

3.2.3 地震時室内状況・床応答シミュレータの開発

(1) 業務の内容

(a) 業務の目的

長周期地震動による高層建物の耐震性能評価と被害軽減を目指し、本課題では特に、修復性・室内安全性の観点から、実大実験等で明らかにされた大振幅の揺れの中での内装材・家具・什器等の転倒・飛散現象に対する転倒防止、飛散防止等への対策を提示するため、建物床応答や室内被害様相等を再現・体験できる地震時室内状況・床応答シミュレータの構築にむけた技術検討と基本設計を行う。

(b) 平成 22 年度業務目的

修復性、室内安全性の観点から、実規模実験等で明らかにされた大振幅の揺れの中での内装材・家具・什器等の転倒・飛散現象に対する、転倒防止、飛散防止等への対策案を提示するため、建物床応答や室内被害様相等を再現・体験できる地震時室内状況・床応答シミュレータ構築のための検討を行う。

(c) 担当者

	所属機関	役職	氏名
名古屋大学大学院	環境学研究科都市環境学専攻	教授	福和伸夫
名古屋大学大学院	環境学研究科附属 地震火山・防災研究センター	准教授	飛田 潤
名古屋大学大学院	環境学研究科都市環境学専攻	准教授	護 雅史

(2) 平成 22 年度の成果

(a) 業務の要約

「地震時室内状況・床応答シミュレータ」(以下本システム)について、長周期地震動を受ける高層建物のE-ディフェンス実験などと連動して利用することを想定し、要求される機能・性能から目標仕様を設定した。

次に、本システムを構成する以下の主要な要素について、それぞれ具体的な基本設計を行い、ソフトウェアや試作機・縮小模型を開発・製作し、E-ディフェンス実験などにより動作状況確認を行った。

- 1) 床応答シミュレータ (搭乗型 2 軸振動台)
- 2) 振動・映像の計測手法
- 3) 振動映像体感インターフェイス

以上により、本システムのプロトタイプを実際に製作できる段階に至った。

(b) 業務の成果

1) 地震時室内状況・床応答シミュレータの目標仕様

ここで提示する「地震時室内状況・床応答シミュレータ」(以下本システム)は、長周期地震動に対する高層建物等の実規模実験で明らかにされた大振幅の揺れの中での内装材・家具・什器等の転倒・飛散現象に対して、転倒防止、飛散防止、機能回復等への具体的対応策を提示するため、建物床応答や室内被害様相等を再現・体験することを目的とする装置である。

本システムは、人や家具等を積載して長周期・大振幅のゆれを再現可能な2軸振動台システムを中心として、任意の振動入力波形を生成する振動制御ソフトウェア、E-ディフェンス実験などにおいて体感用の映像を振動・応答とともに的確に記録する計測システム、さらにそれらを活用する映像体感インターフェイスなどにより構成される。

上記の目標を勘案して、本システムが備えるべき性能について、以下のようにまとめた。

表1 地震時室内状況・床応答シミュレータの目標仕様

乗員	4名
テーブルの大きさ	3m×3m (困難であれば2m縮小して検討する)
ストローク	2軸加振、X方向は2~3m程度、Y方向はその1/2程度
最大速度	X方向は3~5m/s (300~500kine)、Y方向はその1/2程度
加速度	短周期で1000~2000cm/s ²
積載重量	1トン程度
振動台実験との連携	E-ディフェンス振動台上の試験体に設置した加速度計の記録、およびそれに同期した映像の収録、投影を可能とする。
映像	振動台と同期して3方のスクリーンに投影する。または個人用のヘッドマウントディスプレイにVR映像を投影する。なお、映像は振動台とは独立でも利用できるものとし、バーチャル振動台の可能性を検討する。
加振データ	日本全国について、主要な地震に関する強震動予測結果をデータベースとして備え、表層地盤および建物条件も踏まえた応答解析を組み合わせて、任意の地点、建物、階での加振データを利用できるものとする。

2) 床応答シミュレータ（搭乗型 2 軸振動台）の設計

床応答シミュレータとして用いる搭乗型 2 軸振動台に関して、所期の目的のために必要な性能である A 案と、一部の性能を抑えた B 案について、油圧方式と電動方式で設計を行う。要求される基本性能を表 2、表 3 に示す。なお、動力源については、性能、コストなどを考慮して油圧と電動を併記しており、駆動方法についても、ほかにチェーン駆動方式、クローラ方式などの比較検討を行っている。

a) 油圧シリンダ方式 A 案

表 4 に油圧シリンダ方式で A 案の性能を満たすための設計緒元を示す。また図 1 に振動台の設計図、図 2 に油圧源の外形図、図 3 にアキュムレータの外形図を示す。実際に設置した場合、振動台本体は 10.5m×6.5m、油圧源は 75～90kW、アキュムレータは 160 リットル（高さ約 2m、直径約 40cm）×38 本などが必要となる。費用は概略 1～1.2 億円程度が見込まれる。

b) 油圧シリンダ方式 B 案

表 5 に油圧シリンダ方式で B 案の性能を満たす設計諸元を示す。また図 4 に振動台の設計図を示す。なお油圧源とアキュムレータの外形は図 2、図 3 と共通である。油圧源は 45～75kW、アキュムレータの本数は 160 リットル×28 本と低減されている。

以上から油圧シリンダ方式によれば、高い性能の A 案、限定された条件での B 案のいずれも実現可能な設計を行うことができた。ただし、振動台実験室とは別に、油圧源などを収容するために相当の面積が必要である。費用は 4000～6000 万円程度となる。

c) 電動方式 B 案

電動方式は大きな油圧源などが不要となる利点があるが、使用できる電源容量とモータ出力の制約などから、A 案の性能を満たす設計は現実的ではない。あえて費用を見積もると 1 億 5000 万円程度となり、油圧式よりも高額となる。したがって B 案について設計を行った際の検討内容および諸元を表 6 に、また外形図面を図 5 に示す。

d) 振動台の応用例

本業務での設計は実験室内への設置を前提としているが、応用として車両に積載する場合の実際的设计を実施した。設計図を図 6 に示す。従来の「起震車」に比べ、長周期床応答を再現できる点が特徴である。

