

火気使用設備に設置されている対震安全装置の経年変化について

Aging of earthquake safety devices for fire using appliances

北 澤 千 弘*
 野 口 義 憲**
 渡 辺 孝 夫**
 松 縄 忠 一***

Fifteen years has passed since the Fire Prevention ordinance of Tokyo was amended. The amendment stipulated that boilers running on liquid fuel should be equipped with a safety device which was to be activated by the shock of an earthquake.

To investigate the deterioration by aging of the safety devices, we collected and tested 26 devices from our Fire stations and 196 of them from private workplaces and homes where boilers, water heaters, and space heaters were used.

As result of the tests, we found that 21 % of them were out of the standard, and 6 % of them did not activate on the artificial earthquake shock of Intensity 5. Main cause of deterioration of sensitivity was an accumulation of dust in the devices. The concerned Section of our Department has been informed of our test results, so that they may give a good advice to the industry of the safety device.

1. はじめに

液体燃料を使用するボイラー、温風暖房機及び給湯湯沸設備（以下「ボイラー」という。）については、昭和47年以来火災予防条例で地震時に作動する安全装置の設備を義務付けている。しかし、使用年数、設置環境が対震安全装置（以下「感震器」という。）の機能に与える影響及び感震器自体の経年変化についての調査研究は今まで行われていなかったため、今回、性能試験を実施し、その結果をここに報告する。

2. 感震器の生産台数

昭和48年から61年までの4社・9型式の個別試験申請個数は、約748,000台である。各年の生産台数をみると昭和53年～56年の間が最も多く昭和57年以降は減少の傾向にある。昭和48年から61年までの生産台数を表1に示す。

3. 感震器の種類

現在、使用されている感震器は、次の4機種に大

別される。

(1) 落球式（A社製）3機種

動作原理

リセット状態では、鋼球は図1のようにボール受上に安定した状態でセットされている。所定の振動加速度が加わると、鋼球がボール受けから落下し、マイクロスイッチを作動させるものである。

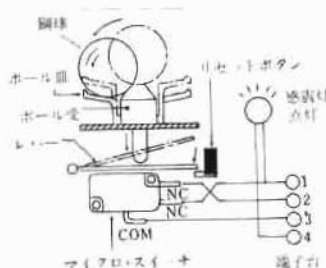


図1 感震部構造（各型式共通）
生産台数 約253,000台

(2) 落球式（B社製）3機種

動作原理

鋼球のころがりによりバネ力によるピンの押上げ力を開放し、マイクロスイッチを作動

*池袋消防署 **第二研究室 ***目黒消防署

させるものである。

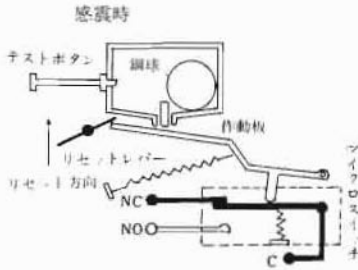


図2 感震部構造 (各型社共通)
生産台数 約267,000台

(3) 磁石式 (C社製) 1機種

動作原理

この感震器は、感知体である振子が磁石によって保持されており、一定の加速度の振動を受けると振子が落下し、マイクロスイッチを作動させるものである。

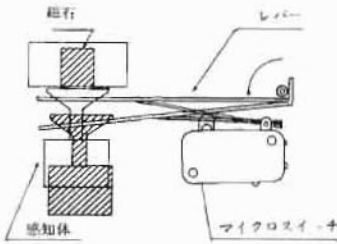


図3 感震部構造
生産台数 約144,000台

(4) 重錘転倒式 (D社製) 2機種

この感震器は、円筒座をもつ重錘が転倒した力を利用してマイクロスイッチを作動させるものである。

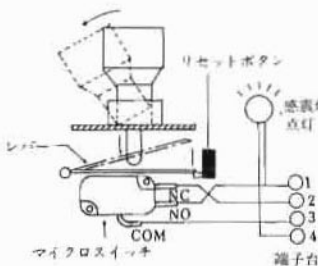


図4 感震部構造 (各型社共通)
生産台数 約84,000台

4. 調査方法とその手順

(1) ボイラー等からの感震器の抽出

ア 抽出対象 事業所又は住宅で使用されているボイラー等

イ 抽出供試体 196個

ウ 抽出期間 昭和61年11月～12月

(2) 感震器の振動性能試験

ア 試験期間 昭和62年1月～6月

イ 供試体 196個

ウ 振動試験内容(東京消防庁防火力試験規格)

