

区分変更	
変更内容	〃
実施年月日	平成 13 年 7 月 31 日

# 高速実験炉「常陽」耐震検討

——主として制御棒地震時挿入性との  
関連に於て——



1976年 9 月

技術資料コード	
開示区分	レポートNo.
S	N 241 76-24
この資料は 図書室保存資料です 閲覧には技術資料閲覧票が必要です	
動力炉・核燃料開発事業団大洗工学センター技術管理室	

動力炉・核燃料開発事業団  
高速増殖炉開発本部

本資料の全部または一部を複写・複製・転載する場合は、下記にお問い合わせください。

〒319-1184 茨城県那珂郡東海村大字村松4番地49  
核燃料サイクル開発機構  
技術展開部 技術協力課

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to:  
Technical Cooperation Section,  
Technology Management Division,  
Japan Nuclear Cycle Development Institute  
4-49 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki, 319-1184  
Japan

© 核燃料サイクル開発機構 (Japan Nuclear Cycle Development Institute)

SN 241 76-29

正誤表

S51.11.2

箇所	誤	正
12頁	慣習 $E-X>1$	慣性 $E-X>1$
53頁上4行目	$\bar{z} = 2\bar{z}_0 = \frac{2050}{2} - \bar{z}_0$	$\bar{z} = 2\bar{z}_0 \times \frac{2050}{2} - \bar{z}_0$
2頁 下6行目	変動性有誤(1) - 変動性有誤(2) 変動性有誤(3) 変動性有誤(4) 変動性有誤(5) 変動性有誤(6) 変動性有誤(7)	
2頁 下5行目	変動性有誤(8) 変動性有誤(9) 変動性有誤(10) 変動性有誤(11) 変動性有誤(12)	変動性有誤(13)
4 脚注*	知能の増進(1) (2) (3) (4) (5) (6) (7) (8) (9) (10) (11) (12) (13) (14) (15) (16) (17) (18) (19) (20) (21) (22) (23) (24) (25) (26) (27) (28) (29) (30) (31) (32) (33) (34) (35) (36) (37) (38) (39) (40) (41) (42) (43) (44) (45) (46) (47) (48) (49) (50) (51) (52) (53) (54) (55) (56) (57) (58) (59) (60) (61) (62) (63) (64) (65) (66) (67) (68) (69) (70) (71) (72) (73) (74) (75) (76) (77) (78) (79) (80) (81) (82) (83) (84) (85) (86) (87) (88) (89) (90) (91) (92) (93) (94) (95) (96) (97) (98) (99) (100)	知能の増進(1) (2) (3) (4) (5) (6) (7) (8) (9) (10) (11) (12) (13) (14) (15) (16) (17) (18) (19) (20) (21) (22) (23) (24) (25) (26) (27) (28) (29) (30) (31) (32) (33) (34) (35) (36) (37) (38) (39) (40) (41) (42) (43) (44) (45) (46) (47) (48) (49) (50) (51) (52) (53) (54) (55) (56) (57) (58) (59) (60) (61) (62) (63) (64) (65) (66) (67) (68) (69) (70) (71) (72) (73) (74) (75) (76) (77) (78) (79) (80) (81) (82) (83) (84) (85) (86) (87) (88) (89) (90) (91) (92) (93) (94) (95) (96) (97) (98) (99) (100)
10頁 下2行目	変動性有誤(101) 変動性有誤(102) 変動性有誤(103) 変動性有誤(104) 変動性有誤(105) 変動性有誤(106) 変動性有誤(107) 変動性有誤(108) 変動性有誤(109) 変動性有誤(110)	変動性有誤(111)

# 高速実験炉「常陽」耐震検討 — 主として制御棒の

## 地震時挿入性との関連に於て —

高速増産炉開発本部

芒米地 顕

吉見宏寿

宮川俊一

期 間 1974年10月～1976年8月

目 的 「常陽」照射用炉心の安全審査申請資料の一環として制御棒の地震時挿入性について、炉構造の耐震解析、特性試験等の着結果に基づいて検討評価する。

要 旨 第1編では、50 MW安全審査当時の着条件、考え方を整備すると共に現炉心、照射用炉心の面体系を対象にして、振動伝達、放射地震波などをパラメータとした耐震解析を行うなど、主に基礎的な考察を行い、第2編では、第1編の成果を基に、照射用炉心における制御棒の地震時挿入性を検討すると共に制御棒の構造変更に対する妥当性を評価する。

# 目 次

	頁
第 1 編	
1. まえがき .....	3
2. MK-I (安全審査) 当時の耐震解析における基本条件と 入、出力の整備について .....	5
(最近の評価方法との対比に於て)	
3. 対象炉心, 採用データおよび設計地震波形による「常陽」 動的解析のパラメトリックサーベイについて .....	25
4 検討結果のまとめ .....	46
5. MK-I (安全審査) 当時の制御棒地震時挿入性の考え方 (ロジック)の整備 .....	49
6 総合評価および懸念事項 .....	59
第 2 編	
1 まえがき .....	63
2 第 2 次まとめ作業の要旨 .....	63
3 耐震解析結果のまとめ .....	64
4 MK-II 制御棒に対する流動試験結果の反映 .....	68
5. MK-II 安全審査に対する考え方 (案のまとめ) .....	74
付 1 炉心構成要素の応答加速度	

# 第 1 編

## I まえがき

### MK-II炉心制廃に際し

- 1) 出力増大に伴う出力変動を極力抑制すること。
  - 2) 確実にスクラム動作を行わせること。
  - 3) 緊急炉として必要とされる性能の上から、シムの能力を増加せしめること
- 等の見地から、全制御棒（6本）にスクラム機能をもたせる方針が炉心設計からの要請として提案された。

このため、下部案内管に於ける制御棒との間隙をMK-I安全棒と同じく5mm程度は必要と判断され、付随的に常時の流カ振動に伴う出力変動が大きくなる可能性が心配されることになった。

この流カ振動を抑制するための防振上の工夫については、制御棒およびその高面に対する構造設計およびR&D等、見直しを以って進められるであろうが、「地震時における挿入性」という問題については各種条件の相違からMK-Iとは別に改めて検討評価を行う必要性が生じた。

一方、MK-I、75MW出力炉心に於ても、近々出力上昇に関する安全審査を控えており、制御棒の地震時挿入性に関する見直しを行っておくことが望まれる。常陽MK-Iについては、1972年（S47）の「常陽・安全性確認のための炉心解析(1)」にて、工認当時の解析条件である各種振動定数を見直した上で、更に1952-TAFT地震波を考慮して評価した結果、総乗値に対し、変動巾が大き<sup>\*</sup>く巨つ結果の傾向を異にするという点が新たな問題として指摘された。これについては、1974年8月（S49-8）に京電、秋野氏を会長とする研究会を置いて、MK-I（75MW）、MK-IIでのこの問題の取扱いを次のような手続で検討、整備していくことが提案された。即ち、

今後の75MW、MK-II各炉心に関する安全審査申請には、振動定数等の導入

---

\* その後の検討により、MK-I安全審査時考慮していたベツセル下部のスタビライザを無視した解析に留っており、この種の問題に対する重特の参考資料とはなり得ないことが判明した。

力値をMK-I, 安全審査当時のデータを用いると共に、地表波についても当時の  
評価に用いた、1940・ELCENTROによつていくことを原則とする。同時に、  
現状設備に基づき見直された諸入力値およびTAFT波を加えた地震波等による影響を  
予め調査しておくべく、パラメトリックサーベイを行つておき、上記提案に基づき  
結論を著しく振わないことを確認しておくと共に、安全審査申請時のバックデータ  
として整備しておく必要性が確認された。

本資料は、上記背景のもとに、1974年10月(S49.10)より行つてきた  
検討結果について、下記手順に沿つて説明し、併せて今後の取扱いに関する考察、  
懸念事項等について報告したものである。(オ/次まとめ)

- (手順1) MK-I (安全審査当時) の耐震解析に用いた入出力の整備
- (手順2) MK-I (安全審査当時) の制御棒地震時挿入性に対する考え方  
(ロジック) の整備
- (手順3) MK-I (S-MW)、MK-II炉心を対象として、旧、新の振動  
定数、ELCENTRO、TAFTの設計地震波形をパラメータと  
した動的解析による相互比較検討



2 MK-I (安全審査当時) の耐震解析における基本条件と入出力の整備について  
MK-I (安全審査) 当時に行った耐震解析における基本的条件と入出力データ  
について、今回の解析評価を行うに際し見直されたそれらに対比して記述する。

2-1 耐震解析モデル

MK-I 安全審査当時の解析モデル (SILVIA MODEL) をオノ図に示す。  
SILVIAは、常陽専用の解析プログラムでペテスタル部、炉心支持構造物等  
に無限剛性等の取扱いができなかつた。今回は、その後開発された汎用プログラ  
ム、VIANAを用いて評価するため、オノ図のようなモデルに修正し、MK-I  
安全審査当時の解析を再現することにした。(オノ図は旧建屋モデル)

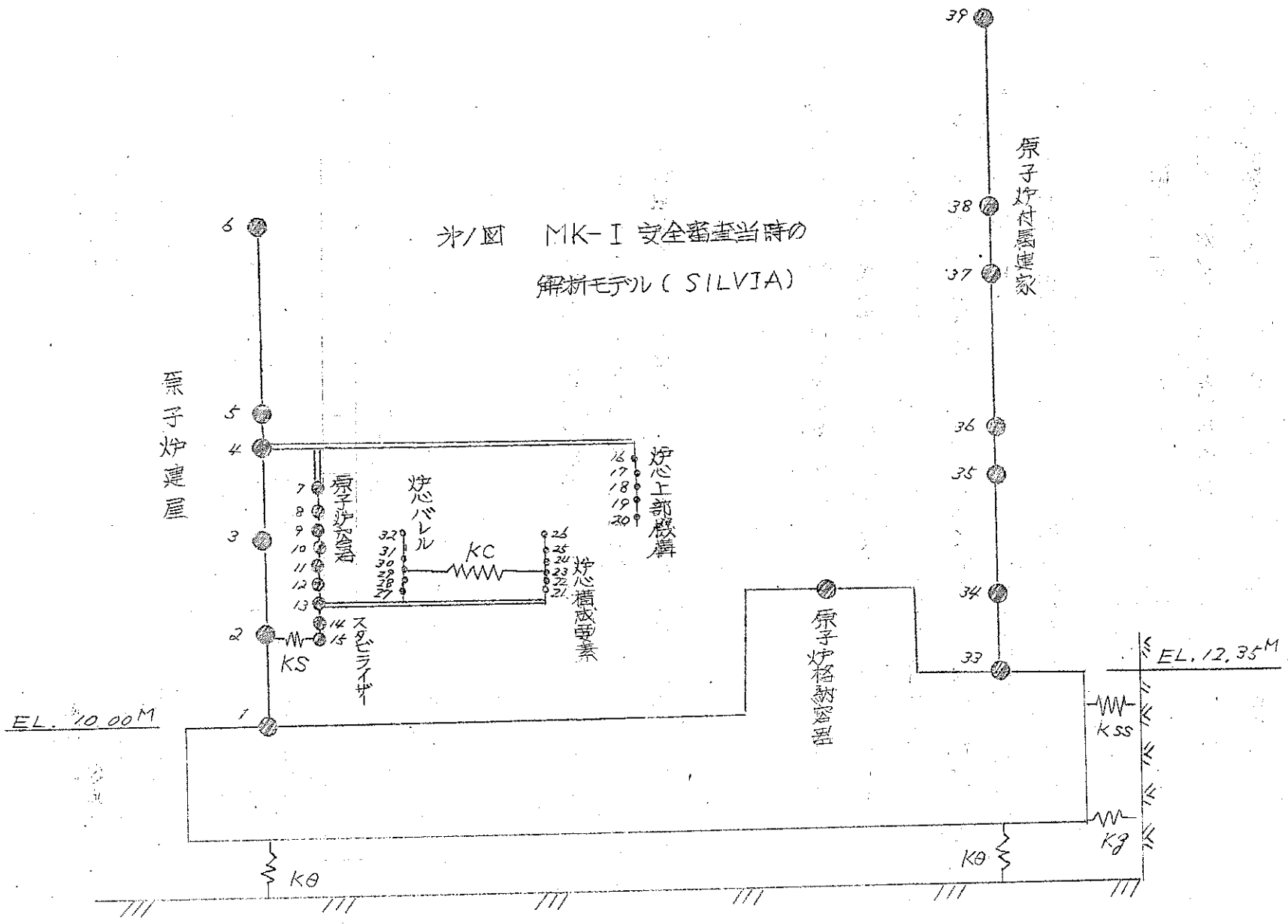
オノ図は同じくVIANAによる見直し後の建屋モデル (オノ図は新建屋モ  
デル) を示している。

2-2 炉心構成要素

オノ図に炉心構造を示す。同図にMK-I, MK-IIの炉心構成要素(種  
別、本数)を示してあるが、全体構造は変わらず、MK-IのブランケットとMK  
-Iの反射体(オノ1, オノ2種)による重量変化の見直しが必要となる。

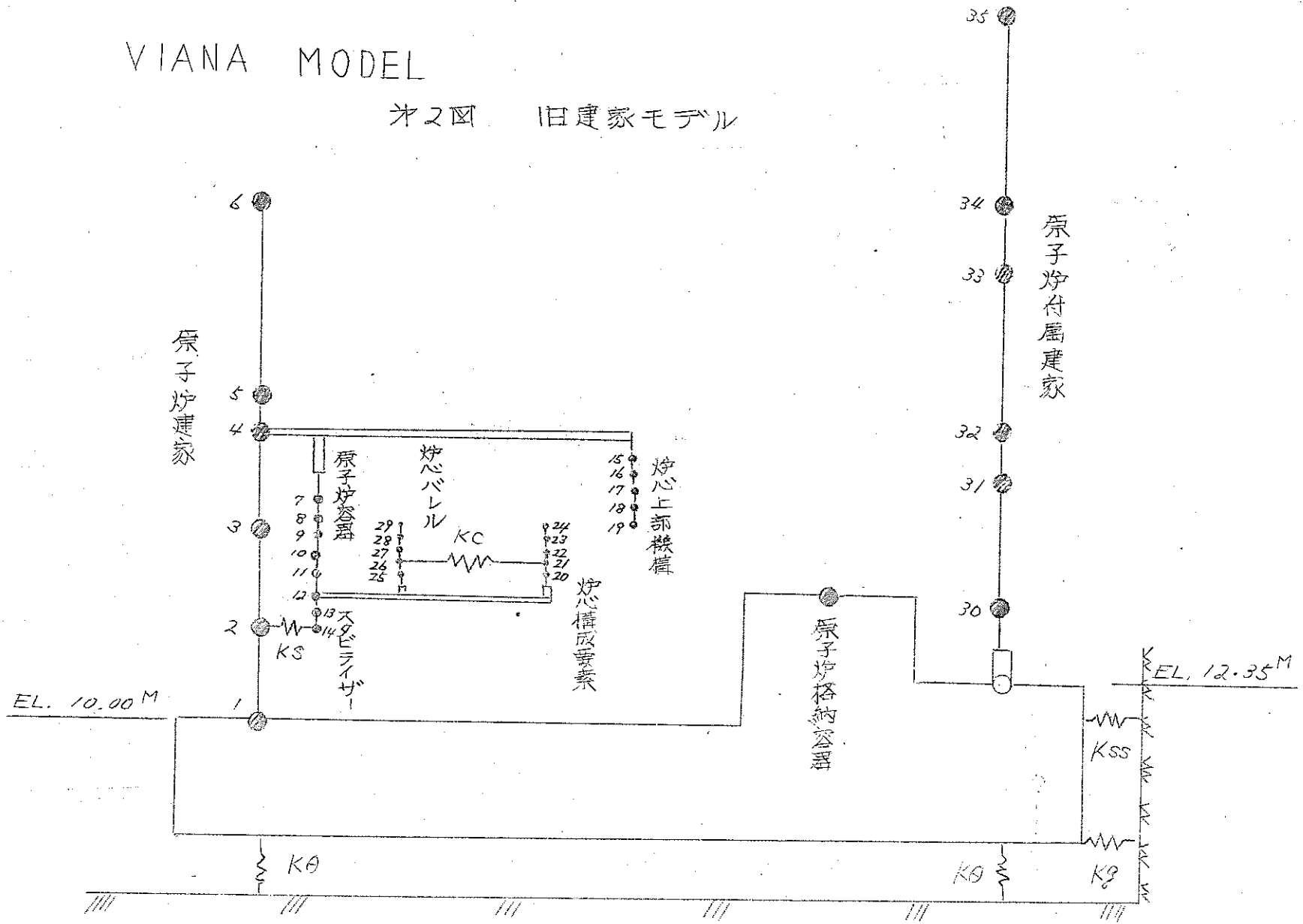
オノ表 各要素の重量 (Naを含む) (kg)

	MK-I		MK-II
	旧	新	
炉心燃料集合体	65	65	52*
ブランケット "	63	63	—
C/R 案内管	23	23	炉心燃料集合体と同 等として扱う
反射体 オノ1種/オノ2種/オノ3種	-1-195	-1-195	62*/88*/88*



# VIANA MODEL

オ2図 旧建築モデル



才3図 新建家モデル (VIANA)

GL + 12,700

GL + 2,200

GL - 3,400

GL - 8,400

GL - 16,000

GL - 22,300

GL - 25,080

GL - 31,800

原子炉建家



原子炉容器

炉心バル

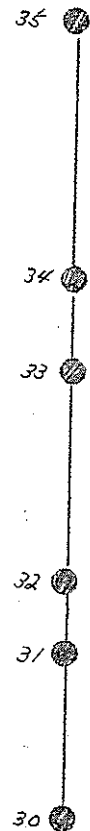
KC

炉心構成要素

炉心上部機構

原子炉格納容器

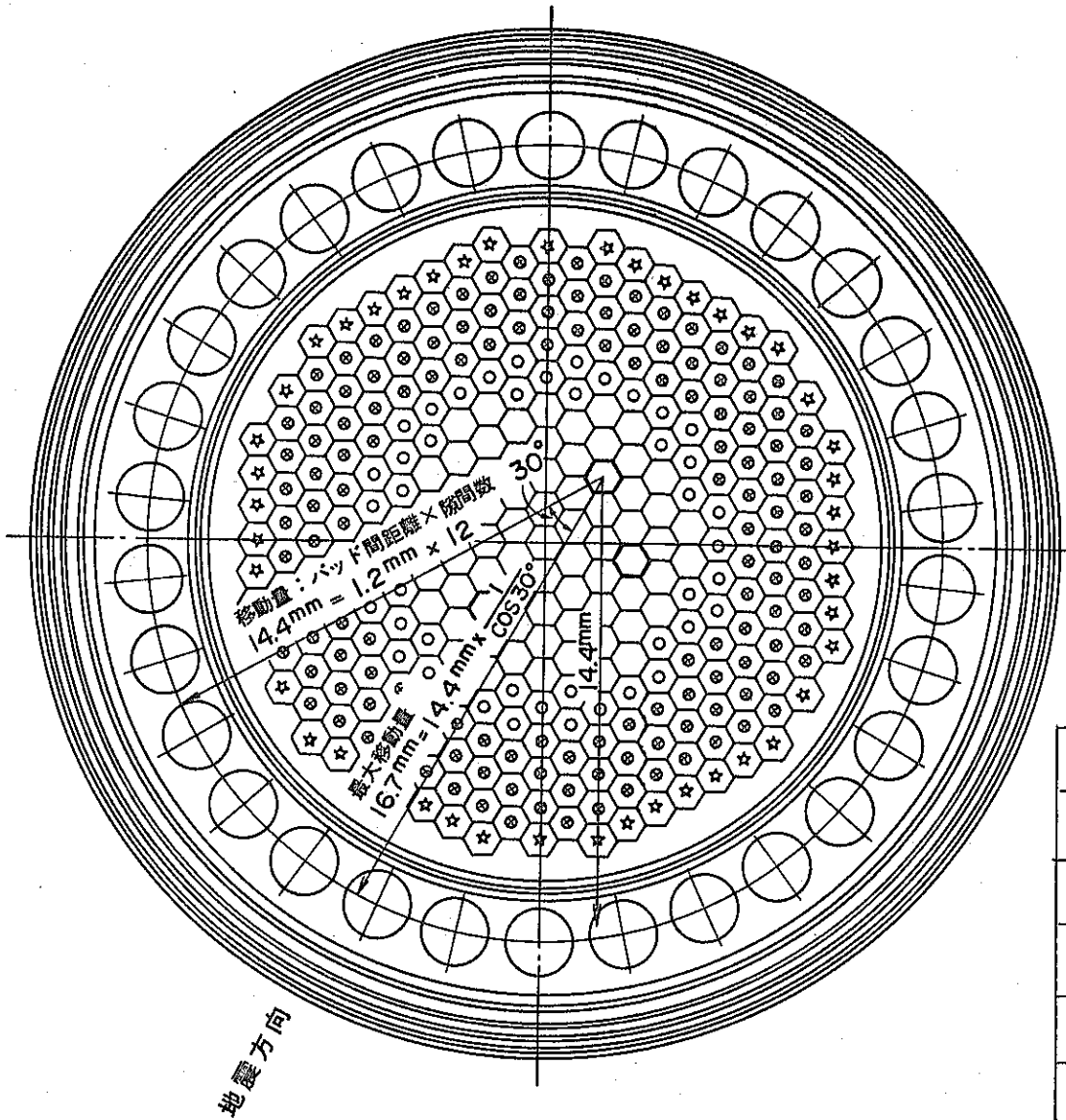
原子炉付属建家



EL. 12.35<sup>M</sup>



基準方位



地震方向

	MK I	MK II
⬡ 燃料集合体	70	(70)
⬡ 制御棒	6	6
⊙ 内側ブランケット燃料集合体 第1種反射体	44	(44)
⊙ 外側ブランケット燃料集合体 第2種反射体	144	144
☆ 反射体 第3種反射体	48	48
中性子源	1	1
	313	313