表2 振動台の基本性能（油圧方式）

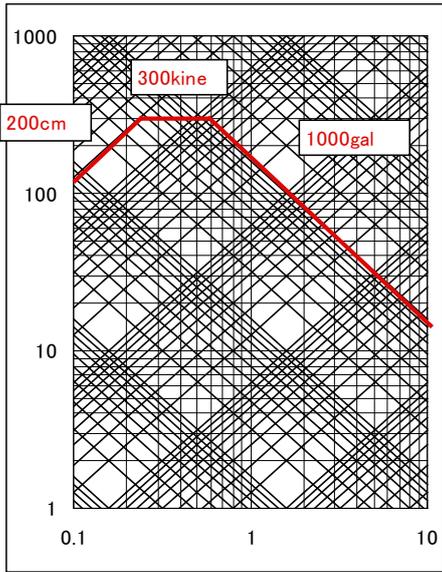
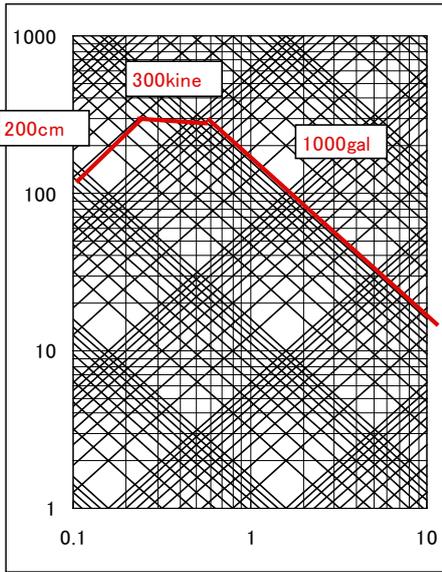
	要求仕様を満たす振動台案(A案)	一部の性能を抑えた振動台案(B案)	
構成	上軸:油圧シリンダ方式(ストローク4m) 下軸:油圧シリンダ方式(ストローク2m)	上軸:油圧シリンダ方式(ストローク4m) 下軸:油圧シリンダ方式(ストローク2m)	
性能 油圧方式	<p>上軸 最大速度300cm/s (常用最低周波数0.239Hz) 最大加速度1000gal 変位 4 m</p> <p>下軸 最大速度300cm/s (常用最低周波数0.477Hz) 最大加速度1000gal 変位 2 m</p> 	<p>上軸 最大速度300cm/s (常用最低周波数0.239Hz) 最大加速度1000gal 変位 4 m</p> <p>下軸 最大速度300cm/s (常用最低周波数0.477Hz) 最大加速度1000gal 変位 2 m</p> 	
	上台の広さ	3.6m x 2.4m	1m x 1m
	概略設置寸法	10.5m x 6.5m	10.5m x 6.5m
	上台に搭載可能な重量	定員4名(280kg)+机、椅子	定員1名(70kg)
	成分数	水平2成分	水平2成分
	上部重量(参考)	680kg	300kg
	下部重量(参考)	1930kg	1500kg
	油圧装置構成(参考)	<ul style="list-style-type: none"> 油圧ユニット アキュムレータ 3ステージ型大容量サーボ弁 始動器盤 制御盤 操作盤 等 	<ul style="list-style-type: none"> 油圧ユニット アキュムレータ 3ステージ型大容量サーボ弁 始動器盤 制御盤 操作盤 等

表 3 振動台の基本性能（電動方式）

	要求仕様を満たす振動台案(A案)	一部の性能を抑えた振動台案(B案)	
電動方式	構成	上軸: ベルトドライブ+サーボモータ 下軸: ボールねじ+サーボモータ	上軸: ラックピニオン方式 下軸: ボールねじ+サーボモータ
	性能	上軸: 300kine・0.5Hz、±100cm 下軸: 300kine・0.3Hz、±80cm	上軸: ±150cm 下軸: ±50cm
	上台の広さ	3.6m x 2.4m	1m x 1m
	概略設置寸法	9.2m x 4.9m	6.5m x 3.9m
	上台に搭載可能な重量	定員 4 名 (280kg) + 机、椅子	定員 1 名 (台座を含めて1200Kgf)
	成分数	水平 2 成分	水平 2 成分
上部重量(参考)	830kg	300kg	
下部重量(参考)	2830kg	1800kg	

表 4 油圧シリンダ方式・A 案の設計諸元

(1)上軸

1) サーボシリンダ

ロッド径 $\phi 65\text{mm}$ ×ピストン径 $\phi 71\text{mm}$ ×ストローク 4m、共振点 5.55Hz

作動条件

最大変位	200cm
最大速度	300cm/s
最大加速度	1000cm/s ²
質量	680kgf (ペイロード含む)

2) 連続加振に必要な油圧源・アキュムレータ

油圧源 79.4L/min、20.6Mpa、45kW

アキュムレータ 160L×8 本

必要油量 800L

3) 間歇加振（3 分間加振、5 分間 ACC チャージ）に必要な油圧源・アキュムレータ

油圧源 45.2L/min、28Mpa、22kW

アキュムレータ 160L×15 本

必要油量 1500L

(2)下軸

1) サーボシリンダ

ロッド径 $\phi 65\text{mm}$ ×ピストン径 $\phi 80\text{mm}$ ×ストローク 2m、共振点 7.8Hz

作動条件

最大変位	100cm
最大速度	300cm/s
最大加速度	1000cm/s ²
質量	1930kgf (ペイロード含む)

