

利用報告書

2024 年 8 月 5 日

防災研究所長 殿

[利用代表者]

氏名 奥 友和

職名 民間企業社員

所属機関名 THK 株式会社 産業機器統括本部 ACE 事業部

所在地 東京都港区芝浦 2-12-10

電話 03-5730-3866

FAX 03-5730-3918

E-mail アドレス t.oku@thk.co.jp

利用目的	本振動試験は、半導体製造設備用の地震対策製品として新規開発した水平 2 次元免震台の地震時性能評価を目的とする。従来からある免震台は、震度 6 以上の大地震をターゲットにその特性が設定されているが、本免震台は、大地震に加えて震度 3～5 程度の中小地震に対しても有効となるよう二段階の特性を持たせている。今回、免震台上に搭載した試験体は、半導体製造設備（12inch 縦型炉）実機であり、設備内部には、半導体製品（シリコンウェハ）及び石英部品等も配置し、設備稼働状況を再現した実大振動試験である。本振動試験では、中小地震において半導体製品が保全できること、大地震では半導体製造設備本体の被害なきことを確認し、各入力地震動/入力レベルに対して幅広い免震効果があることを検証する。
利用形態 (該当する項目を■にし てください)	<input type="checkbox"/> トライアルユース <input checked="" type="checkbox"/> 成果公開利用 <input type="checkbox"/> 成果非公開利用
利用期間	2024 年 1 月 30 日 ～ 2024 年 2 月 15 日
試験体仕様 (大きさ・重量)	免震台（水平二次元免震）/寸法:W1200×D4000×H500mm 総質量：2000kg, 半導体製造設備（12inch 縦型炉）/寸法:W1200×D3900×H3500mm 質量：4200kg 設置方法 / 振動台上に振動台固定プレート敷設し、架台及び免震ユニット（支承）を配置する。各免震ユニットを鋼製フレーム及びトッププレートで連結することにより免震台が構成される。免震台上には 12inch 縦型炉実機を搭載し、内部の所定位置に、石英部品（石英ボート）と半導体製品（シリコンウェハ）を取付ける。
加振内容	入力地震波：標準 3 波 50kine 基準 (ElCentro, Taft, Hachinohe), 弊社評価波 入力レベル：2.5～60% (中小地震想定), 70～100% (大地震想定) 加振方向：XYZ 方向 免震台状態：新規開発免震、従来免震、非免震

次項に続く

実験結果の概要

(1) 中小地震に対する免震効果検証
 評価波形：標準3波50kine基準(ElCentro)
 入力レベル：2.5~80% (中小及び大地震再現、震度3~6弱)
 免震台状態：新規開発免震、従来免震、非免震 (3状態比較)
 検証内容：半導体製品の設備内所定位置からの「ずれ」、「脱落」有無確認

表 1. (1) 検証結果 (ずれ・脱落無し○, あり×)

入力波形	入力レベル	中小地震						大地震			
		2.5%	5%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%
	震度階目安	2	3	4	4	5弱	5弱	5強	5強	6弱	6弱
新規開発免震	ずれ	○	○	○	○	○	○	○	×	×	×
	脱落	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
従来免震	ずれ	○	○	○	○	×	×	×	×	×	×
	脱落	○	○	○	○	×	×	×	×	×	×
非免震	ずれ	○	○	×	×	×	×	×	×	×	×
	脱落	○	○	×	×	×	×	×	×	×	×

(2) 大地震に対する免震効果検証
 評価波形：標準3波50kine基準(ElCentro, Taft, Hachinohe), 弊社評価波
 入力レベル：100%入力 (いずれの波形も震度6弱以上)
 免震台状態：新規開発免震
 検証内容：半導体製設備本体及び石英部品に「転倒」、「損傷」有無確認

表 2. (2) 検証結果 (各部応答値と転倒・損傷有無)

