長周期地震動等に伴う室内安全に関する検証（その４）

（電気器具に関する地震火災予防対策の検討）

米田　真之*，小野　哲也**，千島　清奈生**，福嶋　和明**

概　　要

長周期地震動等に伴う室内安全に関する検証の４か年目である本年度は、地震動等に起因した電気器具等による出火危険を検証した。過去の地震時の出火事例や被害報告に基づき電気器具等の危険性を確認し、地震火災予防対策について検討した。

その結果、家具類の転倒・落下・移動防止対策を行うなどの対策が重要であることを再認識したとともに、地震を感じた際には電気フライヤーから１ｍ以上離れるなどの地震火災予防対策をまとめた。

１　はじめに

地震時には火気使用器具及び電気器具を発火源とした火災の発生が多いことから、それぞれの器具について地震火災予防に関する検討を行うこととし、本検証では電気器具に関する地震火災予防対策について検討した。

２　地震火災件数及び電気器具による火災事例

過去の震災において、地震火災件数が多い阪神淡路大震災及び東日本大震災での火災発生状況を表１及び表２に示す。阪神淡路大震災において、地震火災は 285 件報告されており、原因不明 146 件を除く 139 件の出火原因のうち、電気による発熱体に起因した出火は 85 件で、約 61%を占めている [1)]。次に、東日本大震災において、地震火災は 398 件報告されており、原因不明４件及び津波による火災 159 件を除く地震動に関連した火災及び地震動の影響よりも人為的要素が強く関係する火災（以下「間接的な原因」という。）235 件の出火原因のうち、電気関係の火災は 122 件で、約 52%を占めている [2)]。

なお、平成 28 年４月に発生した熊本地震において、前震の発生から本震の発生した 16 日までの間に発生した火災は９件報告されており、地震動に直接関係のある火災は６件であったが、いずれも電気又は電気設備に起因している [3)]。

また、出火に至っていないが、東日本大震災の発災時にガスフライヤーからの調理油の飛散によるけが人の発生及び調理油の飛散に関する情報が、火災予防審議会において報告されている [4)]。

表１　阪神淡路大震災での火災発生状況

発火源分類	発火源	件数
電気による発熱体	電気ストーブ	19
	観賞魚用ヒータ	15
	その他（電気機器及び配線等）	51
	合計	85

表２　東日本大震災での火災発生状況

発火源分類	地震動に関連した火災		間接的な原因	
	発火源	件数	発火源	件数
電気関係	電気器具	56	電気器具	7
	電気配線コンセント	39	電気配線コンセント	1
	電気設備	19		
	合計	114	合計	8

３　実験項目

地震による過去の出火事例で電気器具及び電源コードの損傷が多いことや電気フライヤーからの調理油の飛散が危惧されることから、以下の項目について実験を行った。

- 電気器具の転倒及び移動
- 電源コードの損傷
- 電気フライヤー内の調理油の飛散

また、出火事例から予測される状況を振動実験装置で再現し、都民に普及する資料として映像の撮影も行った。

＊日野消防署　＊＊消防技術課

４　実験機器

⑴　振動実験装置

振動実験装置は加振機、振動台、制御装置等によって構成されている。ルームファン及び排煙機を使用することにより振動台上で小規模の火災実験を行うことが可能である。加振方法については、正弦波１軸による加振（以下「正弦波」という。）及び、観測地震波を再現した３軸による加振（以下「観測地震波」という。）が可能である。また、実験内容に応じて振動台の上に載せるものを交換することが可能で、電気器具の転倒及び移動の実験時は室内模型を設定し、電気フライヤー内の調理油の飛散実験時は防水パンを設定した（写真１・表３及び４）。

写真１　振動実験装置

表３　振動実験装置

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(m)	2.5×2.5 (拡張時 3.5×3.5)
振動数範囲	0.1～200 Hz
最大搭載重量	10,000 kg
最大変位	X 軸：600 mm^{p-p}※ Y 軸：400 mm^{p-p} Z 軸：150 mm^{p-p}
駆動方式	永久磁石駆動方式

※　mm^{p-p}:peak-to-peak で両振幅の範囲を示す。

表４　室内模型

項 目	諸元・性能
内径寸法(m)	幅 3.2×奥行 2.2×高さ 2.3
重量	2.3ｔ

⑵　測定機器

ア　引張圧縮試験機

電源コードの引っ張り及び押し潰し実験は引張圧縮試験機を用いた。試験体の引っ張り、圧縮、せん断等の外力に対してどの程度の耐久性を持つかを評価する試験機である。

イ　ひずみゲージ

地震動の間に家具が床面に与える力を測定するためにひずみゲージを用いた。

⑶　試験体

ア　電気器具

電気器具は電気ストーブと電気こんろを使用した。電気ストーブは、一般に使用されているものから３種類(写真２・表５)、電気こんろは接地面の材質の異なる２種類を用いた（写真３・表６）。また、電気フライヤーはコンビニエンスストア等の小売店での利用を想定し、比較的小型なものを用いた（写真４・表７）。

写真２　電気ストーブ

表５　電気ストーブ仕様

	電気ストーブA	電気ストーブB	電気ストーブC
加熱方式	石英管	ハロゲン	カーボン
消費電力	800W	弱 800W 強 1200W	900W
外径寸法(cm)	幅 30.5 奥 13.5 高 36.5	幅 32.2 奥 18.5 高 56.6	幅 37.0 奥 24.0 高 70.0
重心の高さ(cm)	17	22	26
重量(kg)	1.7	3.25	2.6
コード長(m)	1.6	1.8	1.8

写真３　電気こんろ

表６　電気こんろ仕様

	電気こんろA	電気こんろB
消費電力	1200W	600W
足部素材	ゴム製	プラスチック製

写真４　電気フライヤー

表７　電気フライヤー仕様

	電気フライヤー卓上型
外径寸法(mm)	幅 250×奥 466×高 300
槽	1 槽式
油量	8 ℓ

イ　電源コード

電源コードは居室内の家電製品を想定して、ＶＦＦコード及びＶＣＴＦＫコードの２種類を用いた。(写真５・表８)

写真５　電源コード

表８　電源コード仕様

	ＶＦＦコード	ＶＣＴＦＫコード
公称断面積	0.75㎟	0.75㎟
用途例	扇風機等	テレビ等

⑷　床材

床材の違いによる比較を行うため、室内模型内のフローリングの他にじゅうたん、畳を使用した。また、畳は縫い目の方向で摩擦力に違いが生じるため、図１のとおり滑る面と滑らない面を区別した。

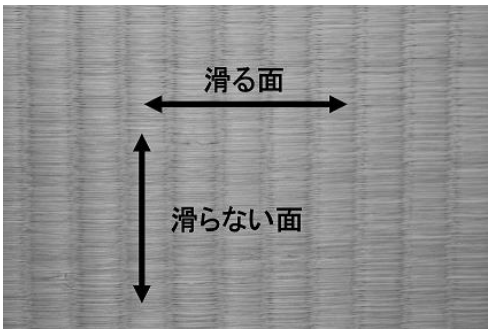

図１　畳の滑る面と滑らない面

５　実験方法及び実験結果

⑴　電気器具の転倒及び移動

ア　実験方法

電気器具を振動実験装置で加振して挙動を観察した。また、床材を変更し摩擦抵抗の違いによる挙動の変化を観察した。

加振は正弦波と観測地震波を用いて行った。正弦波の加速度及び周波数の条件を表９に示す。また、観測地震波は強震観測網（K-NET・KiK-net）で観測された地震波を使用し、条件を表 10 に示す。

表９　正弦波の加速度及び周波数による震度階級対応表

加速度(gal)		30	70	150	250	400
周波数	0.5Hz	4	5 弱	5 強		
	1.0Hz	4	5 弱	5 強	6 弱	6 強
	2.0Hz	4	4	5 弱	5 強	6 弱

表 10　観測地震波

地震名	観測地点	震度	加振時間	最大加速度(gal)	最大速度(cm/s)
兵庫県南部地震	神戸市	6 強	41 秒	802	85
東北地方太平洋沖地震	大崎市	6 強	2 分 44 秒	604	75
熊本地震（本震）	益城町	7	41 秒	1003	106

電気ストーブは接地部の形状が長方形又は楕円形をしているため、加振軸に対する電気ストーブの設置方向に挙動が依存することを考え、２方向測定した。電気こんろについては接地部の形状が正方形をしているため１方向のみとした。

電気ストーブの設置方向は接地部の長辺の向きを電気ストーブの設置軸とみなし、正弦波を用いる場合は加振方向と設置軸との関係が垂直(以下「垂直置き」という。)又は平行(以下「平行置き」という。)の違いで区別した。また、正弦波を用いる場合はＹ軸の加振を行った。加振方向と電気ストーブの設置方向の関係を図２に示す。

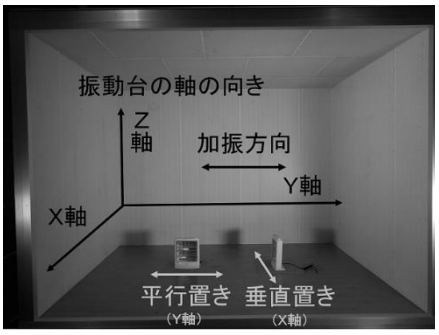

図２　加振方向及び電気ストーブの設置方法

正弦波を用いる場合、10 秒間加振して電気ストーブの転倒及び移動の有無を観察した。観察の結果、移動が認められたものについて再度５分間加振し、移動距離を計測した。電気こんろは形状から転倒の可能性は極めて低いことから移動距離のみ計測した。