第4図 炉心構成要素及び下部案内管最大移動量

### 2-3 剛性評価

#### (1) E (G, $\mu$ )

表2 E ( $\mu$ ) ( $t/mm^2$  (-))

	MK-I		MK-II
	旧	新	
コンクリート	E $2.11 \times 10^6$ (常温) $\mu$ 0.17	$2.11 \times 10^6$ (常温) 0.17	$2.11 \times 10^6$ (常温) 0.17
炉構造	E $1.68 \times 10^7$ (435°C) $\mu$ 0.25 (常温)	$1.68 \times 10^7$ (435°C) 0.32 (435°C)	温度依存 (370~500°C)
(スタビライザ)	E $1.78 \times 10^7$ $\mu$ 0.30	$1.78 \times 10^7$ 0.30	$1.78 \times 10^7$ 0.30

#### (2) 剪断面積

剪断面積については、旧新共取扱いは不変で、平均剪断応力( $\sigma$ )と最大剪断応力( $\sigma_{max}$ )との比を全断面積に求めた値を用いている。

従って、耐震量とみなせるものについては

(i) 直線型は地震方向に平行なもののみ全断面の5/6

(ii) 円筒型あるいはシエル構造のものについては全断面の1/2

を有効剪断面積として扱う。

#### (3) I

前項(2)と同様、旧新の取扱いに差異がない。

詳しくは別途資料参照

### 2-4 基礎および地盤

#### (1) 地盤定数

旧新の取扱いは同一である。「常陽」設地系の地盤定数は、次のように指定されている。

カ3表 地盤係数 (t/m<sup>2</sup>)

	垂直方向	水平方向
GL 0 ~ -12.6m	1.5 ~ 3 × 10 <sup>3</sup>	1 ~ 2 × 10 <sup>3</sup>
GL < -12.6m	3 ~ 6 × 10 <sup>3</sup>	2 ~ 4 × 10 <sup>3</sup>
基礎底面	6 ~ 12 × 10 <sup>3</sup>	4.5 ~ 9 × 10 <sup>3</sup>

(2) 地盤バネ定数

上項(1)の地盤係数と建屋の形状より算定し、係数の上限、下限をとり、それぞれ硬地盤、軟地盤とする。

MK-I (安全審査時)の値をカ4表に示す。

カ4表 地盤バネ定数

	MK-I (安全審査時)		旧 建 屋		新 建 屋			
	S	H	S	H	EW		NS	
					S	H	S	H
側面圧縮バネ定数 K <sub>SS</sub> (t/m)	636 × 10 <sup>6</sup>	1272 × 10 <sup>6</sup>	573 × 10 <sup>6</sup>	1146 × 10 <sup>6</sup>	9.4 <sub>4</sub> × 10 <sup>7</sup>	1887 × 10 <sup>6</sup>	931 × 10 <sup>6</sup>	1862 × 10 <sup>6</sup>
底面せん断バネ定数 K <sub>θ</sub> (t/m)	1.23 <sub>8</sub> × 10 <sup>7</sup>	247 <sub>5</sub> × 10 <sup>7</sup>	1.30 × 10 <sup>7</sup>	2.60 <sub>1</sub> × 10 <sup>7</sup>	1.23 <sub>8</sub> × 10 <sup>7</sup>	2425 × 10 <sup>7</sup>	1.23 <sub>8</sub> × 10 <sup>7</sup>	247 <sub>5</sub> × 10 <sup>7</sup>
底面回転バネ定数 K <sub>θ</sub> (t <sub>m</sub> /θ)	574 × 10 <sup>9</sup>	1148 × 10 <sup>9</sup>	4867 × 10 <sup>9</sup>	973 <sub>3</sub> × 10 <sup>9</sup>	670 × 10 <sup>9</sup>	134 <sub>1</sub> × 10 <sup>9</sup>	562 × 10 <sup>9</sup>	1123 × 10 <sup>9</sup>

(3) 回転慣性

カ5表 回転慣性2次モーメント

MK-I (安全審査時)		7806 × 10 <sup>7</sup> (t-m <sup>2</sup> )
MK-I	(旧建屋)	7813 × 10 <sup>7</sup> ( " )
(MK-II)	(新建屋)	EW 4831 × 10 <sup>7</sup> ( " )
		NS 3871 × 10 <sup>7</sup> ( " )

表7 MK-I 50MW安全審査時のインポートデータ

名称	質点 No	重量 (Ton)	ダンピング ファクター (%)	座標 (m)	質点間距離 (m)	縦弾性係数 (t/m <sup>2</sup> )	横弾性係数 (t/m <sup>2</sup> )	NS方向	
								断面二次モーメント (m <sup>4</sup> )	せん断面積 (m <sup>2</sup> )
								10 <sup>10</sup>	10 <sup>10</sup>
原子炉建屋	1	16484.0	5	10.00	10.00	2.11×10 <sup>6</sup>	8.44×10 <sup>5</sup>	12.655	84.6
	2	5076.0	"	16.82	6.82	2.11×10 <sup>6</sup>	8.44×10 <sup>5</sup>	10.725	73.6
	3	4661.0	"	23.50	6.68	"	"	"	"
	4	5101.5	"	28.40	4.90	"	"	"	"
	5	3249.7	"	32.00	3.60	"	"	6312	50.6
	6	1345.2	"	45.50	13.50	"	"	3257	14.5
原子炉設備	(4)			28.40	0.70	1.68×10 <sup>7</sup>	6.72×10 <sup>6</sup>	10 <sup>10</sup>	10 <sup>10</sup>
	7	5.85	1	27.70	0.72	"	"	0.506	0.147
	8	17.55	"	26.98	1.32	"	"	0.476	0.142
	9	22.43	"	25.66	1.28	"	"	"	"
	10	36.92	"	24.38	1.53	"	"	"	"
	11	44.38	"	22.85	1.67	"	"	"	"
	12	40.98	"	21.17	1.64	"	"	0.373	0.144
	13	30.91	"	19.53	2.11	"	"	0.042	0.0635
	14	11.06	"	17.42	0.60	1.78×10 <sup>7</sup>	6.85×10 <sup>6</sup>	0.04212	0.0638
	15	0.79	"	16.82					
炉心上部格架	(4)			28.40	0.36	1.68×10 <sup>7</sup>	6.72×10 <sup>6</sup>	988×10 <sup>-3</sup>	3.00×10 <sup>-2</sup>
	16	4.20	1	28.04	0.74	"	"	8.00×10 <sup>-3</sup>	2.75×10 <sup>-2</sup>
	17	5.40	"	27.30	2.90	"	"	5.13×10 <sup>-3</sup>	2.15×10 <sup>-2</sup>
	18	4.60	"	24.40	1.30	"	"	"	"
	19	1.60	"	23.10	0.50	"	"	"	"
	20	0.40	"	22.60				"	"

(1) 地震定数

側面圧縮バネ定数 KSS

硬 1.272×10<sup>7</sup> t/m

軟 6.360×10<sup>7</sup> t/m

底面せん断バネ定数 KS

硬 2.475×10<sup>7</sup> t/m

軟 1.2375×10<sup>7</sup> t/m

底面回転バネ定数 Ke

硬 1.14834×10<sup>10</sup> t m/rad

軟 5.7417×10<sup>9</sup> t m/rad

(2) 慣性モーメント

7.806038×10<sup>7</sup> t·m<sup>2</sup>

(3) 等価バネ

KS: 1.13×10<sup>6</sup> T/M

KC: 2.637×10<sup>3</sup> T/M



炉心構、或要素	(3)			19.53	0.31	$1.68 \times 10^7$	$6.72 \times 10^6$	$10^5$	$10^5$
	21	4.18	1	19.84	0.60	"	"	$1.04 \times 10^{-4}$	0.067
	22	"	"	20.44	0.57	"	"	"	"
	23	2.79	"	21.03	0.40	"	"	"	"
	24	"	"	21.43	0.40	"	"	"	"
	25	1.86	"	21.83	0.39	"	"	"	"
	26	0.92	"	22.22					
炉心バル	(3)			19.53	0.31	$1.68 \times 10^7$	$6.72 \times 10^6$	$10^{10}$	$10^{10}$
	27	10.00	1	19.84	0.60	"	"	0.123	0.1055
	28	10.00	"	20.44	0.57	"	"	"	"
	29	6.60	"	21.03	0.40	"	"	"	"
	30	"	"	21.43	0.40	"	"	"	"
	31	4.40	"	21.83	0.39	"	"	"	"
	32	2.40	"	22.22					
原子炉付属建屋					12.35	$2.11 \times 10^6$	$8.44 \times 10^5$	$10^{10}$	$10^{10}$
	33	66,552.0	5	12.35	6.50	"	"	244,430.0	367.7
	34	18,621.5	"	18.85	9.45	"	"	209,000.0	252.8
	35	16,345.0	"	28.30	3.70	"	"	211,693.0	257.1
	36	13,070.2	"	32.00	8.30	"	"	53,712.0	129.8
	37	8,845.2	"	40.30	5.20	"	"	49,955.0	118.5
	38	5,489.1	"	45.50	12.70	"	"	5,572.0	24.0
39	8,080	"	58.20						

表8 Input Data MK-I 旧建家

建家名	賣点 NO.	重 (ton)	タンピング ファクター	Ground Level (m)	座標 (m)	賣点間距離 (m)	縦弾性係数 E (ton/m <sup>2</sup> )	横弾性係数 G (ton/m <sup>2</sup> )	E-W方向		N-S方向	
									断面2次モーメント I [m <sup>4</sup> ]	せん断面積 A [m <sup>2</sup> ]	断面2次モーメント I [m <sup>4</sup> ]	せん断面積 A [m <sup>2</sup> ]
泉 子 炉 建 家	1	83,036.0	0.05		10,000	6,815	2.11 × 10 <sup>6</sup>	8.44 × 10 <sup>5</sup>			12665 × 10 <sup>3</sup>	84.6
	2	5,076.0	"		16,815	6,685	"	"			10725 × 10 <sup>3</sup>	73.6
	3	4,661.0	"		23.5	49	"	"			10725 × 10 <sup>3</sup>	73.6
	4	5,107.3	"		28.4	3.6	"	"			6312 × 10 <sup>3</sup>	50.6
	5	3,249.7	"		32.0	13.5	2.11 × 10 <sup>6</sup>	8.44 × 10 <sup>5</sup>			3257 × 10 <sup>3</sup>	14.5
	6	1,345.2	0.05		45.5	0.7	INF	INF			INF	INF
泉 子 炉 倉 庫	(4)					0.725	1.68 × 10 <sup>7</sup>	6.72 × 10 <sup>6</sup>			0.506	0.147
	7	17.55	0.01		26,975	1.32	"	"			0.476	0.142
	8	22.43	"		25,655	1.275	"	"			0.476	0.142
	9	36.92	"		24,38	1.53	"	"			0.476	0.142
	10	44.38	"		22,85	1.685	"	"			0.476	0.142
	11	40.98	"		21,165	1.635	"	"			0.373	0.144
	12	45.09	"		19,53	2.115	1.68 × 10 <sup>7</sup>	6.72 × 10 <sup>6</sup>			0.042	0.0635
	13	11.06	"		17,415	0.6	1.78 × 10 <sup>7</sup>	6.85 × 10 <sup>6</sup>			0.0422	0.0638
14	0.793	0.01		16,815								

炉上部機構	(4)					0.365	$1.68 \times 10^7$	$6.72 \times 10^6$			$9.88 \times 10^{-3}$	$3.0 \times 10^{-2}$
	15	4203	0.01		28035	0.735	"	"			$8.0 \times 10^{-3}$	$2.75 \times 10^{-2}$
	16	5.4	"		27.3	2.9	"	"			$5.13 \times 10^{-3}$	$2.15 \times 10^{-2}$
	17	4.6	"		24.4	1.3	"	"			"	"
	18	1.6	"		23.1	0.5	$1.68 \times 10^7$	$6.72 \times 10^6$			5.13	$2.15 \times 10^{-2}$
	19	0.4	0.01		22.6	0.32	INF	INF			INF	INF
炉心構造要素	(12)					0.595	$1.68 \times 10^7$	$6.72 \times 10^6$			$1.0375 \times 10^{-4}$	$6.32 \times 10^{-2}$
	20	4.18	0.01		20.445	0.595	"	"			"	"
	21	2.79	"		21.04	0.400	"	"			"	"
	22	2.79	"		21.44	0.400	"	"			"	"
	23	1.86	"		21.84	0.385	$1.68 \times 10^7$	$6.72 \times 10^6$			$1.0375 \times 10^{-4}$	$6.32 \times 10^{-2}$
	24	0.92	0.01		22.225	0.32	INF	INF			INF	INF
炉心バル	(12)					0.595	$1.68 \times 10^7$	$6.72 \times 10^6$			0.123	0.1055
	25	10.0	0.01		20.445	0.595	"	"			"	"
	26	6.6	"		21.04	0.400	"	"			"	"
	27	6.6	"		21.44	0.40	"	"			"	"
	28	4.4	"		21.84	0.385	$1.68 \times 10^7$	$6.72 \times 10^6$			0.123	0.1055
	29	2.4	0.01		22.225							

カー表つぎ

建家名	貫点 No.	重量 (Ton)	ジャンプ フッター	Ground Level (m)	座標 (m)	真点距離 (m)	縦弾性係数 E (ton/m <sup>2</sup> )	横弾性係数 G (ton/m <sup>2</sup> )	EW方向		NS方向	
									断面2次モーメント I (m <sup>4</sup> )	せん断面積 A (m <sup>2</sup> )	断面2次モーメント I (m <sup>4</sup> )	せん断面積 A (m <sup>2</sup> )
原子炉付属建家	U)				11.88	6.97	2.11 × 10 <sup>6</sup>	8.44 × 10 <sup>5</sup>			281.06 × 10 <sup>3</sup>	396.72
	30	18.622.0	0.05		18.85	9.45	"	"			209.00 "	253.8
	31	16.345.0	"		28.3	3.7	"	"			211.693 "	257.1
	32	13.070.2	"		32.0	8.3	"	"			53.712 "	129.8
	33	8.845.2	"		40.3	5.2	"	"			49.955 "	118.5
	34	5.489.1	"		45.5	12.7	2.11 × 10 <sup>6</sup>	8.44 × 10 <sup>5</sup>			5.572 × 10 <sup>3</sup>	24.0
	35	808.0	0.05		58.2							

地盤バネ定数

	軟地盤	硬地盤
側面圧縮バネ定数 K <sub>cs</sub> (ton/m)	5.73 × 10 <sup>6</sup>	11.46 × 10 <sup>6</sup>
底面土人断バネ定数 K <sub>g</sub> (ton/m)	1.3005 × 10 <sup>7</sup>	2.601 × 10 <sup>7</sup>
底面剛性バネ定数 K <sub>g</sub> (ton-m <sup>2</sup> /rad)	4.8665 × 10 <sup>9</sup>	9.733 × 10 <sup>9</sup>

回転慣性2次モーメント

7.8133 × 10<sup>7</sup> (ton-m<sup>2</sup>)

スタビライザバネ定数

1.13 × 10<sup>6</sup> (ton/m)

炉心構成要素バネ定数

2.637 × 10<sup>3</sup> (ton/m)

※9表 Input Data MK-I 新建家

建家名	積点No.	重量 [ton]	ダンピング 7779-	Ground Level [m]	座標 [m]	積点距離 [m]	縦弾性係数 E [ton/m <sup>2</sup> ]	横弾性係数 G [ton/m <sup>2</sup> ]	EW軸まわり		NS軸まわり		備考	
									断面2次E-X <sup>2</sup> I [m <sup>4</sup> ]	せん断面積 A [m <sup>2</sup> ]	断面2次E-X <sup>2</sup> I [m <sup>4</sup> ]	せん断面積 A [m <sup>2</sup> ]		
栗子畑建家	1	84969.6	0.05	-25.08	6.72	(2.78) 630	(INF) 2.11×10 <sup>6</sup>	← 9.02×10 <sup>5</sup>	12.904 <sup>×10<sup>3</sup></sup>	88.9	13361 <sup>×10<sup>3</sup></sup>	(INF)* 107.9	⑤ 竹中工務店 子 夕	
	2	6,038.2	"	-16.00	15.80	7.60	"	"	12747"	85.9	12561"	101.8		
	3	4,126.4	"	-8.40	23.40	5.00	"	"	11182"	89.4	13196"	96.8		
	4	4469.7+1.6 4471.3	"	-3.40	28.40	3.60	"	"	7573"	55.3	6874"	63.5		
	5	2926.2	"	+0.20	32.00	12.50	2.11×10 <sup>6</sup>	9.02 <sup>×10<sup>5</sup></sup>	2926 <sup>×10<sup>3</sup></sup>	14.2	2691 <sup>×10<sup>3</sup></sup>	15.5		
	6	1203.7	0.05	+12.70	44.50	0.7	INF	←				INF		⑥
栗子畑 窓	(4)	(1.6)				1.36	1.68×10 <sup>7</sup>	636 <sup>×10<sup>6</sup></sup>	0.605	0.155	EW軸まわり ↑	EW軸まわり ↑	④ 東芝 子 夕	
	7	8.62	0.01	-5.46	26.34	1.74	"	"	0.551	0.160	↑	↑		
	8	18.1	"	-7.20	24.60	1.15	"	"	0.468	0.1425				
	9	13.6	"	-8.35	23.45	1.14	"	"	0.468	"				
	10	17.1	"	-9.49	22.31	1.27	"	"	0.468	"				
	11	14.4	"	-10.76	21.04	1.485	"	"	0.468	0.1425				
	12	35.43+5.31+2.27 43.01	"	-12.245	19.555	2.140	1.68×10 <sup>7</sup>	636×10 <sup>6</sup>	0.042	0.0635	↓	↓		⑦
	13	11.06	"	-14.385	17.415	0.600	1.78×10 <sup>7</sup>	685×10 <sup>6</sup>	0.042/2	0.0638	EW軸まわり ↑	EW軸まわり ↑		⑧
14	0.793	0.01	-14.985	16.815										