波形名_入力レベル			THK評価波1_100%			THK評価波2_100%			ElCentro_100%			Taft_100%			Hachinohe_100%		
入力方向			X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
石英部品	⑧上部	gal	351	383	293	413	405	246	961	721	835	536	471	389	462	507	238
	⑦下部	gal	137	140	294	144	107	250	300	311	817	168	148	399	168	159	236
	⑥キップ上	gal	125	116	275	119	46	241	195	170	651	109	103	428	167	203	276
	ポート 石英管状態	-	転倒/損傷無し			転倒/損傷無し			転倒/損傷無し			転倒/損傷無し			転倒/損傷無し		
半導体 設備 筐体	⑤上部	gal	146	182	232	146	68	194	211	426	455	113	255	346	211	231	204
	④ヒートベース	gal	105	110	252	101	30	209	127	191	557	94	112	352	121	132	213
	③下部	gal	100	127	223	98	31	182	135	179	421	91	129	344	113	135	181
	本体 付準機器	-	損傷無し			損傷無し			損傷無し			損傷無し			損傷無し		
免震台	②加速度	gal	107	152	206	109	36	177	134	232	383	93	134	332	126	174	173
	①可動量	mm	130	162	225	162	88	177	172	160	325	112	106	332	129	157	173
①振動台入力	gal	300	282	225	399	261	167	498	390	325	517	464	343	358	434	166	

(1) (2) より、新規開発した免震台の各入力レベルにおける免震効果を検証した。
 中小地震時：半導体製品の保全
 大地震時：半導体設備本体及び石英部品の保全

社会、経済への波及効果の見通し

半導体製造設備の地震被害として、中小地震動による製造設備内製品(シリコンウェハ)の製品不良が多々報告されており、発生頻度の高いこの中小地震への対策が半導体関連企業より要望されている。一方、大地震に対しては、BCP対策として従来どおりの免震性能を発揮させることが求められる。今回、両軸の特性を有する免震台の性能が実大振動試験にて検証されたことにより、半導体分野における設備等の地震対策がさらに進展していくことが期待される。

発生した発明・著作物など
 (特許名称・出願番号・出願人、雑誌掲載資料)

なし

その他

なし

- 1) 実験終了後、速やかに(原則1ヶ月以内に)提出下さい。
 提出先:京大防災研究所 社会防災研究部門・都市空間安全制御分野
 (E-mail:ito.haruko.7z@kyoto-u.ac.jp)
- 2) 知的財産権等の成果の追跡調査にもご協力宜しくお願い致します。

縦型炉実機搭載による免震台の実大振動試験の概要及び結果について

2024年7月
THK(株)ACE事業部

1. 試験目的

本試験は半導体製造設備(12inch縦型炉)の地震対策製品として新規開発した水平2次元免震ユニットによる免震台の地震時性能評価を実施するものである。今回、開発の免震ユニットは、入力される地震動のレベルに応じて免震特性が切替わることにより、二段階の性能をもたせている。今回、免震台上に搭載した試験体は、半導体製造設備(12inch縦型炉)実機であり、設備内部には、半導体製品(シリコンウェハ)及び石英部品等も配置し、設備稼働状況を再現した実大振動試験である。本試験では、中小地震において半導体製品が保全できること、大地震では半導体製造設備本体の被害なきことを確認し、各入力地震動/入力レベルに対して幅広い免震効果があることを検証する。

2. 試験場所及び試験機

2.1 試験場所

施設名 : 京都大学防災研究所(宇治キャンパス内)
強震応答・耐震構造実験室
所在地 : 〒611-0011 京都府宇治市五ヶ庄

2.2 試験機

試験機名 : 強震応答実験装置(三次元振動台)
振動台寸法 : 5m(X軸方向)×3m(Y軸方向)
駆動方式 : 電気・油圧サーボ方式
搭載可能重量 : 定格15tonf、最大30tonf
最大変位 : 水平(X)±300mm
 : 水平(Y)±250mm
 : 垂直(Z)±200mm
最大速度 : 水平(X, Y)垂直(Z)±150cm/s
最大加速度 : 定格時±1.5G