観測地震波を用いる場合、加振時間は表 10 の振動実験装置に取り込んだ地震波形の長さとし（東北地方太平洋沖地震は観測時間が比較的長いため、挙動に影響を与えない揺れ始めと終わりの微動部分は省略した)、電気ストーブの転倒及び移動の有無を観察した。移動が認められたものは観測地震波終了時の移動距離を計測した。電気こんろは正弦波を用いた時と同様に移動距離のみ計測した。

転倒及び移動の観察は各設定条件で 10 回ずつ行い、移動距離の測定は各設定条件で 1 回ずつ行った。

電気器具の転倒特性を考察するため、電気器具の静止摩擦係数を算出した。静止摩擦係数の算出については、試験体の重心高さで水平に引っ張り、滑り出し荷重を試験体の重量で除して求めた（表 11)。

表 11　試験体の床材毎の静止摩擦係数

	床材毎の静止摩擦係数			
	フローリング	じゅうたん	畳（滑る面）	畳（滑らない面）
電気ストーブA	0.26	0.62	0.26	0.35
電気ストーブB	0.26	0.57	0.25	0.37
電気ストーブC	0.27	0.67	0.29	0.37
電気こんろA	0.40	1.00	0.60	0.83
電気こんろB	0.18	0.32	0.21	0.21

イ　実験結果

(ｱ) 正弦波による電気ストーブの挙動

正弦波を用い 10 秒間の加振を行い、電気ストーブが静止したままのものを「静」、滑動及びロッキングしたものを「動」、転倒したものを「転」の状態に区分し、それぞれの状態の回数を表 12～14 に示す。

(ｲ) 観測地震波による電気ストーブの挙動

観測地震波を用い、電気ストーブが転倒した回数を表 15 に示す。

(ｳ) 正弦波による電気ストーブの移動距離

表 12～14 について、電気ストーブが転倒した、又は滑動及びロッキングした状態となったものに再度、正弦波を用い５分間の加振を行い、移動した距離を表 16～18 に示す。ロッキングのみのものや５分経過後に開始位置からの移動が目視で確認できないほど微小であったものは表中の距離を０とした。また、加振中に転倒したものについては表中に転倒とした。

(ｴ) 観測地震波による電気ストーブの移動距離

表 15 について、電気ストーブが転倒しなかったものに観測地震波を用い、終了した時点での移動距離を表 19 に示す。

(ｵ) 正弦波による電気こんろの移動距離

電気こんろに正弦波を用い５分間の加振を行い、移動した距離を表 20 及び 21 に示す。

(ｶ) 観測地震波による電気こんろの移動距離

電気こんろに観測地震波を用い、終了した時点での移動距離を表 22 に示す。

表 12　正弦波による転倒実験結果（電気ストーブA）

（単位：回）

床材：フローリング 向き：垂直		挙動	加速度（単位：gal） 30	70	150	250	400
周波数（単位：Hz）	0.5	静	10	10	10		
		動	0	0	0		
		転	0	0	0		
	1.0	静	10	10	10	0	0
		動	0	0	0	10	10
		転	0	0	0	0	0
	2.0	静	10	10	10	0	0
		動	0	0	0	10	10
		転	0	0	0	0	0

（単位：回）

床材：じゅうたん 向き：垂直		挙動	加速度（単位：gal） 30	70	150	250	400
周波数（単位：Hz）	0.5	静	10	10	10		
		動	0	0	0		
		転	0	0	0		
	1.0	静	10	10	10	10	0
		動	0	0	0	0	0
		転	0	0	0	0	10
	2.0	静	10	10	10	10	0
		動	0	0	0	0	5
		転	0	0	0	0	5

（単位：回）

床材：畳 向き：垂直		挙動	加速度（単位：gal） 30	70	150	250	400
周波数（単位：Hz）	0.5	静	10	10	10		
		動	0	0	0		
		転	0	0	0		
	1.0	静	10	10	10	0	0
		動	0	0	0	10	0
		転	0	0	0	0	10
	2.0	静	10	10	1	0	0
		動	0	0	9	5	0
		転	0	0	0	5	10

（単位：回）

床材：フローリング 向き：平行		挙動	加速度（単位：gal） 30	70	150	250	400
周波数（単位：Hz）	0.5	静	10	10	10		
		動	0	0	0		
		転	0	0	0		
	1.0	静	10	10	10	0	0
		動	0	0	0	10	10
		転	0	0	0	0	0
	2.0	静	10	10	10	0	0
		動	0	0	0	10	10
		転	0	0	0	0	0

（単位：回）

床材：じゅうたん 向き：平行		挙動	加速度（単位：gal） 30	70	150	250	400
周波数（単位：Hz）	0.5	静	10	10	10		
		動	0	0	0		
		転	0	0	0		
	1.0	静	10	10	10	10	0
		動	0	0	0	0	10
		転	0	0	0	0	0
	2.0	静	10	10	10	10	0
		動	0	0	0	0	10
		転	0	0	0	0	0

（単位：回）

床材：畳 向き：平行		挙動	加速度（単位：gal） 30	70	150	250	400
周波数（単位：Hz）	0.5	静	10	10	10		
		動	0	0	0		
		転	0	0	0		
	1.0	静	10	10	10	9	0
		動	0	0	0	1	10
		転	0	0	0	0	0
	2.0	静	10	10	10	0	0
		動	0	0	0	10	10
		転	0	0	0	0	0

表 13　正弦波による転倒実験結果（電気ストーブＢ）

（単位：回）

床材：フローリング 向き：垂直		挙動	加速度（単位：gal）				
			30	70	150	250	400
周波数 （単位：Hz）	0.5	静	10	10	10		
		動	0	0	0		
		転	0	0	0		
	1.0	静	10	10	10	0	0
		動	0	0	0	0	0
		転	0	0	0	10	10
	2.0	静	10	1	1	0	0
		動	0	9	9	10	10
		転	0	0	0	0	0

（単位：回）

床材：じゅうたん 向き：垂直		挙動	加速度（単位：gal）				
			30	70	150	250	400
周波数 （単位：Hz）	0.5	静	10	10	10		
		動	0	0	0		
		転	0	0	0		
	1.0	静	10	10	1	0	0
		動	0	0	9	0	0
		転	0	0	0	10	10
	2.0	静	10	1	0	0	0
		動	0	9	10	10	2
		転	0	0	0	0	8

（単位：回）

床材：畳 向き：垂直		挙動	加速度（単位：gal）				
			30	70	150	250	400
周波数 （単位：Hz）	0.5	静	10	10	10		
		動	0	0	0		
		転	0	0	0		
	1.0	静	10	10	1	0	0
		動	0	0	9	1	0
		転	0	0	0	9	10
	2.0	静	10	1	0	0	0
		動	0	9	10	10	6
		転	0	0	0	0	4

（単位：回）

床材：フローリング 向き：平行		挙動	加速度（単位：gal）				
			30	70	150	250	400
周波数 （単位：Hz）	0.5	静	10	10	10		
		動	0	0	0		
		転	0	0	0		
	1.0	静	10	10	10	0	0
		動	0	0	0	10	10
		転	0	0	0	0	0
	2.0	静	10	1	1	0	0
		動	0	9	9	10	10
		転	0	0	0	0	0

（単位：回）

床材：じゅうたん 向き：平行		挙動	加速度（単位：gal）				
			30	70	150	250	400
周波数 （単位：Hz）	0.5	静	10	10	10		
		動	0	0	0		
		転	0	0	0		
	1.0	静	10	10	10	0	0
		動	0	0	0	10	6
		転	0	0	0	0	4
	2.0	静	10	1	0	0	0
		動	0	9	10	10	10
		転	0	0	0	0	0

（単位：回）

床材：畳 向き：平行		挙動	加速度（単位：gal）				
			30	70	150	250	400
周波数 （単位：Hz）	0.5	静	10	10	10		
		動	0	0	0		
		転	0	0	0		
	1.0	静	10	10	10	0	0
		動	0	0	0	10	10
		転	0	0	0	0	0
	2.0	静	10	1	0	0	0
		動	0	9	10	10	10
		転	0	0	0	0	0

表 14　正弦波による転倒実験結果（電気ストーブＣ）

（単位：回）

床材：フローリング 向き：垂直		挙動	加速度（単位：gal）				
			30	70	150	250	400
周波数 （単位：Hz）	0.5	静	10	10	10		
		動	0	0	0		
		転	0	0	0		
	1.0	静	10	10	10	0	0
		動	0	0	0	10	0
		転	0	0	0	0	10
	2.0	静	10	10	0	0	0
		動	0	0	10	10	10
		転	0	0	0	0	0

（単位：回）

床材：じゅうたん 向き：垂直		挙動	加速度（単位：gal）				
			30	70	150	250	400
周波数 （単位：Hz）	0.5	静	10	10	10		
		動	0	0	0		
		転	0	0	0		
	1.0	静	10	10	10	0	0
		動	0	0	0	5	0
		転	0	0	0	5	10
	2.0	静	10	0	0	0	0
		動	0	10	10	10	10
		転	0	0	0	0	0

（単位：回）

床材：畳 向き：垂直		挙動	加速度（単位：gal）				
			30	70	150	250	400
周波数 （単位：Hz）	0.5	静	10	10	10		
		動	0	0	0		
		転	0	0	0		
	1.0	静	10	10	10	0	0
		動	0	0	0	9	0
		転	0	0	0	1	10
	2.0	静	10	1	1	0	0
		動	0	9	9	10	10
		転	0	0	0	0	0