炉上部機構	(4)																				
	15	4203	0.01	- 3765	28035	0.365	$1.68 \times 10^7$	$636 \times 10^6$	$9.88 \times 10^{-3}$	$30 \times 10^{-2}$	EW軸まわり △同位	EW軸まわり △同位									
	16	5.4	"	- 4.50	2730	0.795	"	"	8.0 "	2.75 "	↑	↑									
	17	4.0	"	- 7.40	2440	2.9	"	"	"	"	↓	↓									
	18	1.6	"	- 8.70	2310	1.3	"	"	"	"											
	19	0.4	0.01	- 9.20	22.60	0.5	$1.68 \times 10^7$	$636 \times 10^6$	$5.13 \times 10^{-3}$	2.15	EW軸まわり △同位	EW軸まわり △同位									
炉心管束要素	(12)	(2,272)				0.321	INF	←			→	INF									
	20	4.81	0.01	- 11342	20458	0.582	$1.68 \times 10^7$	$636 \times 10^6$	$1.084 \times 10^{-4}$	$6.68 \times 10^{-2}$	EW軸まわり △同位	EW軸まわり △同位									
	21	4.115	"	- 10.76	2104	0.582	"	"	"	"	↑	↑									
	22	3.686	"	- 10.36	2144	0.400	"	"	"	"	↓	↓									
	23	3.508	"	- 9.89	2191	0.470	"	"	"	"											
	24	0.572	0.01	- 9.49	2231	0.400	$1.68 \times 10^7$	$636 \times 10^6$	$1.084 \times 10^{-4}$	$6.68 \times 10^{-2}$	EW軸まわり △同位	EW軸まわり △同位									
	(12)	(5.31)			1985	0.295	INF	←			→	INF									
炉心バレル	25	6920	0.01	- 11355	20445	0.595	$1.68 \times 10^7$	$636 \times 10^6$	$1.067 \times 10^{-1}$	$8.69 \times 10^{-2}$	EW軸まわり △同位	EW軸まわり △同位									
	26	6318	"	- 10.76	2104	0.595	"	"	"	"	↑	↑									
	27	4.533	"	- 10.36	2144	0.400	"	"	"	"	↓	↓									
	28	4.609	"	- 9.89	2191	0.470	"	"	"	"											
	29	2.502	0.01	- 9.49	2231	0.400	$1.68 \times 10^7$	$636 \times 10^6$	$1.067 \times 10^{-1}$	$8.69 \times 10^{-2}$	EW軸まわり △同位	EW軸まわり △同位									

④  
東芝データ  
⑤  
東芝データ  
⑥  
東芝データ

表9 表つなぎ

建家名	床 No.	重量 [ton]	ダンピング 7779-	Ground Level [m]	座標 [m]	頂点距離 [m]	縦弾性係数 E [ton/m <sup>2</sup> ]	横弾性係数 G [ton/m <sup>2</sup> ]	EW軸まわり		NS軸まわり		備考
									断面二次モーメント I [m <sup>4</sup> ]	せん断面積 A [m <sup>2</sup> ]	断面二次モーメント I [m <sup>4</sup> ]	せん断面積 A [m <sup>2</sup> ]	
栗子畑村高建家	(1)			- 25.08	6.72	(5.63)							③ 竹中データ
	30	18,599.7	0.05	- 12.95	18.85	6.50	2.11 × 10 <sup>6</sup>	9.02 × 10 <sup>5</sup>	265.94 × 10 <sup>3</sup>	392.0	226,562 × 10 <sup>3</sup>	3,545	
	31	15,978.2	"	- 4.30	27.50	8.65	"	"	215.69"	306.6	189,009"	286.6	
	32	12,769.5	"	0.20	32.00	4.50	"	"	221.54"	313.5	179,810"	275.4	
	33	9,157.0	"	8.50	40.30	8.30	"	"	33.33"	87.1	44,290"	148.8	
	34	5,856.2	"	13.70	45.50	5.20	"	"	43.82"	104.4	42,637"	122.8	
	35	8,68.0	0.05	24.70	58.50	13.00	2.11 × 10 <sup>6</sup>	9.02 × 10 <sup>5</sup>	5.61 × 10 <sup>3</sup>	24.0	5,606 × 10 <sup>3</sup>	24.0	

注1) 常陽L9 - 常陽 - 8146 宣1参照

地盤バネ定数 (B) 東芝データ

	EW軸まわり		NS軸まわり	
	軟地盤	硬地盤	軟地盤	硬地盤
側面圧縮バネ定数 K <sub>SS</sub> [ton/m]	0.9435 × 10 <sup>7</sup>	1.927 × 10 <sup>7</sup>	0.931 × 10 <sup>7</sup>	1.862 × 10 <sup>7</sup>
底面せん断バネ定数 K <sub>g</sub> [ton/m]	1.2375 × 10 <sup>7</sup>	2.475 × 10 <sup>7</sup>	1.2375 × 10 <sup>7</sup>	2.475 × 10 <sup>7</sup>
底面回転バネ定数 K <sub>θ</sub> [ton m/rod]	6703 × 10 <sup>9</sup>	13406 × 10 <sup>9</sup>	5.615 × 10 <sup>9</sup>	11.23 × 10 <sup>9</sup>

(巨縦横性二次モーメント (B) 竹中データ)

[ton-m<sup>2</sup>]

EW軸まわり	NS軸まわり
4,831,785 × 10 <sup>7</sup>	3,871,728 × 10 <sup>7</sup>

スタビライザバネ定数 1.13 × 10<sup>6</sup> [ton/m]

(A) 東芝データ (注1)

炉心構成要素バネ定数 1.40 × 10<sup>3</sup> [ton/m]

(B) 東芝データ

備考欄説明

① 安全審査時のデータ

② 安全解析 (I) のデータ

③ 今回算出したデータ

ス-5 減衰定数

オ6表 減衰定数

	MK-I		MK-II
	旧	新	
基礎及び建屋	5 %	5 %	5 %
原子炉構造	1 %	1 %	1 %

ス-6 建屋および炉構造

オ2図およびオ3図に示すように建屋は原子炉建屋および原子炉付属建屋を考慮し、格納容器は独立建屋とみなし対象としない。

建屋データについては、安全審査当時の値をオ7表に、MK-I、旧建屋の再現データをオ8表に、新建屋データをオ9表に示す。

新建屋データは、安全解析(I) (1972-9)で竹中工務店より見直しされた値に基づいている。

炉構造についても、上表に含めて示している。

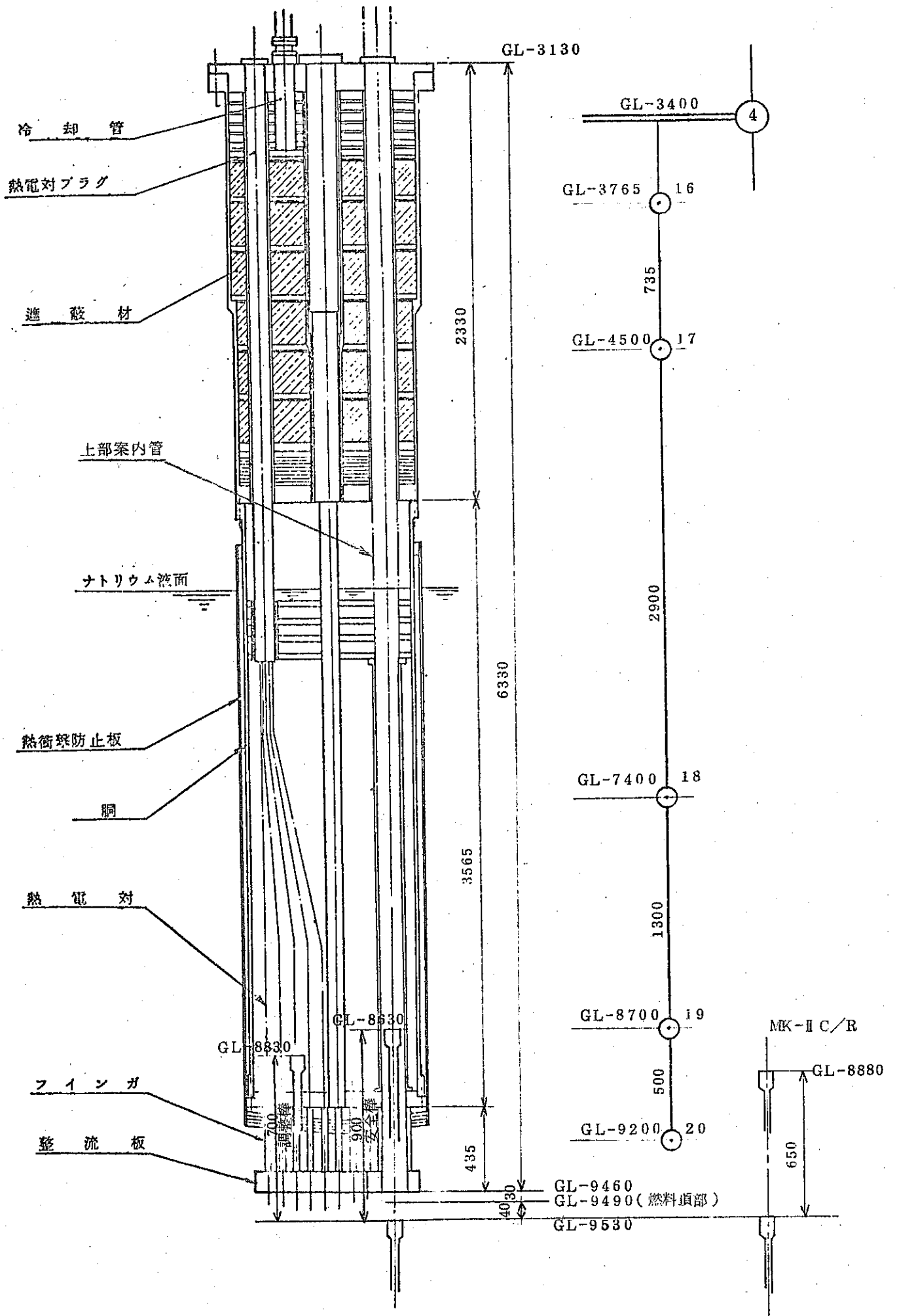
炉容器は、旧データの取扱いについては、現在はつきりしないが、新データについては、前記安全解析(I)にて見直しされたものを用いている。但し、スタビライザ部は旧、新共同様の取扱いをしている。スタビライザの等価バネ定数は $1/\pi \times 10^6$  (t/m)である。

炉心部格構のデータは旧データのまゝ今回も用いることにする。(オ5表)

炉心構造要素と炉心バレルの質量重畳算出法は、質量をばさむ中筒気までの質量和とし、内を穿するナトリウム質量を含めるものとする。

また、構造要素群と炉心構造物の境界の取扱いは、MK-I、MK-II共要素群としての質量を最外列の反射体まで含めるとしての和とし、強度部材はラップ管のみとし、265本の和とする。炉心構造物は、内外しゃへい体、バレル、支持棒等、全ての質量を含み、強度部材はバレル間のみを考慮する。





第5図 炉上部機構の質点位置

炉心構成要素および炉心構造物のそれぞれのモデルの真点位置をオ6図に示す。

### 2-7 炉心構成要素の等価バネ定数

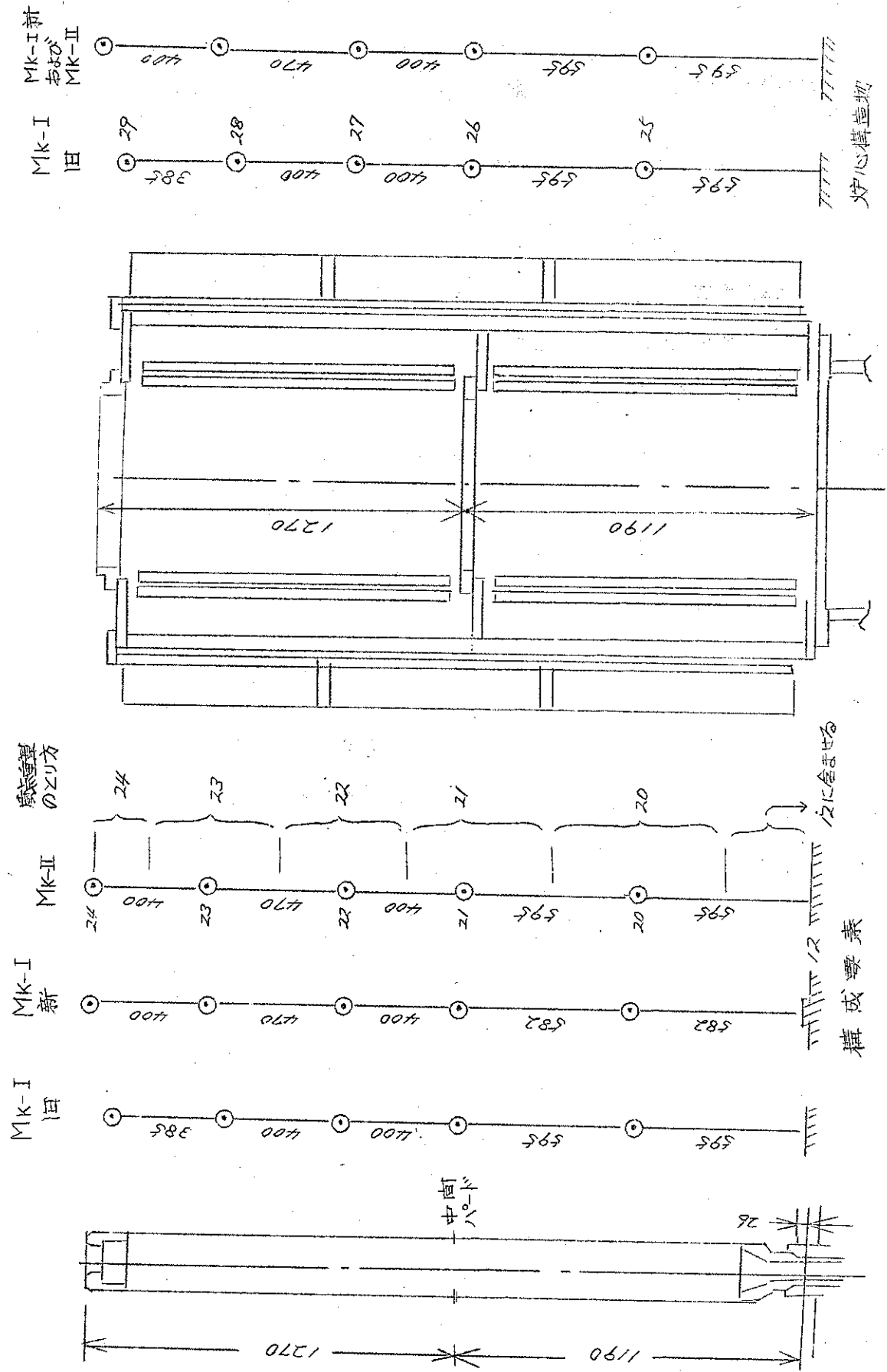
旧、新の取扱い方については変えず、別項5-2に述べているような考え方をとる。算出法は、連成系モデルより炉心の固有周期を求め、次いで、炉全体の連成系モデルにて等価バネ定数をパラメータとした静的解析を行い、炉心の固有周期と対比させて求める。

結果をオ10表に示す。

オ10表 炉心構成要素の等価バネ定数

MK-I	(t/m)
旧 建 屋	$2.637 \times 10^3$
新 建 屋	$1.40 \times 10^3$
MK-II	
旧 建 屋	$7.50 \times 10^3$
新 建 屋	$2.18 \times 10^3$

才 図 炉心構成要素および炉心構造物の積糸位置



3 対象炉心，使用データおよび設計地震波形による「常陽」動的解析のパラメトリックサーベイについて

### 3-1 計算ケースについて

カノ章で述べた経緯並びに目的に沿い、且つカノ章の評価条件に基き、下記について計算を行った。

カノ表 計算ケース一覧

	対象炉心	建屋モデル	設計地震波
ケース A-1	MK-I	旧	ELCENTRO (NS)
A-2	"	"	TAFT (NS)
A-3	"	新	ELCENTRO (NS, EW)
A-4	"	"	TAFT (NS, EW)
B-1	MK-II	旧	ELCENTRO (NS)
B-2	"	"	TAFT (NS)
B-3	"	新	ELCENTRO (NS, EW)
B-4	"	"	TAFT (NS, EW)

(注) 地震の取扱については、全ケース毎に Soft と Hard 双方について検討する。

### 3-2 入力値

#### (1) 振動定数

旧、新の建屋に対する振動定数は既にカノ表～カノ表に示したが MK-II の炉構造物に関するデータをカノ表に示す。

#### (2) 設計地震波形

既に各種の調査を通じて、「常陽」建設地帯に対する設計地震波を 1940 年 EL CENTRO 波、150 gal を採用し、それで評価することが適当であるとの結論がでているが、今回は、更に 1952 年 TAFT 波、150 gal を加えて動的解析を行った。参考までに、ここで用いた TAFT 波をカノ表に示す。

表12-(a) Input Data MK-旧建屋

建家名	床 No.	床重量 (ton)	ポイント 7779-	Ground Level (m)	座 標 (m)	床高距離 (m)	縦弾性係数 E (ton/m <sup>2</sup> )	横弾性係数 G (ton/m <sup>2</sup> )	N S 方向	
									断面2次モーメント I (m <sup>2</sup> )	せん断面積 A (m <sup>2</sup> )
床子炉建家	1	23,036.00	0.05	- 21.800	10,000	6815	2.11×10 <sup>6</sup>	0.844×10 <sup>6</sup>	12655×10 <sup>3</sup>	846
	2	5,076.00	"	- 14985	16815	6685	"	"	10725×10 <sup>3</sup>	736
	3	4861.00	"	- 8300	23500	4900	"	"	10725×10 <sup>3</sup>	736
	4	5,107.30	"	- 3.4	28400	3600	"	"	6312×10 <sup>3</sup>	50.6
	5	3249.70	"	- 0.2	32000	13500	2.11×10 <sup>6</sup>	0.844×10 <sup>6</sup>	3257×10 <sup>3</sup>	145
	6	1345.20	0.05	137	45500	0700	INF	INF	INF	INF
床子炉窓	(4)					0.725	1620×10 <sup>6</sup>	6190×10 <sup>6</sup>	506,00×10 <sup>-3</sup>	147.0×10 <sup>-3</sup>
	7	17.55	0.01	- 4825	26975	1320	"	"	47600×10 <sup>-3</sup>	147.0×10 <sup>-3</sup>
	8	22.43	"	- 6145	25655	1275	"	"	"	"
	9	56.92	"	- 7420	24380	1530	"	"	"	"
	10	4438	"	- 8950	22850	1685	1.620×10 <sup>6</sup>	6190×10 <sup>6</sup>	47600×10 <sup>-3</sup>	142.0×10 <sup>-3</sup>
	11	4098	"	- 10.635	21165	1635	1.680×10 <sup>6</sup>	6360×10 <sup>6</sup>	37300×10 <sup>-3</sup>	144.0×10 <sup>-3</sup>
	12	4509	"	- 12270	19530	2115	1740×10 <sup>6</sup>	6590×10 <sup>6</sup>	4200×10 <sup>-3</sup>	63.5×10 <sup>-3</sup>
	13	11.06	"	- 14385	17415	0.600	1780×10 <sup>6</sup>	6850×10 <sup>6</sup>	4212×10 <sup>-3</sup>	63.8×10 <sup>-3</sup>
床上部棧橋	14	0.79	0.01	- 14985	16815					
	(4)					0.365	1620×10 <sup>6</sup>	6190×10 <sup>6</sup>	988×10 <sup>-3</sup>	3.00×10 <sup>-2</sup>
	15	4.20	0.01	- 3765	28035	0.735	"	"	800×10 <sup>-3</sup>	2.75×10 <sup>-2</sup>
	16	5.40	"	- 4500	27300	2900	"	"	5.13×10 <sup>-3</sup>	2.15×10 <sup>-2</sup>
	17	4.60	"	- 7400	24400	1300	"	"	"	"
	18	1.60	"	- 8700	23100	0.500	1620×10 <sup>6</sup>	6190×10 <sup>6</sup>	5.13×10 <sup>-3</sup>	2.15×10 <sup>-2</sup>
19	0.40	0.01	- 9200	22600	0.320	INF	INF	INF	INF	