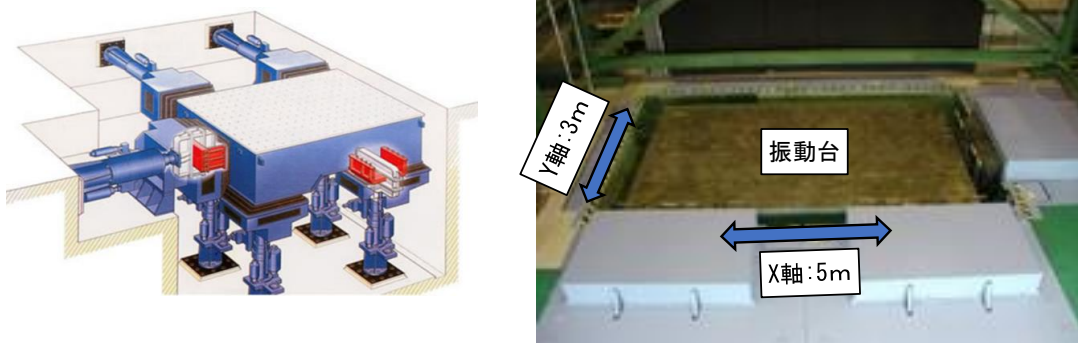


図2.1 強震応答実験装置及び振動台外観

3. 試験日程

【試験体準備】 : 2024/1/30~2/2 (4日間)
【試験】 : 2024/2/5~2/9 (振動台稼働: 5日間)
【試験体撤収】 : 2024/2/13~2/15 (3日間)

4. 試験体

4.1 試験体構成

実験室の三次元振動台上に免震ユニット（支承ユニット_キ型、支承+ばねユニット、支承+切替減衰ユニット）を配置し、鋼製フレーム及びトッププレートにて各ユニットを連結し免震台を構築する。免震台上に搭載する試験体は、半導体製造設備（12inch縦型炉）実機とし、設備内部には、製造関連部品（石英ボート、キャップ、石英管）及び半導体製品（シリコンウェハ）を配置し、実際の設備稼働の状況を再現した振動試験とする。振動台への入力地震動は、所定地震波形の加振倍率の変動により中小地震から大地震を再現する。各入力に対して免震台の応答（加速度、変位）と製造設備内部応答（加速度）を計測し免震性能を評価する。また、また、半導体製造設備内部には、小型のビデオカメラ（Gopro）を設置し、遠隔で内部にある半導体製品の状況を撮影・記録する。