(ア) 加振方法 漸増方式による水平振動

(イ) 加振方向 X軸(横)方向及びY軸(縦)方向

(ウ) 加振周期 0.3秒、0.5秒及び0.7秒

(エ) 加振回数 各周期、各方向ごと5回、計30回

(3) 対塵埃試験

ア 試験期間：昭和62年7～8月

イ 気密性試験

ウ マイクロスイッチ動作機構部の摺動部面積の比較試験

エ マイクロスイッチ動作機能に関する安全率の比較試験

5. 結果及び考察

(1) 振動性能試験について

ア 製造年別振動試験の結果を表2に示す。

イ 製造年別による型式別規格不適合の結果を表3に示す。

ウ 上記アの結果を円グラフ(図5)に示す。



図5 振動試験結果

エ 製造年別による規格不適合の発生状況を

図6に示す。

これらの結果から、

オ 196個の感震器のうち155個が100ガル～170ガルの範囲内で作動した。残り41個のうち29個が170ガルを超え、250ガルで働いた。

残り12個（6％）は、震度5相当の加速度値内でも作動しなかった。

カ 170ガルを超えて作動した感震器の原因の内訳については次のとおりです。

- ケ 感震器内に入り込んだ浮遊塵 23個
- キ 鋼球に不乾性油等の付着 1個

- ク 受皿の摺動性不良 3個
- コ ピンに塵埃が付着 4個
- カ 振子に塵埃が付着 6個

（原因は複数）

この原因のほとんどは塵埃が付着したことにより、作動値が高くなったことがうかがえる。

キ 震度5の上限250ガルを超えて作動又は不作動の感震器12台の製造年別にみると昭和53、56、57年の製造のものが各1台、同48、50、51年が各2台、同54年のものが3台であった。

表1 生産台数

製造年 型式	昭和															合計									
	48年	49年	50年	51年	52年	53年	54年	55年	56年	57年	58年	59年	60年	61年											
A	A-1 生産台数				型2,000	9,800	500	1,500	3,000	2,300	3,514	2,600	5,600	2,000	4,000	36,814									
	調査供試体				6	5	0	2	2	4	2	2	4	0	1	28									
	A-2		500		200												700								
				2	1												100								
															3										
A-3													型42,500	71,000	22,200	38,500	変16,870	14,000	7,700	13,300	9,400	215,490			
													1	7	0	0	5	2	3	0	0	18			
B	B-1	型1,650	40,100			22,100	11,530	11,980	3,000	2,000						92,360									
			0	12	5	7	1	4	2	0						31									
	B-2													1,400	型500	2,000	6,000	6,000	8,000	6,000	型9,000	6,000	44,900		
													1	0	1	0	2	2	5	2	0	13			
B-3													6,350	型26,900	16,600	30,700	16,000	5,000	19,000	型3,000	6,500	130,050			
													0	1	1	5	1	0	0	0	0	8			
C	C-3	7,100	22,500			型8,300	33,300	18,000	2,000	4,000	9,100	8,000	7,500	9,000	7,700	7,700	144,200								
			5	5	3	18	8	0	5	4	4	3	4	2	2	2	59								
D	D-1												型4,000	7,600	14,000	14,500	14,850	12,800	6,500	3,000	77,250				
														2	3	8	10	4	2	2	0	31			
D-2													型	968	900	300			100	240	300	730	1,330	1,350	6,218
													3	0	1			0	1	0	0	0	0	5	
合計		8,750	62,600	500	10,500	66,168	81,180	118,180	58,400	102,700	65,124	52,250	60,830	42,830	37,950	747,982									
																	196								

型：型式認定 変：型式一部変更

表2 製造年別振動試験結果

製造年	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	計
加速度 試料数	5	17	2	15	33	11	17	14	21	24	14	16	6	1	196
100ガル～170ガル	0	9	0	8	31	10	12	11	17	23	12	15	6	1	155
170ガル～250ガル	3	8	0	5	2	0	2	3	3	0	2	1	0	0	29
250ガルを超えて 作動又は不作動	2	0	2	2	0	1	3	0	1	1	0	0	0	0	12
不良率	56%			16%			4%								

