

# 室内被害シミュレーションの利活用研究 —防災教育のためのVR可視化—

国立研究開発法人 防災科学技術研究所  
地震減災実験研究部門(兵庫耐震工学研究センター)  
山下 拓三

# Eーディフェンスを活用した地震被害のVR体験システム

## 実現象の被害データ 生成部

同期計測システム

+



Eーディフェンス実験

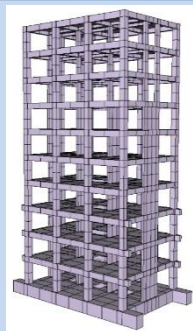


揺れのデータ  
(加速度波形)

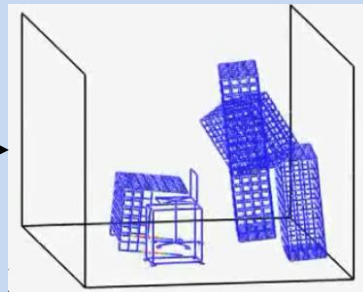
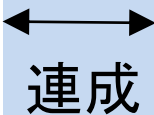


映像, 音声,  
揺れの被害  
データ

## 数値震動台 による被害データ生成部



構造解析



室内解析



映像, 音声, 揺れの  
被害データ

## データ処理・再生部



# 発表内容

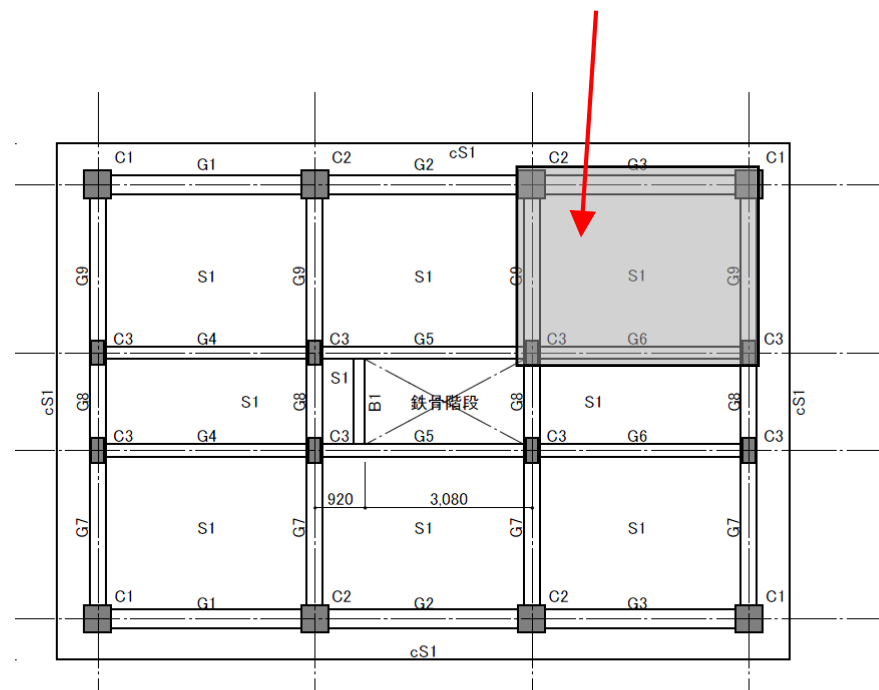
1. 10層RC建物実験での被害データ取得
2. 全天球映像のVR可視化
3. 3次元点群のVR可視化と数値解析との融合動画
4. 数値解析によるVR可視化