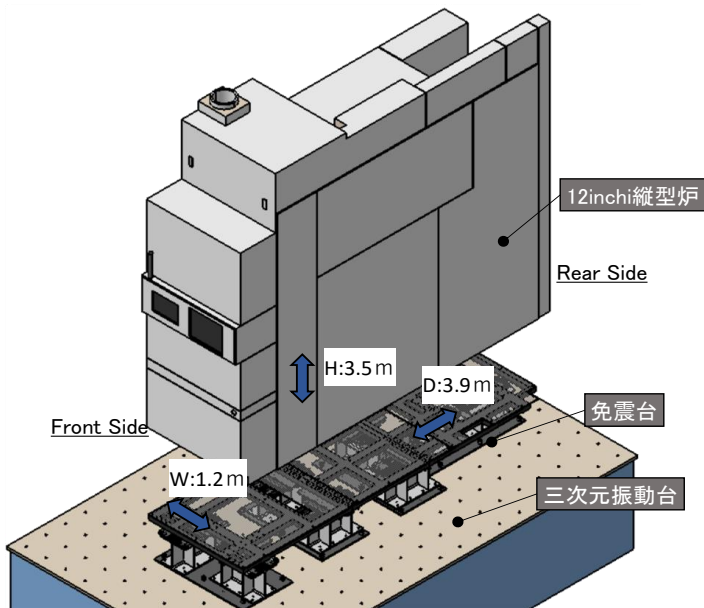


図4.1 試験体全体構成

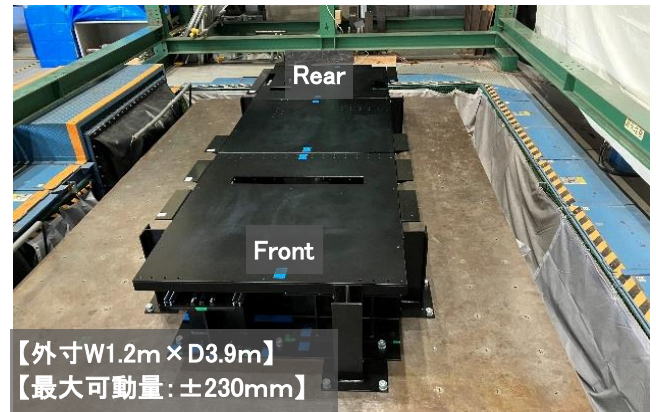


写真4.1 免震台

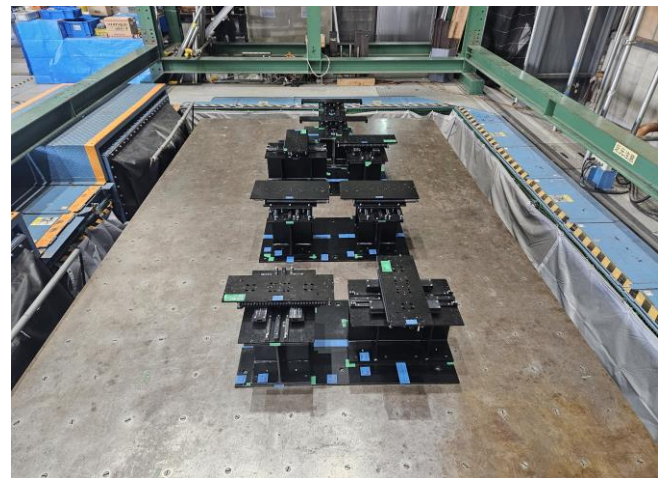


写真4.2 免震ユニット及び架台
(支承、ばね、切替減衰の各ユニット)

4.2 免震台状態の再現

新規開発の免震特性を有する「新型免震」の状態の試験に加えて、中小地震における免震性能比較を目的として「従来免震」及び「非免震」の各状態での試験も併せて計画する。

表4.1 加振ケース_免震台状態

ケース符号	免震台	状態
A	新型免震	新規開発の特性を有する免震
B	従来免震	新規開発の特性を所定の固定金具で無効とした従来の免震
C	非免震	免震テーブル可動を所定の固定治具で拘束した非免震状態

5. 入力地震動

5.1 入力地震動

本振動試験において評価用として選定した入力地震動を以下に示す。

表5.1 評価用入力地震動

波形分類	波形No	波形名	最大加速度 (gal)			計測震度	備考
			X(NS)	Y(EW)	Z(UD)		
標準3波	b1	ElCentro_50kine	510.8	314.1	308.4	5.8	中小～大地震評価
	b2	Taft_50kine	431.4	496.9	290.7	5.8	大地震評価
	b3	Hachinohe_50kine	330.0	259.0	164.1	5.6	〃
SCK_50kine	c1	THK評価波1	246.5	283.4	183.7	5.6	〃
	c2	THK評価波2	380.2	245.8	143.2	5.7	〃

5.2 振動台入力

表5.1に示す評価用入力地震動を振動台へ入力する。中小地震から大地震を再現する目的で2.5%～100%の範囲で入力レベルを変動させ試験を実施する。

なお、中小/大地震の地震規模区分けについては、入力レベルに応じた計測震度を算出し、表5.3「気象庁震度階級表」を参照し設定する。本振動試験では、震度階級で5強程度以下を「中小地震」と位置付け、表5.2に入力レベルごとの中小/大地震区分けを示す。