表3 調査供試体数における規格不適合の割合

型式	製造年																合計
	昭和48年	49年	50年	51年	52年	53年	54年	55年	56年	57年	58年	59年	60年	61年			
A	A-1	規格外/供試体数			5/6	1/5		0/2	1/2	1/4	1/2	2/2	1/4		0/1	12/28	
	A-2			2/2	1/1											3/3	
	A-3						1/1	4/7			0/5	0/2	0/3			5/18	
B	B-1		6/12		0/5	0/7	0/1	1/4	0/2							7/31	
	B-2						0/1		0/1		0/2	0/2	0/5	0/2		0/13	
	B-3							0/1	1/1	2/5	0/1					3/8	
C	C-3	5/5	2/5		1/3	1/18	0/8		1/5	1/4	0/3	0/4	0/2	0/2		11/59	
D	D-1							0/2	0/3	0/8	0/10	0/4	0/2	0/2		0/31	
	D-2					0/3		0/1			0/1					0/5	
規格外台数/供試体数		5/5	8/17	2/2	7/15	2/33	1/11	5/17	3/14	4/21	1/24	2/14	1/16	0/6	0/1	41/196	
規格外台数発生率		100%	47%	100%	47%	6%	9%	29%	21%	19%	4%	14%	6%	0%	0%	20.9%	
規格外台数発生率		22/39 56%			15/96 16%			4/96 4%			41/196						
200ガル以上の発生率		79/1170 6.8%			57/2880 2.0%			0/1830 0%									

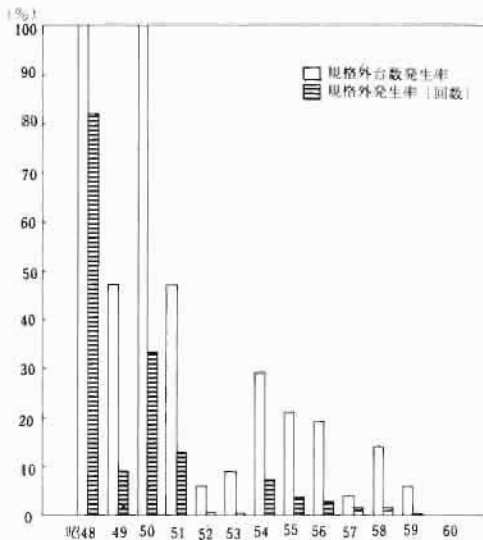


図6 製造年別による供試体の規格不適合発生状況



写真1 錆等により全く作動しなかったセンサー

ク 12台のうち、錆等により全く作動しなかったものが1台あった。(写真1参照)

ケ 100ガル以下ではすべて作動した。

(2) 型式別振動試験結果について

ア A型、3機種49個供試体の試験結果を図7に示す。

この図から49個中29個(59%)が100~170ガルの範囲内で作動し、残り20個のうち、11個が170ガルを超え、250ガルで動き、残

り9個(18%)は震度5相当の加速度値内でも作動しなかった。

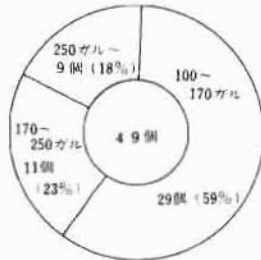


図7 A型振動試験結果

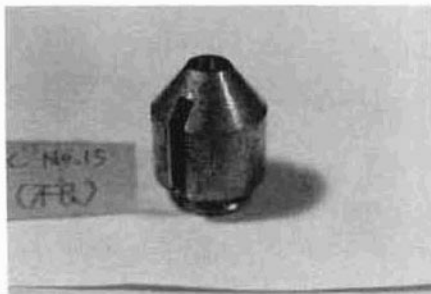


写真2 擦れ、キズがあるボール受け

(ア) A-1型, A-2型感震器について

170ガルを超えて作動した感震器の作動状態を調べて見ると、鋼球が170ガル以下において、落しているにもかかわらず、鋼球の落下と同時にボール受皿が降下しなかったために作動表示がでなかった。