（単位：回）

床材：フローリング 向き：平行		挙動	加速度（単位：gal）				
			30	70	150	250	400
周波数 （単位：Hz）	0.5	静	10	10	10		
		動	0	0	0		
		転	0	0	0		
	1.0	静	10	10	10	0	0
		動	0	0	0	10	10
		転	0	0	0	0	0
	2.0	静	10	10	0	0	0
		動	0	0	10	10	10
		転	0	0	0	0	0

（単位：回）

床材：じゅうたん 向き：平行		挙動	加速度（単位：gal）				
			30	70	150	250	400
周波数 （単位：Hz）	0.5	静	10	10	10		
		動	0	0	0		
		転	0	0	0		
	1.0	静	10	10	10	0	0
		動	0	0	0	10	4
		転	0	0	0	0	6
	2.0	静	10	0	0	0	0
		動	0	10	10	10	10
		転	0	0	0	0	0

（単位：回）

床材：畳 向き：平行		挙動	加速度（単位：gal）				
			30	70	150	250	400
周波数 （単位：Hz）	0.5	静	10	10	10		
		動	0	0	0		
		転	0	0	0		
	1.0	静	10	10	10	0	0
		動	0	0	0	10	10
		転	0	0	0	0	0
	2.0	静	10	1	1	0	0
		動	0	9	9	10	10
		転	0	0	0	0	0

表 15　観測地震波による電気ストーブの転倒実験結果

（単位：回）

床材		フローリング					
地震波		兵庫県南部地震		東北地方太平洋沖地震		熊本地震（本震）	
向き		垂直	平行	垂直	平行	垂直	平行
ストーブ	A	0	0	0	2	0	3
	B	0	10	5	2	4	10
	C	0	0	0	7	3	10

（単位：回）

床材		じゅうたん					
地震波		兵庫県南部地震		東北地方太平洋沖地震		熊本地震（本震）	
向き		垂直	平行	垂直	平行	垂直	平行
ストーブ	A	10	10	10	10	10	10
	B	10	10	10	10	10	10
	C	10	10	10	10	10	10

（単位：回）

床材		畳					
地震波		兵庫県南部地震		東北地方太平洋沖地震		熊本地震（本震）	
向き		垂直	平行	垂直	平行	垂直	平行
ストーブ	A	10	10	7	10	10	10
	B	10	10	10	10	10	10
	C	10	10	10	10	10	10

表 16　正弦波による移動距離の測定結果（電気ストーブＡ）

（単位：cm）

床材：フローリング 向き：垂直		加速度（単位：gal）				
		30	70	150	250	400
周波数（単位：Hz）	0.5	－	－	－		
	1.0	－	－	－	11	23
	2.0	－	－	－	3	※

※2分34秒後に壁に衝突した。壁までの距離163cm

（単位：cm）

床材：じゅうたん 向き：垂直		加速度（単位：gal）				
		30	70	150	250	400
周波数（単位：Hz）	0.5	－	－	－		
	1.0	－	－	－	－	転倒
	2.0	－	－	－	－	転倒

（単位：cm）

床材：畳 向き：垂直		加速度（単位：gal）				
		30	70	150	250	400
周波数（単位：Hz）	0.5	－	－	－		
	1.0	－	－	－	1	転倒
	2.0	－	－	－	※	転倒

※7秒後に転倒

（単位：cm）

床材：フローリング 向き：平行		加速度（単位：gal）				
		30	70	150	250	400
周波数（単位：Hz）	0.5	－	－	－		
	1.0	－	－	－	18	31
	2.0	－	－	－	5	※

※3分後に壁に衝突した。壁までの距離163cm

（単位：cm）

床材：じゅうたん 向き：平行		加速度（単位：gal）				
		30	70	150	250	400
周波数（単位：Hz）	0.5	－	－	－		
	1.0	－	－	－	－	0
	2.0	－	－	－	－	6

（単位：cm）

床材：畳 向き：平行		加速度（単位：gal）				
		30	70	150	250	400
周波数（単位：Hz）	0.5	－	－	－		
	1.0	－	－	－	－	3
	2.0	－	－	－	1	1

表 17　正弦波による移動距離の測定結果（電気ストーブＢ）

（単位：cm）

床材：フローリング 向き：垂直		加速度（単位：gal）				
		30	70	150	250	400
周波数（単位：Hz）	0.5	－	－	－		
	1.0	－	－	－	転倒	転倒
	2.0	－	－	－	32	60

（単位：cm）

床材：じゅうたん 向き：垂直		加速度（単位：gal）				
		30	70	150	250	400
周波数（単位：Hz）	0.5	－	－	－		
	1.0	－	－	－	転倒	転倒
	2.0	－	－	0	0	転倒

（単位：cm）

床材：畳 向き：垂直		加速度（単位：gal）				
		30	70	150	250	400
周波数（単位：Hz）	0.5	－	－	－		
	1.0	－	－	－	転倒	転倒
	2.0	－	－	0	0	転倒

（単位：cm）

床材：フローリング 向き：平行		加速度（単位：gal）				
		30	70	150	250	400
周波数（単位：Hz）	0.5	－	－	－		
	1.0	－	－	－	※1	102
	2.0	－	－	－	※2	※3

※1 73秒後に転倒。40cm移動

（単位：cm）

床材：じゅうたん 向き：平行		加速度（単位：gal）				
		30	70	150	250	400
周波数（単位：Hz）	0.5	－	－	－		
	1.0	－	－	－	0	※
	2.0	－	－	7	117	7

※20秒後に転倒

（単位：cm）

床材：畳 向き：平行		加速度（単位：gal）				
		30	70	150	250	400
周波数（単位：Hz）	0.5	－	－	－		
	1.0	－	－	－	3	※1
	2.0	－	－	20	21	※2

※1 畳の縁まで移動し、縁に引っかかる。4分10秒で前方に転倒
※2 畳の縁まで移動し、縁に引っかかる。転倒せず

表 18　正弦波による移動距離の測定結果
（電気ストーブＣ）

（単位：cm）

床材：フローリング 向き：垂直		加速度（単位：gal）				
		30	70	150	250	400
周波数 （単位：Hz）	0.5	－	－	－		
	1.0	－	－	－	※	転倒
	2.0	－	－	9	2	80

※138秒後に転倒。移動距離25cm

（単位：cm）

床材：じゅうたん 向き：垂直		加速度（単位：gal）				
		30	70	150	250	400
周波数 （単位：Hz）	0.5	－	－	－		
	1.0	－	－	－	転倒	転倒
	2.0	－	0	57	14	58

（単位：cm）

床材：畳 向き：垂直		加速度（単位：gal）				
		30	70	150	250	400
周波数 （単位：Hz）	0.5	－	－	－		
	1.0	－	－	－	転倒	転倒
	2.0	－	－	－	3	※

※前方に移動後に畳から落下

（単位：cm）

床材：フローリング 向き：平行		加速度（単位：gal）				
		30	70	150	250	400
周波数 （単位：Hz）	0.5	－	－	－		
	1.0	－	－	－	8	※1
	2.0	－	－	3	90	※2

※1 36秒後に壁に衝突。壁までの距離163cm

（単位：cm）

床材：じゅうたん 向き：平行		加速度（単位：gal）				
		30	70	150	250	400
周波数 （単位：Hz）	0.5	－	－	－		
	1.0	－	－	－	0	転倒
	2.0	－	0	0	31	57

（単位：cm）

床材：畳 向き：平行		加速度（単位：gal）				
		30	70	150	250	400
周波数 （単位：Hz）	0.5	－	－	－		
	1.0	－	－	－	5	※1
	2.0	－	－	－	4	※2

※1 36秒後に畳の縁に引っかかり転倒
※2 前方に移動後に畳から落下。距離距離90cm

表 19　観測地震波による電気ストーブの
移動距離の測定結果

（単位：cm）

床材		フローリング					
地震波		兵庫県南部地震		東北地方太平洋沖地震		熊本地震（本震）	
向き		垂直	平行	垂直	平行	垂直	平行
ストーブ	A	19	27.5	5.5		21	24.5
	B	14.5		7		17	
	C	23.5	60	24.5		38	

（単位：cm）

床材		じゅうたん					
地震波		兵庫県南部地震		東北地方太平洋沖地震		熊本地震（本震）	
向き		垂直	平行	垂直	平行	垂直	平行
ストーブ	A						
	B						
	C						

（単位：cm）

床材		畳					
地震波		兵庫県南部地震		東北地方太平洋沖地震		熊本地震（本震）	
向き		垂直	平行	垂直	平行	垂直	平行
ストーブ	A			4			
	B						
	C						

表 20　正弦波による移動距離の測定結果
（電気こんろＡ）

（単位：cm）

床材：フローリング		加速度（単位：gal）				
		30	70	150	250	400
周波数 （単位：Hz）	0.5	0	0	0		
	1.0	0	0	0	0	0
	2.0	0	0	0	0	0

（単位：cm）

床材：じゅうたん		加速度（単位：gal）				
		30	70	150	250	400
周波数 （単位：Hz）	0.5	0	0	0		
	1.0	0	0	0	0	0
	2.0	0	0	0	0	0

（単位：cm）

床材：畳		加速度（単位：gal）				
		30	70	150	250	400
周波数 （単位：Hz）	0.5	0	0	0		
	1.0	0	0	0	0	0
	2.0	0	0	0	0	0.5

表 21　正弦波による移動距離の測定結果
（電気こんろＢ）

（単位：cm）

床材：フローリング		加速度（単位：gal）				
		30	70	150	250	400
周波数 （単位：Hz）	0.5	0	0	0		
	1.0	0	0	0	6	80
	2.0	0	0	0	1	14

