の部分やバーナーから噴出する炎に菜種油を滴下した時の着火の有無を調べた。滴下量は容量 1mL のガラスピペットの一滴（約 0.03mL）とし、菜種油の温度は 20℃と 220℃の2つの条件で実施した。なお、220℃は本検証に用いたフライヤーにおける設定上限温度である。滴下する位置についてはAからEの5点とし、五徳の突起先端から 1cm の部分をA、5cm の部分をB、9cm の部分をCとし、五徳の外周部をD、噴出する炎をEとした（図 17）。

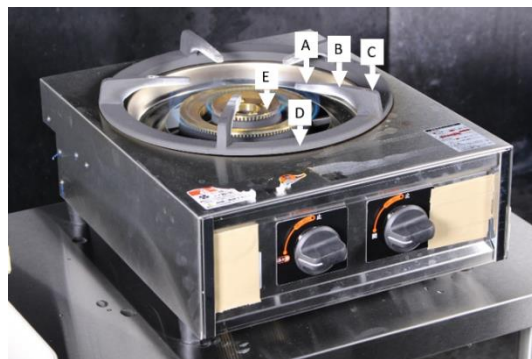


図 17 ガスこんろに対する油の滴下位置の設定

エ 1mL 以上の菜種油を滴下した時の着火の有無

ウにおいて着火した部分について、滴下量を 1mL、10mL、100mL とした場合も同様に着火するか調べた。1mL の滴下には 1mL ピペットを用い、10mL、100mL については調理用のお玉杓子を用いて滴下した。瞬時に調理油が飛散する状況を想定し、滴下はできるだけ速やかに行った。菜種油の温度は 20℃と 220℃の2つの条件で実施した。

オ こんろ上の中華鍋の外面に菜種油が付着した時の着火の有無

こんろに直径 35cm の中華鍋を置き、鍋の中の水が沸騰している状態で使用している時に、菜種油が中華鍋の外側に付着し外面を伝ってこんろの中央部に流出した時の挙動を調べた。菜種油の量は 1mL とした。菜種油の温度

は 20℃と 220℃の 2つの条件で実施した。

カ 消炎直後に菜種油を滴下したときの着火の有無

ガスこんろを最大火力として五徳を加熱し定常状態となった後、消火した直後に菜種油を滴下した時の挙動を調べた。量はアと同様に約 0.03mL とした。菜種油の温度は 20℃と 220℃の 2つの条件で実施した。

6 検証結果

(1) 想定地震動によるフライヤー内の調理油の飛散挙動

想定地震動によるフライヤーの振動実験を 3 回行った結果を示す。図 18 から 20 は各金属缶に飛散した液体の体積量（一の位で四捨五入）を示している。灰色のマスは 5 mL 以上の飛散があったことを示しており、量が多いほど濃い色としている。また、白色のマスは 5 mL 未満となった缶を示している。飛散量が多い傾向を示したのは、フライヤー正面に隣接した 2 缶で、730mL 以上飛散した。一方でフライヤー背面に隣接した 2 缶への飛散量は 50mL 以下となった。フライヤー側面に隣接した 3 缶への飛散量は 100mL から 430mL の間の値となり、側面に隣接した 3 缶を比較すると正面寄りの缶の方が背面寄りの缶に比べて飛散量が多い傾向がみられた。いずれの方向についてもフライヤーから離れるにしたがって飛散量は減少し、1.9m 以上離れることで、飛散量は 5 mL 未満になった。ただし、フライヤー正面方向及び側面方向について、金属缶が設置されていない測定範囲外部分についても飛沫程度の飛散は観測された。

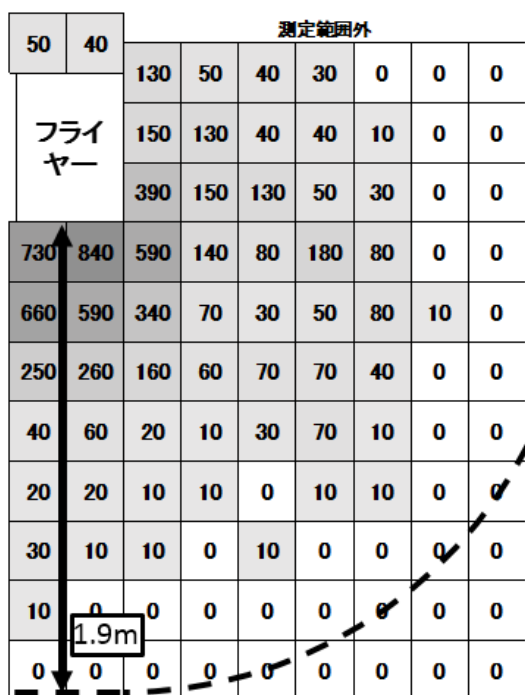


図 18 想定地震動によるフライヤーからの飛散量
(単位 mL、1 回目)