2) 連続加振に必要な油圧源・アキュムレータ

油圧源 206.2L/min、20.6Mpa、90kW

アキュムレータ 160L×11 本

必要油量 1000L

3) 間歇加振（3 分間加振、5 分間 ACC チャージ）に必要な油圧源・アキュムレータ

油圧源 117.5L/min、28Mpa、75kW

アキュムレータ 160L×38 本

必要油量 3500L

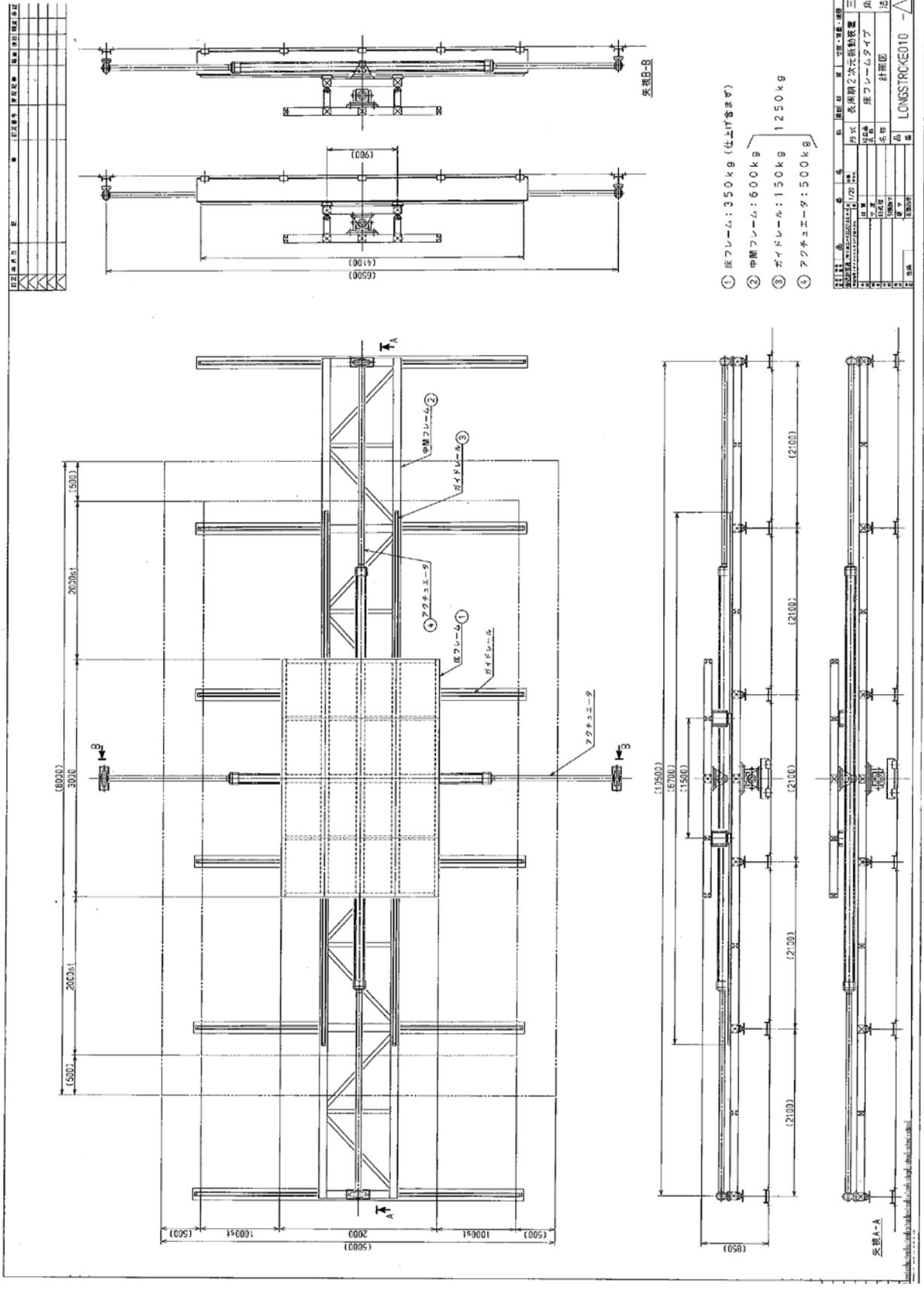
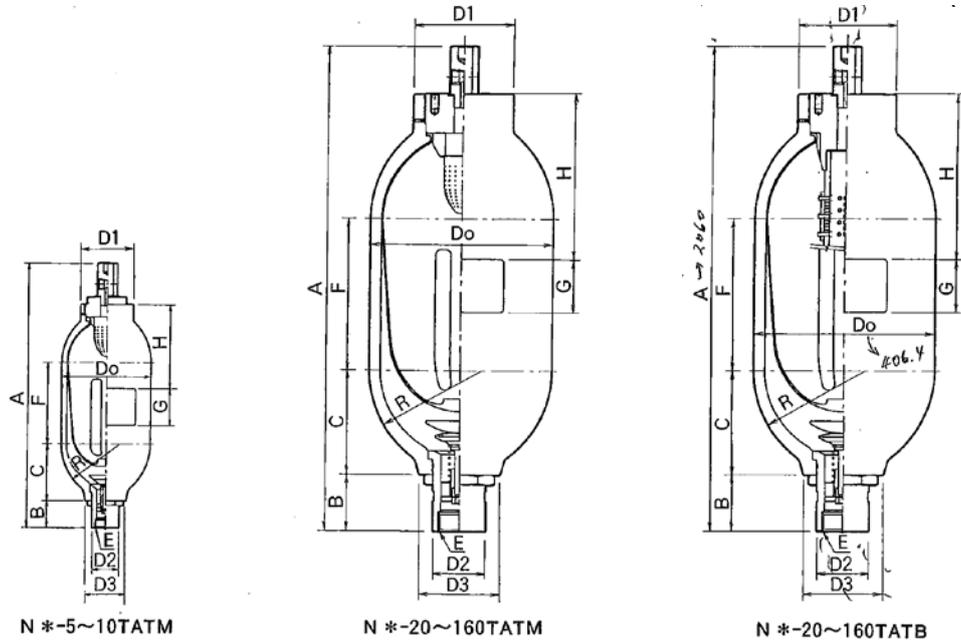