（単位：cm）

床材：じゅうたん		加速度（単位：gal）				
		30	70	150	250	400
周波数 （単位：Hz）	0.5	0	0	0		
	1.0	0	0	0	0	0
	2.0	0	0	0	0	0

（単位：cm）

床材：畳		加速度（単位：gal）				
		30	70	150	250	400
周波数 （単位：Hz）	0.5	0	0	0		
	1.0	0	0	0	0	34※
	2.0	0	0	0	12	6

※25秒で畳の縁に衝突し、縁までの距離は34cm

表 22　観測地震波による電気こんろの
移動距離の測定結果

（単位：cm）

床材		フローリング		
地震波		兵庫県南部地震	東北地方 太平洋沖地震	熊本地震（本震）
こんろ	A	0	0	10
	B	2	9	17.5

（単位：cm）

床材		じゅうたん		
地震波		兵庫県南部地震	東北地方 太平洋沖地震	熊本地震（本震）
こんろ	A	0	0	11
	B	12	0	8

（単位：cm）

床材		畳		
地震波		兵庫県南部地震	東北地方 太平洋沖地震	熊本地震（本震）
こんろ	A	0	0	9
	B	8	2	15.5

⑵　電源コードの損傷

電源コードを、差し込みプラグ、壁付きコンセントとの結合部分、コード部分の３つの部位に分け、差し込みプラグの壁付きコンセントからの引き抜き力、コードの引っ張りに対する耐久力及びコードの圧縮に対する耐久力について実験を行った。

ア　差し込みプラグの壁付きコンセントからの引き抜き力

(ｱ) 実験方法

平常時においてもコンセント周りの埃の堆積によるトラッキング現象や金属を介した短絡による火災が発生している。地震動によって家具類や電気器具等が動きだし、差し込みプラグに力がかかることが想定されるため、差し込みプラグの引き抜きにかかる引っ張り力を引張圧縮試験機を用いて測定した。治具に壁付きコンセント及び差し込みプラグを設定し、壁付きコンセントの接置面と垂直に引っ張る方向（以下「垂直方向」という。）（図３）及び90°回転させた方向（以下「平行方向」という。）の２方向で測定した。

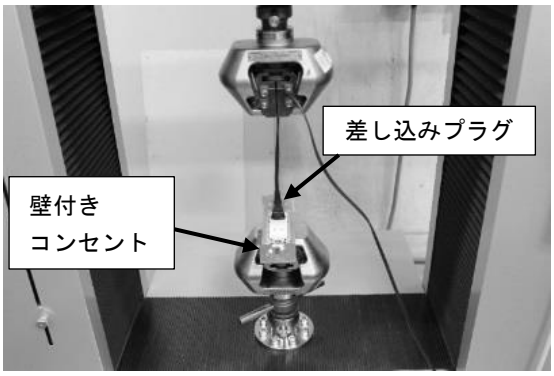

図３　差し込みプラグ引き抜き試験（垂直方向）

また、１対の差し込みプラグと壁付きコンセントの組み合わせに対し 100 回連続して垂直方向の引き抜き試験を行い、引き抜きにかかる試験力の変化を測定した。

(ｲ) 実験結果

引張圧縮試験機を用い、差し込みプラグの引き抜きにかかった試験力の平均を図４及び５に示す。また、100 回連続して垂直方向の引き抜き試験を行った時の引き抜きにかかった試験力を図６に示す。

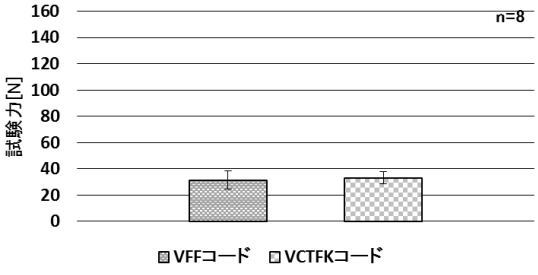

図４　差し込みプラグ引き抜き試験（垂直方向）の結果

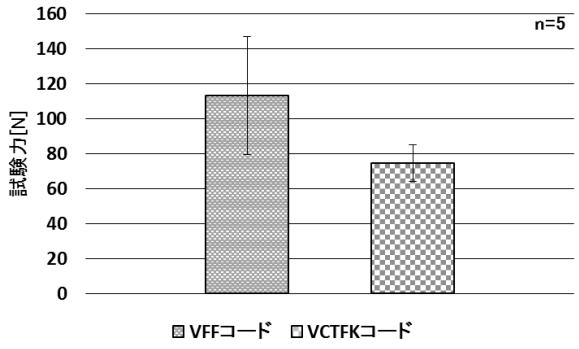

図５　差し込みプラグ引き抜き試験（平行方向）の結果

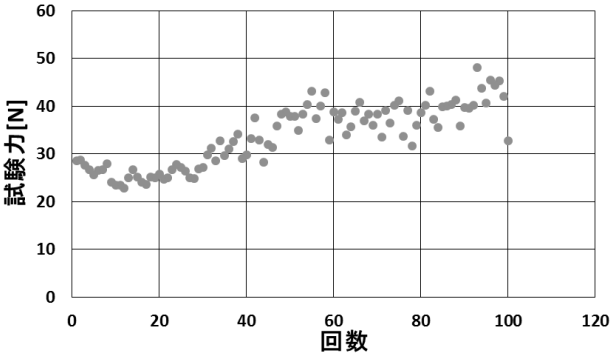

図６　差し込みプラグ連続 100 回引き抜き試験の結果

イ　コードの引っ張りに対する耐久力

(ｱ) 実験方法

引張圧縮試験機の治具にコードの両端を固定し引っ張り力を加え、コードの素線が断線するまでの力を測定した（写真６）。引張圧縮試験機は一定速度で治具を引っ張り上げ、かかった試験力を記録するため、試験中は試験力が測定時間とともに上昇し、コードの素線が断線し始めると試験力が下降する。そのため、試験中の最大試験力をコードの耐久力とした。また、一定期間使用されたコード（2002 年製ＶＦＦコード）を用いた計測も行った。

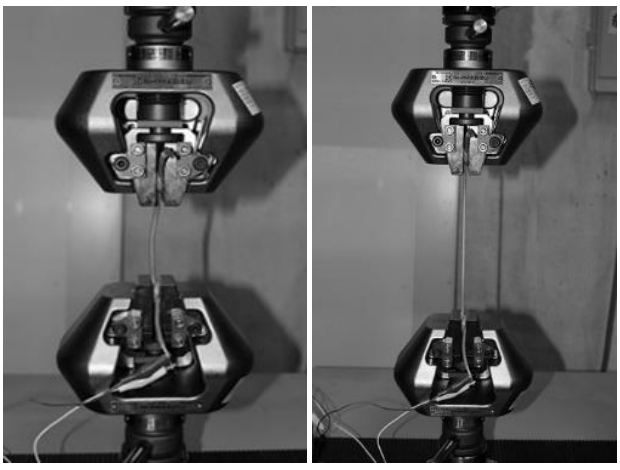

写真６　コード引っ張り試験の様子

(ｲ) 実験結果

引張圧縮試験機を用い、コードの引っ張りにかかった試験力の平均を図７に示す。

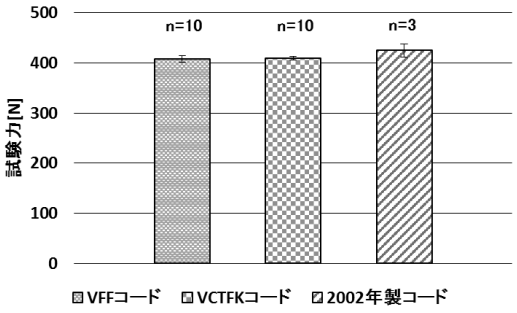

図７　コード引っ張り試験の結果

ウ　コードの圧縮に対する耐久力

(ｱ) 実験方法

フローリングの上の家具類が地震動によってコードを踏み付けた際にコードの損傷が発生することを想定し、コードに対して引張圧縮試験機を用いて圧縮の力をかけた。試験中はデジタルマルチメーターにより抵抗値の変化を測定することで両極素線の接触を確認することとした。押し潰しの材料は厚さ 12mm の木材及びステンレス製の板で実施した。(写真７)

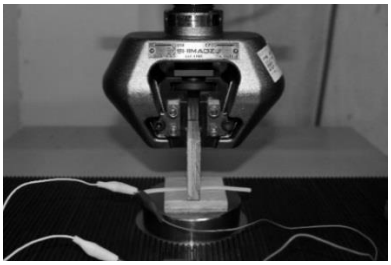

写真７　圧縮試験の様子

試験力は一般的な家具の重量（最大 100kg 程度）以上を想定して 2,000N（200kgf 程度）とした。

コードに対する家具類の踏み付けを想定して、地震時に家具と床材の間にかかる力をひずみゲージを用いて測定した。テレビ台の接地部分の四隅にひずみゲージを取り付けて、兵庫県南部地震、東北地方太平洋沖地震及び熊本地震（本震）で加振して家具と床材の間にかかる力を測定した。使用した家具はひずみゲージの計測可能荷重が 500N(50kgf 程度)のため、計測可能なテレビ台(10kg)を用いた。