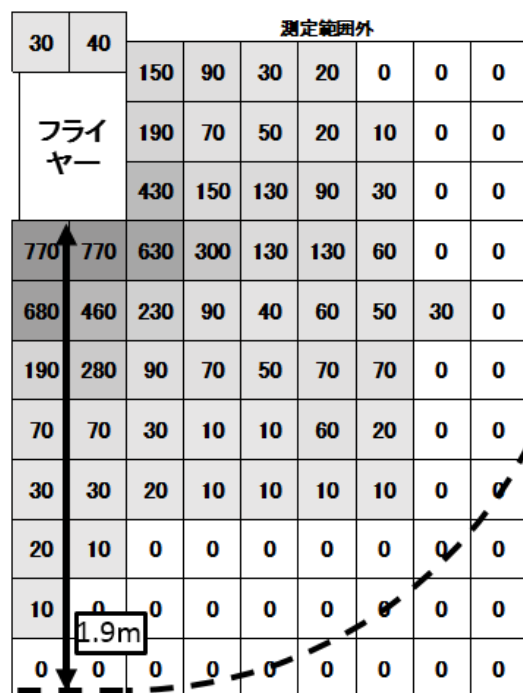


図 19 想定地震動によるフライヤーからの飛散量
(単位 mL、2 回目)

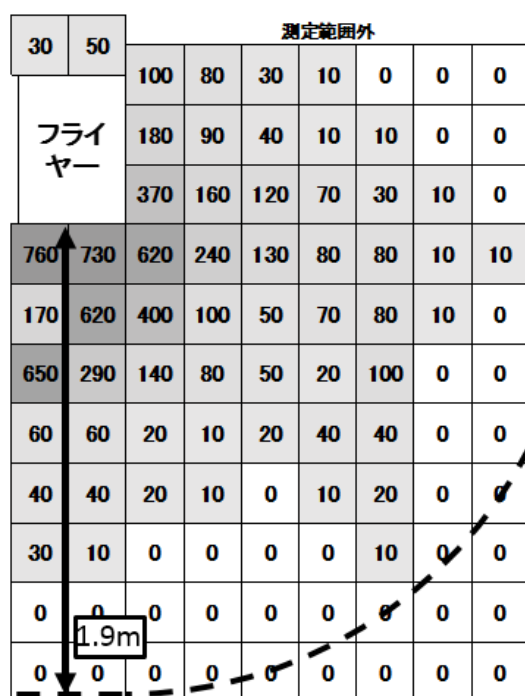


図 20 想定地震動によるフライヤーからの飛散量
(単位 mL、3 回目)

溢流防止対策 A 又は B を行って振動実験を実施した結果を図 21、22 に示す。フライヤー正面に隣接する 2 缶について、溢流防止対策を行わなかった場合はいずれも 1 缶当たり 730mL 以上飛散していたのに対し、対策 A を行った場合は 520mL 以下、対策 B を行った場合は 190mL 以

下の飛散に抑えられた。一方で、フライヤー側面方向への飛散について、対策を行わなかった場合は側面方向に1.2m以上離れると1缶当たり5mL未満の飛散量となったのに対し、対策A又はBを実施した場合はいずれも1.2m以上離れた缶に100mL以上飛散するケースが見られた。

130 130		測定範囲外							1.2m	
フライヤー		160	110	90	50	50	30	0		
		180	120	90	80	110	80	30		
		480	460	350	100	60	120	30		
220	520	680	380	160	180	50	70	10		
140	310	330	80	170	150	60	10	0		
170	160	110	100	140	50	10	0	0		
80	140	50	20	40	10	0	0	0		
0	20	10	10	0	0	10	0	10		
0	0	0	0	0	0	0	0	10		
0	0	0	0	0	0	0	0	0		
0	0	0	0	0	0	0	0	0		

図 21 溢流防止対策A実施時の想定地震動によるフライヤーからの飛散量（単位 mL）

190 150		測定範囲外							1.2m	
フライヤー		210	360	260	80	70	10	0		
		280	250	470	60	150	170	0		
		450	300	390	260	140	100	0		
140	190	320	230	140	260	110	30	0		
50	70	170	90	30	30	40	20	0		
60	100	60	30	20	10	40	20	0		
120	10	10	10	10	10	10	10	0		
40	40	10	0	0	0	0	20	0		
0	10	10	0	0	0	0	10	0		
0	0	0	0	0	0	10	0	0		
0	0	0	0	0	0	0	0	0		