図1 油圧シリンダ方式・A案の振動台設計図

トランスファーバリアタイプアキュムレータは、ブラダの内室に内管(又はブラダマスク)を装着しており、この内管(又はブラダマスク)を通して流体の移送、圧力の伝達、低差圧の流体の供給、又流体の昇圧作業をこなします。



*継手(弁蓋、フランジ)は、44、45頁をご参照願います。

品目番号 (形式)	項目	ガス容積 (L)	重量 kg	A mm	B mm	C mm	F mm	H mm	G mm	φ D ₀ mm	φ D ₁ mm	φ D ₂ mm	φ D ₃ mm	R mm	E
①②③④⑤⑥⑦⑧⑨⑩⑪⑫⑬⑭⑮⑯⑰⑱⑲⑳㉑㉒㉓㉔㉕㉖㉗㉘㉙㉚㉛㉜㉝㉞㉟㊱㊲㊳㊴㊵㊶㊷㊸㊹㊺㊻㊼㊽㊾㊿	①②③④⑤⑥⑦⑧⑨⑩⑪⑫⑬⑭⑮⑯⑰⑱⑲⑳㉑㉒㉓㉔㉕㉖㉗㉘㉙㉚㉛㉜㉝㉞㉟㊱㊲㊳㊴㊵㊶㊷㊸㊹㊺㊻㊼㊽㊾㊿	5	24 28 30	537	58	123	142	160	100	190.7 [C191]	N175 : 112 N210 : 115 N230 : 116	57	N175 : 85 N210 : 86 N230 : 87	125	M42×2
①②③④⑤⑥⑦⑧⑨⑩⑪⑫⑬⑭⑮⑯⑰⑱⑲⑳㉑㉒㉓㉔㉕㉖㉗㉘㉙㉚㉛㉜㉝㉞㉟㊱㊲㊳㊴㊵㊶㊷㊸㊹㊺㊻㊼㊽㊾㊿	①②③④⑤⑥⑦⑧⑨⑩⑪⑫⑬⑭⑮⑯⑰⑱⑲⑳㉑㉒㉓㉔㉕㉖㉗㉘㉙㉚㉛㉜㉝㉞㉟㊱㊲㊳㊴㊵㊶㊷㊸㊹㊺㊻㊼㊽㊾㊿	6.3	26 31 33	602			207	200							
①②③④⑤⑥⑦⑧⑨⑩⑪⑫⑬⑭⑮⑯⑰⑱⑲⑳㉑㉒㉓㉔㉕㉖㉗㉘㉙㉚㉛㉜㉝㉞㉟㊱㊲㊳㊴㊵㊶㊷㊸㊹㊺㊻㊼㊽㊾㊿	①②③④⑤⑥⑦⑧⑨⑩⑪⑫⑬⑭⑮⑯⑰⑱⑲⑳㉑㉒㉓㉔㉕㉖㉗㉘㉙㉚㉛㉜㉝㉞㉟㊱㊲㊳㊴㊵㊶㊷㊸㊹㊺㊻㊼㊽㊾㊿	10	33 40 42	772			377								
①②③④⑤⑥⑦⑧⑨⑩⑪⑫⑬⑭⑮⑯⑰⑱⑲⑳㉑㉒㉓㉔㉕㉖㉗㉘㉙㉚㉛㉜㉝㉞㉟㊱㊲㊳㊴㊵㊶㊷㊸㊹㊺㊻㊼㊽㊾㊿	①②③④⑤⑥⑦⑧⑨⑩⑪⑫⑬⑭⑮⑯⑰⑱⑲⑳㉑㉒㉓㉔㉕㉖㉗㉘㉙㉚㉛㉜㉝㉞㉟㊱㊲㊳㊴㊵㊶㊷㊸㊹㊺㊻㊼㊽㊾㊿	20	85 95 100	824	85	157	326	250	100	267.4 [C267]	N175 : 143 N210 : 146 N230 : 152	77	N175 : 115 N210 : 118 N230 : 122 N210 : 165	M60×2	
①②③④⑤⑥⑦⑧⑨⑩⑪⑫⑬⑭⑮⑯⑰⑱⑲⑳㉑㉒㉓㉔㉕㉖㉗㉘㉙㉚㉛㉜㉝㉞㉟㊱㊲㊳㊴㊵㊶㊷㊸㊹㊺㊻㊼㊽㊾㊿	①②③④⑤⑥⑦⑧⑨⑩⑪⑫⑬⑭⑮⑯⑰⑱⑲⑳㉑㉒㉓㉔㉕㉖㉗㉘㉙㉚㉛㉜㉝㉞㉟㊱㊲㊳㊴㊵㊶㊷㊸㊹㊺㊻㊼㊽㊾㊿	30	107 122 128	1,069			571	400							
①②③④⑤⑥⑦⑧⑨⑩⑪⑫⑬⑭⑮⑯⑰⑱⑲⑳㉑㉒㉓㉔㉕㉖㉗㉘㉙㉚㉛㉜㉝㉞㉟㊱㊲㊳㊴㊵㊶㊷㊸㊹㊺㊻㊼㊽㊾㊿	①②③④⑤⑥⑦⑧⑨⑩⑪⑫⑬⑭⑮⑯⑰⑱⑲⑳㉑㉒㉓㉔㉕㉖㉗㉘㉙㉚㉛㉜㉝㉞㉟㊱㊲㊳㊴㊵㊶㊷㊸㊹㊺㊻㊼㊽㊾㊿	40	133 150 158	1,284			786	700							
①②③④⑤⑥⑦⑧⑨⑩⑪⑫⑬⑭⑮⑯⑰⑱⑲⑳㉑㉒㉓㉔㉕㉖㉗㉘㉙㉚㉛㉜㉝㉞㉟㊱㊲㊳㊴㊵㊶㊷㊸㊹㊺㊻㊼㊽㊾㊿	①②③④⑤⑥⑦⑧⑨⑩⑪⑫⑬⑭⑮⑯⑰⑱⑲⑳㉑㉒㉓㉔㉕㉖㉗㉘㉙㉚㉛㉜㉝㉞㉟㊱㊲㊳㊴㊵㊶㊷㊸㊹㊺㊻㊼㊽㊾㊿	50	166 190 200	1,606	99	210	1,108	400	100	355.6 [C350]	N150 : 162 N210 : 172 N250 : 180	92.5	N150 : 134 N210 : 150 N250 : 152	N150 : 210 N210 : 230 N250 : 230	M75×2
①②③④⑤⑥⑦⑧⑨⑩⑪⑫⑬⑭⑮⑯⑰⑱⑲⑳㉑㉒㉓㉔㉕㉖㉗㉘㉙㉚㉛㉜㉝㉞㉟㊱㊲㊳㊴㊵㊶㊷㊸㊹㊺㊻㊼㊽㊾㊿	①②③④⑤⑥⑦⑧⑨⑩⑪⑫⑬⑭⑮⑯⑰⑱⑲⑳㉑㉒㉓㉔㉕㉖㉗㉘㉙㉚㉛㉜㉝㉞㉟㊱㊲㊳㊴㊵㊶㊷㊸㊹㊺㊻㊼㊽㊾㊿	60	178 200 210	1,744			1,246	700							
①②③④⑤⑥⑦⑧⑨⑩⑪⑫⑬⑭⑮⑯⑰⑱⑲⑳㉑㉒㉓㉔㉕㉖㉗㉘㉙㉚㉛㉜㉝㉞㉟㊱㊲㊳㊴㊵㊶㊷㊸㊹㊺㊻㊼㊽㊾㊿	①②③④⑤⑥⑦⑧⑨⑩⑪⑫⑬⑭⑮⑯⑰⑱⑲⑳㉑㉒㉓㉔㉕㉖㉗㉘㉙㉚㉛㉜㉝㉞㉟㊱㊲㊳㊴㊵㊶㊷㊸㊹㊺㊻㊼㊽㊾㊿	60	180 230 250	1,258			638	400							
①②③④⑤⑥⑦⑧⑨⑩⑪⑫⑬⑭⑮⑯⑰⑱⑲⑳㉑㉒㉓㉔㉕㉖㉗㉘㉙㉚㉛㉜㉝㉞㉟㊱㊲㊳㊴㊵㊶㊷㊸㊹㊺㊻㊼㊽㊾㊿	①②③④⑤⑥⑦⑧⑨⑩⑪⑫⑬⑭⑮⑯⑰⑱⑲⑳㉑㉒㉓㉔㉕㉖㉗㉘㉙㉚㉛㉜㉝㉞㉟㊱㊲㊳㊴㊵㊶㊷㊸㊹㊺㊻㊼㊽㊾㊿	80	220 280 320	1,513	119	246	893	1,000	100	406.4 [C406]	N150 : 190 N210 : 205 N230 : 205	111	N150 : 158 N210 : 172 N230 : 172	260	M90×2
①②③④⑤⑥⑦⑧⑨⑩⑪⑫⑬⑭⑮⑯⑰⑱⑲⑳㉑㉒㉓㉔㉕㉖㉗㉘㉙㉚㉛㉜㉝㉞㉟㊱㊲㊳㊴㊵㊶㊷㊸㊹㊺㊻㊼㊽㊾㊿	①②③④⑤⑥⑦⑧⑨⑩⑪⑫⑬⑭⑮⑯⑰⑱⑲⑳㉑㉒㉓㉔㉕㉖㉗㉘㉙㉚㉛㉜㉝㉞㉟㊱㊲㊳㊴㊵㊶㊷㊸㊹㊺㊻㊼㊽㊾㊿	120	280 370 420	1,965			1,345	1,000							
①②③④⑤⑥⑦⑧⑨⑩⑪⑫⑬⑭⑮⑯⑰⑱⑲⑳㉑㉒㉓㉔㉕㉖㉗㉘㉙㉚㉛㉜㉝㉞㉟㊱㊲㊳㊴㊵㊶㊷㊸㊹㊺㊻㊼㊽㊾㊿	①②③④⑤⑥⑦⑧⑨⑩⑪⑫⑬⑭⑮⑯⑰⑱⑲⑳㉑㉒㉓㉔㉕㉖㉗㉘㉙㉚㉛㉜㉝㉞㉟㊱㊲㊳㊴㊵㊶㊷㊸㊹㊺㊻㊼㊽㊾㊿	160	380 500 510	2,060			1,340	1,000							