この原因は-

- a ボール受けと受皿との摺動面に擦れキズがあったためと思われる。(写真2参照)
- b ボール受皿の作動荷重が高かったためと考えられる。

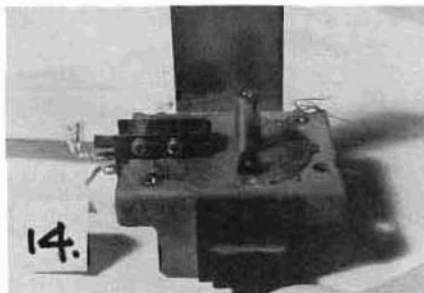


写真3 塵埃の付着が見られるボール受け

(イ) A-3型感震器について

(ア)と同じく鋼球が170ガル以下において落球しているにもかかわらず、鋼球がスイッチに作動する直前で止まってしまうことで加速度が高くなったものがあった。

この原因もボール受と受皿の摺動面にかなりの塵埃の付着がみられることから塵埃付着により、作動荷重が高くなったためと考えられる。(写真3参照)

イ B型, 3機種52個供試体の試験結果を図8に示す。

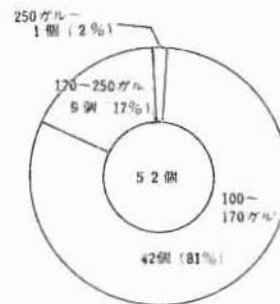


図8 B型の振動試験結果

この図から52個中42個(81%)が100~170ガルの範囲内で作動し、残り10個のうち9個が170~250ガルで作動し、残り1個は250ガルで働いた。

(ア) B-1型感震器について

31個中7個が、170ガルを超えて作動した。

この原因は鋼球は静止した状態であり鋼球のころがり及びピンの押上げ力に問題があると考えられる。

(イ) B-2型感震器について

11個すべて100~170ガルの範囲内で作動した。

(ウ) B-3型感震器について

8個のうち3個が170ガルを超えて作動した。原因はB-1と同じと考えられる。

ウ C型, 1機種59個供試体の試験結果を図9に示す。

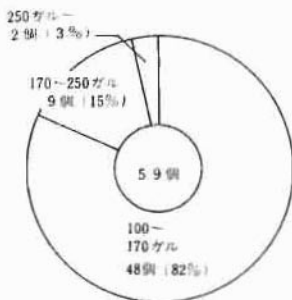


図9 C型振動試験結果

この図から59個中48個(82%)が適合し、残り11個が170ガルを超えて作動した。この原因は、振子の吸着面に固着した汚れにより、吸着面の滑動性の低下等が考えられる。
 エ D型、2機種36個供試体の試験結果はすべて100~170ガル範囲で作動した。

(3) 再振動試験の結果について

4-(2)の振動試験の結果190個の供試体中170ガルを超えた感震器41個について点検、清掃等の手入れをした後、再試験を実施した。その結果、32個(78%)が170ガル以下で働いた。残り9個(22%)は点検等の措置を実施しても規格不適合であった。

これらの結果から規格不適合の原因の大部分は塵埃と思われるため、対塵埃試験を実施した。

6. 対塵埃試験

(1) 気密性試験

感震器内部への塵埃の進入の原因は、設置場所の塵埃の多少及び空気の流れ状態などの環境状態が大きい要因をしめる。また感震器個々の気密性の違いもある。このため開口面積を測定し振動試験結果と比較した。

ア 通水試験による開口面積の算定

感震器に開口部を設定し、そこから感震器内部へ一定水圧で通水し、単位時間における通水量を測定した。結果を表5に示す。

また、各水圧に対する吐出口からの水量を基準水量とし、表4に示す。

表4 基準水量

水圧 kg/cm ²	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6
通水量 cc	1820	2420	2900	3340	3740

(吐出口面積 1.227cm²)

表5 測定結果 (通水量/分) (cc)

型式名	通水圧 (kg/cm ²)				
	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6
A-1	1380	1900	2360	2760	3150
A-3	1820	2340	2870	3280	3710
B-2	1740	2260	2860	3300	3700
B-3	1140	1700	2070	*	*
C-1	1790	2300	2920	3390	3800
D-1	2060	2460	2860	3020	3560
D-2	1790	1830	2740	3160	3350

*上面板浮上のため省略

イ 開口面積の推定

通水量の測定結果から開口面積を算定した結果を表6に示す。

表6 型式別の開口面積 (cm²)