海 心 盛 層	(12)										
	20	5.12	0.01	-	11.355	20.445	0.595	$1680 \times 10^6$	$6360 \times 10^6$	$1.084 \times 10^{-4}$	$667 \times 10^{-2}$
	21	4.77	"	-	10.760	21.040	0.595	"	"	"	"
	22	3.90	"	-	10.360	21.440	0.400	"	"	"	"
	23	2.92	"	-	9.890	21.910	0.470	"	"	"	"
心 盛 層	24	0.91	0.01	-	9.490	22.310	0.400	$1680 \times 10^6$	$6360 \times 10^6$	$1.084 \times 10^{-4}$	$667 \times 10^{-2}$
	(12)						0.320	INF	INF	INF	INF
	25	10.00	0.01	-	11.355	20.445	0.595	$1680 \times 10^6$	$6360 \times 10^6$	0.123	$10.55 \times 10^{-2}$
	26	6.60	"	-	10.760	21.040	0.595	"	"	"	"
	27	6.60	"	-	10.360	21.440	0.400	"	"	"	"
バ シ ル	28	4.40	"	-	9.960	21.840	0.400	"	"	"	"
	29	2.40	0.01	-	9.575	22.225	0.385	$1680 \times 10^6$	$6360 \times 10^6$	0.123	$10.55 \times 10^{-2}$
	(11)			-	21.800	10.00	2.35	INF	INF	INF	INF
	30	18.6220	0.05	-	12.950	18.85	6.50	$2.11 \times 10^6$	$8.44 \times 10^6$	$2.4443 \times 10^3$	3677
	31	16.3450	"	-	6.500	28.3	9.45	"	"	$2.0900 \times 10^3$	252.8
須 子 付 層 建 設	32	13.070.2	"	-	9.200	32.0	3.7	"	"	$2.11.693 \times 10^3$	257.1
	33	8.8452	"	-	8.500	40.3	2.3	"	"	$5.3712 \times 10^3$	129.8
	34	5.4891	"	-	13.700	45.5	5.2	"	"	$4.9955 \times 10^3$	118.5
	35	4.08.0	0.05	-	26.400	58.2	12.7	$2.11 \times 10^6$	$8.44 \times 10^6$	$5.572 \times 10^3$	24.0

地盤バネ定数	軟地盤	硬地盤
側面圧縮バネ定数 $K_{SS}$ (ton/m)	$283.8 \times 10^6$	$5575 \times 10^6$
底面土バネ定数 $k_p$ (ton/m)	$1590 \times 10^7$	$3.179 \times 10^7$
底面回転バネ定数 $K_\theta$ (ton-m/rad)	$5.912 \times 10^9$	$11.82 \times 10^9$

貫性モーメント  $7.813 \times 10^7$  (ton/m<sup>2</sup>)  
 スタビライザバネ定数  $K_S$   $1.13 \times 10^6$  (ton/m)  
 炉心管集束バネ定数  $K_C$   $750 \times 10^3$  (ton/m)

★12-(b)表 新建屋MK-IIのインポートデータ

名称	層点NO	重量 (ton)	ダンピング率 (%)	座標 (m)	棟間距離 (m)	縦弾性係数 (t/m <sup>2</sup> )	横弾性係数 (t/m <sup>2</sup> )	S N 方向		E W 方向	
								断面2次元-スト (m <sup>2</sup> )	せん断面積 (m <sup>2</sup> )	断面2次元-スト (m <sup>2</sup> )	せん断面積 (m <sup>2</sup> )
原子炉建屋	1	84,969.6	5	6.72	(2.78) 6.30	(INF) ← 2.11×10 <sup>6</sup>	9.02×10 <sup>5</sup>	12,904	88.9	13,361	→ (INF) 107.9
	2	6,038.2	"	15.80	7.60	2.11×10 <sup>6</sup>	9.02×10 <sup>5</sup>	12,747	85.9	12,561	101.8
	3	4,126.4	"	23.40	5.00	"	"	11,182	89.4	13,196	96.8
	4	4,471.3	"	24.40	3.60	"	"	7,573	55.3	6,874	63.5
	5	2,926.2	"	32.00	12.50	"	"	2,726	14.2	2,691	15.5
	6	1,203.7	"	44.50							
原子炉格納	(R)			28.40	(0.7) 1.36	(INF) ← 1.62×10 <sup>7</sup>	6.19×10 <sup>6</sup>	0.605	0.155	SN方向と同-	→ (INF) SN方向と同
	7	8.6	1	26.34	1.74	1.62×10 <sup>7</sup>	6.19×10 <sup>6</sup>	0.551	0.160	"	"
	8	18.1	"	24.60	1.15	"	"	0.468	0.143	"	"
	9	13.6	"	23.45	1.14	"	"	"	"	"	"
	10	17.1	"	22.51	1.27	"	"	"	"	"	"
	11	14.4	"	21.04	1.49	"	"	"	"	"	"
	12	43.0	"	19.56	2.14	"	"	0.042	0.064	"	"
	13	11.1	"	17.42	0.6	"	"	"	"	"	"
炉心上部機構	(R)			28.40	0.37	1.62×10 <sup>7</sup>	6.19×10 <sup>6</sup>	9.88×10 <sup>-3</sup>	30×10 <sup>-2</sup>	"	"
	15	4.2	1	28.04	0.74	"	"	8.00×10 <sup>-3</sup>	2.75×10 <sup>-2</sup>	"	"
	16	5.4	"	27.30	2.1	"	"	5.13×10 <sup>-3</sup>	2.15×10 <sup>-2</sup>	"	"
	17	4.6	"	24.40	1.3	"	"	"	"	"	"
	18	1.6	"	23.10	0.5	"	"	"	"	"	"
	19	0.4	"	22.60							
炉心構	(R)			19.85	(0.32) 0.582	(INF) ← 1.62×10 <sup>7</sup>	6.19×10 <sup>6</sup>	1.084×10 <sup>-4</sup>	6.68×10 <sup>-2</sup>	"	→ (INF) "
	20	4.4	1	20.46	0.582	"	"	"	"	"	"
	21	4.2	"	21.04	0.400	"	"	"	"	"	"
	22	3.2	"	21.44	0.470	"	"	"	"	"	"

要 素	23	2.5	"	21.91							
	24	0.8	"	22.31	0.400	"	"	"	"	"	"
炉 心 ハ レ ル	(12)			19.85	(0.295) 2.595	(INF) ← 1.62 × 10 <sup>7</sup>	6.19 × 10 <sup>6</sup>	0.107	8.69 × 10 <sup>-2</sup>		→ (INF)
	25	8.0	1	20.46	2.595	"	"	"	"	"	"
	26	7.2	"	21.04	0.400	"	"	"	"	"	"
	27	5.3	"	21.44	0.470	"	"	"	"	"	"
	28	5.4	"	21.91	0.400	"	"	"	"	"	"
	29	2.8	"	22.31							
原子炉付 橋 建 屋	(1)			6.72	(5.63) 6.50	(INF) ← 2.11 × 10 <sup>6</sup>	9.02 × 10 <sup>5</sup>	265,940	392.0	226,562	→ (INF) 354.5
	30	18,599.7	5	18.85	8.65	"	"	215,690	306.6	180,009	286.6
	31	15,978.2	"	27.50	4.50	"	"	221,540	313.5	179,810	275.4
	32	12,769.5	"	32.00	8.30	"	"	33,330	87.1	44,290	148.8
	33	9,157.0	"	40.30	5.20	"	"	43,920	104.4	42,637	122.8
	34	5,858.2	"	45.50	13.00	"	"	5,610	24.0	5,606	24.0
	35	868.0	"	58.50							

地盤バネ定数	軟地盤		硬地盤	
	N S	E W	N S	E W
側面圧縮バネ定数 (K <sub>SS</sub> ) (t/m)	9435 × 10 <sup>6</sup>	9.51 × 10 <sup>6</sup>	1.887 × 10 <sup>7</sup>	1.862 × 10 <sup>7</sup>
底面せん断バネ定数 (K <sub>S</sub> ) (t/m)	1.2375 × 10 <sup>9</sup>	1.2375 × 10 <sup>9</sup>	2.475 × 10 <sup>9</sup>	2.475 × 10 <sup>9</sup>
底面回転バネ定数 (K <sub>C</sub> ) (t/m)	6.703 × 10 <sup>9</sup>	5.615 × 10 <sup>9</sup>	1.3406 × 10 <sup>10</sup>	1.123 × 10 <sup>10</sup>

小径性モーメント: NS方向 4.831785 × 10<sup>7</sup> t・m<sup>2</sup>  
 (重心回り) EW方向 3.871728 × 10<sup>7</sup> t・m<sup>2</sup>

率値バネ定数: K<sub>S</sub> 1.13 × 10<sup>6</sup> t/m  
 K<sub>C</sub> 2.18 × 10<sup>3</sup> t/m



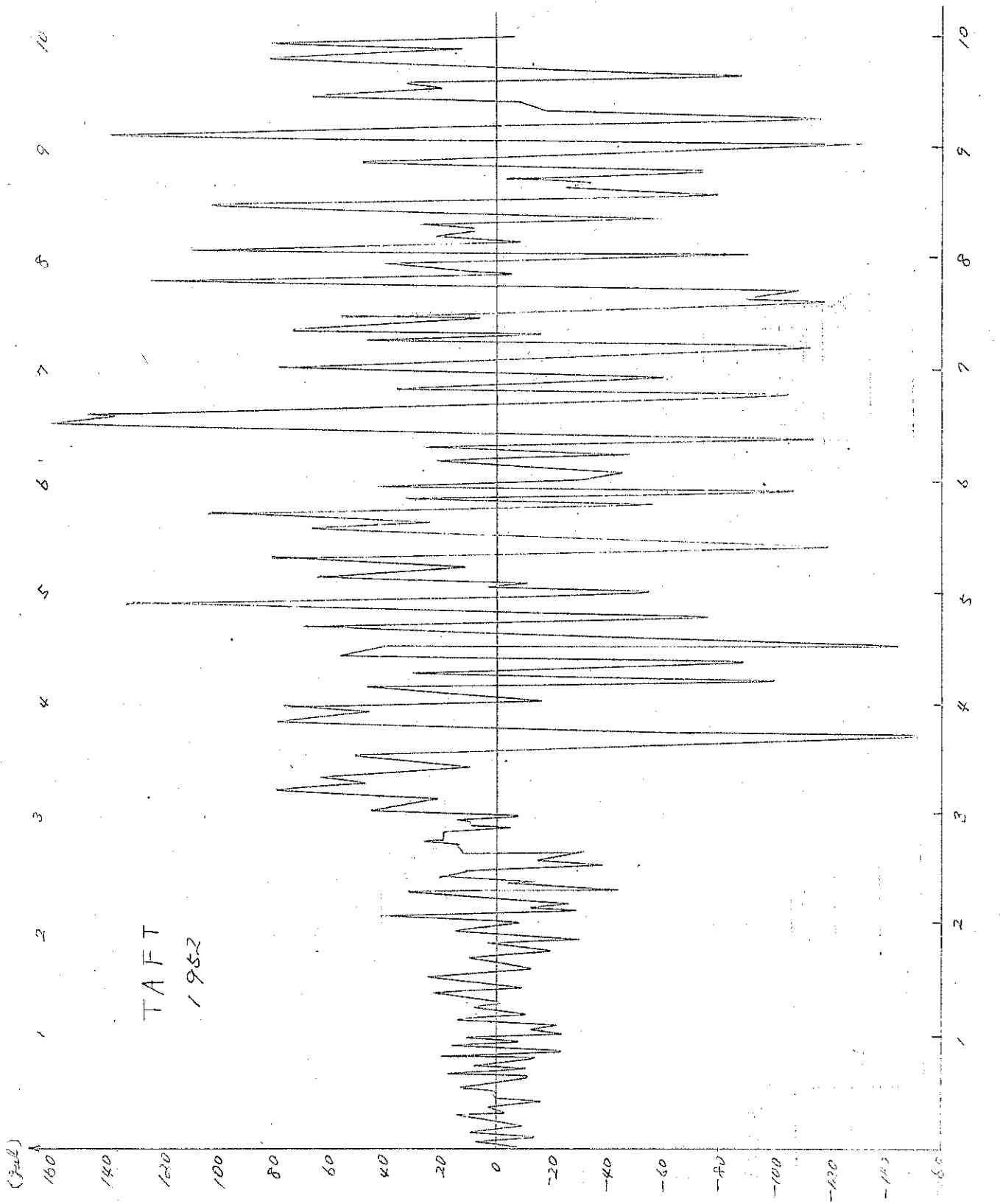
### 3-3 計算結果

下記 3項について行った計算結果をオ13表～オ16表に示す。

- 1) 炉上部機構と構成要素および構成要素、安全棒頂部および炉上部機構とパレル炉上部機構とパレルの相対変位について
- 2) 安全棒頂部、炉上部機構、構成要素およびパレルの絶対変位について
- 3) 炉上部機構および炉心構成要素各頂点の加速度について

ケース	A-1/A-2	オ13表	オ8図
ケース	A-3/A-4	オ14表	オ9～オ10図
ケース	B-1/B-2	オ15表	
ケース	B-3/B-4	オ16表	

なお、MK-I 安全審査当時の計算結果をオ17表に示しておく。



オク図

位 置 座 点	EL CENTRO				T A F T					
	Soft		hard		Soft			hard		
	NS 方向	EW 方向	NS 方向	EW 方向	-NS 方向	EW 方向	NS 方向	EW 方向		
相 対 変 位  (mm)	炉上部機構下端-系上端	19-24	8.23(5.77)	8.13(5.59)	13.28(2.72)	10.69(2.72)	7.87(5.48)	7.17(8.16)	14.35(4.95)	11.31(4.95)
	系上端-バレル上端	24-29	9.20(5.77)	7.97(5.59)	13.65(2.72)	10.96(2.72)	8.10(5.48)	7.07(8.31)	15.41(4.95)	12.40(4.95)
	安全棒上部-バレル上端	18-24	0.93(2.37)	0.99(2.55)	1.53(5.03)	1.79(5.03)	1.17(8.12)	1.02(9.68)	1.57(7.64)	1.77(8.17)
	炉上部機構下端-バレル上端	19-29	0.99(2.37)	1.01(2.36)	1.70(5.03)	2.00(5.03)	1.51(8.12)	1.05(9.68)	1.74(7.64)	2.01(8.17)
電 対 変 位  (mm)	安全棒下部	18	6.43(2.54)	8.01(2.54)	4.39(2.02)	4.41(2.03)	7.96(6.57)	7.89(9.67)	5.71(9.30)	6.12(9.31)
	炉上部機構下端	19	6.41(2.54)	8.0(2.54)	4.44(2.02)	4.48(2.03)	8.00(6.57)	7.92(9.67)	5.95(9.30)	6.22(9.31)
	炉心構成要素上端	24	11.10(5.54)	12.37(2.39)	16.94(2.72)	14.19(2.72)	13.11(9.32)	13.16(9.67)	19.90(4.95)	16.65(4.95)
	炉心バレル上端	29	5.95(2.54)	7.04(2.54)	3.73(2.01)	3.70(2.02)	0.99(6.57)	7.15(6.57)	5.27(9.29)	5.14(9.30)

加 速 度 (g)	炉上部機構	15	0.338(2.37)	0.381(2.55)	0.317(2.01)	0.305(2.02)	0.417(6.57)	0.355(9.35)	0.472(9.28)	0.429(9.29)
	"	16	0.340( )	0.376(2.53)	0.313(2.01)	0.304(2.03)	0.419(6.57)	0.353(9.67)	0.451(9.28)	0.418(9.30)
	"	17	0.384( )	0.402(2.36)	0.543(5.03)	0.625(5.03)	0.463(8.12)	0.395(9.68)	0.593(6.52)	0.440(6.52)
	"	18	0.412( )	0.435( )	0.733( )	0.855( )	0.558(8.12)	0.431(9.68)	0.755(6.52)	0.863(8.19)
	"	19	0.423(2.37)	0.447(2.36)	0.805(5.03)	0.943(5.03)	0.595(8.12)	0.455(9.68)	0.818(6.52)	0.976(8.77)
加 速 度 (g)	炉心機構要系	20	0.313(2.37)	0.317(2.36)	0.342(2.02)	0.327(2.03)	0.347(6.57)	0.349(9.66)	0.491(4.94)	0.426(9.29)
	"	21	0.396(5.34)	0.381(7.38)	0.614(2.82)	0.511(2.72)	0.402(9.65)	0.411(9.66)	0.775(4.94)	0.628(4.95)
	"	22	0.594(5.77)	0.544(5.34)	0.895(2.72)	0.730( )	0.553(5.47)	0.506(9.31)	1.047(4.95)	0.856(4.95)
	"	23	0.895(5.76)	0.782(5.59)	1.276( )	1.016( )	0.771(5.47)	0.707(8.16)	1.419(4.95)	1.152(4.95)
	"	24	1.176(5.60)	1.019(5.59)	1.609(2.72)	1.265(2.72)	0.970(8.17)	0.929(8.16)	1.742(4.95)	1.410(4.96)

( ) の値は各系最大値、加速が超えた時刻(秒)

才14表 計算結果 Mk-I 新連屋

	位 置 荷 重	EL CENTRO				T A F T			
		Soft		hard		Soft		hard	
		EW 方向	NS 方向	EW 方向	NS 方向	EW 方向	NS 方向	EW 方向	NS 方向
相 対 変 位 (mm)	炉上部機構 構成要素 下 端 頂 部	19-24	秒 8.17 (395)		秒 343 (494)		秒 739 (465)		秒 5.04 (813)
	構成要素 バレル 頂 部 頂 部	24-29	8.93 (395)		347 (238)		8.10 (465)		4.25 (5.22)
	安全棒 バレル 頂 部 頂 部	18-29	1.25 (261)		199 (566)		1.44 (808)		2.38 (9.31)
	炉上部機構 バレル 下 端 頂 部	19-29	1.31 (472)		2.25 (5.26)		1.55 (8.08)		2.69 (8.44)
絶 対 変 位 (mm)	安全棒 頂 部	18	11.17 (261)		6.49 (251)		8.86 (5.71)		6.55 (6.57)
	炉上部機構下 端	19	11.21 (2.61)		6.55 (251)		8.88 (5.71)		6.70 (6.57)
	構成要素 頂 部	24	14.89 (263)		8.16 (252)		14.89 (5.71)		8.67 (5.23)
	バレル 頂 部	29	9.93 (263)		5.37 (251)		8.02 (9.95)		5.01 (9.49)

加 速 度  (4)	炉上部機構	15		0.438(262)		0.352(250)		0.572(570)		0.330(496)
	"	16		0.440(262)		0.354(250)		0.372(570)		0.337(456)
	"	17		0.510(261)		0.684(499)		0.480(808)		0.867(844)
	"	18		0.624(494)		0.999(526)		0.634(813)		1.255(")
	"	19		0.677(494)		1.121(526)		0.695(813)		1.404(844)
加 速 度  (4)		12		0.385(262)		0.293(249)		0.347(463)		0.319(495)
	炉心構成機	20		0.446(394)		0.302(249)		0.450(464)		0.326(496)
	"	21		0.738(426)		0.327(237)		0.713(")		0.370(658)
	"	22		1.032(395)		0.407(238)		0.958(")		0.499(522)
	"	23		1.367(395)		0.523(238)		1.299(464)		0.666(522)
	"	24		1.699(395)		0.638(238)		1.511(518)		0.836(812)

( ) 内の数値は各最大位・加速が起きた時刻(秒)

表13 計算結果 Mk-I 旧建家

	位 置	質 点	EL CENTRO NS 方向				TAFT NS 方向			
			SOFT *		HARD *		SOFT *		HARD *	
相 対 変 位  (mm)	炉上部機構 構成員 下端 — 頂部	19-24	6267(379)		2841(253)		7759(827)		3.150(521)	
	構成員系 バレル 頂部 — 頂部	24-29	6683(371)		3567(252)		8430(837)		3.923(522)	
	安全棒 バレル 頂部 — 頂部	18-29	1562(371)		1291(251)		1407(663)		1539(812)	
	炉上部機構 バレル 下端 頂部	19-29	1760(371)		1379(251)		1542(663)		1691(812)	
絶 対 変 位  (mm)	安全棒 頂部	18	11031(261)		6749(251)		7810(993)		6776(932)	
	炉心上部機構下端	19	11083(261)		6837(251)		7793(992)		6878(932)	
	構成員系 頂部	24	15086(261)		8748(252)		13225(837)		2520(522)	
	バレル 頂部	29	9757(261)		5458(251)		8927(993)		5416(931)	

加 速 度 (g)	炉心上部機構	15	0.436 (261)		0.375 (250)		0.382 (569)		0.360 (930)
	"	16	0.441 (261)		0.381 (250)		0.376 (569)		0.362 (931)
	"	17	0.585 (370)		0.501 (250)		0.543 (663)		0.518 (8.11)
	"	18	0.770 (371)		0.574 (250)		0.677 (8.14)		0.690 (8.11)
	"	19	0.841 (371)		0.602 (250)		0.734 (8.14)		0.756 (8.11)
支 持 板	支 持 板	12	0.388 (261)		0.335 (248)		0.332 (463)		0.335 (930)
	炉心構成要素	20	0.433 (261)		0.337 (249)		0.386 (463)		0.350 (930)
	"	21	0.548 (261)		0.351 (248)		0.654 (837)		0.337 (917)
	"	22	0.743 (371)		0.416 (252)		0.964 (8.37)		0.450 (5.21)
	"	23	1.095 (371)		0.568 (257)		1.396 (8.37)		0.663 (5.21)
	"	24	1.409 (371)		0.704 (252)		1.780 (8.37)		0.854 (5.21)

\* 左上端の ( ) 内の値は 最大変位、最大加速度発生時刻 (Sec.)