図 22 溢流防止対策B実施時の想定地震動によるフライヤーからの飛散量（単位 mL）

(2) 長周期地震動によるフライヤー内の調理油の飛散挙動

周期 1.79 秒、50gal の正弦波で 3 回実験を行った結果を示す。図 23 から 25 は各金属缶に飛散した液体の体積量（一の位を四捨五入）を示している。灰色のマスは 5 mL 以上の飛散があったことを示しており、量が多いほど濃い色としている。また、白色のマスは 5 mL 未満となった缶を示している。飛散量が多い傾向を示したのは、フライヤー正面に隣接した 4 つの缶のうち側面寄りの 2 缶で、1,810mL 以上飛散した。正面に隣接した中央側の 2 缶では 160mL から 550mL の間となった。一方でフライヤー背面に隣接した 3 缶については 5 mL 未満となった。フライヤー側面に隣接した 6 缶については 0 mL から 1,260mL の間の値となり、側面に隣接した 6 缶を比較すると正面

0 0 0 0 0					測定範囲外					0 0 0 0 0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	270	フライヤー				
0	0	0	10	820	0	0	0	0	0	0
0	0	0	10	810	2190	230	550	2280	310	0
0	0	0	0	20	70	30	20	180	10	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

図 23 長周期地震動によるフライヤーからの飛散量（単位 mL、1 回目）

0 0 0 0 0					測定範囲外					0 0 0 0 0
0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0
0	0	0	20	480	0	0	0	0	0	0
0	0	0	30	1000	フライヤー					0
0	0	0	20	900	1810	180	200	1970	940	10
0	0	0	0	20	100	20	10	80	20	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

図 24 長周期地震動によるフライヤーからの飛散量（単位 mL、2 回目）

0 0 0 0 0					測定範囲外					0 0 0 0 0
0	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0
0	0	0	20	410	0	0	0	0	0	0
0	0	0	10	970	フライヤー					0
0	0	0	10	830	2070	160	180	1860	910	10
0	0	0	0	30	90	30	10	70	30	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

図 25 長周期地震動によるフライヤーからの飛散量（単位 mL、3 回目）

寄りの缶の方が背面寄りの缶に比べて飛散量が多い傾向がみられた。

(3) 飛散した調理油による出火危険

ア 使用中の大型ガスこんろの温度分布

使用中（鍋なし/鍋あり）の大型ガスこんろの熱画像を図 26、27 に示す。最高温度についてはいずれも五徳の先端部分で、鍋がない場合は 585℃、鍋がある場合は 526℃となり、鍋がないほうが高い温度となった。一方で、五徳の先端部分以外については鍋がある方が高い傾向を示した。

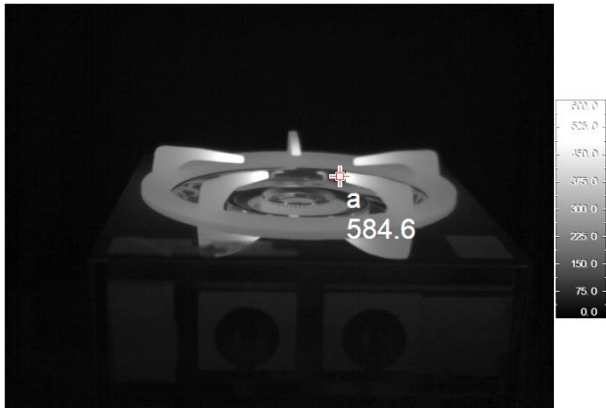


図 26 使用中のガスこんろの温度分布図（鍋なし）

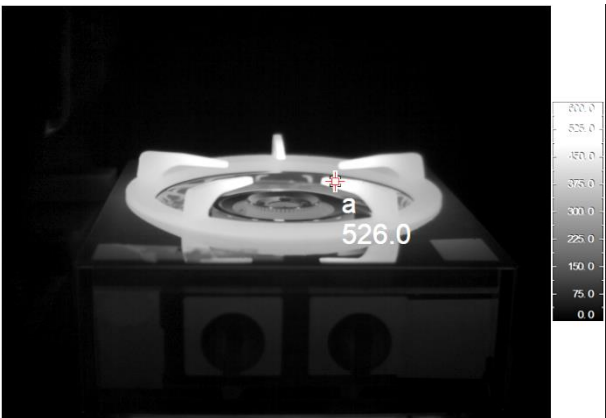


図 27 使用中のガスこんろの温度分布図（鍋あり）

滴下を行った五徳部分の温度を表 5 に示す。五徳先端部の A は 585℃ と菜種油の発火点 419℃⁷⁾ を超えている。B から D については発火点より低い温度であった。なお、E はこんろの炎部分であり、炎周囲のガスによる赤外線の影響等で、今回使用した熱画像撮影装置では計測できない。