(ｲ) 実験結果

全てのコードにおいて両極素線の接触は確認できなかった。また、観測地震波を用い、テレビ台の接地面にかかった力の合計最大値を表 23 に示す。

表 23　テレビ台の接地面にかかった力（単位：Ｎ）

	兵庫県南部地震	東北地方太平洋沖地震	熊本地震（本震）
合計最大値	109	107	108

⑶　電気フライヤー内の調理油の飛散

ア　実験方法

電気フライヤーに 8,000ml の調理油を充填して地震動による調理油の飛散距離及び飛散量を測定した。

振動台の上で実際に 180℃程度の高温の調理油を飛散させる実験を行うのは危険であることから、180℃のサラダ油と動粘度の等しいグリセリン水溶液を用いて実験を行った。180℃のサラダ油の動粘度は 3.3 cm^2/s であり[5]、室温（15℃）付近でこの数値を再現するため、水 50ml にグリセリン 30ｇを溶かした濃度の水溶液を使用した。

振動台に防水パンを設定し、電気フライヤー及び集水バケツ（外形寸法は幅 335mm、奥行 335mm）を隙間ができないように配置して観測地震波で加振した。電気フライヤーを使用する際には、一般的に前方に立ち使用することから、電気フライヤーの前方への調理油の飛散を重点的に観測するため、合計 24 個の集水バケツを使用し、電気フライヤーの前方に３列、後方に１列を配置した（写真８）。

写真８　集水バケツの配置

電気フライヤーを配置する向きは観測地震波の加速度の最大値が大きい方向の軸と電気フライヤーの前後軸を合わせて配置した。

飛散量の測定は加振後の集水バケツの重量から空の状態の重量の差を取ったものとし、密度は 1.1g/cm^3 として体積を計算した。

イ　実験結果

電気フライヤーに観測地震波を用い、終了した時点での集水バケツに集められたグリセリン水溶液の体積を表 24～26 に示す。観測地震波別に最大飛散量を太字に、飛沫は確認できるが飛散量は計測できない場合を＊と示す。

表 24～26 から、電気フライヤー内のグリセリン水溶液は、電気フライヤーに隣接する８個（前後左右と斜め）の集水バケツに大半が飛散した。特に電気フライヤーの前方と左右のバケツで飛散量が多かった。また、熊本地

震（本震）においては、一つの集水バケツの最大飛散量1,744ml を計測した。

最大飛散距離については、少量の飛沫に限っては１ｍ以上の飛散を確認した。

表 24　調理油飛散実験の結果（兵庫県南部地震）

飛散量（単位：ml）

*	22	*	*	0
117	358	113	*	*
15	フライヤー	680	*	0
254	1010	117	*	0
*	*	*	0	0

表 25　調理油飛散実験の結果（東北地方太平洋沖地震）

飛散量（単位：ml）

*	*	0	0	0
45	604	117	*	*
60	フライヤー	839	*	*
90	696	81	*	0
*	*	*	*	0

表 26　調理油飛散実験の結果（熊本地震（本震））

飛散量（単位：ml）

*	*	*	*	*
97	595	4	15	*
13	フライヤー	1744	272	*
26	75	184	43	*
*	*	*	*	*

６　考察

⑴　電気器具の転倒及び移動

ア　正弦波

特徴の異なる電気器具、配置及び床材と揺れの組み合わせについて、表９の震度区分ごとに実験結果を集計し、各震度における電気器具の転倒及び移動に関する挙動の傾向を分析する。

表 12～14 について、集計した電気ストーブの転倒及び移動に関する震度別挙動割合を図８に示す。

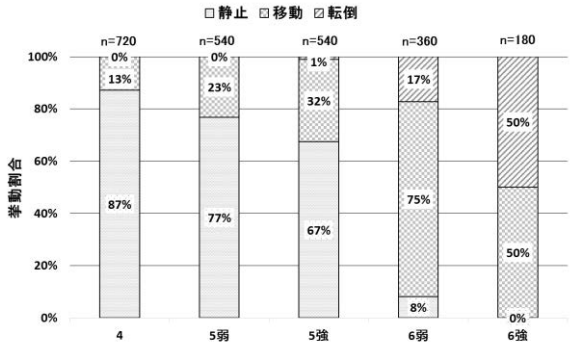

図８　電気ストーブの震度別挙動割合（正弦波）

図８の結果、震度４から震度６弱までは震度が大きくになるに従って、移動の割合が高くなった。震度５強から転倒する電気ストーブが認められ、震度が大きくなるに従って、転倒の割合が高くなった。震度５強では、半数以上の割合が静止であるが、震度６弱では移動の割合が震度別で最も高い 75%となった。震度６強では移動と転倒が半々の割合となった。

現在、販売されている電気ストーブの多くは、転倒した際に電源が切れる安全装置（以下「転倒オフスイッチ」という。）を備えている。しかし、転倒オフスイッチが備わっていない電気ストーブは現在も使用されており、転倒によって放熱面が床面等の可燃物と接触する可能性が高く、震度５強以上の揺れでは転倒し火災となる危険性が高い。さらに、転倒オフスイッチが備わっていない電気ストーブは本体自体の転倒だけでなく、家具類等の衝突による電気ストーブの２次的な転倒により放熱面に可燃物が接触し火災となる危険性も高い。

一方、転倒オフスイッチを備えた電気ストーブは、電気ストーブ自体の転倒や家具類等の衝突による転倒により電気ストーブが倒れると電源が切れ、可燃物が電気ストーブの放熱面に触れても火災となる危険性は低くなる。したがって、転倒オフスイッチを備えた電気ストーブは、本体の移動や可燃物の移動によって、放熱面に可燃物が接触し火災となる危険性の方が高い。

本実験では震度６強の揺れでも半数の電気ストーブが転倒しなかったことから、転倒オフスイッチの有無に関わらず、揺れにより可燃物が移動や落下することで電気ストーブの放熱面に触れて火災となる危険性は高い。

次に、表 12～14 について、重心高さ別に集計した電気ストーブの転倒及び移動に関する重心高さ別挙動割合を図９に示す。

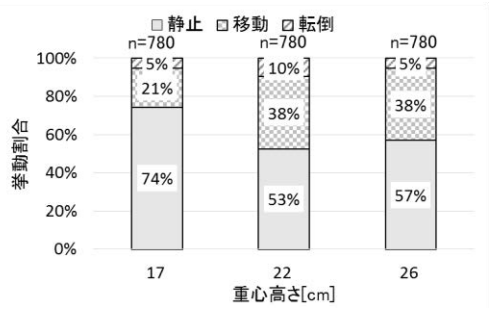

図９　電気ストーブの重心高さ別挙動割合

重心高さが 22cm の電気ストーブＢ及び 26cm の電気ストーブＣは首振り機能を有するタイプであり、発熱体の部位と台座の部位が緩く連結されている。重心高さ 17cm の電気ストーブは一体タイプである。図９の結果、一体タイプの電気ストーブは首振りタイプに比べ移動した割合が小さい。これは重心が高いほど、台座底部を基点とするモーメントが大きくなることから、ロッキングしやすくなると考えられ、ロッキングから転倒へと移りや

すいと考えられる。しかし、挙動割合には発熱体の部位と台座の連結の仕方も影響を受けるため、試験体の電気ストーブ以外についても重心が高い電気ストーブほど移動しやすいとは一概に言えない。

表 12～14 について、床材別に集計した電気ストーブの転倒及び移動に関する床材別挙動割合を図 10 及び 11 に示す。

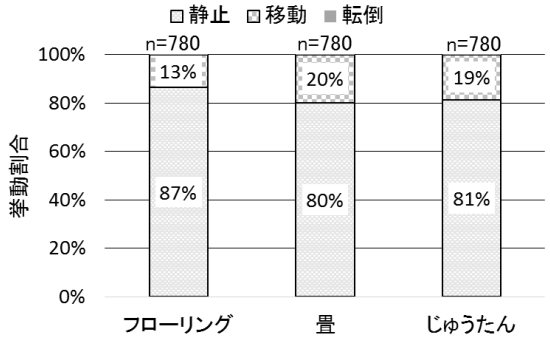

図 10　震度４及び震度５弱の場合における床材別挙動割合

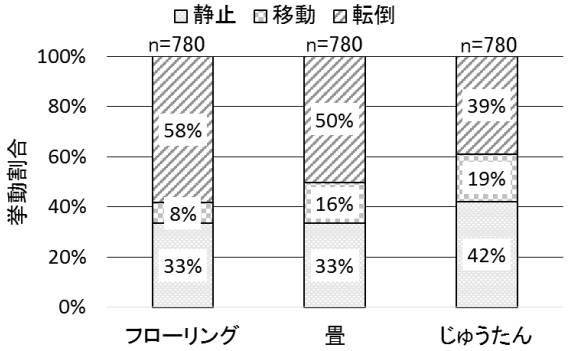

図 11　震度５強、６弱及び６強の場合における床材別挙動割合

図 10 及び 11 の結果、震度４及び５弱の場合は、挙動割合に大きな差異は認められなかった。また、震度５強、６弱及び６強の場合は、静止摩擦係数が小さいほど電気ストーブの転倒の割合が高くなった。これは静止摩擦係数が小さいほど移動しやすくなり、移動することにより振り子運動が助長され、転倒する割合が高くなったと考えられる。

次に、表 16～18 について、表９の震度区分に従って集計した電気ストーブの震度別最大移動距離を図 12 に示す。

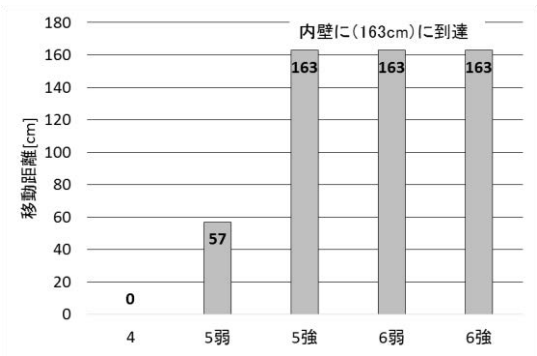

図 12　電気ストーブの震度別最大移動距離（正弦波）

図 12 の結果、震度５弱において、最大移動距離は 57cm となった。震度５強以上では、室内模型の内壁まで到達した。なお、測定位置から内壁までの距離は 163cm である。