# 10層RC建物実験の空間利用による地震被害データの取得



10層RC建物試験体

撮影対象となる室内



10階平面図

# 室内の作製



1) 着工前



2) 壁下地組立



3) 壁, 梁型下地合板張り



6) 天井化粧石膏ボード張り



5) 床下地不陸調整



4) 天井下地組, 照明用電源



7) 壁ビニールクロス張り



8) 床長尺ビニールシート張り  
ソフト巾木取付



8) 照明器具取付



# 家具の設置



家具の設置



収納物を家具内に配置



冷蔵庫の中身

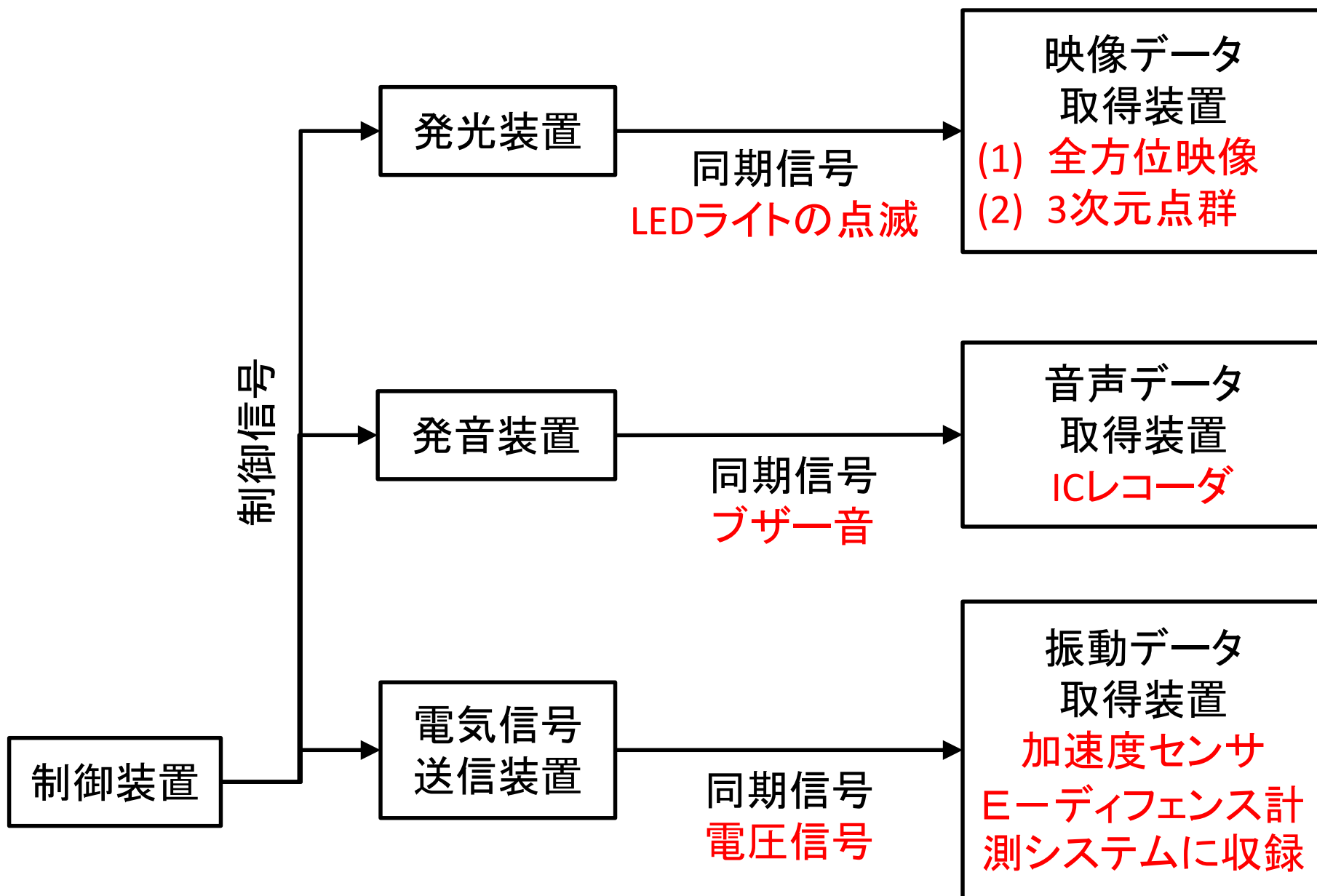


多目的棚の中身