表 15 計算結果 MK-II 旧建築

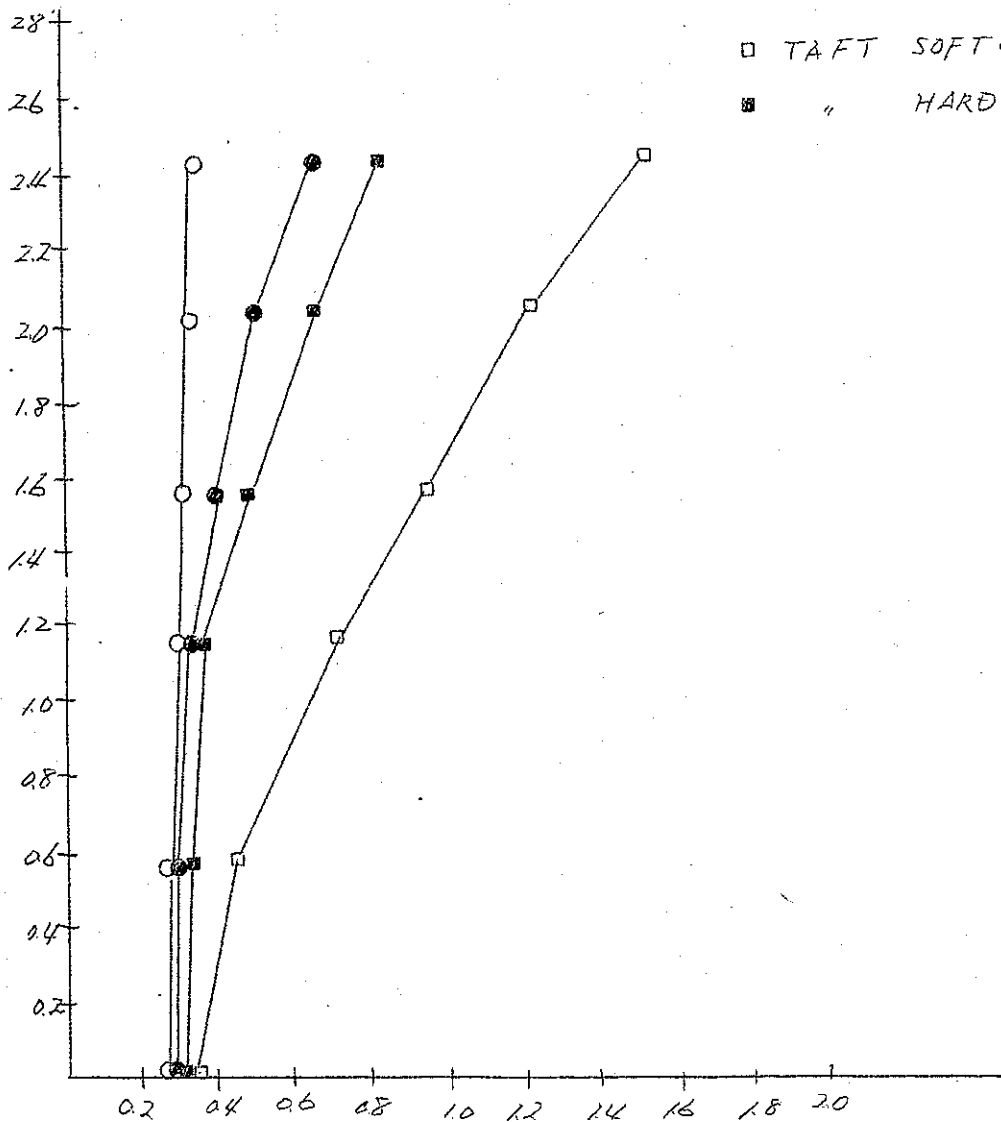


	位 置	積 点	EL CENTRO				T A F T			
			Soft		hard		Soft		hard	
			NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW
相 対 変 位  (%)	炉上部機構 構成要素 下端 - 頂部	19 - 24	12,85 (3,81)	9,97 (4,28)	5,23 (2,51)	5,81 (3,98)	15,12 (8,46)	11,39 (8,37)	6,93 (9,29)	6,21 (9,30)
	構成要素 バレル 頂部 - 底部	24 - 19	12,66 (3,95)	10,31 (4,28)	6,13 (2,50)	4,96 (2,50)	14,48 (8,46)	11,15 (8,37)	8,11 (9,29)	7,25 (9,30)
	安全棒 バレル 頂部 - 頂部	18 - 29	0,99 (2,37)	1,02 (2,55)	2,08 (4,21)	3,16 (4,21)	1,08 (6,56)	0,96 (9,18)	2,02 (6,53)	2,75 (6,53)
	炉上部機構 バレル 下端 - 頂部	19 - 29	1,05 (2,37)	1,06 (2,36)	2,54 (4,21)	3,54 (4,21)	1,14 (6,56)	1,03 (6,00)	2,26 (6,53)	3,08 (6,53)
絶 対 変 位  (%)	安全棒頂部	18	6,46 (2,54)	8,06 (2,54)	4,57 (3,94)	5,84 (4,21)	8,02 (6,57)	9,88 (9,67)	6,40 (9,29)	6,24 (6,53)
	炉上部機構 下端	19	6,44 (2,54)	8,07 (2,54)	4,81 (3,74)	6,23 (4,21)	8,06 (6,57)	7,90 (9,67)	6,49 ( )	6,57 (6,53)
	構成要素 頂部	24	15,57 (4,28)	14,36 (4,28)	9,49 (2,50)	8,27 (2,02)	15,68 (9,34)	14,29 (8,15)	13,42 ( )	12,42 (9,30)
	バレル 頂部	29	5,78 (2,54)	7,06 (2,54)	3,76 (2,01)	3,71 (2,02)	6,99 (6,57)	7,15 (6,59)	5,31 (9,29)	5,16 (9,30)

加速度	炉上部機構	15	0.338 (237)	0.381 (255)	0.316 (201)	0.304 (202)	0.417 (657)	0.355 (935)	0.476 (928)	0.443 (929)
	"	16	0.340 ( " )	0.376 (255)	0.314 (249)	0.307 (203)	0.414 (657)	0.352 (935)	0.474 (928)	0.440 (929)
	"	17	0.387 ( " )	0.407 (236)	0.699 (421)	1.056 (421)	0.453 (656)	0.378 (967)	0.709 (653)	0.938 (653)
	"	18	0.416 ( " )	0.428 ( " )	0.975 (421)	1.476 ( " )	0.475 (8.12)	0.412 (6.00)	0.936 ( " )	1.283 ( " )
	(分)	"	19	0.427 (2.37)	0.456 (236)	1.081 (421)	1.665 (421)	0.501 (8.12)	0.438 (6.00)	1.023 (6.53)
加速度	炉心構成要素	12	0.284 (236)	0.279 (236)	0.297 (202)	0.290 (202)	0.36 (656)	0.321 (9.66)	0.431 (9.28)	0.375 (9.28)
	"	20	0.296 (1.99)	0.273 (236)	0.328 (202)	0.314 ( " )	0.337 (9.66)	0.359 (9.66)	0.473 ( " )	0.424 (9.29)
	"	21	0.634 (4.28)	0.567 (4.28)	0.402 (201)	0.367 (202)	0.646 (8.46)	0.574 (8.14)	0.615 (9.28)	0.537 ( " )
	"	22	1.007 (4.28)	0.844 ( " )	0.518 (250)	0.422 (271)	1.123 (8.46)	0.907 (8.15)	0.922 (9.29)	0.638 (2.95)
	(分)	"	23	1.549 (3.96)	1.210 ( " )	0.694 ( " )	0.566 ( " )	1.771 (8.38)	1.372 (8.15)	0.867 (9.29)
	"	24	2.026 (3.96)	1.532 (4.28)	0.848 (250)	0.673 (271)	2.347 (8.38)	1.781 (8.15)	0.973 (9.29)	0.913 (9.30)

中 16 枚 計算結果 Mr-II 新運家

応標  
(M)  
↑

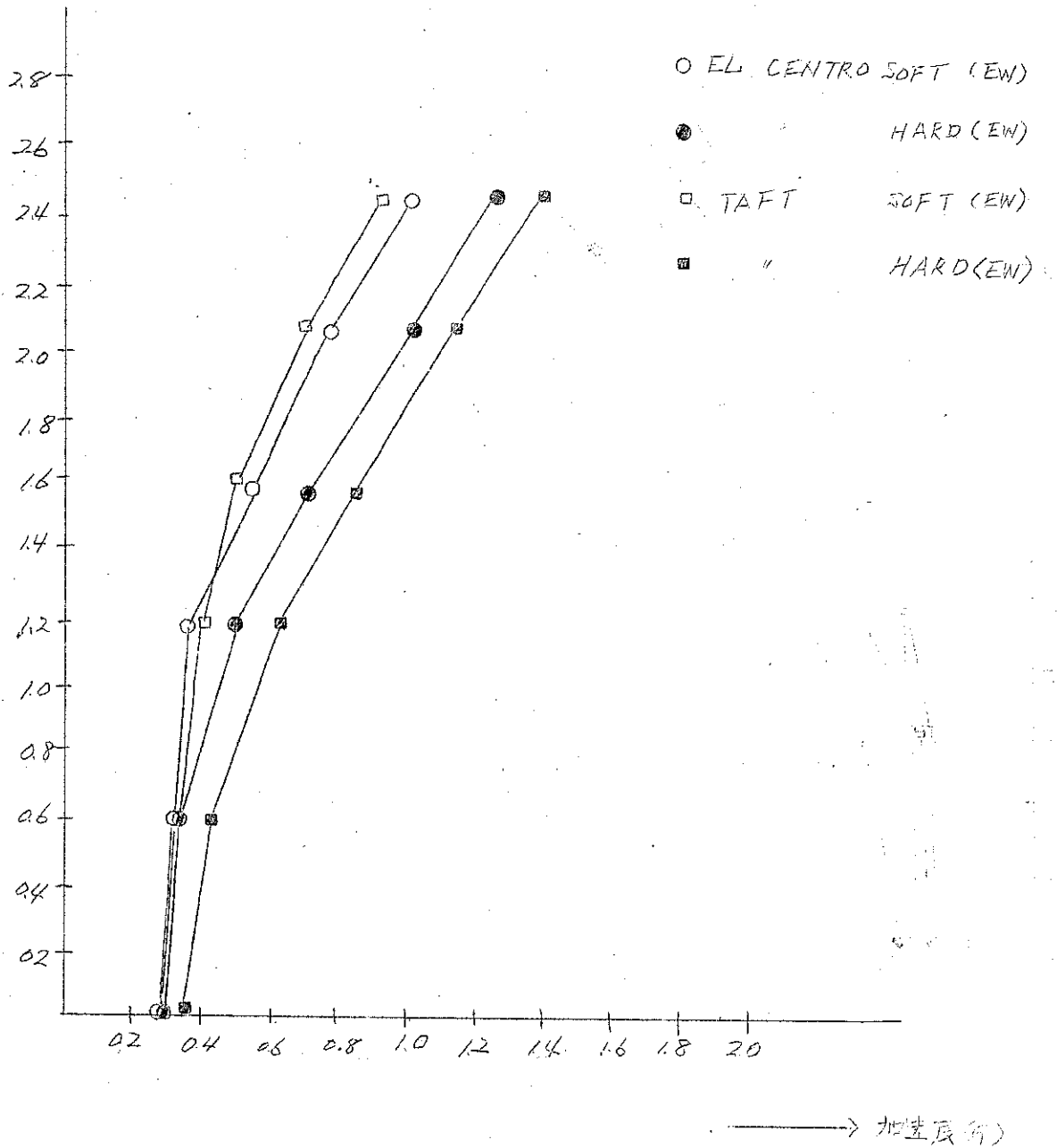


- EL CENTRO SOFT (NS)
- " " HARD (H)
- TAFT SOFT (NS)
- " " HARD (H)

→ 加速度 (g)

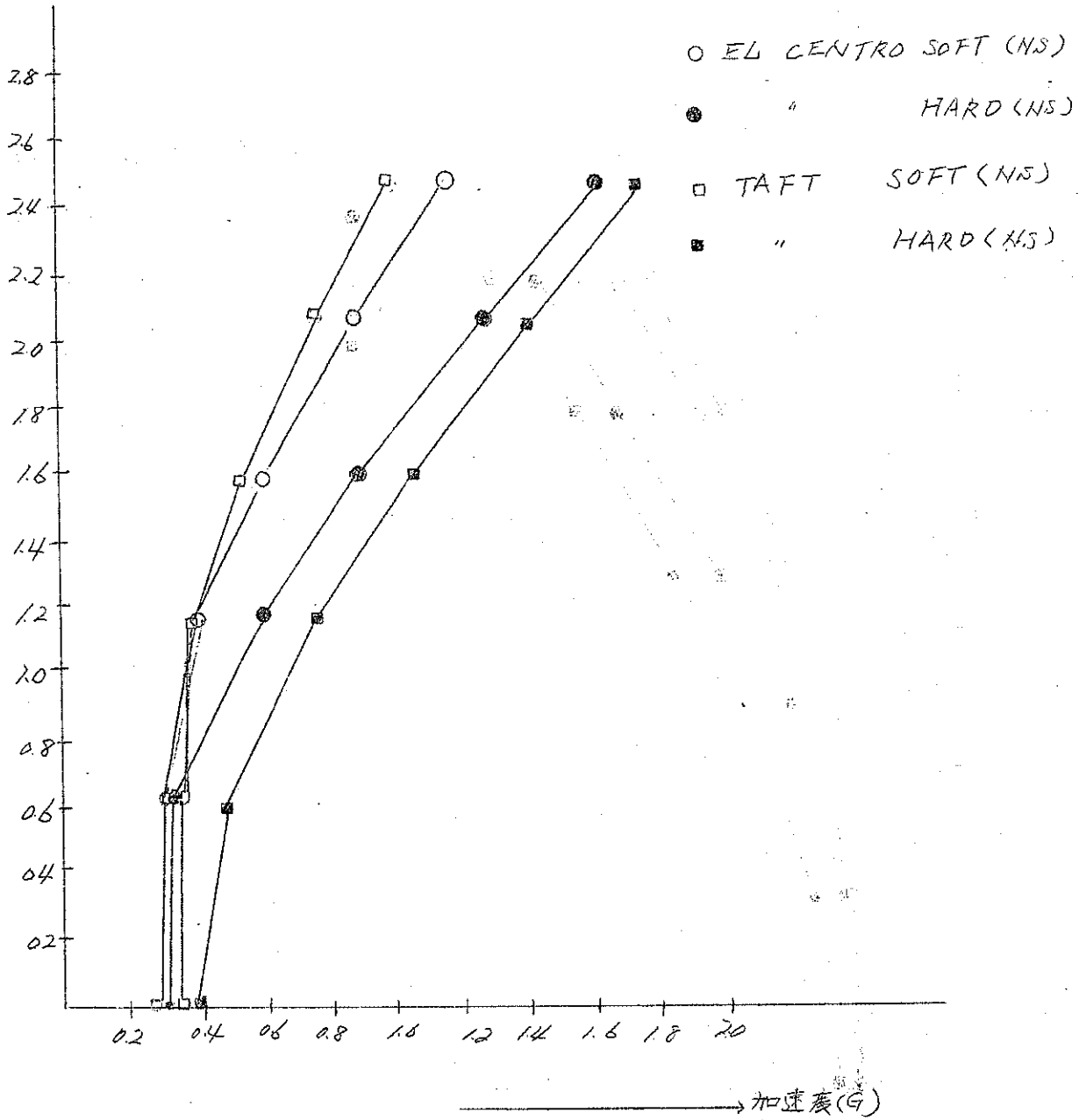
オシロイ MK-I 旧建築における炉心構成要素の応答加速度

座標  
(M)



※9図 MK-1 新建築における炉心構成要素の応答加速度 (EW)

座標  
(M)  
↑



オ10図 MK-I 新建家における炉心構成要素の応答加速度 (NS)

	位 置	順 点	EL CENTRO				TAFT			
			soft		hard		soft		hard	
			EW	SN	EW	SN	EW	SN	EW	SN
相 対 変 位  (mm)	炉上部機構下-要素	20 - 24		8.91 (4.87) <small>714</small>		3.33 (2.76) <small>714</small>				
	構成要素-バレル	28 - 32		9.43 (4.87)		3.74 (2.76)				
	安全棒 -バレル	19 - 22		1.28 (2.61)		1.84 (5.66)				
	炉上部機構-バレル	20 - 32		1.35 (2.61)		2.08 (5.66)				
絶 対 変 位  (mm)	安全棒頂部	19		10.12 (2.60)		6.23 (2.50)				
	炉上部機構下端	20		10.18 (2.60)		6.30 (2.50)				
	要素頂部	26		12.46 (2.60)		8.80 (2.50)				
	バレル頂部	32		8.89 (2.60)		5.53 (2.50)				

加 速 度 (9)	炉上部機構	16		0.417 (2.61)	0.383 (249)				
	"	17		0.421 (2.61)	0.383 (249)				
	"	18		0.496 (2.61)	0.655 (508)				
	"	19		0.582 (4.94)	0.967 (508)				
	炉上部機構	20		0.633 (4.94)	1.087 (5.08)				
加 速 度 (9)	炉心構成要素	21		0.372 (2.61)	0.359 (248)				
	"	22		0.456 (4.86)	0.373 (249)				
	"	23		0.788 (4.87)	0.391 (249)				
	"	24		1.120 (4.87)	0.441 (275)				
	"	25		1.489 (4.87)	0.553 (275)				
	炉心構成要素	26		1.855 (4.87)	0.663 (275)				

表18 「常陽」50MW 安全審査時の計算結果

#### 4. 検討結果のまとめ

##### 4-1 制御棒地震時挿入性関連データについて

本検討の主目的のひとつである。制御棒地震時挿入性関連データのみを取出してオ/8表のようにまとめた。

ここで一応、MK-I、旧挿入データ、EL CENTRO Hard(NS)のケースを基準として各ケースと比較すると概そ次のことが言える。

なお、旧、新プログラムによる出力の差異は7~8%である。

(1) MK-Iについては、新データを用いると地震波形にかかわらず約10%程、相対変位量が低減する。一方、MK-IIの場合は旧データを用いれば約20~30%低減するのに対し、新データでは約40~60%増大する。(値として+1.2~+1.3 mm)

即ち、旧新データの影響がMK-I、MK-IIに対して傾向を異にしており、MK-II、新データのケースが大巾に相違している点が注目される。MK-IとMK-IIの条件の相違については、

- 炉心構成要素の重畳
- 炉心温度条件の相違からくる各種物性の相違

等が考えられ、現在このへんの影響は含めて検討中である。

(2) TAFT波の影響については、MK-I、旧データのケースのみ大きく出ているが高々20%程度で、挿入性に対する従来説明内容を著しく損うことにはならないものと考えられる。

(3) 総片寄モデルを採用すれば(加速度分布の相違にもよるが) MK-Iでは従来評価ベースと殆んど変わらず、MK-IIではMK-II用制御棒及び周囲の構造に依存すると云える。