表 5 油を滴下した五徳部分の温度

A	B	C	D
585℃	321℃	245℃	209℃

イ 一滴（約 0.03mL）の菜種油を滴下した時の着火の有無

0.03mL の菜種油を滴下した時の着火の有無について表 6 に示す。20℃ の菜種油を五徳の先端部分の A に滴下した場合は着火し（図 28）、B から E に滴下した場合は着火しなかった。220℃ の菜種油を用いた場合についても、A に滴下した場合は着火し、B から E に滴下した場合は着火しなかった。

表 6 0.03 mL 滴下した時の着火状況

	A	B	C	D	E	
20℃	○	×	×	×	×	○着火した ×着火しない
220℃	○	×	×	×	×	



図 28 五徳先端部に 20℃、0.03mL の油を滴下した時の着火状況

ウ 1 mL 以上の菜種油を滴下した時の着火の有無

イで着火が見られた五徳先端部の A に 1 mL 以上の菜種油を滴下した結果を表 7 に示す。1 mL 滴下した時、五徳上の菜種油は着火し、流出して落下した菜種油については着火しなかった。10mL、100mL とした場合においても五徳上の菜種油が着火し、一時的に火が付いた状態で五徳から落下する菜種油もあったが、落下後すぐに消炎した（図 29）。菜種油の温度については、20℃、220℃いずれの場合についても、五徳上の菜種油のみ着火した。



図 29 五徳先端部に 220℃の油を 100mL 滴下した時の着火状況

表7 五徳先端部に1 mL以上の菜種油を滴下した時の着火状況

	1 mL	10mL	100mL	
20℃	△	△	△	△五徳の油のみ着火
220℃	△	△	△	

エ こんろ上の中華鍋の外面に菜種油が付着した時の着火の有無

鍋の外面に菜種油が付着した場合については鍋の外面を伝って五徳の先端部分まで到達した菜種油のみが着火した（図30、31、表8）。

表8 使用中の中華鍋の外面から油を滴下した時の着火状況

	1 mL	
20℃	△	△五徳に到達した油のみ着火
220℃	△	



図30 菜種油が中華鍋の外面を伝っている状況



図31 中華鍋の外面を伝った菜種油が五徳の先端において着火した状況

オ 消炎直後に菜種油を滴下したときの着火の有無

消炎直後のこんろの五徳先端に滴下した場合、菜種油は20℃、220℃いずれの温度も着火しなかった（表9）。

表9 消炎直後に五徳先端部へ菜種油を滴下した時の着火状況

	0.03mL	
20℃	×	×着火しない
220℃	×	

7 考察

(1) 想定地震動によるフライヤー内の調理油の飛散挙動
ア 合計飛散量

各金属缶への飛散量を合計した値を表10に示す。溢流防止なしの場合は、概ね7,300mL程度飛散した。振動前の液量は18Lであるので、全体の4割以上飛散したことになる。溢流防止対策を行った場合は、Aでは7,745mL、Bでは6,951mLとなった。当初は溢流防止により飛散量が減少することを予想していたが、明確な傾向は示されなかった。

表10 金属缶への合計飛散量（mL）

溢流防止なし			溢流防止あり	
1回目	2回目	3回目	A	B
7,245	7,216	7,362	7,745	6,951

イ ゾーン設定

飛散の分布について考察するため、フライヤー周辺のゾーン分けを行った。フライヤーから近い方からゾーン1、2、…としてゾーン8まで設定した。また各ゾーンについて正面方向、側面方向、斜め方向の3つに分けた（図32）。背面部分等についてはゾーン分割の対象外とした。斜め方向については、缶の一边の長さが0.24mであるので缶の中心部分までの距離(m)が $(n-1) \times 0.24$ より大きく $n \times 0.24$ 以下のものをゾーンnとした。