型式名 \ 水圧	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6
	A-1	0.930	0.963	0.999	1.014
A-3	1.227	1.186	1.214	1.205	1.217
B-2	1.173	1.146	1.210	1.212	1.214
B-3	0.769	0.862	0.876	—	—
C-1	1.207	1.166	1.235	1.245	1.247
D-1	1.389	1.247	1.210	1.109	1.168
D-2	1.207	0.928	1.159	1.161	1.099

平均値と面積比

面積比は最も開口面積の少ないB-3型を基準とし、その結果を表7に示す。

表7 通水量の開口面積の平均値と面積比

型式名	平均値	面積比
D-1	1.255	1.47
C-1	1.220	1.46
A-3	1.211	1.45
B-2	1.191	1.42
D-2	1.111	1.33
A-1	0.988	1.18
B-3	0.836	1

ウ 感震器開口面積と規格不適合値発生比率について、結果を表8に示す。

表8 開口面積比と規格不適合値発生比率

型式名	面積比	不適合値発生率(%)
D-1	1.47	0
C-1	1.46	10.8
A-3	1.45	1.3
B-2	1.42	5.5
D-2	1.33	0
A-1	1.18	6.8
B-3	1	2.1

この結果

開口面積は少ないものに対し最大1.47倍の差異であり型式別の違いは少ない。開口面積と規格不適合値発生率を比較すると、必ずしも一致はしない。

(2) マイクロスイッチ動作機構部の摺動部面積について

塵埃の進入による感震器の作動部に与える影響は、作動機構部の難易度にも関係すると考えられるため、型式別のマイクロスイッチ動作機構部の摺動部面積を計測し比較した結果を表9に示す。

表9 動作機構部の摺動部面積

型式名	面積 (mm ²)	対荷重 (g)	密度 (g/mm ²)	ランク
D-2	12.5	96.1	7.69	1
D-1	22.7	90.6	3.99	2
A-3	53.5	44.8	0.84	3
B-2	37.7	26.0	0.69	4
B-3	37.7	7.9	0.21	5
C-1	471.0	80.2	0.17	6
A-1	383.7	49.6	0.13	7

その結果不適合発生率は塵埃の付着による作動値への影響度合の大小に依存すると考えられる。また感震部の機能により塵埃の影響は異なり、マイクロスイッチ動作機能部の難易度に比例している。

(3) マイクロスイッチの動作機能に関する安全率の比較

ア 感知体である鋼球及び振子の重量とマイクロスイッチの動作力とを比較し安全率を比較した。この結果を表10に示す。

なおマイクロスイッチが静止状態から動作した場合を静的動作力とする。

表10 型式別静的動作力一覧表

型式名	鋼球振子重量 (g)	マイクロスイッチ動作力 (g)			動作力に対する重量比 (%)
		平均値	最大値	最小値	
A-1	49.6	24.9	44.5	9.8	119 111~ 506
A-3	44.8	15.4	19.5	10.2	290 230~ 439
B-2	54.9	26.0	33.1	14.5	(211) * 166~ 379
B-3	55.0	7.9	11.6	3.7	(696) * 474~1486
C-1	80.2	69.3	80.4	52.9	116 100~ 152
D-1	90.6	28.0	38.6	15.2	324 235~ 596
D-2	96.1	35.7	62.4	23.2	269 154~ 414

*機能上参考

マイクロスイッチ動作力に対する感知体の重量比では、各型式を比較すると、D-1型が最も大きく235~596%である。

イ 動的動作力の測定 (A-3型)

鋼球がマイクロスイッチ上に直接落下した場合(この時の荷重を動的動作力と言う)を想定し、落下荷重を測定した。静荷重では44.8gであったが、動荷重では平均148gであった。マイクロスイッチ作動力は平均で15.4g、これに対する重量比は静荷重で290%、動荷重で961%である。