表5.2 地震規模区分

入力レベル	標準3波		THK評価波	
	計測震度	震度階	計測震度	震度階
2.5%	2.6	3	2.4	2
5%	3.2	3	3.0	3
10%	3.7	4	3.6	4
20%	4.3	4	4.2	4
30%	4.7	5弱	4.6	5弱
40%	4.9	5弱	4.8	5弱
50%	5.2	5強	5.0	5強
60%	5.3	5強	5.2	5強
70%	5.5	6弱	5.3	5強
80%	5.6	6弱	5.5	6弱
100%	5.8	6弱	5.6	6弱

表5.3 気象庁震度階級表

震度階級	計測震度	震度階級	計測震度
0	0.5未満	5弱	4.5以上5.0未満
1	0.5以上1.5未満	5強	5.0以上5.5未満
2	1.5以上2.5未満	6弱	5.5以上6.0未満
3	2.5以上3.5未満	6強	6.0以上6.5未満
4	3.5以上4.5未満	7	6.5以上

: 中小地震
 : 大地震

6. 計測項目

6.1 計測項目

表6.1 計測項目

計測項目	計測箇所	計測部位	計測方向	単位
応答加速度	12inch縦型炉 筐体	上部/ヒータベース/下部	XYZ	gal
	石英ボート	上部/下部/キャップ部	XYZ	gal
	免震台上面	Front/Rear	XYZ	gal
応答変位	免震台可動量	X : 左右, Y : Front/Rear	XY	mm