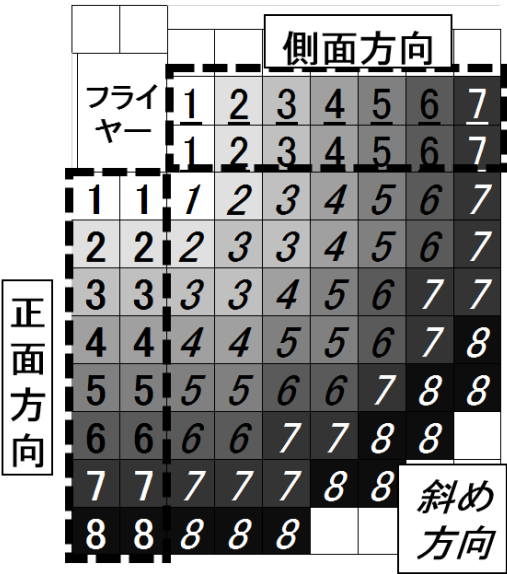


図32 ゾーン分割

ウ 飛散方向の傾向

各方向へのゾーンごとの平均飛散量をフライヤーからの距離に対して対数プロットしたグラフを図33から37に示す。

今回の想定地震動は南北方向（最大加速度1,049gal）の方が東西方向（最大加速度749gal）より揺れが大きい。フライヤーは側面方向が南北方向となるように設置したため、飛散量は側面方向で大きくなることが予想される。しかし溢流防止対策なしの場合は、正面方向の方が側面方向に比べて平均飛散量が多かった。これは油槽の形状による違いと考えられ、油槽の側面は垂直であるのに対し、油槽の正面は傾斜しており、溢流が発生しやすいことが考えられる。

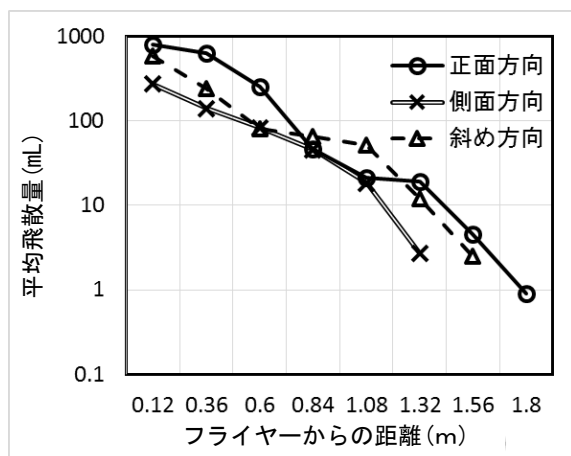


図 33 想定地震動によりフライヤーから各方向へ飛散した平均飛散量と距離の関係（溢流防止なし 1 回目）

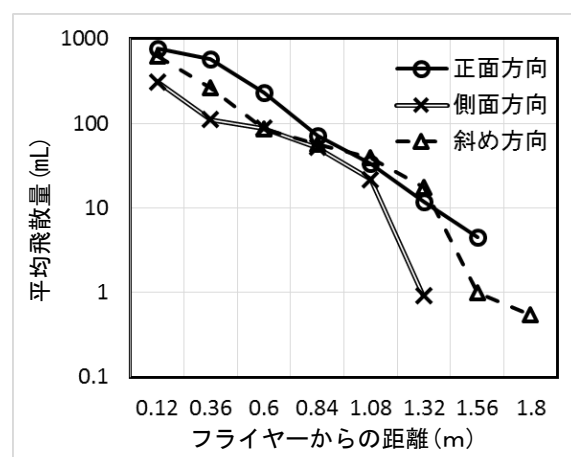


図 34 想定地震動によりフライヤーから各方向へ飛散した平均飛散量と距離の関係（溢流防止なし 2 回目）

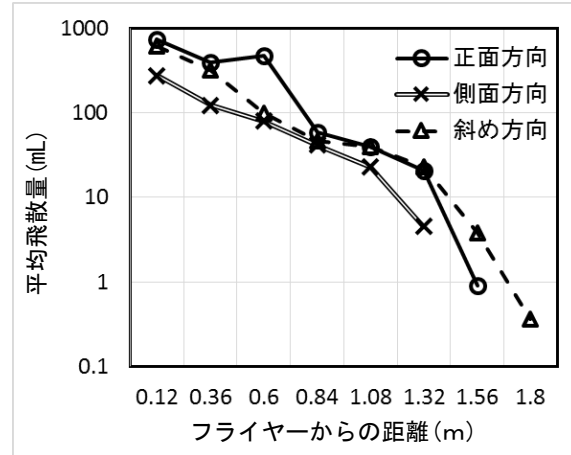


図 35 想定地震動によりフライヤーから各方向へ飛散した平均飛散量と距離の関係（溢流防止なし 3 回目）

一方で溢流防止対策 A、B を行った場合については、側面方向への飛散量の方が正面方向より大きくなる傾向があった。溢流防止対策により縁の形状が変化し、油槽正面の傾斜による溢流増加が抑えられ、地震動の揺れが大きい側面方向の飛散量が多くなったと考えられる。