内壁まで移動したのは電気ストーブＢ及びＣであり、首振り機能を有するタイプである。これらの電気ストーブの移動時の様子を観察すると、首振り機能を有するタイプは発熱体の部位と台座の部位の接続部が緩く連結されており、正弦波の振動により、発熱体の部位が振り子の様に揺れ、少しずつ一方方向へ移動した。このことから、正弦波のような均一な周波数の振動が一定時間継続した状況では、振り子による移動が起き、比較的長い距離を移動する可能性があり、移動した先に可燃物がある場合には放熱面に可燃物が接触し火災となる危険性が高い。

次に、表 20 及び 21 について、表９の震度区分に従って集計した電気こんろの移動に関する挙動割合を図 13 に示す。

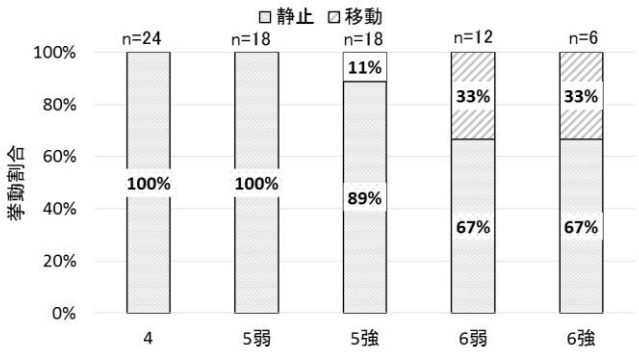

図 13　電気こんろの震度別挙動割合（正弦波）

図 13 の結果、震度５強から移動する電気こんろが認められ、震度が大きくなるに従って、移動の割合は高くなった。震度６弱及び震度６強では移動の割合が約３割となった。

図 13 と同様に、表 20 及び 21 について、表９の震度区分に従って集計した電気こんろの震度別最大移動距離を図 14 に示す。

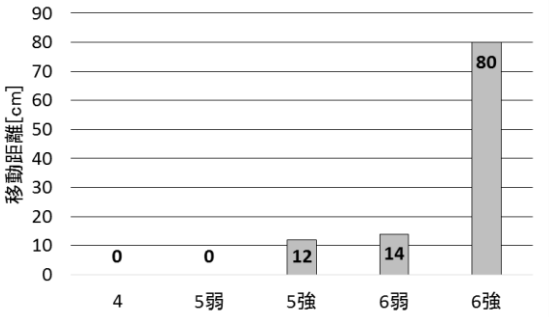

図 14　電気こんろの震度別最大移動距離（正弦波）

図 14 の結果、震度５強以上の震度から移動距離が認められ、震度６強において最大移動距離は 80cm となった。

最大移動距離は摩擦係数の小さいフローリングと電気こんろＢの組み合わせにおいて、周波数 1.0Hz 及び加速度 400gal の揺れで認められた。

正弦波の最大速度と電気こんろと床面の摩擦係数別の最大移動距離を図 15 に示す。

なお、表９に対応する最大速度は表 27 のとおり。

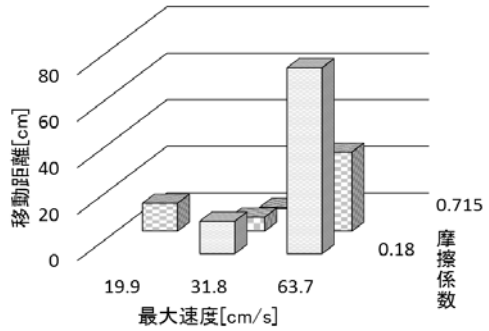

図 15　電気こんろＡ及び電気こんろＢの最大移動距離（正弦波）

表 27　最大速度（単位：cm/s）

	30gal	70gal	150gal	250gal	400gal
0.5Hz	10	22	48		
1.0Hz	5	11	24	40	64
2.0Hz	2	6	12	20	32

図 15 の結果、摩擦係数が小さいほど最大移動距離が大きくなる傾向が認められ、また、最大速度が大きいほど移動距離が長くなる傾向が認められた。この傾向は既往研究でも報告されている [6]。このことは、摩擦係数が小さく、かつ、同じ加速度であれば低い周波数（長い周期）の揺れほど、移動距離が長くなることを示している。

イ　観測地震波

表 15 について、観測地震波ごとに集計した電気ストーブの転倒及び移動に関する挙動割合を図 16 に示す。

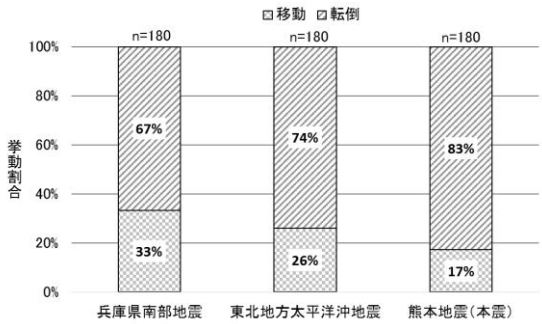

図 16　電気ストーブ挙動割合（観測地震波）

図 16 の結果、いずれの地震波においても転倒の割合は６割を超えており、残りの割合は移動となった。

表 10 のとおり加振に用いた観測地震波の最大加速度の大きさの順序は、熊本地震（本震）、兵庫県南部地震、東北地方太平洋沖地震となっており、また、最大速度の大きさの順序も、熊本地震（本震）、兵庫県南部地震、東北地方太平洋沖地震となっている。加振時間は、東北地方太平洋沖地震が最も長く２分 44 秒、兵庫県南部地震及び熊本地震（本震）は 41 秒である。

観測地震波について転倒割合の占める大きさの順序は、最大加速度及び最大速度の最も大きい熊本地震（本震）の転倒割合が 83%と最も大きく、次いで東北地方太平洋沖地震の 74%、兵庫県南部地震の 67%という順序となっている。

表 19 について、観測地震波ごとに集計した電気ストーブの最大移動距離を図 17 に示す。

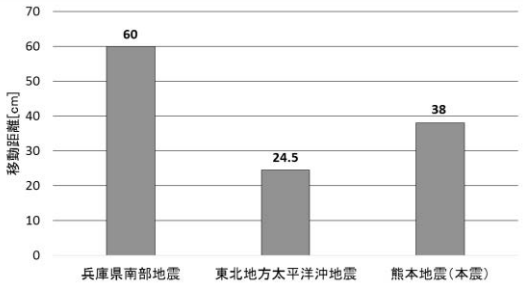

図 17　電気ストーブの最大移動距離（観測地震波）

表 19 及び図 17 の結果、いずれの観測地震波においても重心の高い電気ストーブＣと摩擦係数の小さいフローリングの組み合わせで最大移動距離が認められ、最も移動した距離は、兵庫県南部地震を用いたフローリングでの移動距離 60cm となった。

ここで、東京都生活文化局が都民（２万人）を対象に実施した調査 [7] によると、普段の電気ストーブ使用時における物との離隔距離について、「あなたが普段、電気ストーブを使用する時、電気ストーブの正面から物（布団、衣服、家具、新聞雑誌等）をおおよそ（ご自身の感覚で結構です）どのくらい離しますか？」という設問に対しての回答は、１ｍ以上が 28.3%、50cm～１ｍ未満が

42.9%、20～50cm 未満が 17.9%、20cm 未満が 2.3%、「ストーブから物への距離は使うたびに異なる」が 8.7%となっている。

上記の調査結果によると、電気ストーブと物の距離が50cm 未満で使用しているという回答者（ストーブから物への距離は使うたびに異なるを除く）は全体の 20.2%となっており、電気ストーブを使用する者の２割程度が、実験結果の最大移動距離 60cm 以内の範囲に可燃物がある状況で電気ストーブを使用していると考えられる。このような状況で電気ストーブを使用し、地震動により電気ストーブが大きく移動した場合には、可燃物に電気ストーブが接触し、火災となる可能性がある。

なお、火災予防条例には、電気ストーブを使用する際の電気ストーブと可燃物の離隔距離が定められており、例えば出力２kW 以下の前方放射型電気ストーブの場合では、前方に対しては 100cm 以上離す必要がある。

次に表 22 について、観測地震波ごとに集計した電気こんろの最大移動距離を図 18 に示す。

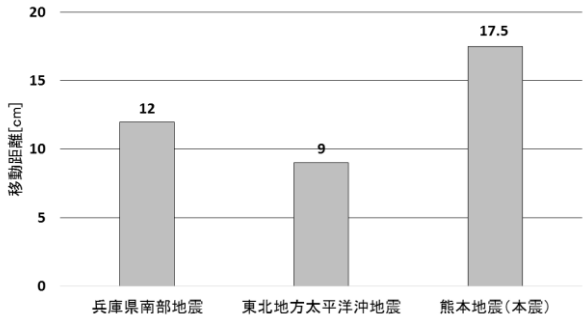

図 18　電気こんろの最大移動距離（観測地震波）

表 22 及び図 18 の結果、摩擦係数の小さいフローリングと電気こんろＢの組み合わせで最大移動距離が 17.5cm となった。しかし、いずれの観測地震波についても摩擦係数が最も小さい電気こんろＢとフローリングの組み合わせにおいて最大移動距離が認められたのではなく、兵庫県南部地震のみについて言えば、電気こんろＢとじゅうたんとの組み合わせで最大移動距離が 12cm となった。電気こんろの移動時の様子を観察すると、電気こんろＢとフローリングでは摩擦係数 0.18 と小さいため、電気こんろがフローリング上を滑り、結果的に測定の起点に近い位置で停止したものであった。