##### 4-2 加速度分布について

MK-Iについて略々旧、新共、傾向並びに絶対値が変わらないとみなせるが、静的解析に際しては従来の1様分布とは別に加速分布を考慮した評価



炉心	建屋データ	設計地震波	安全棒頂部とバレル筒部相対変位 <sup>19/29</sup>		炉上部格納下端とバレル筒部相対変位 <sup>19/29</sup>	
			相対変位量 <sub>(mm)</sub>	1との相対比較 (mm) (%)	相対変位量 <sub>(mm)</sub>	1との相対比較 (mm) (%)
1 MK-I	旧	EL CENTRO Hard (NS)	199	— —	225	— —
2	"	" Soft (NS)	125		131	
3	"	" Hard (NS)	238	+0.59 +19.6	269	+0.46 +20.6
4	新	TAFT Hard (NS)				
5	"	EL CENTRO Soft (NS)	144		155	
6	"	EL CENTRO Hard (EW)	179	-0.20 -10.0	200	-0.23 -10.3
7	"	" Soft (EW)	0.99		1.01	
8	"	TAFT Hard (EW)	177	-0.22 -11.0	2.01	-0.22 -10.0
9 MK-I	"	" Soft (NS)	1.17		1.31	
10 MK-II	旧	EL CENTRO Hard (NS)	129 (92.5%)		138 (93.3%)	
11	"	" Soft (NS)	156	-0.43 -21.6	176	-0.47 -21.1
12	"	TAFT Hard (NS)	154		1.67	
13	"	" Soft (NS)	140	-0.59 -29.6	154	-0.69 -30.9
14	新	EL CENTRO Hard (NS)	316	+1.17 +58.8	3.54	+1.31 +58.7
15	"	" Soft (NS)	102		106	
16	"	TAFT Hard (NS)	275	+0.76 +38.2	3.08	+0.85 +38.1
17 MK-II	"	" Soft (NS)	108		114	
18 MK-I 安全貯	(旧)	EL CENTRO Hard (NS)	184		208	
		" Soft (NS)	128		135	

望まれる。

なお、MK-IIについては、別途行なった参考解析の中で結果が着しく変わつてものがあつたため現在確認作業を急いでいる。(新プログラムでは、重心位置の高さ方向のズレを操作できない問題があり、そのへんの影響を調査する。)

## 5 MK-I (安全審査) 当時の制御棒地震時挿入性の考え方(ロジック)の整備

### 5-1 各変位量の制御棒頂部への換算法

次頁以降の「MK-I安全審査時における制御棒地震時挿入性の検討」にて説明しているとうり。) オノ/図にMK-I, MK-IIの関連機器設備の寸法関係を示す。

### 5-2 下部案内管の変形モデル

上項5-1と同じに説明してあるが、結論的には、地震力による曲りと捻片寄りによる変形との合成したものである。

### 5-3 中間パッド部の取扱い

中間パッド部は、運転時相互に密着しており、間隙はないとする。又、ツパ管のもつバネ定数は、実験と理論(Rook)に基づいて  $3.52 \times 10^2 \text{ t/cm}$  ( $435^\circ\text{C}$ )としている。

MK-I安全審査当時のこの値は、現在はっきりしないが、炉心構成要素の連成系モデル固有同期、等価バネ定数等が比較的良く合うことから、ほぼ上記値に近いものと推定される。

なお、MK-IIではEの温度依存を考慮して  $3.39 \times 10^2 \text{ t/cm}$  ( $500^\circ\text{C}$ )を採用する。

MK-I 安全審査時における

制御棒地震時挿入性の検討

手順 1 EL CEN TRD (NS) 150 gal 地震波を用いて 動的解析を行ない各点の変位を求める。下部案内管の変位については、炉心をトラス構造に置きかえたモデルを用いて、1Gの加速度に対する下部案内管位置のトラスメンバーの弾性変形量を求めておく。

手順 2 実際には、炉心バレルの拘束があるので、下部案内管位置では、集合体相互間上部バット gap x 14列 / cos 30° が 上部バット部の最大移動量である。

$$1.2 \text{ mm} \times 14 \text{ 列} \times \frac{1}{\cos 30^\circ} = 16.7$$

従って、16.16 → 16.7の補正を行うことにより、中央バット部では

$$5.32 \times \frac{16.17}{16.16} = 5.5$$

又、制御棒(ここでは安全棒)頂部の変位量 a は

$$a = 16.7 + 910 \cdot \theta = 25.0538 \approx \boxed{25.1 \text{ mm}}$$

第19表の(2)

手順 3 上部案内管の変位量

耐震動解析により上部案内管の頂点(19, 20)の変位量を求めた。

安全棒頂部位置 : 1.84

$$\text{上部バット位置} : 1.84 + (2.08 - 1.84) \frac{910}{500} = 2.28$$

但し、MK-I 装置では、1.5倍することにより 安全棒頂部位置では、

$$b = 1.84 \times 1.5 \approx \boxed{2.8 \text{ mm}} \text{ --- 第19表の(1)}$$

手順 4 上部案内管内の安全棒の動き

手順 1 ~ 3 は、安全棒と、上下案内管を一体にした動きを捉える検討であって、実際は上部案内の安全棒の動きを別途検討する必要がある。

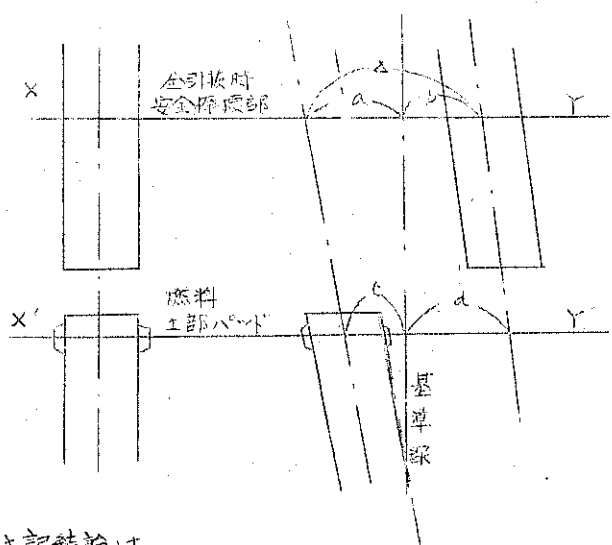
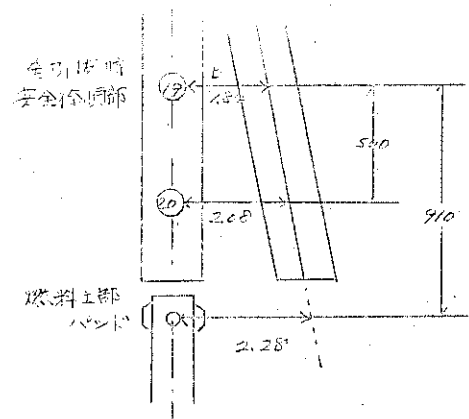
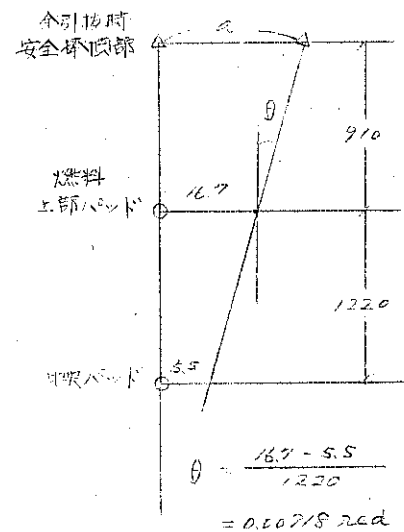
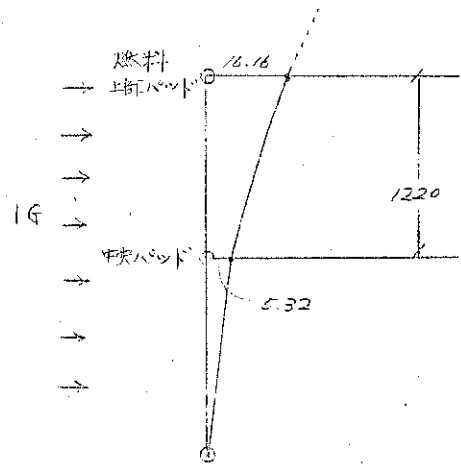
(1) 手順 1 ~ 3 のみによる挿入性

上部案内管に対する安全棒頂部のx-Y方向の動きΔは(一方的に左側へ変位すると考える。)

$$\Delta = a + b + \text{const.} = 25.1 + 2.8 + 3.1 = 31.0 < 33$$

したがって、上部案内管内では安全棒頂部との間に2mm程の余裕があり、接触しない。

安全棒が案内管内でステイックないし、機械的接触により挿入困難となる条件を、安全棒頂部を含む点接触と考えれば、上記結論は“挿入可能”と云うことになる。



(2) 手順々を含めた挿入性

右図において、まず 下部案内管の変位量により安全棒頂部の外挿変量  $a$  を求める。これは手順2で求められたが、下部案内管への安全棒の挿入度を  $l$  とすると、 $(1900 \leq l \leq 1000)$

$$R = 16.7 + (2050 - 140 - l) \theta$$

$$\theta = \frac{16.7 - 5.5}{1080 + 140} = 0.00918 \text{ rad}$$

$$\therefore a = 34.23 - 0.00918l \quad \dots (i)$$

次いで、安全棒頂部の下部案内管に対する動き  $f$  は、「下部案内管頂部及び安全棒下端の2点で接触していること」を条件として、次の様に表示せる

$$f = 280 = \frac{2050}{l} - 80$$

ここで 下部案内管と安全棒との gap,  $g_0$  は 5mm であるから

$$f = \frac{20500}{l} - 5 \quad \dots (ii)$$

安全棒頂部の動きに着目すると、変量  $\delta$  の最大値を捕える必要があり、(i), (ii) から

$$\delta = a - f$$

$$= (34.23 - 0.00918l) - \left( \frac{20500}{l} - 5 \right) = 39.23 - 0.00918l - \frac{20500}{l}$$

$$\frac{d\delta}{dl} = -0.00918 + \frac{20500}{l^2} = 0 \text{ より } l = \sqrt{\frac{20500}{0.00918}} = 1494.4 \text{ が } \delta \text{ の最大値を与える挿入度}$$

である。このとき  $\delta = 11.99$ ,  $f = 8.72$  となり、このうち  $f$  の値を、挿入量  $l = 1494.4$  (引拔ストローク 405.6) のときの値と呼んでいる。

そして、全引抜時 ( $l = 1000$ , 引拔ストローク 790) に挿入性が最も問題になるとして  $l = 1000$  について

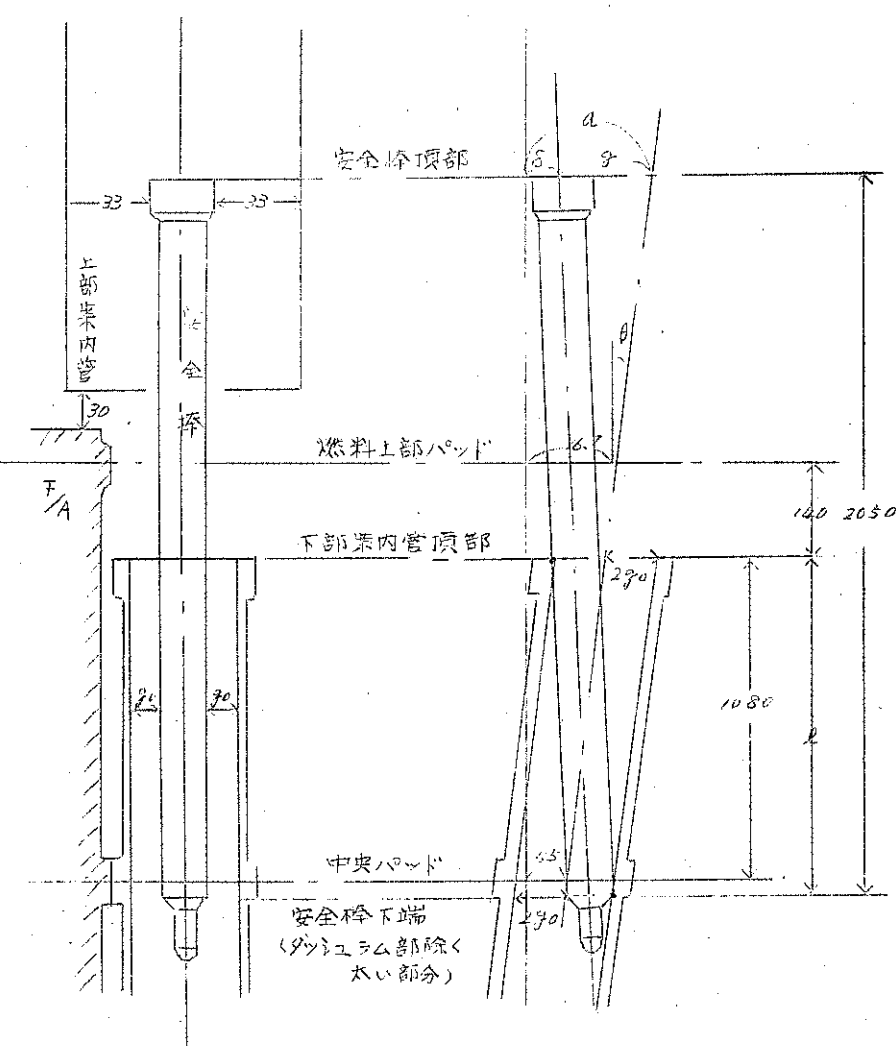
$$f = \frac{20500}{1000} - 5 = \boxed{15.5 \text{ mm}} \quad \dots \text{ 表の } \textcircled{4} \quad \text{この値を全引抜時の戻り量と呼んでいる。}$$

つまり、

安全棒が下部案内管に1000だけ入っていて(全引抜状態) 下部案内管の動きと独立に、安全棒の動きを評価する場合、上部での動きが少ないため、安全棒は下部案内管の頂部と、安全棒下端で2点接触する筈で、そのときの安全棒頂部の挿入軌跡を幾何学的に調べ、全引抜状態での安全棒頂部中心の変位の変位量を以って戻り量と規定した。

(結論) 上、下構造物のグロスの変位量を捉え、次いで下部案内管の中での安全棒の動きと前述の拘束条件で評価して、先に求めたグロス変位量を修正したものである。

以上



第19表 設計地震時における制御棒頂部の横方向変位

単位: mm

		変 更 后		従 来 案 <sup>5)</sup>
		安 全 棒	調 整 棒	安 全 棒・調 整 棒
		全 引 抜 時	全 引 抜 時	全 引 抜 時
引 抜 き 長 さ		900	700	900
①	地 震 炉心上部機 構と炉心バ レル	2.8 <sup>1)</sup>	2.9 <sup>1)</sup>	6.6 <sup>6)</sup>
②	変 位 炉心バレル と制御棒下 部案内管	2.5 <sup>1)</sup>	2.2	
③	静 的 変 位	3.1 <sup>2)</sup>	3.1 <sup>2)</sup>	4.6
④	下部案内管と制 御棒隙間による もどり	15.5 <sup>3)</sup>	2.1 <sup>3)</sup>	-
⑤ (= ①+②+③-④)	最 大 変 位	15.5	27.1	11.2
⑥	最 大 許 容 変 位	33.0 <sup>4)</sup>	33.0 <sup>4)</sup>	14.7
⑥ - ⑤	余 裕 度	17.5	5.9	3.5

注 1) 計算値を1.5倍している。

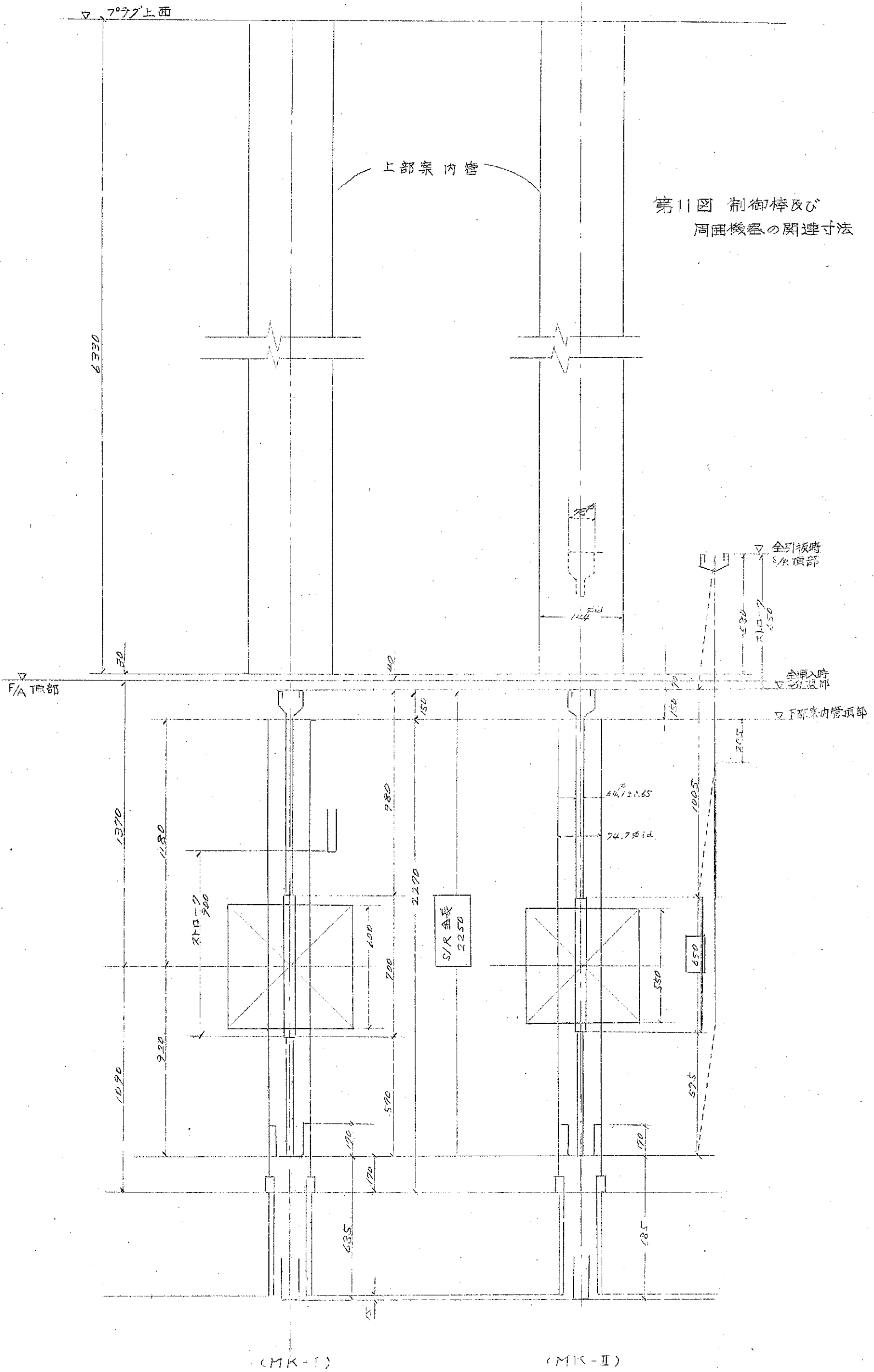
2) 据付誤差と回転アラグの停止誤差を加えたもの。

3) 安全棒と調整棒とでもどりが大きく違うのは隙間が違うためである。

4) 制御棒を上部案内管中心に吊下げた場合の制御棒頂端部と上部案内管内壁との隙間。

5) 従来案の変位は全て燃料頂部の値である。

6) 計算値そのものであり、安全係数を乗っていない。



## 6. 総合評価および懸案事項

第4章の検討の結果のまとめに述べたように、当初の予想と多少異なったが、MK-Iの場合は、従来の評価を著しく損なうことにはならないと思われる。但し、MK-IIは制衝棒構造、そのものに依存するところが大きく、地震時の挿入性検討の場で考えてゆく必要がある。

具体的には、余裕度などの程度あればよいが、等。

今回の作業内容上、懸案事項となっているものは以下のとおり。

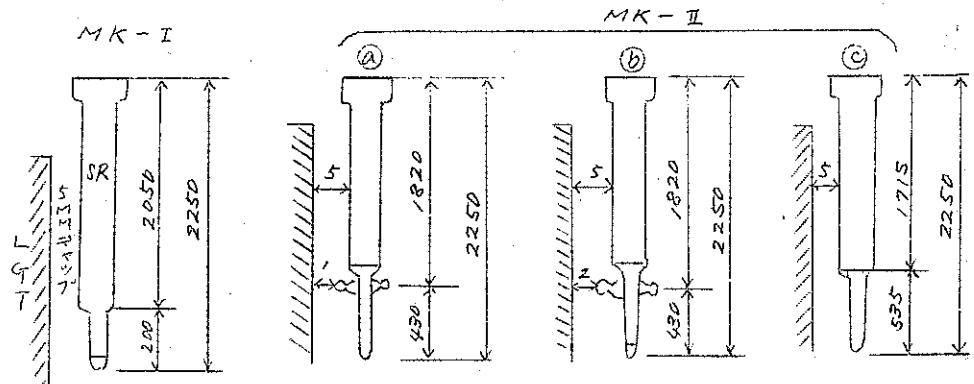
- (1) 適用すべき設計地震波形
- (2) 新データに対する評価とその取扱い。
- (3) MK-IとMK-IIの結果の傾向の差異に関する説明。
- (4) 弾性解析における加速度分布の取扱い。
- (5) VIANAコードに於ける重心位置の取扱い。等。