※[]内は、Acc取付クランプの品目番号(下4桁)を表しており、寸法は50頁をご参照下さい。
 ※①には「検査・規格」の記号を、②には「ブラダ材質」の記号を、左側の表より選び表示して下さい。
 また、③には継手類などの「特殊仕様」の記号を表示する必要がありますが、詳しくは弊社までお問い合わせ下さい。

図3 アキュムレータの諸元と外形

表 5 油圧シリンダ方式・B案の設計諸元

(1)上軸

1) サーボシリンダ

ロッド径 $\phi 65\text{mm}$ ×ピストン径 $\phi 68\text{mm}$ ×ストローク 4m、共振点 5.63Hz

作動条件

最大変位	200cm
最大速度	300cm/s
最大加速度	1000cm/s ²
質量	300kgf (ペイロード含む)

2) 連続加振に必要な油圧源・アキュムレータ

油圧源 39.2L/min、20.6Mpa、22kW

アキュムレータ 160L×4本

必要油量 400L

3) 間歇加振（3分間加振、5分間 ACC チャージ）に必要な油圧源・アキュムレータ

油圧源 22.2L/min、28Mpa、15kW

アキュムレータ 160L×8本

必要油量 800L

(2)下軸

1) サーボシリンダ

ロッド径 $\phi 65\text{mm}$ ×ピストン径 $\phi 68\text{mm}$ ×ストローク 2m、共振点 7.36Hz

作動条件

最大変位	100cm
最大速度	300cm/s
最大加速度	1000cm/s ²
質量	1500kgf (ペイロード含む)