このことから、摩擦係数の小さい組み合わせほど移動する距離は長く、摩擦係数が小さいフローリングの材質に近いようなテーブル上などで電気こんろを使用している場合には、地震動による滑動によりテーブルから落下し、床面の可燃物に接触し火災となる可能性が高い。

⑵　電源コードにかかる力

ア　電源コードが損傷に至る力

５⑵イにより３種の電源コードの素線が断線するまでの試験力は最大でも約 439N であった。

ここで、地震動で家具類が移動した際に、電源コードにかかる力を次のように推定する。一般的に物が移動している際に物に作用する動摩擦力は、最大静止摩擦力より小さくなることから、家具類の最大静止摩擦力を用いて電源コードにかかる力を考察する。室内に固定された電源コードが家具類の移動によって引かれた際、電源コードにかかる最大の力は式(1)のとおり表される。

$$F = Ma - f \quad \cdots\cdots\cdots (1)$$

F[N]：電源コードに係る力

M[kg]：家具類の重量

f[N]：家具類と床に生じる最大静止摩擦力

a[m/s^2]：床が動く加速度

ここで、家具類として一般的なたんす（67kg）を用いて考察する。５⑴アの静止摩擦係数の導出と同じ手法で、たんすとフローリングの滑り出し荷重を求めると 40.5kgf であった。この値を最大静止摩擦力とみなし、電源コードの耐久力を 450N として、この耐久力が発生する際の床の加速度 a_0 を算出すると、式(1)は式(2)となり a_0 は 12.2m/s^2（約 1,220gal）となる。

$$a_0 = \frac{(450+40.5\times g)}{67} \quad \cdots\cdots\cdots (2)$$

g[m/s^2]：重力加速度

a_0[m/s^2]：床に作用する加速度

この結果は、家具がロッキングを起こさずに電源コードを引いた状況を想定しており、電源コードにかかる負荷が最も小さい状況を仮定している。そこで、家具の最大静止摩擦力を０N と仮定し、電源コードにかかる最大の負荷を想定すると、電源コードの耐久力 450N が生じる際の床の加速度は、a_1 は 6.7m/s^2（約 670gal）となる。

また、差し込みプラグが抜ける試験力は、垂直方向で最大約 41N であり、平行方向では最大約 170N であった。さらに、垂直方向については 100 回の繰り返し試験を行ったが、試験力の減少は認められなかった。

公開されている強震観測データによると東北地方太平洋沖地震や熊本（本震）地震では、最大加速度が 1,000gal（３成分合成）を超える揺れが観測されており、地震動による家具類の移動で電源コードが引っ張られた場合、前述した加速度 a_0 や a_1 の大きさを踏まえると、電源コードが別の家具類による挟まれや踏まれがない状況であれば、差し込みプラグはコンセントから抜ける可能性が高い。しかし、家具類による挟まれや踏まれにより固定されている場合には、地震動により移動した別の家具類により電源コードが引っ張られ素線が断線する可能性がある。

イ　家具類による挟まれや踏まれの力

ここで、家具類と床との挟まれを想定し、家具側及び床側に均等に摩擦力が加わると仮定し、家具類と電源コ

ード間の静止摩擦係数をフローリングと電気ストーブの摩擦係数と同程度の 0.3 とすると、挟まれによる固定が 450N となる状況は、家具類と電源コード及び電源コードと床の間にそれぞれ 225N の摩擦力が作用する状況となり、約 77kg の重量の家具類で電源コードが挟まれている状況となる。

次に、５⑵ウにより、短時間に 2,000N（200kg 程度）程の試験力をかけたものの、両極素線の接触や損傷は認められなかった。また、観測地震波を用いて地震動による家具類の荷重の変化を確認したところ、加振時間を通して、最大でも総重量の 1.1 倍程度であった。このことから、地震動による荷重の変化で電源コードがすぐに短絡する可能性は低いと考えられる。

ウ　地震時における電源コードの挙動

以上のことから、電源コードについては、地震動に伴う家具類の移動等に伴い電源コードが引っ張られた際には、家具類による挟まれや踏まれが無い場合、コンセントから引き抜ける可能性が高い。この時、電気器具を使用している場合には、差し込みプラグが全て引き抜ける際に、コンセントと差し込みプラグの差し刃間でスパークが発生する可能性があるため、スパークがコンセント付近に溜まった埃などに着火する可能性がある。

また、差し込みプラグが半抜け状態となった場合には、電気器具を使用することにより、コンセントと差し込みプラグの接触部が接触不良を起こし過熱し出火する可能性がある。

さらに、差し込みプラグが半抜け状態となった差し込みプラグの差し刃間に、金属など導電性の物が落ちてきた場合には、短絡の火花によってコンセント付近に溜まった埃などに着火する可能性がある。

電源コードの家具類による挟まれや踏まれがある状態で、地震が発生し家具類の移動等に伴い電源コードに力がかかった場合には、電源コードの素線が断線し火災となる可能性がある。また、電源コードが断線に至らず半断線した場合においても、電気器具の使用により半断線した電源コードの箇所が発熱し火災となる可能性がある。

⑶　電気フライヤー内の調理油の対震挙動

表 24～26 について、観測地震波ごとの合計飛散量及び集水バケツの最大量を図 19 に示す。

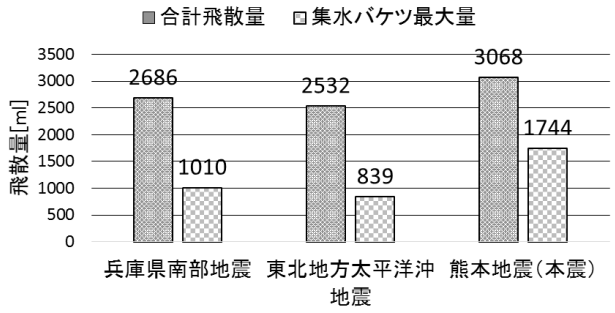

図 19　合計飛散量及び集水バケツ最大量

図 19 の結果、合計飛散量と集水バケツの１つ当たりの最大液量の多い順序は、いずれも最大加速度及び最大速度の大きい熊本地震（本震）、兵庫県南部地震、東北地方太平洋沖地震と同じ順序となった。熊本地震（本震）については、合計飛散量に対する集水バケツの 1 つ当たりの最大液量の割合が 57%と大きく、局所的に集中した飛散が認められた。

電気フライヤー内の液面揺動は、調理油を含めた電気フライヤーの固有周期によって変化すると考えられ、液面揺動に関する特性については、石油タンクのスロッシング固有周期が、タンク直径と内容液の液面高さを用いて与えられる [8]。電気フライヤーと石油タンクではスケールが大きく異なるが、電気フライヤーについても液面の表面積と液面高さによって、液面の挙動は変化すると考えられる。このことから、熊本地震（本震）の場合における局所的に集中した飛散は、地震動と電気フライヤー内の調理油との共振が原因と考えられる。

また、いずれの観測地震波においても電気フライヤーから１m以上の調理油の飛散が認められており、特に集水バケツ２つ分離れた距離（約 67cm）までは、飛沫を超える量の飛散が認められた。

これらのことから、電気フライヤーを使用している際に、地震を感じた場合には、速やかに電気フライヤーから１m以上離れる必要がある。

7　地震火災予防対策の検討

地震が起きた際に、一般家庭において電気ストーブの転倒及び移動がどの程度起きるのかを、各種統計資料及び実験結果を用いて推定する。

東京都生活文化局が都民（２万人）を対象に実施した調査 [7] によると、住居で使用している暖房器具として電気ストーブ（ハロゲンヒーター及びカーボンヒーターを含む。）を使用している人は、全体の 22.5%であり、また、住居の種類別に電気ストーブを使用している人数は、一戸建て 1,744 人、共同住宅 2,687 人、その他 60 人となっている。

使用している暖房器具に関わらず、一戸建て、共同住宅及びその他の住居に住んでいる人は、一戸建て 7,080 人、共同住宅 12,623 人、その他 297 人となっている。したがって、住んでいる住居の種別割合は、一戸建て 35.4%、共同住宅 63.1%、その他 1.5%である。

以上のことから、一戸建てに住み電気ストーブを使用している人の割合は 24.6%、共同住宅に住み電気ストーブを使用している人の割合は 21.3%、その他の住居に住み電気ストーブを使用している人の割合は 20.2%となる。

また、住居種別割合（その他を除く）と住居別の電気ストーブ使用割合から、一戸建てに住み電気ストーブを使用している人の割合は、8.7%、共同住宅に住み電気ストーブをしている人の割合は、13.4%となる。

次に、東京ガスが一都三県在住の人（2600 人）を対象に実施した調査[9]によると、寝室に使用されている床材の材質として、戸建住宅に住みフローリングを使用している人の割合は 51.2%、じゅうたん・カーペットを使用している人の割合は 16.5%、畳を使用している人の割合は 29.8%、その他の人は 2.5%となっている。また、集合住宅に住みフローリングを使用している人の割合は 47.2%、じゅうたん・カーペットを使用している人の割合は 21.0%、畳を使用している人の割合は 29.4%、その他の人は 2.4%となっている。