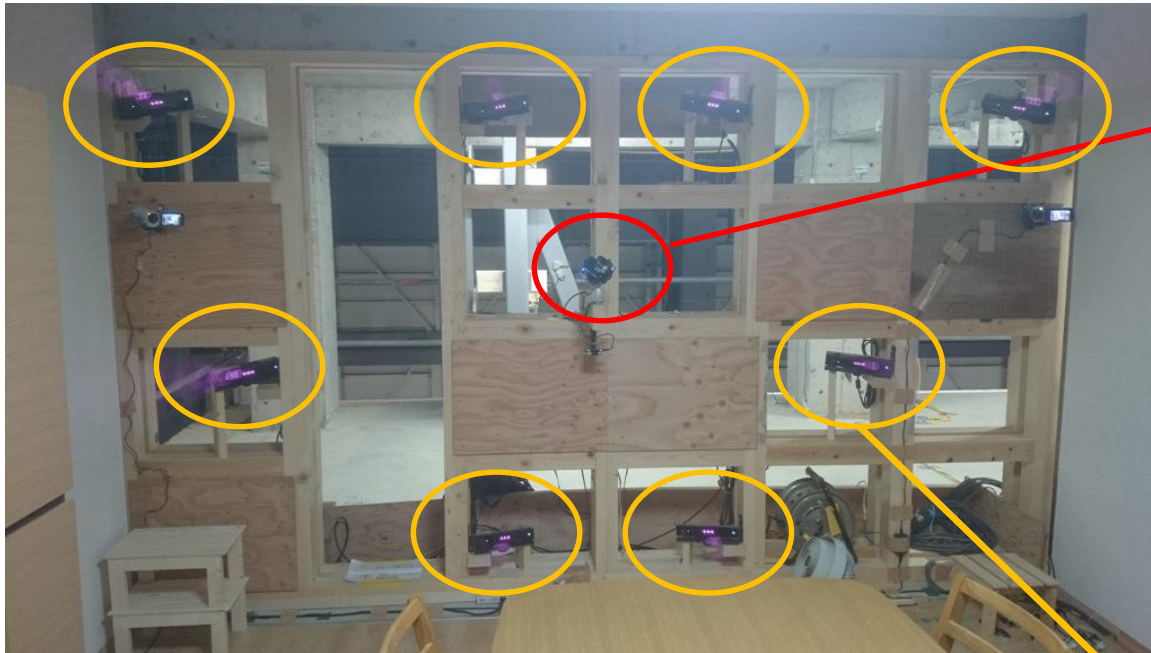


扉付き収納棚の中身

# 同期計測システムの構成

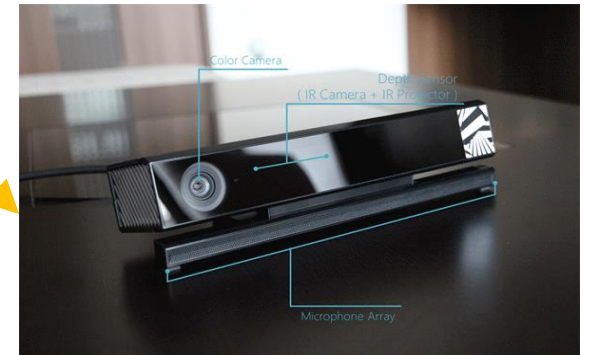


# 同期計測システムの設置状況



GoPro Hero4 (6台)

→ 全方位映像を取得



Kinect v2 + 制御用PC(8セット)

→ 三次元点群データを取得

床応答加速度, 音声  
データも同時に記録

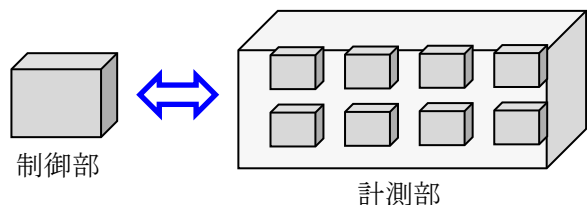


同期用発光装置

発光と同時に, 発音し, Eーディフェンス  
計測システムに電気信号が送信される.