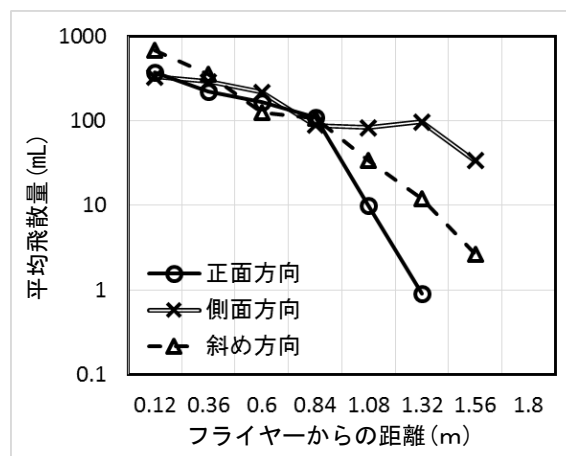


図 36 想定地震動によりフライヤーから各方向へ飛散した平均飛散量と距離の関係（溢流防止あり A）

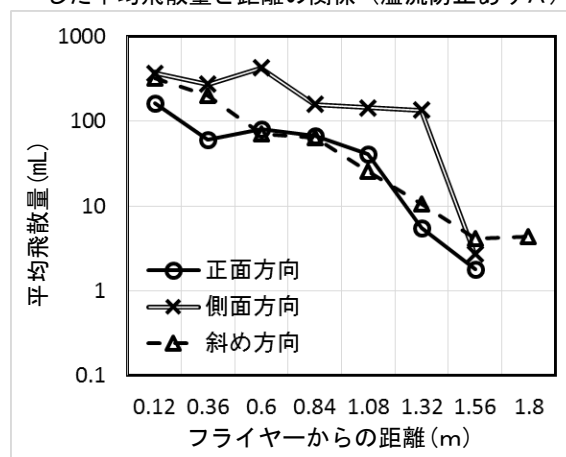


図 37 想定地震動によりフライヤーから各方向へ飛散した平均飛散量と距離の関係（溢流防止あり B）

エ 飛散量の距離依存性

フライヤーから離れるほど飛散量は減少する結果となっているが、その依存性について考察する。

溢流防止対策を実施しない場合の 3 回の測定について、方向によらずに距離ごとに平均飛散量を対数プロットしたグラフを図 38 に示す。点線は指数近似曲線であるが、決定係数 R^2 は 0.94 となり、よく一致する結果となった。このことから、フライヤーに近づくほど飛散量は指数関数的に増大することが分かった。

オ 受傷危険

地震時の受傷事例として、平成 30 年 6 月 18 日に発生した大阪府北部地震の際に、スーパーマーケットやコンビニエンスストアにおいて地震によりフライヤーから油が跳ね、火傷を負った事例がある⁸⁾。今回の結果から、フライヤーからの油の飛散はフライヤーに近づくほど多くなり、特に油槽の壁面が傾斜している正面方向では飛散する危険性が高くなることが示唆された。地震が発生した場合は速やかにフライヤーから離れ、可能であれば側面方向への避難を行うことで受傷するリスクを下げることができる。

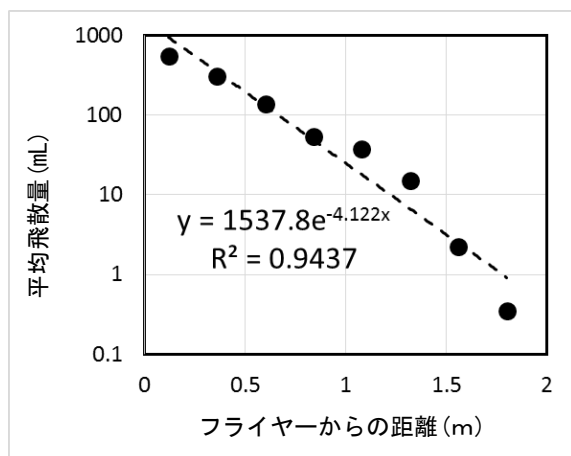


図 38 想定地震動によりフライヤーから各方向へ飛散した平均飛散量と距離の関係

(2) 長周期地震動によるフライヤー内の調理油の飛散挙動

ア 合計飛散量

合計飛散量を表 11 に示す。振動前のフライヤーの液量は 40 L であるのに対し、2 割以上の 9,000 mL 程度飛散する傾向が見られた。

表 11 金属缶への合計飛散量 (mL)