6.2 計測位置

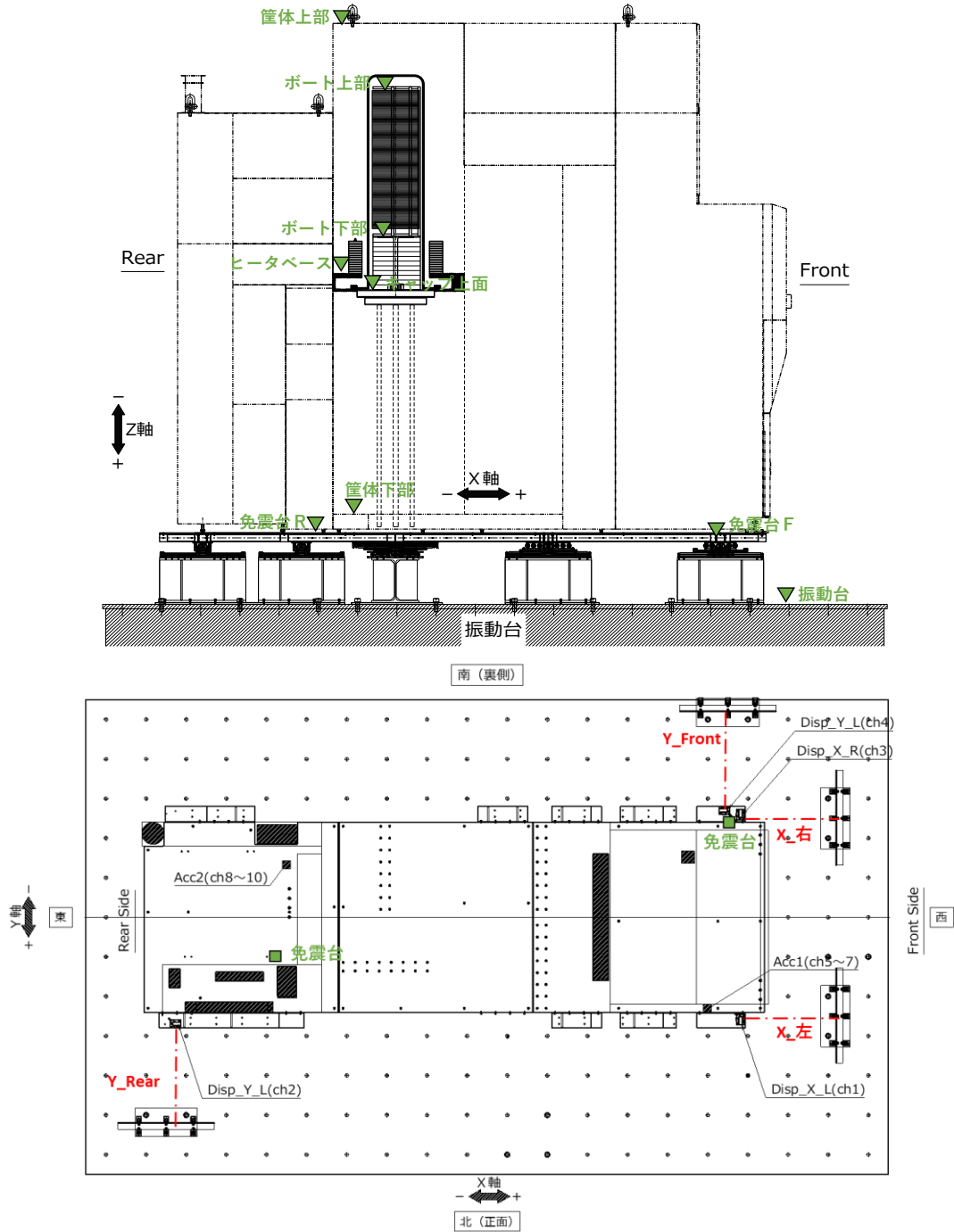


図6.1 計測位置

7.2 大地震に対する試験結果

評価波形：標準3波50kine基準(ElCentro, Taft, Hachinohe), THK評価波1・2

入力レベル：100%入力（いずれの波形も震度6弱以上）

免震台状態：新規開発免震

検証内容：半導体製設備本体及び石英部品に「転倒」、「損傷」無きことを検証

表7.3 大地震に対する試験結果（各部応答値と転倒・損傷有無）

波形名_入力レベル			THK評価波1_100%			THK評価波2_100%			ElCentro_100%			Taft_100%			Hachinohe_100%		
入力方向			X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
石英部品	⑧上部	gal	351	383	293	413	405	246	961	721	835	536	471	389	462	507	238
	⑦下部	gal	137	140	294	144	107	250	300	311	817	168	148	399	168	159	236
	⑥キャップ上	gal	125	116	275	119	46	241	195	170	651	109	103	428	167	203	276
	ポート /石英管状態	—	転倒/損傷無し			転倒/損傷無し			転倒/損傷無し			転倒/損傷無し			転倒/損傷無し		
半導体 設備 筐体	⑤上部	gal	146	182	232	146	68	194	211	426	455	113	255	346	211	231	204
	④ヒータベース	gal	105	110	252	101	30	209	127	191	557	94	112	352	121	132	213
	③下部	gal	100	127	223	98	31	182	135	179	421	91	129	344	113	135	181
	本体 付着機器	—	損傷無し			損傷無し			損傷無し			損傷無し			損傷無し		
免震台	②加速度	gal	107	152	206	109	36	177	134	232	383	93	134	332	126	174	173
	可動量	mm	130	162	225	162	88	167	172	160	325	112	106	343	129	157	166
①振動台入力	gal	300	282	225	399	261	167	498	390	325	517	464	343	358	434	166	

8. まとめ

(1) 中小地震に対する免震効果検証

新型免震は振動台入力レベルが50%（震度5弱程度）までウェハずれを抑制でき、さらに大地震の規模である80%（震度6弱）に達してもでもシリコンウェハは脱落しない。また、「従来免震」と比較しても免震効果は大きく、中小地震時における「新型免震」の半導体製品保全に対する優位性は検証された。

(2) 大地震に対する免震効果検証

5波いずれの入力波形に対しても免震台上の応答加速度250gal以下となり、従来免震相当の応答加速度低減が確認された。また、免震可動量についても、免震台の有する最大可動量230mm以内であることが確認された。

さらに、半導体製設備本体及び石英部品に「転倒」、「損傷」無きことを確認し、大地震時における「新型免震」の半導体製品設備本体及び石英部品に対する免震効果は検証された。