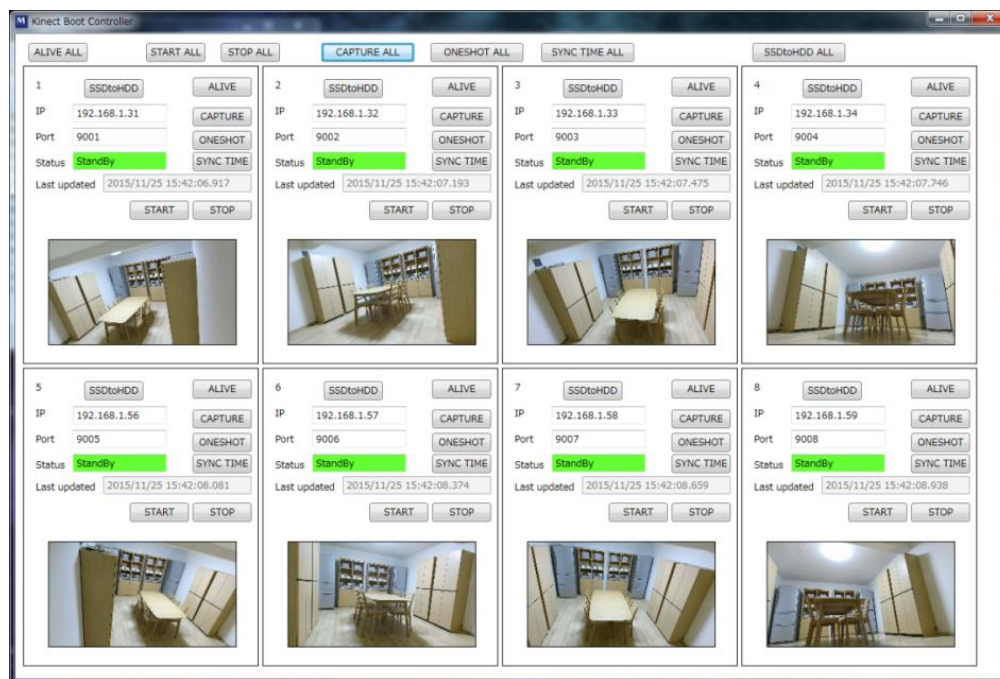


# 複数台Kinectの撮影システム



制御部PC(試験体外部)と各々のKinectを制御するPC(室内入口の治具に設置)を有線LANで接続

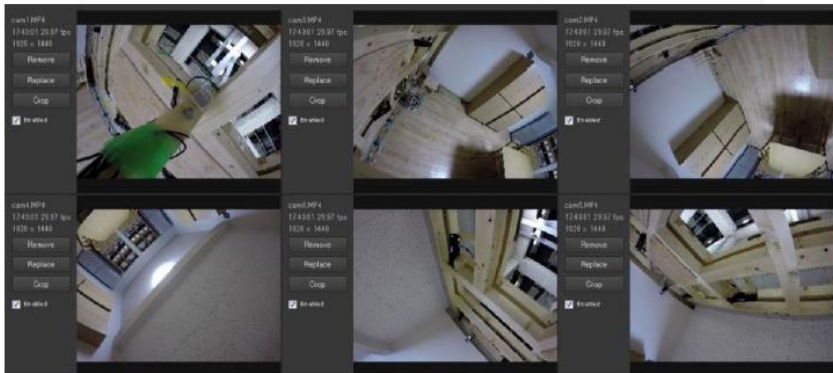
	端末	IP アドレス
制御部	PC-N	192.168.1.11
計測部	BRIX-N1	192.168.1.31
	BRIX-N2	192.168.1.32
	BRIX-N3	192.168.1.33
	BRIX-N4	192.168.1.34
	BRIX-N5	192.168.1.35
	BRIX-M1	192.168.1.51
	BRIX-M2	192.168.1.52
	BRIX-M3	192.168.1.53
	BRIX-M4	192.168.1.54



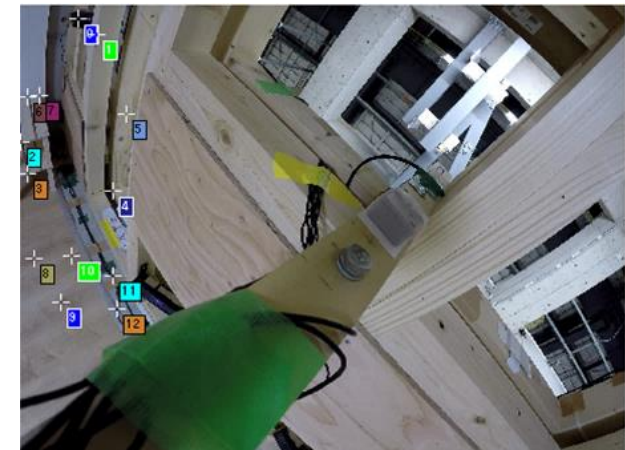
制御部GUI

# 全天球映像の作成 -画像間の位置の対応付け-

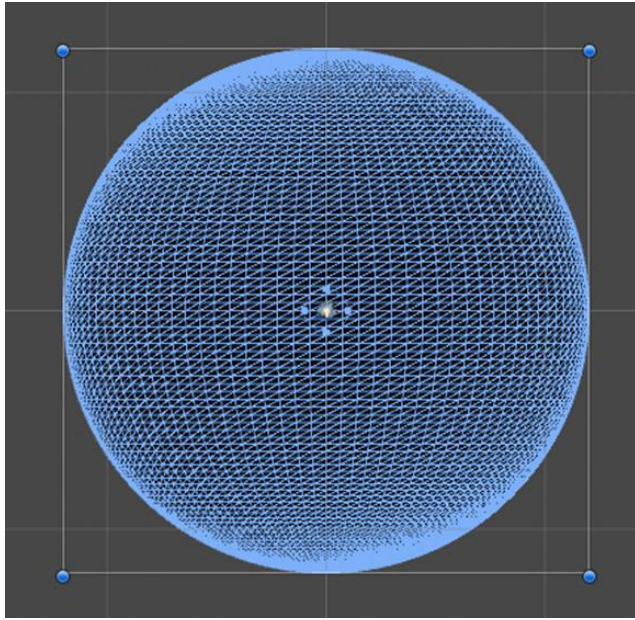
cam1.mp4	cam3.mp4	cam2.mp4
cam4.mp4	cam6.mp4	cam5.mp4