1 回目	2 回目	3 回目
8,798	9,540	9,524

イ ゾーン設定

飛散の分布について考察するため、フライヤー周辺のゾーン分けを行った。フライヤーから近い方からゾーン 1、2、…として、正面方向、側面方向、斜め方向と分けた (図 39)。背面部分等についてはゾーン分割の対象外とした。斜め方向については、缶の一边の長さが 0.24 m であるので缶の中心部分までの距離 (m) が $(n-1) \times 0.24$ より大きく $n \times 0.24$ 以下のものをゾーン n とした。

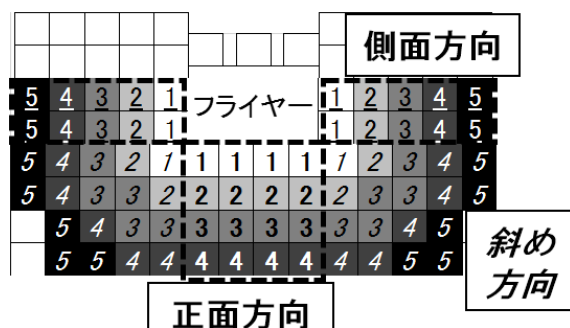


図 39 ゾーン分割

ウ 飛散する方向による違い

(1)と同様に、各方向へのゾーンごとの平均飛散量をフ

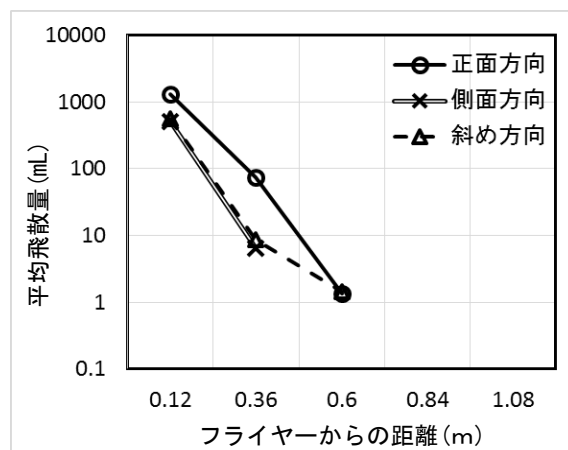


図 40 正弦波によるフライヤーから各方向へのゾーン番号ごとの平均飛散量 (1 回目)

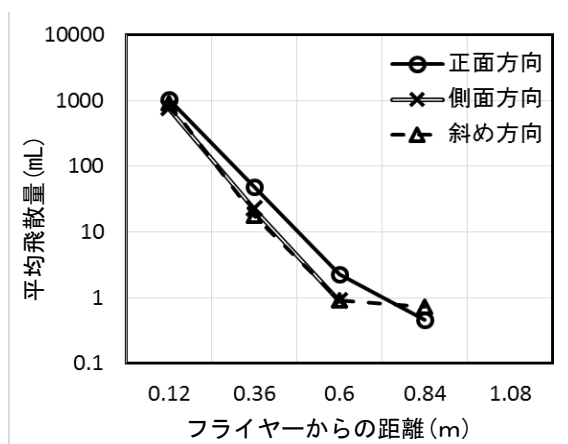


図 41 正弦波によるフライヤーから各方向へのゾーン番号ごとの平均飛散量 (2 回目)

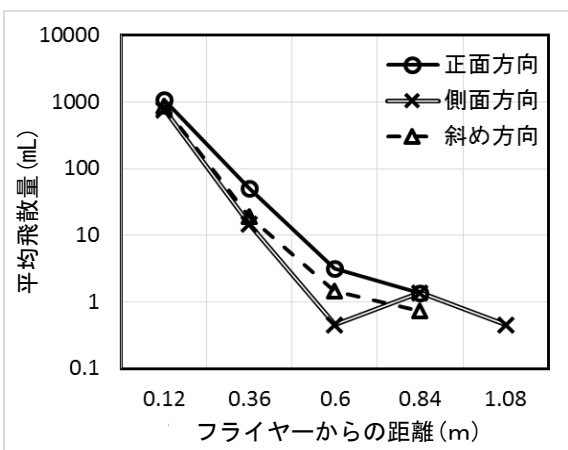


図 42 正弦波によるフライヤーから各方向へのゾーン番号ごとの平均飛散量 (3 回目)

ライヤーからの距離に対して対数プロットしたグラフを図 40 から 42 に示す。側面方向の共振が発生するため、主に側面方向への飛散になると想定していたが、実際は斜め方向、正面方向への飛散の方が多い。これは油槽の