付ノ MK-II に於ける地震時挿入性検討例

制御棒頂部の横方向変位 (単位: mm)			MK-I		MK-II			
			全引抜	1/4挿入	全引抜		1/4挿入	
					旧建屋	新建屋	旧建屋	新建屋
①	地震変位	炉心上部機構と 炉心バレル	2.8	2.9	2.7	4.9	2.8	5.1
②		炉心バレルと 下部案内管	25.1	23.0	22.8	22.8	21.3	21.3
③	静的変位		3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1
④	下部案内管と制御棒 の間隙によるもどり		15.5	11.7	9.7	9.7	8.2	8.2
⑤ (=①+③+④-②)	最大変位		15.5	17.3	18.9	21.1	19.0	21.3
⑥	最大許容変位		33.0	33.0	33.0	33.0	33.0	33.0
⑥ - ⑤	余裕度		17.5	15.7	14.1	11.9	14.0	11.7

制御棒	もどり	MK-II 1/4 挿入新建屋 での余裕度
①	8.2	11.7
②	8.8	12.3
③	10.9	14.4



\* MK-I 全引抜の値は 50 MW 安全管  
 程に提出された値である。その他の数値  
 は当時のロジックを踏襲して算出した。

# 第 2 編

## 1 ま え が き

先に(50・2)、才1次作業を行うことにより、下記事項の検討並びに整備を行った。

- 1) MK-I安全審査当時の耐震解析に用いた入・出力の整備
- 2) MK-I安全審査当時の制御棒地震時挿入性に対する考え方(ロジック)の整備
- 3) MK-I, MK-II炉心を対象として、旧新の振動定数, T A F T波を含む各種設計地震波形などをパラメータとした動的解析による比較検討。

以上の作業より、MK-I安全審査当時の検討方法・検討条件等の考え方が改めて明確にされ、今後の才2期出力(25MWt)炉心およびMK-II炉心に関する安全審査関連業務に資することができるようになった。また、振動定数などの諸入力値に関する検討、従来設計地震波に加えてT A F T波を用いた場合のチェック計算を行うことにより、有用なバックデータとして整備できた。

これらは既に才1次作業結果としてまとめられ、主として今後の取扱いに対する方向づけについて討議された。

大筋としては、常陽建設当時との時点的ズレに伴い、耐震設計基準等に技術的差異があることも考え合わせ、更にプラントシステム設計思想の一貫性ということもあって、「MK-II炉心安全審査申請時には、振動定数等の諸入力値、設計地震波並びに安全性評価ロジック等を、MK-I安全審査当時と同一とする」ことを原則としていくことが確認され、その後のMK-II制御棒地震時挿入性評価のまとめをまとめて、あらためて検討会をもちことになった。

本資料は、その後の検討成果を折込んで才2次まとめとして、作成したものである。

## 2 才2次まとめ作業の要点

今回の作業の主な内容は、次の3点である。

### (1) 耐震解析結果のまとめ

MK-II炉心構造における制御棒の挿入性に肉連する炉上部機構の相対変位と

その時の加速度分布についてのまとめを行なった。

(2) MK-II制御棒の特性試験結果の反映

設計作業と並行して遂行中のMK-II制御棒特性試験結果のうち中間的報告として関連データが部分的に採取され、それらを安全性評価に際し考慮にいった。

(3) MK-II安全齎登に対する考え方(案)のまとめ

これまでの作業を総合して、安全齎登に対処する考え方を案としてまとめた。

以下、上項の手順に沿って記述する。

3. 耐震解析結果のまとめ

(1) 要旨

MK-II炉心はMK-I炉心を炉心構成要素並びに炉心構成を変更して改造移行する。その際、耐震解析条件的には、炉心重量の増増(約10%)、炉心構造材平均温度の変更(403°C → 433°C)等がある。

これらによって、炉心および炉体の地震時振動性状(主として炉上部機構—炉心バレル相対変位、炉心構成要素の応答加速度)が影響を受けるかどうか検討することになり、現在まで一連の作業を行った。

オノ次まとめ、中2次まとめを通じて、明らかになった事項は下記の通り。

- ① 炉上部機構—炉心バレル相対変位については、MK-I当時の解析条件、解析手法を同じにすれば、ほぼ同程度に納まること。
- ② 炉心構成要素の応答加速度についてもほぼ上項①と同様のこととなること。
- ③ 従来の耐震解析条件を基準にして、地震波形、振動速度等各種組合せについて参考計算したところ、次表のように従来値と方向で大中程度の違いがなかったこと。

	MK-I (安全審査)	MK-II	参考計算(MK-II)	
			最 小	最 大
炉上部機構 ～炉心バレル 相対変位	3.1mm	2.6mm	1.5mm	5.2mm
炉心橋或要素応 答最大加速度 (軸方向)	1.855g	1.409g	0.673g	2.347g

(2) 耐震解析結果

1次または2次までの作業における耐震解析では、1次または2次までの作業での見直しを3回とし、解析の信頼性向上をはかることにした。見直しでは、各種インポートデータ、解析モデルの妥当性のチェックを行ったが、その結果、大体妥当と思われる値を得るに至った。

ただし、炉心橋或要素の加速度応答は若干問題となったので、見直しの経緯を含めこれを、付-1に示した。  
尚、耐震解析結果のうち、主要ものを表-1に示す。

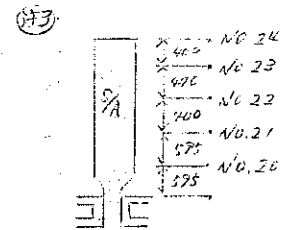
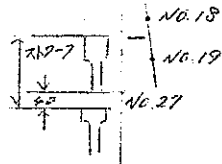
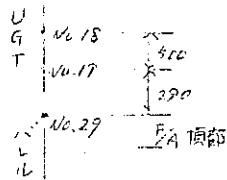
表・1 「常陽」MK-II耐震解析結果

		SOMW安全盛土		MK-II 旧建屋				MK-II 新建屋							
地震波		EL-CENTRO		EL-CENTRO		TAFT		EL-CENTRO				TAFT			
地盤		軟		硬		軟		硬		軟		硬			
方位		SN	SN	SN	SN	SN	SN	SN	EW	SN	EW	SN	EW	SN	EW
相対変位 (巻)	No. 29 ~ No. 18	1.28	1.84	1.562	1.291	1.461	1.539	0.99	1.02	2.08	3.16	1.08	0.96	2.02	2.75
	No. 29 ~ No. 19	1.35	2.68	1.760	1.379	1.542	1.691	1.05	1.06	2.34	3.54	1.14	1.03	2.26	3.08
UGT変位 (巻)	ストローク 650mm	2.0	3.0	2.4	2.0	2.2	2.4	1.5	1.6	2.3	4.9	1.7	1.5	3.2	4.3
	ストローク 465mm	2.0	3.1	2.6	2.0	2.3	2.5	1.6	1.6	3.4	5.2	1.7	1.5	3.3	4.5
炉心筒要素最大加速度 (巻)	No. 24 (土端)	1.855	0.663	1.409	0.704	1.780	0.854	2.226	1.532	0.848	0.673	2.347	1.781	0.993	0.913
	No. 23	1.487	0.553	1.095	0.568	1.396	0.663	1.549	1.216	0.674	0.556	1.771	1.372	0.867	0.783
	No. 22	1.120	0.441	0.743	0.416	0.964	0.450	1.009	0.844	0.519	0.422	1.123	0.907	0.722	0.638
	No. 21	0.788	0.391	0.548	0.351	0.654	0.337	0.654	0.567	0.402	0.367	0.646	0.574	0.615	0.537
	No. 20	0.456	0.373	0.433	0.337	0.386	0.350	0.290	0.293	0.328	0.314	0.397	0.357	0.493	0.424
	No. 12 (支持板)	0.372	0.359	0.388	0.335	0.332	0.335	0.284	0.279	0.297	0.290	0.356	0.321	0.431	0.375

166-

(注) 炉心バレルとUGT (注) 炉心バレルとUGTのC/R頂部位置での

1.5倍した値



(注) 変位: mm  
加速度: G

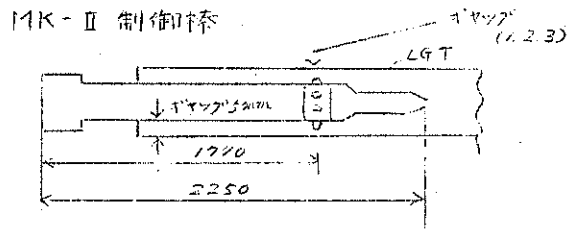
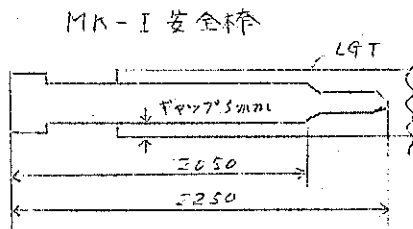
(3) 制御棒地震時挿入性の検討

耐震解析による地震変位置に基づき、制御棒の挿入性の検討を行った。下法は MK-I 50MW 安全審査時のものと同一である。これを表・2 に一覧する。なお、検討手法については 第ノ次まとり時の報告資料を参照願いたい。

表・2 制御棒地震時挿入性 (制御棒頂部の横方向変位)

制御棒		MK-I 安全棒	MK-II 防振部ギャップ 2mm			MK-II 防振部ギャップ 1mm			MK-II 防振部ギャップ 3mm		
引板長 (mm)		900	465			465			465		
検討ケース		A	A	B	C	A	B	C	A	B	C
①	地震変位 炉心上部機構と炉心バレルの相対変位	2.8	2.8	2.6	5.2	2.8	2.6	5.2	2.8	2.6	5.2
②	静的変位 下部案内管と炉心バレルの相対変位	23.1	21.1								
③	床り量	3.1	2.7								
④	許容変位	15.5	8.7			8.2			9.3		
⑤	余裕	33.0									
⑤④ -① -②③	余裕	14.5	15.1	15.3	12.7	14.6	14.8	12.2	15.7	15.9	13.3

\*1



\*2

ケース A : MK-I 50MW 安全審査時の計算

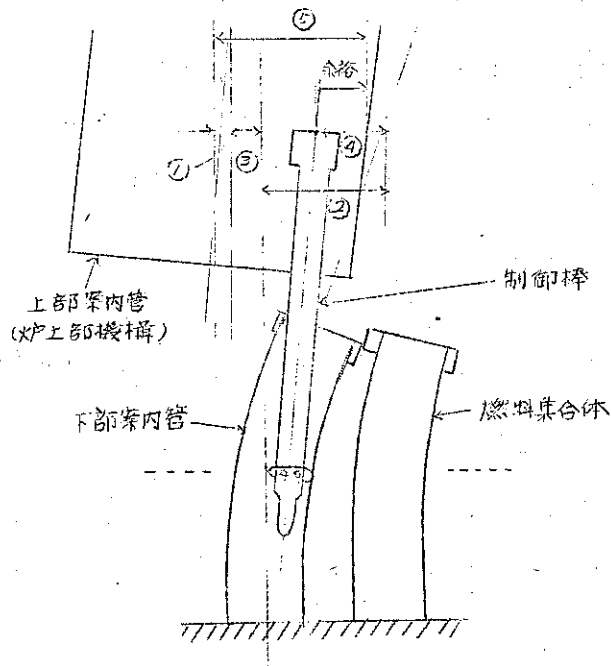
ケース A' : ケース A, MK-II 条件 (制御棒のストローク、構造が違う)

ケース B : 炉心 : MK-I → MK-II

迎屋データ : MK-I 設計地震波、エルセントロ、ソフトな最大揺れのもの

ケース C : MK-II 耐震解析 (新、旧建屋) での最大値を用いたケース

\*3



4. MK-II 制御棒に関する流動試験結果の反映 \*

MK-II 制御棒試作体を用いて水中特性試験を行った。ここでは下として流力流動試験、スクラム特性試験結果についてふれ、本検討への反映を試みる。

\* (正式報告書によるものではなく、中間報告書に依ったものである。数値については参考値として取扱うこと。)

(1) 振動特性

制御棒並びにその駆動機構を以後に模擬し、流量を定搭へ約 130% に変化させて、流力加振力による振動を測定した。

主な結果は次の通り。

- (イ) C/R は上部延長管と一体となって振れ、その動きは時計方向回りの同振幅振動である。
- (ロ) C/R の下部案内管内におけるふれの場合には下部案内管と C/R の間では生ずる Gap Size と流量に依存する。



(i) 周期 (1回転する時間)

Gap 5mm (公称値) で約 0.9 sec/rev

Gap 2.5mm ( ) で約 0.5 sec/rev

(ii) 交位置 (運動軌跡の長手方向交位置)

仕格流量 (190 l/min) Gap 5mm  $\delta < 3 \sim 3.5 \text{ mm}$

Gap 2.5mm  $\delta < 2.2 \text{ mm}$

130%流量 (250 l/min) Gap 5mm  $\delta < 6 \text{ mm}$

Gap 2.5mm  $\delta < 4.3 \text{ mm}$

(iii) 偏心効果

偏心有無にかかわらず、接触現象がみられ、実験では、まずあたるべきものと考えらるべきであろう。偏心効果は小さい。

流量と振巾の関係をオ4・1図に、典型的振動挙動をオ4・2図に示す。

(2) スクラム特性

主な結果は、次のとおり。

(イ) スクラム特性は、制御棒、振動抑制部の形状に依存する。

(ロ) 偏心 3.5mmまで、仕様 (落下時間 < 0.5 sec) を満足し、Gapの影響は殆んどない。

(ハ) 地震時変位を模擬した (静的な) 試験でも所期のスクラム特性を満足する。

オ4・3図に耐震解析結果に基づいて変形状態を模擬した静的モデルでのスクラム特性結果を示す。

以上は、C/Rの流力振動による出力変動巾を適正な範囲に抑制するべく設計された。振動抑制機構付 C/R に対して

○ スクラム特性上支障ないか?

○ MK-II炉心設計条件での振動の程度はどの位か?

算に新設した調査が必要になって行った試験結果であり、これらより概略、次のことがあきらかになった。

- a) 振動防止機構を設けてもスクラム特性上支障ない。
- b) 流力加振力による振動等動は、ギャップサイズと流量に依存するが、実験的には定格の130%流量時、Gap Size 5mmの場合で、両方巾6.5mmとなり、出力変動分としては、最大値約3%、統計値約1.3%である。(定格流量では、それぞれ約1.5%、約0.7%に相当)

この場合、実機と実験との間の条件の差異に、流動条件、構造物の歪み変化、熱的條件などが考えられるが、このうち制御棒冷却材としてC/R下部案内管に配分される流量条件が最も支配的で、実機は130%流量実験結果を上回る可能性は先ず考えられない。

従って、統計値のみをみれば、振動抑制機構は不要と考えることもできるであろうか。(アラーム減速レベル±4%のうち、±1%位を振当てるとして)これは、日本のC/Rの振動が大々独立に起き、相関々係がないと仮定したときの値であって、全C/Rが炉心中心に対して全て同一運動をした場合の最大値は約+3%位になってしまふ心配が残している。

これらより、下記のようにまとめる。

① 安定した運転を保持するべく出力変動の要因となる振動を過渡に生じさせないようMK-II C/Rを設計する。

② C/Rと下部案内管とのgapは地震時挿入性(MK-Iロビツクで得られる余裕値)を低減しないよう硬力MK-I当時の値に近づけることとする。

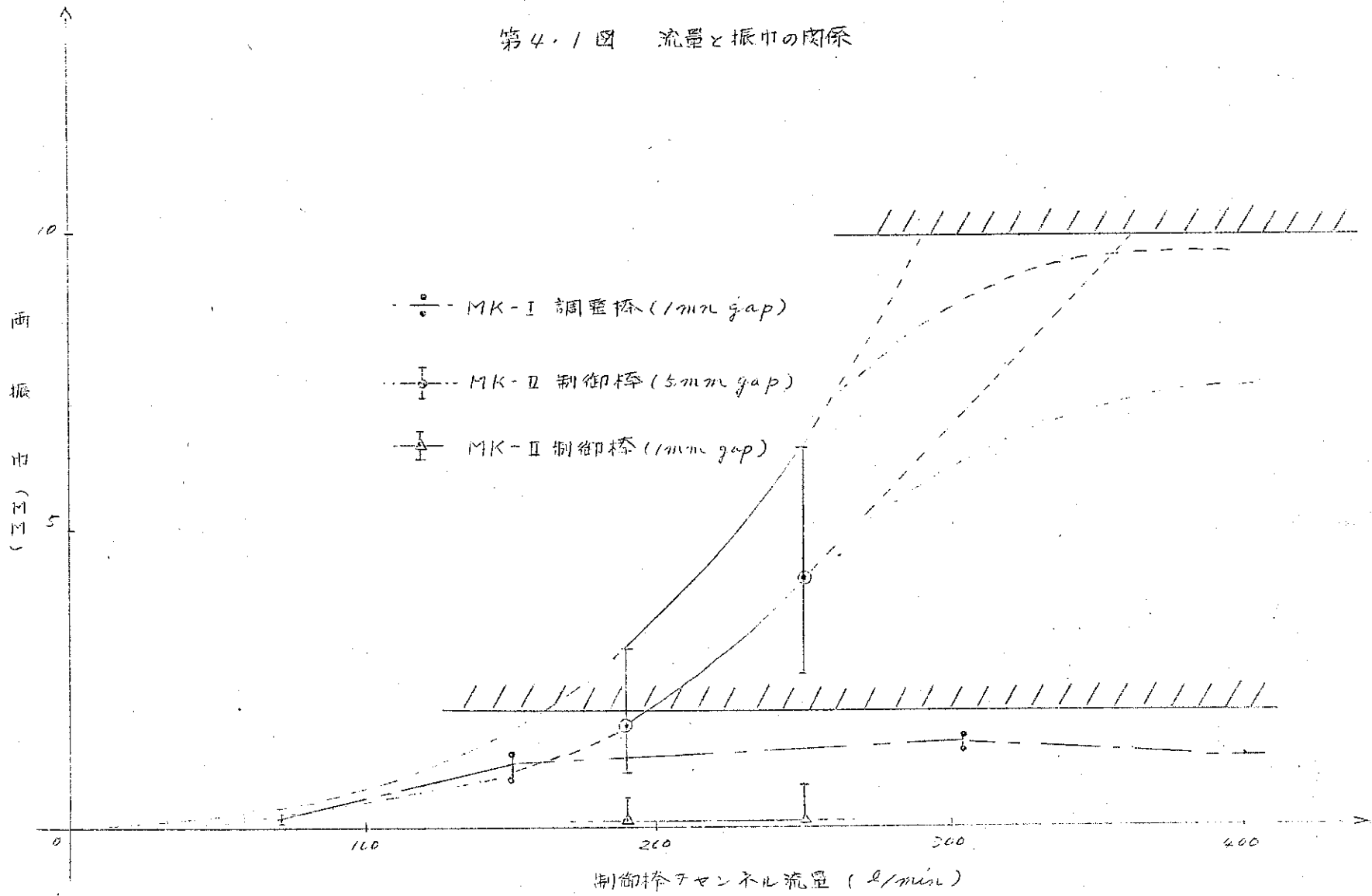
従って、公称値gapを2mm程度とする。この場合、地震時挿入性は約1.5mmとなり、MK-I当時の1.5mmに比べて2mm程度低減することを覚悟する。