- 6つの画像から2つの画像を選択し、画像間の位置関係を求める。
- 全ての組合せ ( ${}_6C_2 = 15$ ) に対して、位置関係を求める。
- 画像間の対応付けには、画像局所特徴量(SIFT)を用いる。



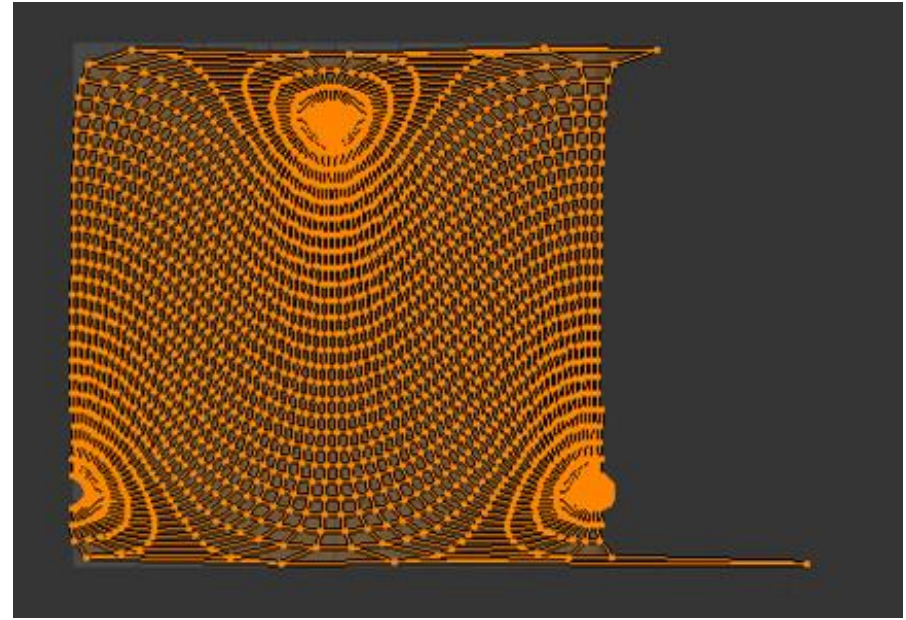
# 全天球映像の作成 -メッシュへの画像の対応付け-



全天球メッシュ



対応



全天球メッシュに対応した2次元メッシュ

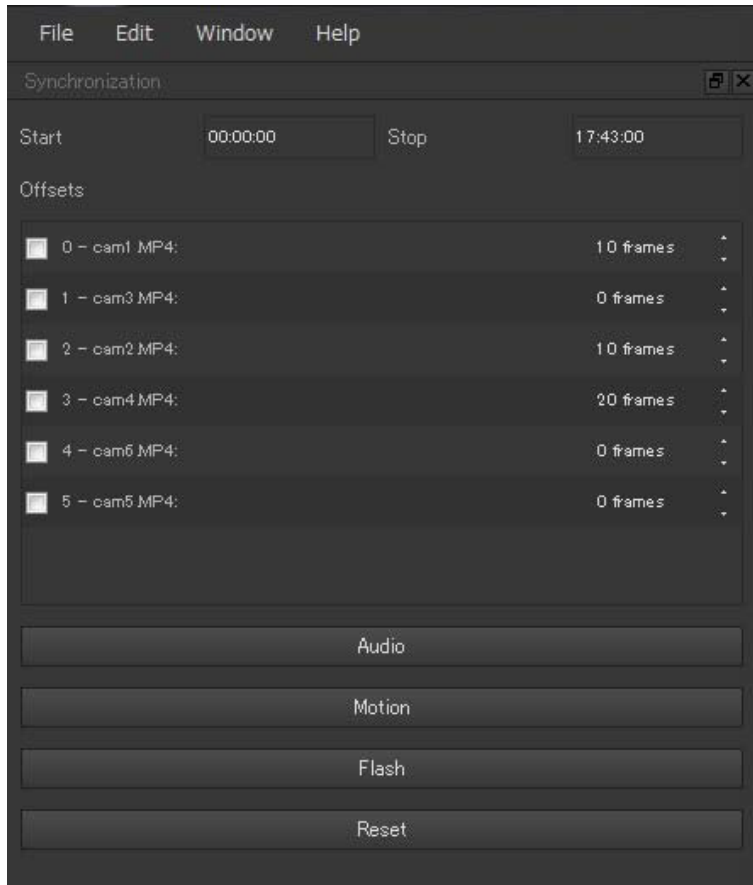
- 全天球映像はHMDの視点を中心とした球の内側に貼り付けて再生する動画像
- 一般に使用される動画像フォーマット(MPEG-4)で保存するため、全天球メッシュに対応した2次元メッシュに動画像をマップする。