ウ 静的動作余力の比較

感知体の重量からマイクロスイッチ動作力をひいた値を動作余力としてその結果を表11に示す。

この表からD-1型は平均で62.6gと最も余裕があるが、C-1型はマイクロスイッチ力が振子重量より大きい場合も見られた。

評価 D-1・D-2

安定

A-1・C-1・B-3

余力が少ない

C-1

動作しない可能性

表11 型式別静的動作余力比較表

ランク	対平均値 (g)	対最大値 (g)	対最少値 (g)
1	D-1 62.6	D-1 52.0	D-1 75.4
2	D-2 60.4	D-2 33.7	D-2 72.9
3	A-3 29.4	B-2 33.1	A-1 39.8
4	B-2 26.0	A-3 25.3	A-3 34.6
5	A-1 24.7	B-3 11.6	C-1 27.3
6	C-1 10.9	A-1 5.1	B-2 15.5
7	B-3 7.9	C-1 -0.2	B-3 3.7

7. 考 察

(1) 規格不適合と経年数との相関について

経年数と規格不適合の関係では使用年数10年以上（昭和51年製造まで）では、半数以上の56%が規格外を示している。また、加振回数に対する規格外発生率でも21%が規格外を示し、また200ガル以上の値で作動しないものが6.8%と非常に高い値を示した。このことは構造的な問題もさることながら、長期間使用による感震器を構成する部品の錆び等の発生や進入した塵埃による摺動不良が大きな原因となっている。

(2) 塵埃の進入と影響

感震器が塵埃の進入によって受ける影響は、作動機構の摺動不良である。落球式では、鋼球が正常に感知したにもかかわらず動作機構途上であるボール受皿が落下しなかったり、鋼球を押上げるピンが摩擦力の増大で押し上げられなかったことが原因である。これらを防止するためには、気密性の向上と塵埃等の影響を受けにくい作動機構とすることが必要である。

磁石式の経年変化については永久磁石の磁力を比較してみると、磁力には大きな違いは見られない。しかし磁石式の規格外発生状況は振子が落下しないということである。振子

上面の観察結果からも規格外品には肉眼で視認できる堆積物があり、これらが振子の動揺を防いでいるものと思われる。(磁気抵抗の減少になる構造である)

なお塵埃の成分分析については量が少量であり分析は困難であった。

各型式とも塵埃の影響による機能障害は大きく、これらと動作機構上の摺動面積の大小や機構の複雑性と関連して規格不適合が発生している。

(3) 安全率について

動作機構上の設計作動力に対してどの程度安全率をとるかによって塵埃等の進入によっても、それらの影響を受けずに作動するものである。

型式別静的動作余力比較表からも振子転倒式のもの、マイクロスイッチ動作力に対して振子重量に余裕がある。(表11参照)この型式に規格外品が出現しなかったのは抽出試料が比較的新しいこともあるが、マイクロスイッチ動作力に対して振子重量に余裕があるため塵埃等による摺動不良を補っているものと思われる。

8. 現行基準の見直しと今後の対策

(1) 防塵性の向上と対粉塵試験の導入

感震器の不動作の原因は、塵埃による動作不良及び動作機構上における障害が大きな比重をしめている。感震部内への塵埃の進入は機能を果たす上で致命的であり、現行の型式ではさらに向上した防塵対策が必要である。そのためには対粉塵試験の導入が望まれる。

(2) 水準機能について

現行の水準器は低性能なものが多く、若干の傾きで10ガル程度の違いが生じる。感震器の性能を正常に作動させるために、水準器の性能を向上させるとともに設置に当たって適正な管理維持を行わせることが必要である。

(3) 感震器の簡素化

感震器の設置が義務づけられてから10数年が経過し、現実的に即した規格の見直しが必要となってきている。ボイラー等もIC回路が内蔵された感震部も認定の対象として検討する必要がある。なおこの場合、平常時の作動

確認と非常時の作動したことが確認できる方法を義務付けることが必要である。

(4) 停止釦と感震器の連動

設置状況調査の結果では、対震安全装置の作動チェック状況は約44%であったが点火・消火機構と対震安全装置を連動させて、使用時に作動（リセット）させることにより動作チェックができる構造とすることが望ましい。これにより対震安全装置の劣化及び機能障害を或る程度防止することができる。

(5) 下限値設定の可能な感震器の開発

現有の対震安全装置の設定値は、100ガル～170ガルに設定されているが、実際には建物の構造・階層・地盤の強弱又は雑振動により感じ方が変わってくる。そこで事象にあった加速度が設定可能な感震器の必要性が生じてくる。このためガル値設定可能な感震器の開発を業界に要請する。なお、この場合、設定可能な加速度は安全側の低ガル側とするのが望ましい。