③ 熱負荷については、MK-I当時と比べ、「常陽」高温ガス試験、大ドブ実

測で、部分的にデータが得られているが、適度に利用可能なものはなく、推定の域をでない。

定性的傾向として、歪味の余裕量は10ト-I 当時より大きくなることは云々  
そうであるが、十分な説明根拠を用意するところまではいかない。

第4.1図 流量と振巾の関係



OFF SET 5 mm

TEMP 96°C

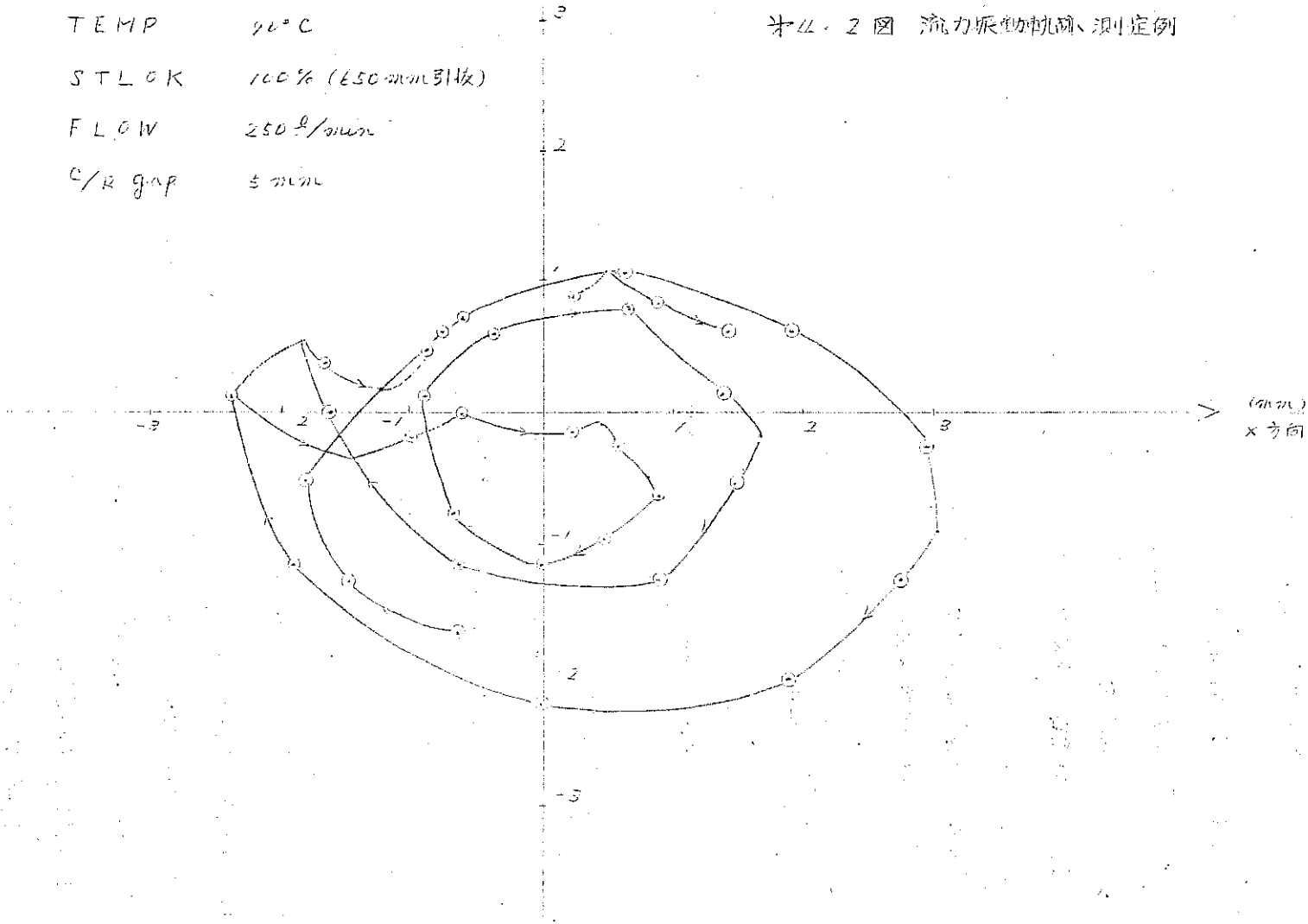
STL OK 100% (E50-mm引板)

FLOW 250 l/min

C/R gap 5 mm

Y方向  
(mm)

图 2 流力振动轨迹测定例



5. MK-II 安全審査に対する考え方(案のまとめ)

MK-II 安全審査に次のような考えで望む。

(i) C/R と下部案内管 gap を 2mm (公称値) とする。

(ii) 耐震解析結果(相対変位量の評価)は、MK-I 当時の値をそのままとする。

\*  $\left\{ \begin{array}{l} \text{据付誤差および回転プラグ停止誤差は 3/1mm より 2/1mm} \\ \text{に変更する。} \end{array} \right.$

なお、振動定数、設計地震波をパラメータにしたナベイ計算結果をバックデータとして用意しておく。

このうち、地盤、建家定数、地震波、解析手法、挿入性評価ロジックを MK-I に準じ、炉心体系を MK-II にしたケースを

MK-II reference case

として用意しておく。

また、

MK-II C/R のための R/D 成果をまとめ用意しておく。

\* ref

ZJ20/

75-23(2)

(東芝)

○ C/R 特性試験結果(水中、N/C 中)

○ 炉容器変位測定結果

○ MK-II で行った一連の耐震解析結果

C/R 構造は、流力加振力による出力変動巾を適正に抑制するための振動抑制機構を設けたもので、これにより地震挿入性は MK-I より約 2mm だけ低減する。(抑制機構がなくても約 1mm の低減は避けられない)

なお、正味の余裕については、たとえば、熱重量が MK-I 当時全くなかったデータが不十分ながら実測されており、それによれば、正味の余裕量は更に増える傾向にあるといえる。

( ) 内は参考的取扱いに限定される。

また、スクラム性能的に全く問題がない。

なお、出力変動問題については、

近々、臨界が予控されるMK-IX炉心の運転経験から、有用なデータが得られ、直接反映できるものである。

## 付-1 炉心構成要素の応答加速度



### 炉心構或要素の応答加速度

MK-I 炉心の旧建屋モデルでの応答加速度の妥当性の調査を目的として行なった。オノ計よとの途中の中ではオノ表に示す様に炉心のみの変位でその加速度応答は、約6倍になるものがあった。

ここでは、計算のミスが共振によるものか、という見地より調べてみた。

付表-1 応答加速度比較 (1)

炉心	建屋モデル	地盤	地震波	炉心構或要素最大加速度 (G)
MK-I	旧*	軟	エルセントロ	1.70
〃	〃	〃	ソフト	1.55
MK-II	〃	〃	エルセントロ	10.35
〃	〃	〃	ソフト	10.18

\*付図-1 参照

計算ミスのチェックについては、入力データのチェック、他コードによる計算、更に建屋モデルについては、旧建屋モデルがMK-I 50MIV安全基準当時のモデルと別の計算コード(今回はVIANA)にのるようにしたものであるため、この変換操作についてもチェックした。然しながら、これらのチェックでは、結論は得られなかった。

一方共振についての調査は、炉心支持板でのレスポンススペクトル、炉心構或要素の振動モードを調べた。まず前者のレスポンススペクトルからは、付ノへ付-2に示す様に、MK-IとMK-IIとでは、炉心構或要素への入力振動は、ほぼ同一であること。0.154秒の同期にスペクトルの最大ピークがあることがわかった。後者の炉心構或要素の振動モードからは、付ノへ付-3に示す様に、MK-I炉心よりMK-II炉心のほうが周期0.15秒程度の振動に励振されやすいことがわかる。

従って、MK-I 炉心①においては、支持板での卓越周期にMK-II 炉心②の固有周期が合ったため共振し、大きな加速度応答になった。そこで、炉心構成要素の固有周期を種々変更して、その時の最大加速度応答を比較してみた。

これを表2に示す。このことから、共振現象の疑いがあるが、甚だ困ることになった。そこで

付表-2 加速度応答の比較 (2)

炉心構成要素/次固有周期 (秒)	最大応答加速度 (G)
0.1329	1.55
0.1396	1.70
0.1465	11.97
0.1471	10.95
0.1608	8.43

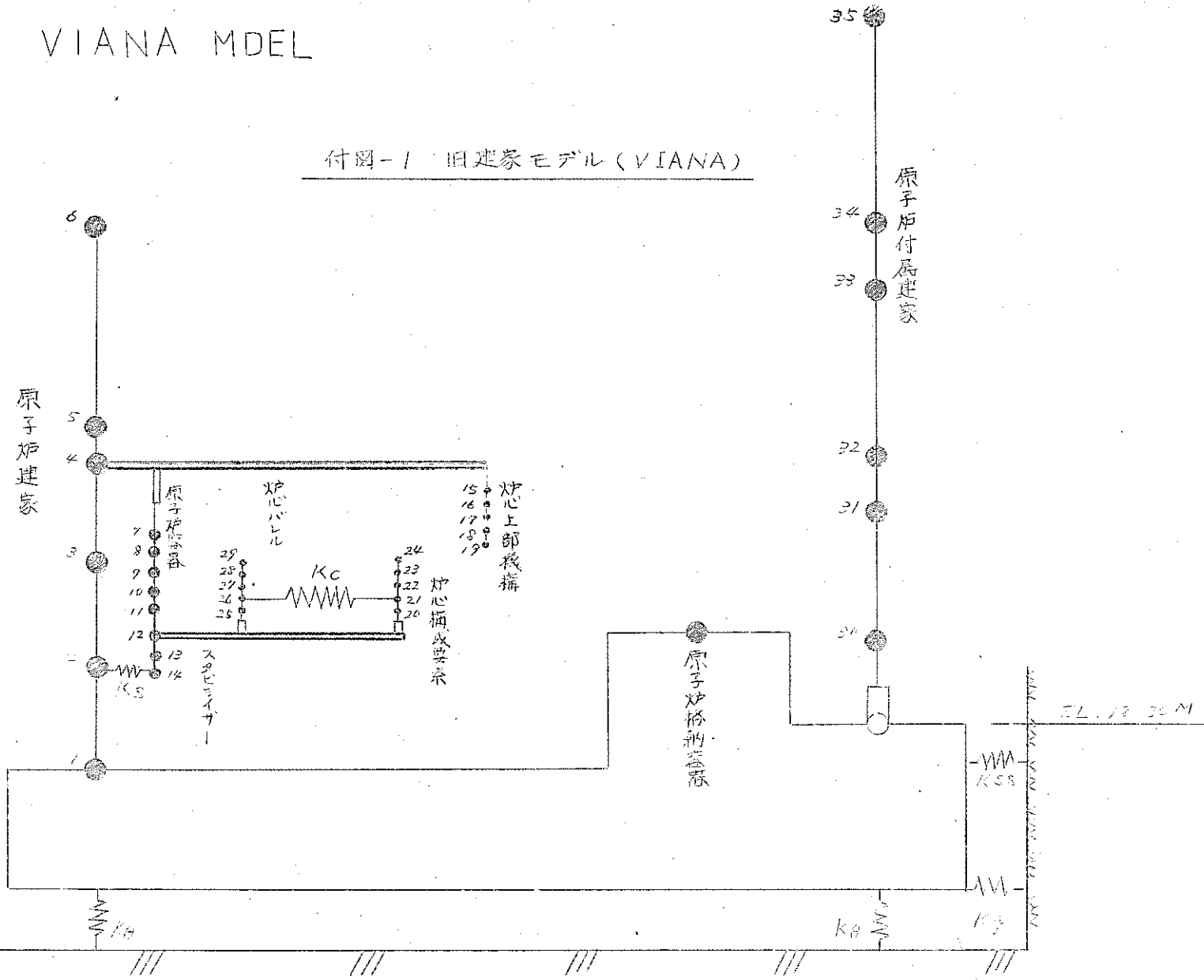
× 旧建屋モデル、軟地盤、EL-CENTRO 余波による。

解析モデル、主として、ノードシステムの近似度を上げる意味から重点重畳の分散化を計ってみた。(炉心構成要素を2質点系モデルから3質点系モデルへ変更)。その結果、固有周期は 0.1333秒、加速度は 1.407G とノーマルな値なり。構造強度上の見直しを必要としないレベルに納った。このことは、周期が変わり、共振領域からはなれたためと理解でき、手法の改善による結果として妥当なものと考えられる。

結論として、MK-I 当時の解析手法では近似度が低く、MK-I ⇒ MK-II のわずかな変更でも共振現象的な結果が得られ、これに対し、重点重畳の分散を試みることによって周期が安全側に移ることが判った。

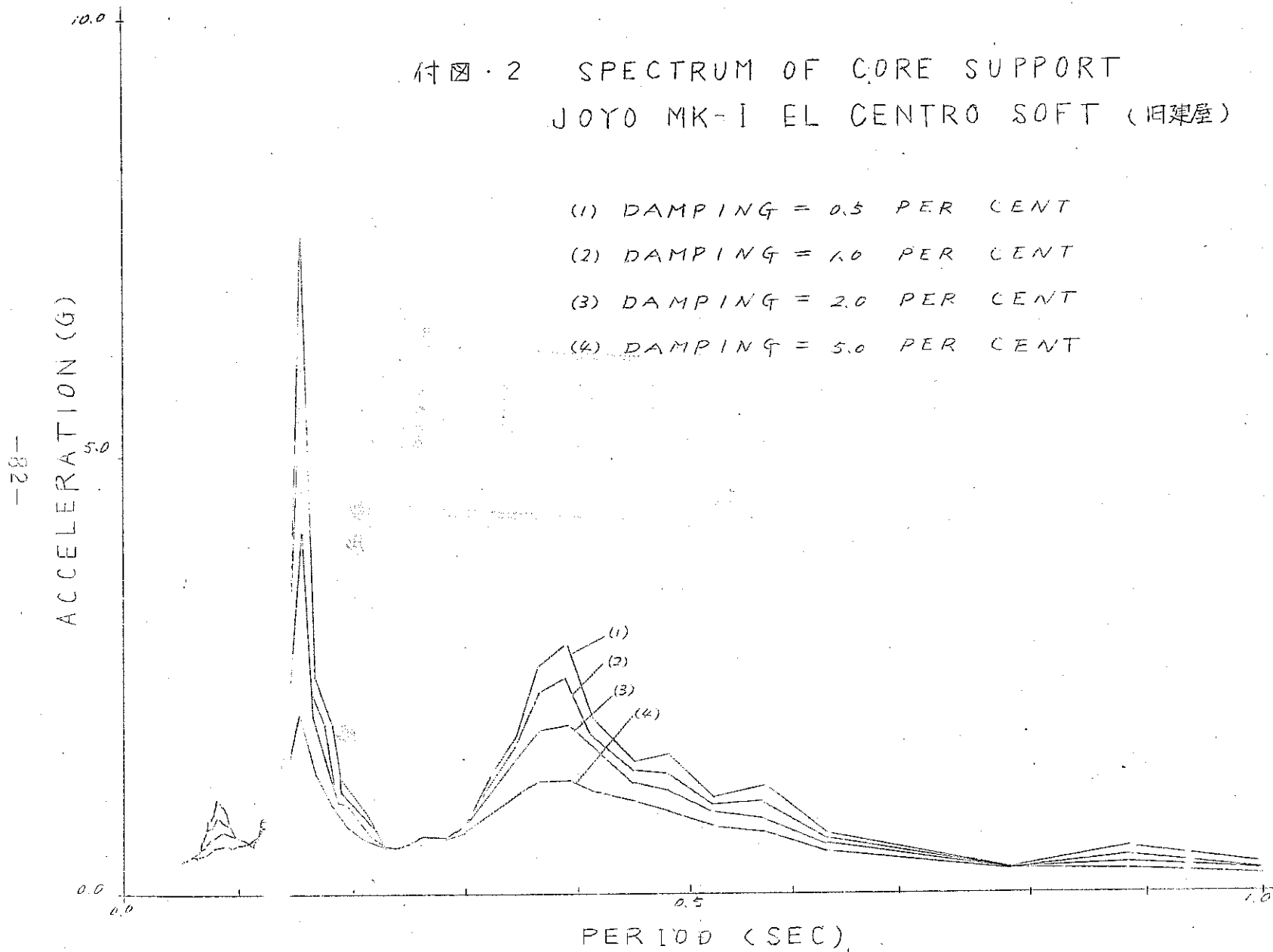
# VIANA MDEL

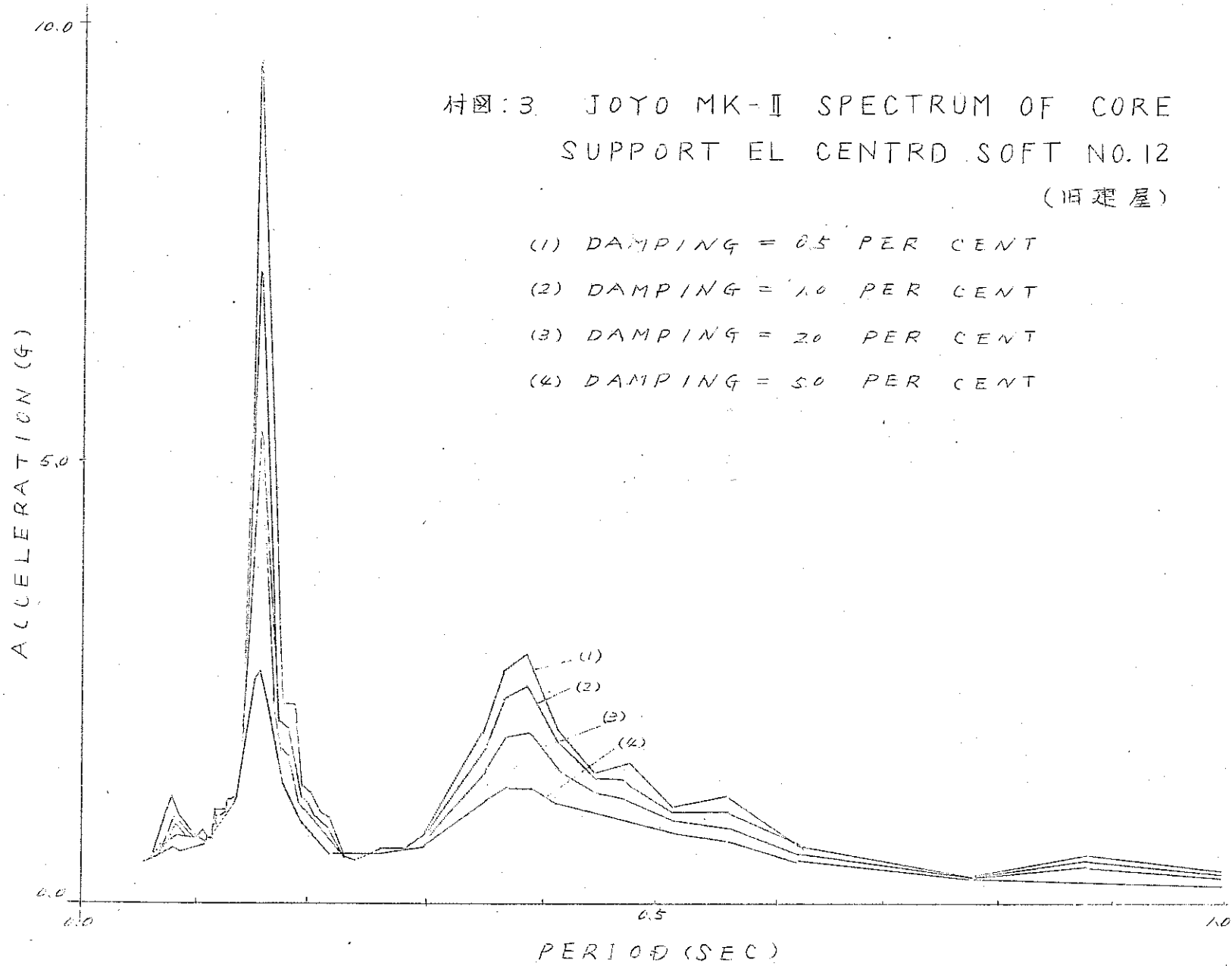
付図-1 旧建家モデル (VIANA)



付図・2 SPECTRUM OF CORE SUPPORT  
JOYO MK-I EL CENTRO SOFT (旧建屋)

- (1) DAMPING = 0.5 PER CENT
- (2) DAMPING = 1.0 PER CENT
- (3) DAMPING = 2.0 PER CENT
- (4) DAMPING = 5.0 PER CENT





付図・4 炉心構成要素頂部の刺激関数