2) 連続加振に必要な油圧源・アキュムレータ

油圧源 150L/min、20.6Mpa、75kW

アキュムレータ 160L×8本

必要油量 800L

3) 間歇加振（3分間加振、5分間 ACC チャージ）に必要な油圧源・アキュムレータ

油圧源 84L/min、28Mpa、45kW

アキュムレータ 160L×28本

必要油量 2500L

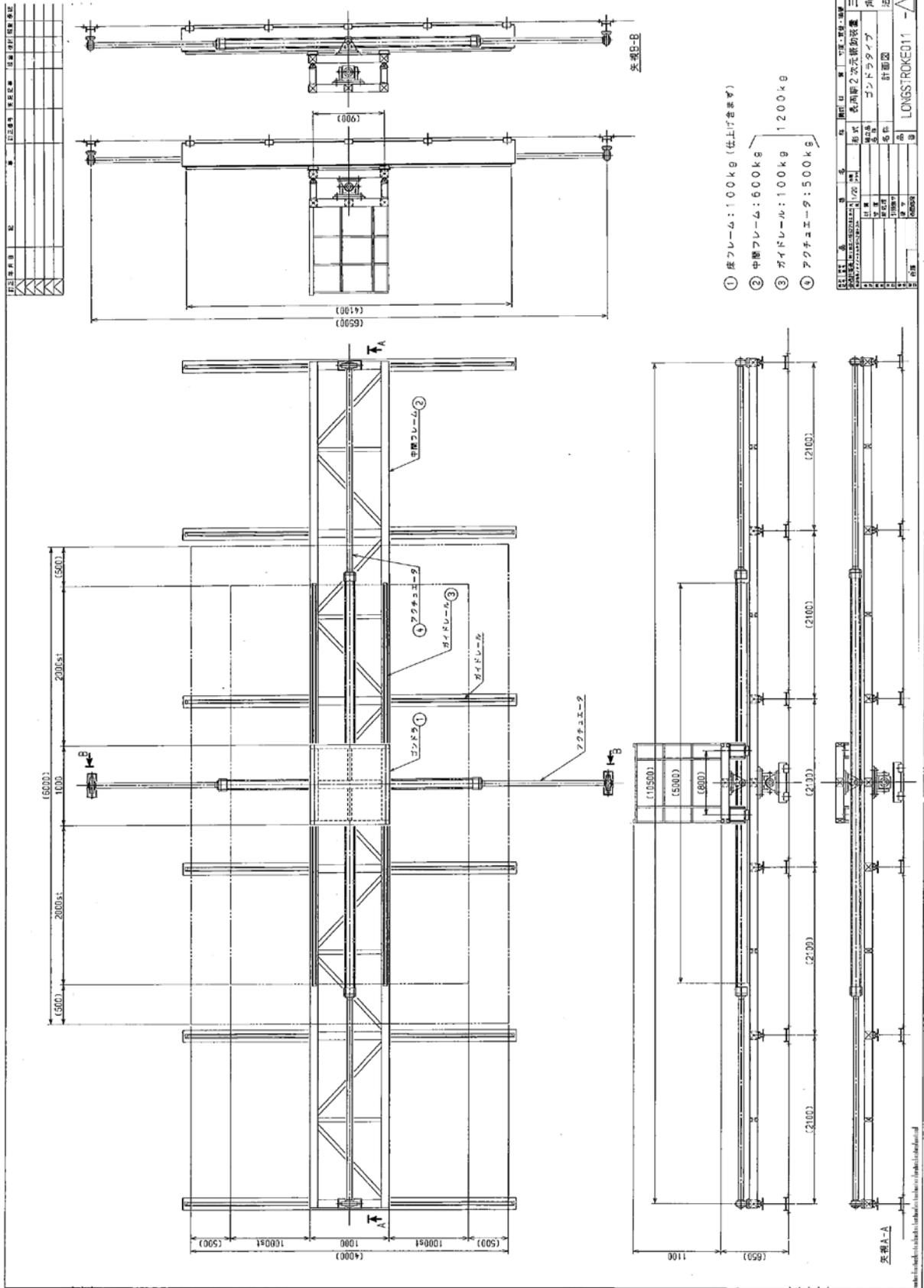


図 4 油圧シリンダ方式・B案の振動台設計図

表 6 電動モータ方式・B案の設計概要

(1)上軸

- 1) 上軸上面は 3mm 厚アルミ板をビス止めとする。
- 2) 上軸の質量は、搭載重量を含めて 1200kg 以内とする。
- 3) ラック・ピニオン駆動とする (TCG ライナー・ローラピニオン、加茂精工製など)。
重量・加速度からベルトやチェーンによる駆動は使用できない。
ロングストロークのため、ボールネジ駆動は使用できない。
- 4) モータ容量が大きく、市販の減速機では対応できないため、製作品とする
- 5) ダンパーを取り付けについて、高加重となるため、取付の有無や位置の検討が必要。
- 6) 搭載する試験体 (家具等) により安全柵の補強が必要であり、重量の増加が問題。

(2)下軸

- 1) 下軸はボールネジ駆動とする (φ50mm、リード 100mm)
- 2) 下軸の搭載重量は、上軸、サドル、モータ、減速機等とあわせて 2700kg 以内とする。
(重量が増加した場合は、最大速度・加速度の使用を満たさない可能性がある)
- 3) サドルについては軽量化に配慮し、幅は極力小さくする。長さはストロークの関係で 6760mm となるため、角パイプ構造で重量を軽減する。
- 4) 下軸にはケーブルベアーが装備される。