形状について、油槽の側面は垂直となっているが、油槽の正面は傾斜しているため、液体が溢流しやすいと考えられる。

エ 飛散量の距離依存性

フライヤーから離れるほど飛散量は減少する結果となっているが、その依存性について考察する。

方向によらずに距離ごとに飛散量を対数プロットしたグラフを図 43 に示す。点線は指数近似曲線であるが、決定係数 R^2 は 0.95 となり、よく一致する結果となった。このことから、フライヤーに近づくほど飛散量は指数関数的に増大することが分かった。

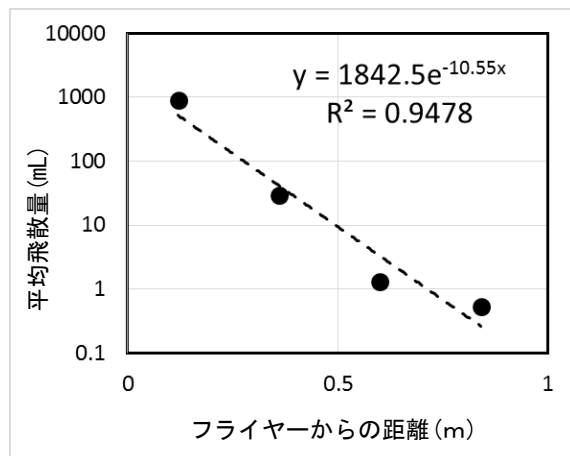


図 43 正弦波によるフライヤーから各方向へのゾーン番号ごとの平均飛散量

(3) 飛散した調理油による出火危険

今回の実験で、飛散した調理油が着火するにはこんろの炎に継続して接炎する必要があることが分かった。

(1)で用いた想定地震動（震度 7）のように震度 5 強以上の地震が起こった場合、マイコンメーターにより自動消火されることから、着火する可能性は低いと考えられる。

一方(2)で用いた震度 4 程度の長周期地震動の場合、マイコンメーターが作動しない状況で油が飛散するおそれがあるが、飛散した調理油はガスこんろの炎に継続して接炎しなければ着火せず、他の可燃物に延焼拡大する危険性は低いと考えられる。

8 まとめ（危険性の評価・対策の検討）

(1) フライヤー内の調理油の飛散挙動

フライヤーの油槽の形状から、比較的フライヤー正面付近への飛散量が多くなる傾向が見られたため、フライヤーを使用中に地震が発生した場合は、速やかにフライヤー正面から離れて受傷防止を図る。また、フライヤーの配置は油の飛散を考慮し、使用者が速やかに退避できる配置とすることが望ましい。

(2) 飛散した調理油による出火危険

震度 5 強相当以上でマイコンメーターは作動するがフライヤーは震度 4 相当の揺れであっても油が飛散する場合があるが、飛散した調理油はガスこんろ等の炎に継続して接炎しなければ着火せず、他の可燃物に延焼拡大する危険性は低いと考えられる。

9 おわりに

本検証では飲食店等の厨房において使用されているフライヤーについて、地震時の危険性を明らかにするため、フライヤー内の調理油等の飛散挙動及び飛散した調理油による着火危険について検証した。その結果、地震時の出火危険や受傷危険が判明し、またそのリスクを下げる方法が示唆された。

10 謝辞

本検証の実施にあたり、工学院大学の久田嘉章教授より多くの貴重な知見を賜りました。ここに感謝の意を表します。

【参考文献】

- 1) 東京消防庁：火災予防審議会 高層化する建築物における防火安全対策、東京消防庁防災部震災対策課、2015
- 2) 米田真之・小野哲也・千島清奈生・福岡和明：長周期地震動等に伴う室内安全に関する検証（その 4）、東京消防庁消防技術安全所報、vol. 55、pp. 108-123、2018
- 3) 野口義憲・渡辺孝夫・松縄忠一：地震時における調理中の天ぷら油からの出火及び飛散実験結果について、東京消防庁消防科学研究所報、vol. 25、pp. 15-28、1988
- 4) George W. Housner：Nuclear reactors and earthquakes、U.S. Atomic Energy Commission、1963
- 5) 久保田清・栗栖真悟・鈴木寛一・松本俊也・保坂秀明：各種植物油とサラダ油、天ぷら油の粘度および密度の温度関係式の設定に関する研究、日本食品工業会誌、vol. 29、No. 4、pp. 195-201、1982
- 6) Glycerin Producers' Association：Physical Properties of Glycerine and its solutions、1963
- 7) 船野誠・中根芳一：天ぷら油火災の発生要因に関する研究、大阪市立大学生活科学部紀要、vol. 40、pp. 39-46、1992
- 8) 厚生労働省大阪労働局安全課：「大阪府北部地震」による災害事例（第三次産業）、<https://jsite.mhlw.go.jp/osaka-roudoukyoku/>、2018