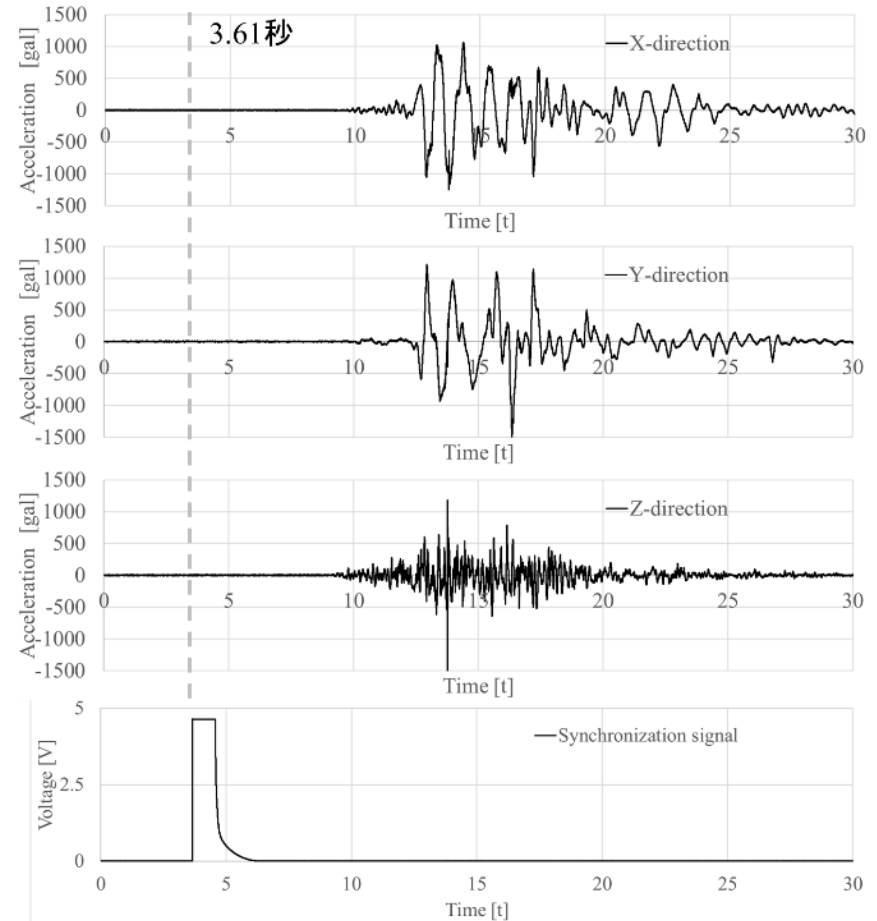
2次元メッシュに貼り付けた  
6台のカメラの映像



# 全天球映像の作成 -時刻同期-



LEDライト点灯時の  
フレームを指定



電圧信号を利用して、振動データとの  
同期も可能

# 全天球カメラのVR映像



Case1(基礎すべり, JMA Kobe100%)



Case4 (基礎固定, JMA Kobe50%)



Case2 (基礎固定, JMA Kobe10%)



Case5 (基礎固定, JMA Kobe100%)



Case3 (基礎固定, JMA Kobe25%)



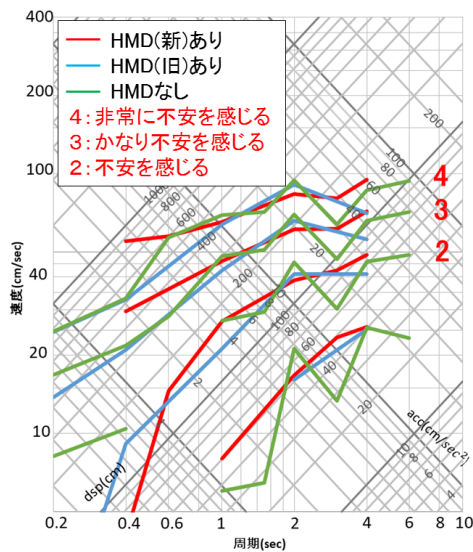
Case6 (基礎固定, JMA Kobe60%)