住居種別割合、住居別の電気ストーブ使用割合及び住居別床材割合から、一戸建てにおいて電気ストーブを使用している人の床材別（その他を除く）割合及び共同住宅において電気ストーブを使用している人の床材別（その他を除く）割合は、表 28 のとおりとなる。

また、床材別電気ストーブ使用割合を住居別に合計すると、一戸建て又は共同住宅において電気ストーブを使用している人の床材別割合は、表 29 のとおりとなる。

次に、実験で得られた震度及び床材別の電気ストーブの転倒及び移動割合は表 30 及び 31 のとおりであり、さらに、震度別の電気ストーブの転倒割合 t_i は式(3) のとおり表され、震度別の電気ストーブの移動割合 m_i は式(4) のとおり表される。

したがって、一戸建又は共同住宅において電気ストーブを使用し電気ストーブが各震度の揺れによって転倒又は移動する人の割合は表 32 のとおりとなる。この割合は、例えば震度６強の揺れがあった際に、一戸建又は共同住宅において電気ストーブを使用し電気ストーブが転倒する人の割合となっている。つまり、震度６強の地震が起きた際、無作為に 100 人を抽出した場合、9.7 人においては一戸建て又は共同住宅において電気ストーブを使用しており電気ストーブが転倒すると推定される。

なお、以上の推定については、電気ストーブが転倒又は移動する挙動割合の推定であり、電気ストーブのスイッチが入っている割合及び発熱体による可燃物への着火割合は考慮していない。

表 28　住宅床材別電気ストーブの使用割合

住居	床材	使用割合
一戸建て	フローリング	u_{f1}=4.4%
	じゅうたん･カーペット	u_{z1}=1.4%
	畳	u_{t1}=2.6%
共同住宅	フローリング	u_{f2}=6.3%
	じゅうたん･カーペット	u_{z2}=2.8%
	畳	u_{t2}=3.9%

表 29　床材別電気ストーブの使用割合

床材	使用割合
フローリング	$u_f=u_{f1}+u_{f2}$=10.7%
じゅうたん・カーペット	$u_z=u_{z1}+u_{z2}$=4.2%
畳	$u_t=u_{t1}+u_{t2}$=6.5%

表 30　震度及び床材別の電気ストーブ転倒割合

	フローリング	じゅうたん・カーペット	畳
震度４(i=1)	t_{f1}=0%	t_{z1}=0%	t_{t1}=0%
震度５弱(i=2)	t_{f2}=0%	t_{z2}=0%	t_{t2}=0%
震度５強(i=3)	t_{f3}=0%	t_{z3}=0%	t_{t3}=2.8%
震度６弱(i=4)	t_{f4}=8.3%	t_{z4}=23.3%	t_{t4}=20.0%
震度６強(i=5)	t_{f5}=33.3%	t_{z5}=66.7%	t_{t5}=50.0%

表 31　震度及び床材別の電気ストーブ移動割合

	フローリング	じゅうたん・カーペット	畳
震度４(i=1)	m_{f1}=7.5%	m_{z1}=15.0%	m_{t1}=15.8%
震度５弱(i=2)	m_{f2}=21.1%	m_{z2}=22.2%	m_{t2}=26.1%
震度５強(i=3)	m_{f3}=32.2%	m_{z3}=27.2%	m_{t3}=35.5%
震度６弱(i=4)	m_{f4}=91.7%	m_{z4}=60.0%	m_{t4}=72.5%
震度６強(i=5)	m_{f5}=66.7%	m_{z5}=33.3%	m_{t5}=50.0%

$$t_i = \begin{pmatrix} t_{fi} & t_{zi} & t_{ti} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} u_f \\ u_z \\ u_t \end{pmatrix} \cdots\cdots (3)$$

$$m_i = \begin{pmatrix} m_{fi} & m_{zi} & m_{ti} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} u_f \\ u_z \\ u_t \end{pmatrix} \cdots\cdots (4)$$

i = 1,2,3,4,5：各震度を表す

表 32　各震度における一戸建又は共同住宅における電気ストーブの転倒又は移動割合

	転倒割合(t_i)	移動割合(m_i)
震度４(i=1)	t_1=0%	m_1=2.4%
震度５弱(i=2)	t_2=0%	m_2=4.9%
震度５強(i=3)	t_3=0.2%	m_3=6.8%
震度６弱(i=4)	t_4=5.0%	m_4=17.0%
震度６強(i=5)	t_5=9.7%	m_5=11.8%

8　おわりに

⑴　電気ストーブ及び電気こんろ

電気ストーブや電気こんろに関しては、発熱部に可燃物が接触すると火災となる危険性が高い。地震時には家具類の転倒、落下又は移動に伴い可燃物が移動し、発熱部に接触する可能性があることから、電気ストーブに関しては、周囲で濡れたものを乾燥するなど、電気ストーブの近くに可燃物を置かないこと、家具類の移動等に伴って可燃物が発熱部に接触することがないように、家具類の転倒･落下･移動防止対策を行うことが重要である。

電気ストーブに関しては震度５弱程度、電気こんろに関しては震度５強程度より強い揺れで、電気ストーブ及び電気こんろ自体が大きく動く可能性があり、特に電気ストーブについては震度６強程度の大きな揺れでも転倒しない場合もあることから、電気ストーブや電気こんろを使用中に地震が起こった場合には、地震が収まったことを確認した後に、可燃物が接触していないことを確認することで、火災の発生を防ぐことができる。

また、安全装置である転倒オフスイッチを備えていない場合、地震の揺れで電気ストーブが転倒又は家具類等の衝突による転倒により、床材等の可燃物に接触し着火し火災となる危険性が高い。電気ストーブは震度５強程度より強い揺れで転倒する可能性があることから、転倒オフスイッチを備えていない電気ストーブは使用しないことが望ましい。

⑵　電源コード

電気器具等の電源コードに関しては、地震動に伴う家具類の移動等に伴い電源コードが引っ張られた際にコンセントから抜ける可能性があることから、電源コードが引っ張られた状態ではなく、長さに余裕を保った状態で使用する必要がある。また、電源コードが引っ張られた際に、電源コードが損傷する可能性があることから、電源コードの家具類による踏み付け又は挟み込みがないようにする必要がある。一方、家具類等の衝突に伴う衝撃による電源コードの損傷又は電源コードの経年劣化の損傷に与える影響などに関しては、不明な点があることからさらなる検証が必要である。

⑶　電気フライヤー

電気フライヤー内の調理油に関しては、地震動に伴う電気フライヤー内の液面揺動によって調理油が飛散する可能性がある。特に電気フライヤーから 70cm 程度以内の範囲には、飛沫を超える量の調理油が飛散する可能性があることから、地震を感じた場合には、速やかに電気フライヤーから１ｍ以上離れる必要がある。

⑷　電気器具に関する地震予防対策

電気器具に関する地震火災予防対策を次のようにまとめる。これらの対策はこれまでも言われたものであり新たな知見ではないが、本検証を踏まえても重要であることが再認識されたものである。

・ 転倒オフスイッチを備えていない電気ストーブの使用を控える。
・　家具類の転倒・落下・移動防止対策を行う。
・　電気ストーブを使用する場合は、火災予防条例に基づく離隔距離を順守する。
・　コンセントに水がかかる位置に水槽等の水が入ったものを置かない。
・　差し込みプラグ付近に埃を溜めない。
・　電源コードは余裕を持たせ使用する。
・　家具類による電源コードの踏み付け又は挟み込みをしない。
・　地震を感じた際には、電気フライヤーから１ｍ以上離れる。

9　謝辞

本検証の実施にあたり、東京理科大学大学院教授の関澤愛先生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）地震時における出火防止対策の在り方に関する検討委員会：地震時における出火防止対策のあり方に関する調査検討報告書、総務省消防庁、1998
2）2011 年東日本大震災 火災等調査報告書【完全版】、公益社団法人 日本火災学会、2016
3） 東京消防庁：平成 24 年版　平成 28 年(2016 年)熊本地震被害報告書、東京消防庁防災部、2018
4） 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
5）久保田清・栗栖真悟・鈴木寛一・松本俊也・保坂秀昭：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、日本食品工業会誌第 29 巻第４ 1982 年４月
6）金子美香・林康裕：地震時の剛体の転倒限界と移動量に関する検討、構造工学論文集 Vol.43B、1997 年３月
7）東京都生活文化局消費生活部：ストーブの安全な使用に関する調査報告書、2014
8）巨大地震と石油タンクのスロッシング、Safty ＆ Tomorrow №154、2014 年３月
9） 東京ガス都市生活研究所：現代人の睡眠事情 2015、2015 年９月

Study on the Indoor Safety in Connection with Long-Duration Seismic Waves (Part 4)

－Study on Earthquake Fire Prevention Measures for Electric Appliances－

Masayuki YONEDA*, Tetsuya ONO**, Kiyonao CHISHIMA**, Kazuaki FUKUSHIMA**

Abstract

This fiscal year, which is the 4th year of the Study on the Indoor Safety in Connection with Long-Duration Seismic Waves, we examined the danger of the fires to be caused by electric appliances due to seismic waves. We examined earthquake fire prevention measures by checking the dangers caused by electric appliances based on the past cases of the fires occurring during an earthquake and damage reports.

As a result of our study, while reaffirming that countermeasures such as those taken to prevent the overturn, dropping and moving of furniture are important, we summarized earthquake fire prevention measures such as moving one meter or more away from an electric fryer when an earthquake is felt.

＊Hino Fire Station ＊＊Fire Technology Section