(3)動力電源

- 1) モータは市販の最大級を使用する。上軸用 55kW、下軸用 75kW、400V

(4)その他注意

- 1) 設置位置の床荷重あるいは地耐力などを十分に確認すること。
-

3) 振動・映像の同時計測システムの検討

振動台実験において、試験体の多点における加速度と映像を同期収録・分析する装置の、設計とソフトウェア開発、試作品の構築と動作テストを行った。

a) 加速度計

以下の要件に基づいて、機材の選択、および動作テストを行った。

有線 LAN もしくは PC に接続して連続波形が出力できるもの

3成分（水平2軸、上下1軸）

フルスケール：±1.5G

サンプリング：100Hz

周波数範囲：0.1～40Hz

時刻同期：有線 LAN 等を介して、0.01 秒以下の精度で同期可能

ここで検討したセンサは、市販の有線 LAN 接続小型加速度計（白山工業製 SU102/LU102）である。これは上記の仕様を満たすとともに、LAN により電源供給が可能であること、小型軽量であること、比較的安価であることなどの利点を有する。



←加速度計 SU103（右上）とネットワークデータ収録装置 LU103（左下）

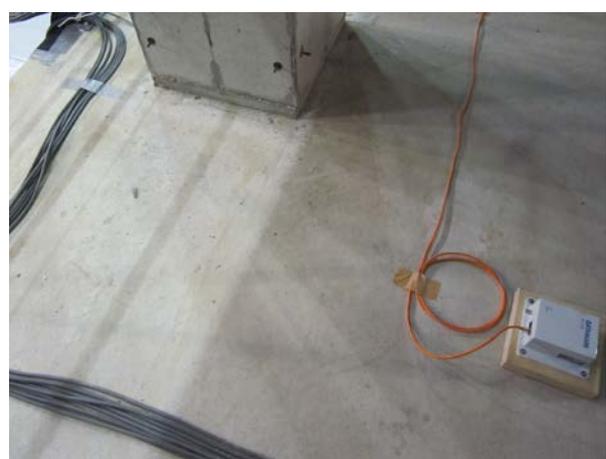


図7 有線 LAN 接続小型加速度計と振動台実験におけるテスト状況

b) 映像記録用カメラ

以下の要件に基づいて、機材の選択、および動作テストを行った。

タイプ：ネットワークカメラ

伝送機能：リアルタイム伝送機能があること。

画像形式：MPEG4

画像更新速度：640×480の解像度で最大30枚/秒

録画収録：SDメモリーカード8GB

時刻同期：NTPによる時刻同期が可能

これらに基づいて選定した機器は、パナソニック製 BB-HCM511 である。今回は手動で動作させ、加速度センサとの時刻同期が可能であることを確認した。



図8 ネットワークカメラの外観

c) 計測用ソフトウェア

以下の要件に基づいて、機材の選択、および動作テストを行った。

- 1) 上記仕様の複数台の加速度計からの波形データをリアルタイムで収録、保存する。
- 2) 上記仕様のネットワークカメラからの映像をリアルタイムで収録、保存する。
- 3) 加速度記録、映像記録の時刻同期をおこない、振動映像体感インターフェイスで使用できるファイル形式で保存する。

作成したソフトウェアの動作画面例を以下に示す。

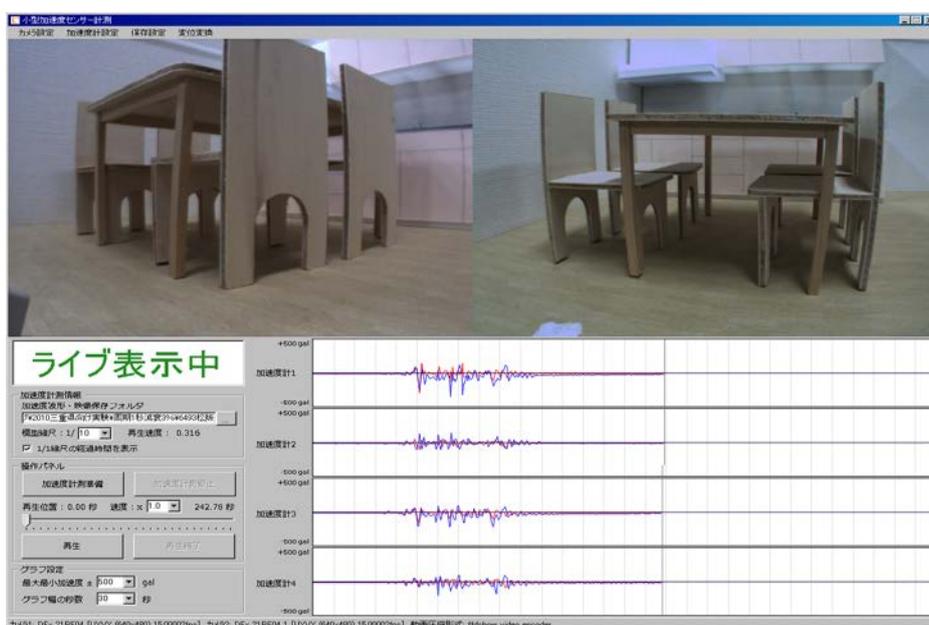


図9 振動・映像計測ソフトウェアの表示例

d) 動作テスト

Eーディフェンスで実施された実大 RC 構造物の振動試験において、加速度計およびカメラの収録試験を実施した。図 10 にカメラでとらえた構造破損状況を示す。加速度データ収録、映像と音声の収録などについて、時刻同期などが問題なく動作していることが確認された。また検証用に試験体全景に関するビデオを別途収録している（図 11）。



図 10 ネットワークカメラによる構造物の損傷状況（スクリーンショット）



図 11 試験体全景のビデオ（検証用に別途収録）

4) 振動映像体感インターフェースの検討

振動台と同期して、上述のシステムで収録した映像を再生・投影して地震時の室内状況の体感を助ける装置について、具体的な設計とソフトウェア開発、および試作品の構築と動作テストを行った。

a) 映像の再生・投影技術の検討

加速度記録および映像記録を用いて、振動台を囲む3方向に映像を映し、疑似体験できるソフトウェアの設計・テストを行った。投影の機材に関して、更なる検討が必要と考えられる。



図 12 3方向映像投影のテスト状況一

b) VR体験ができるヘッドマウントディスプレイの検討

加速度記録及び映像記録を用いて、既製品のヘッドマウントディスプレイ上に投影できるソフトの開発・テストを行った(図13)。制御はPCでおこない、ネットワークカメラで収録された映像・音声をヘッドマウントディスプレイに投影、同時に収録された加速度記録に合わせて振動させ、疑似揺れ体験ができるものである。