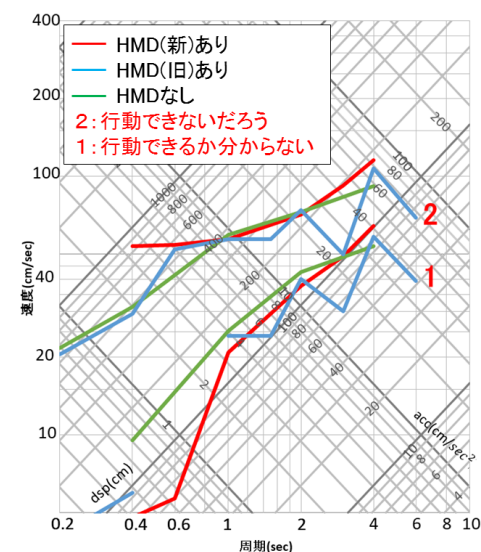
# 全天球映像のVR体験による心理的影響の把握



映像と同期した加速度データを用いて加振



不安度



行動不可能度



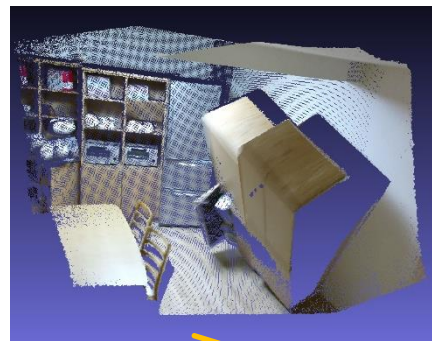
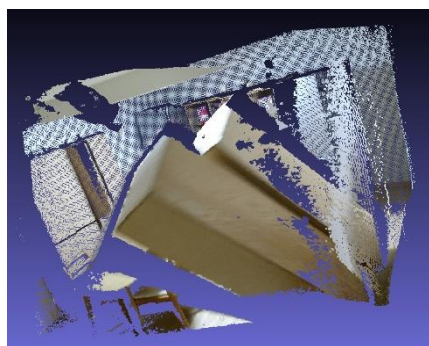
JMA-KOBE(100%)加振での室内被害映像



JMA-KOBE(25%)加振での室内被害映像

本被験者実験は高橋徹千葉大学教授(数値震動台設備WG委員)が実施

# 実験で取得した3次元点群データ

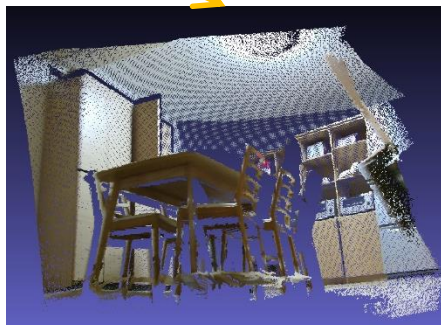
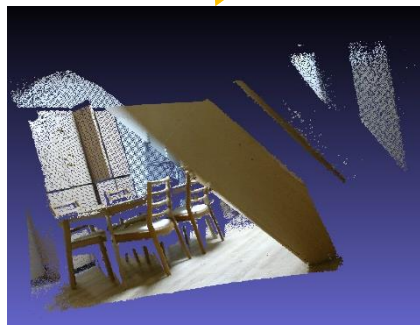