図 13 ヘッドマウントディスプレイ (HMD) を用いた体験システムの概要

5) 縮小模型による動作確認

「地震時室内状況・床応答シミュレータ」について、開発した計測装置と縮小振動台模型（図 14）と組み合わせ、実大プロトタイプ作成に向けた動作確認を行う。縮小振動台模型は実機の 1/10 程度のサイズとし、室内模型を備え、本シミュレータ全体の動作のイメージを確認できるものとした。図 15 にテスト状況を示す。



図 14 小型振動台

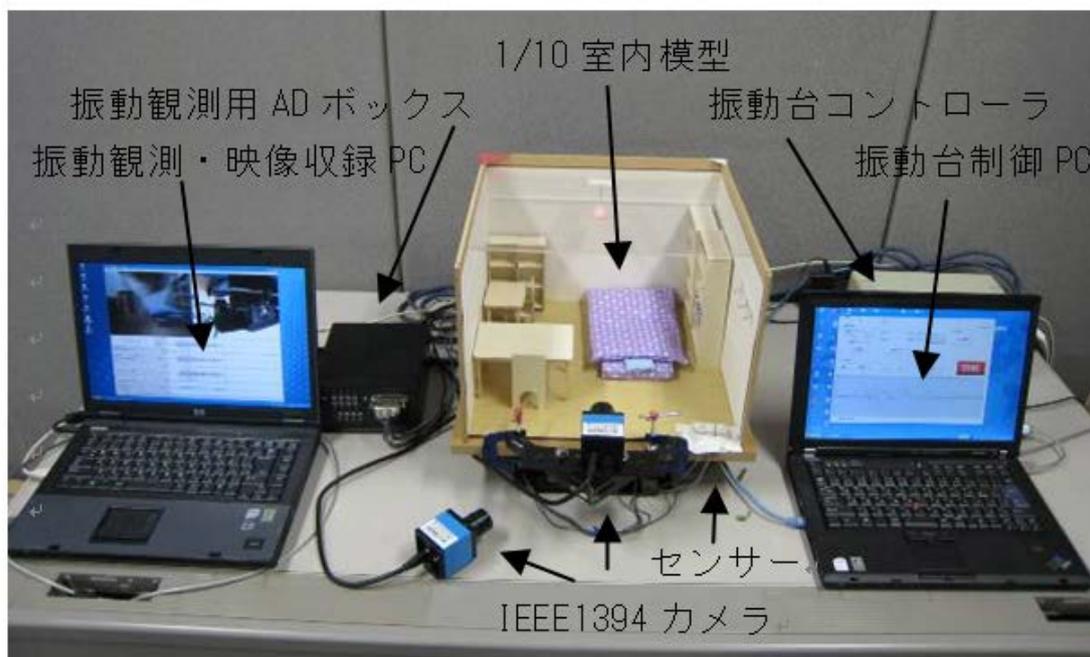


図 15 縮小振動台と 1/10 室内模型によるシステムテスト状況

(c) 結論ならびに今後の課題

以上により、「地震時室内状況・床応答シミュレータ」の目標仕様を設定し、主要な構成要素の具体的設計とソフトウェア・試作機の開発・製作を行い、E-ディフェンスにおける実大振動実験および縮小模型試作による確認を行った。

構成要素のうち最も重要な搭乗型2軸振動台の検討においては、動力源として油圧と電動モータを想定し、複数の駆動方式について、性能、技術的課題、コストなどを比較検討した。そのうち実現性の高い3通りの条件について、実際の設計も行った。また、振動・映像の計測については、ネットワーク接続の加速度計とカメラを用いて、安価でありながら必要十分な性能を実現している。また映像などを体感する環境は、プロジェクタの組み合わせによるもの、ヘッドマウントディスプレイの利用などを検討した。

以上により、搭乗型2軸振動台については実際のプロトタイプを構築できる段階である。室内の家具転倒などの状況を体感するためには、映像のみならず、音のリアリティを増す工夫が重要と考えられる。

(d) 引用文献

- 1) 護雅史、福和伸夫、飛田潤：減災行動を誘導するための統合型地震応答体感環境の構築、日本建築学会技術報告集、第15巻、第30号、pp.605-610、2009.6
- 2) J. Tobita, N. Fukuwa and M. Mori: Integrated Disaster Simulator using WebGIS and its Application to Community Disaster Mitigation Activities, Journal of Natural Disaster Science, Vol.30, No.2, pp.71-82, 2009.9

(e) 学会等発表実績

学会等における口頭・ポスター発表

発表成果	発表者氏名	発表場所	発表時期	国内・外の別
VR技術を用いた時刻歴波形の動画表示による強震記録・応答予測の説明力向上、口頭発表	倉田和己、 福和伸夫、 護雅史	第13回日本地震工学シンポジウム	2010.11	国内
減災行動を誘導するバーチャル地震体感Webアプリケーションの開発、口頭発表	倉田和己 福和伸夫 護雅史 飛田潤 小島宏章	日本建築学会学術講演梗概集	2010.9	国内

学会誌・雑誌等における論文掲載

なし

マスコミ等における報道・掲載

なし

(f) 特許出願, ソフトウェア開発, 仕様・標準等の策定

1) 特許出願

なし

2) ソフトウェア開発

なし

3) 仕様・標準等の策定

なし

(3) 平成 22 年度業務計画案

- ・ 修復性、室内安全性の観点から、実規模実験等で明らかにされた大振幅の揺れの中での内装材・家具・什器等の転倒・飛散現象に対する転倒防止・飛散防止等への対策案を提示するために、建物床応答や室内被害様相等を表現・体験できる基本技術を開発する。
- ・ 平成 23 年度に実施する E-ディフェンス実規模実験から地震時室内の映像、音響、床応答などのデータを取得・分析し、技術の効果を取りまとめる。