色付き3次元点群作成のためのデータとして

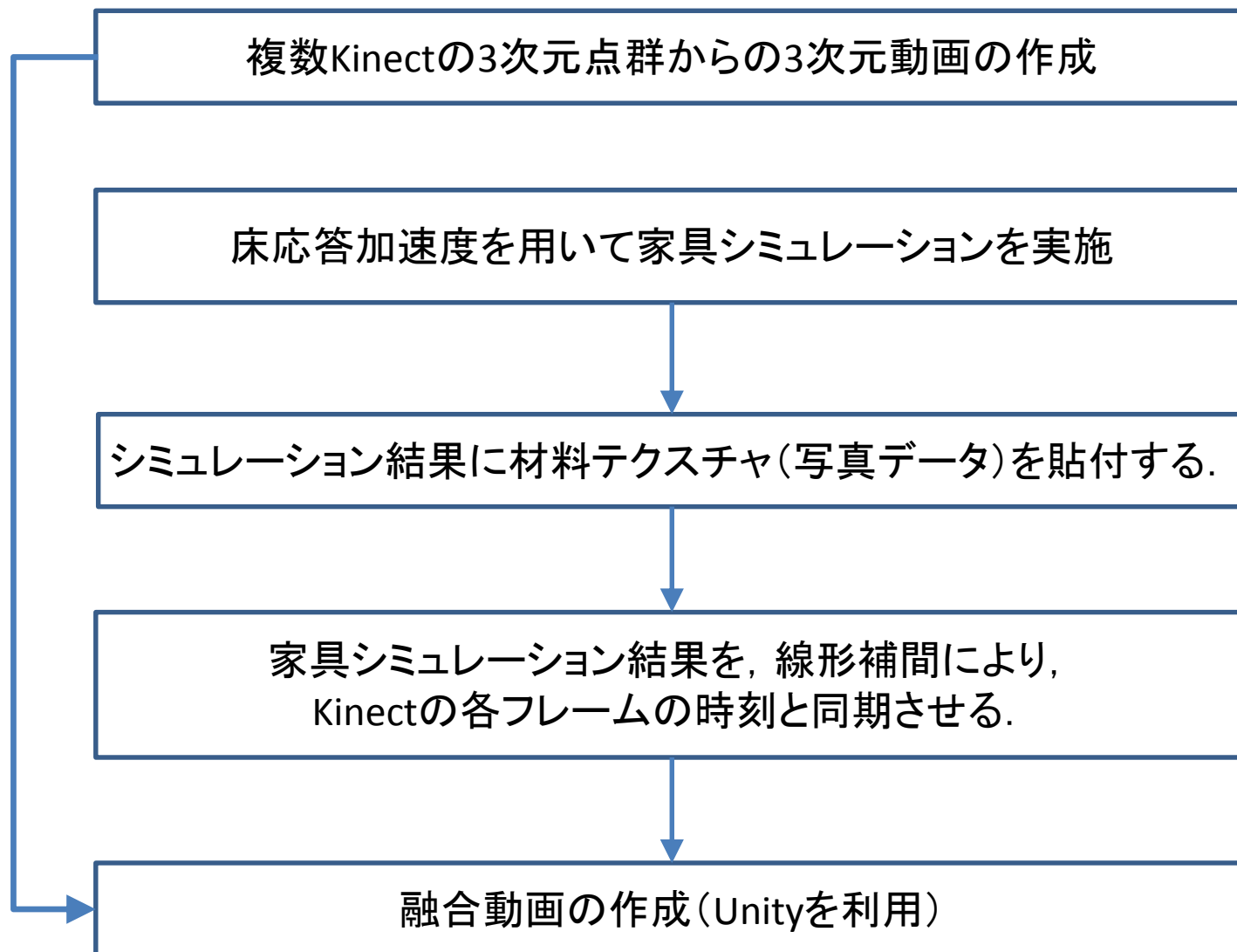
- RGB画像データ(解像度:1920×1080)

- 深度画像データ(解像度:512×424)

を30fpsで取得



# 実験の三次元動画と解析の融合動画作成の流れ



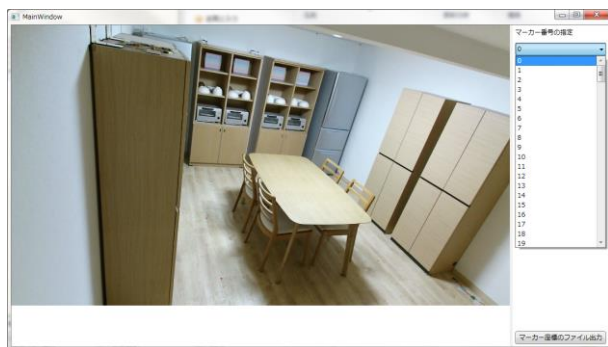
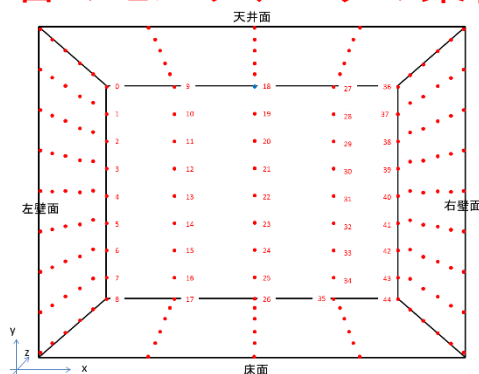


# 複数Kinectの3次元点群からの3次元動画の作成

## 各センサの色付き点群の作成

RGB画像および深度画像より色付き点群を作成

## 8台のセンサデータの集約



室内に貼り付けたマーカー  
スケーリング値, 平行移動ベクトル, 回転行列を作成

マーカーの対応付け

座標変換して全点群を集約

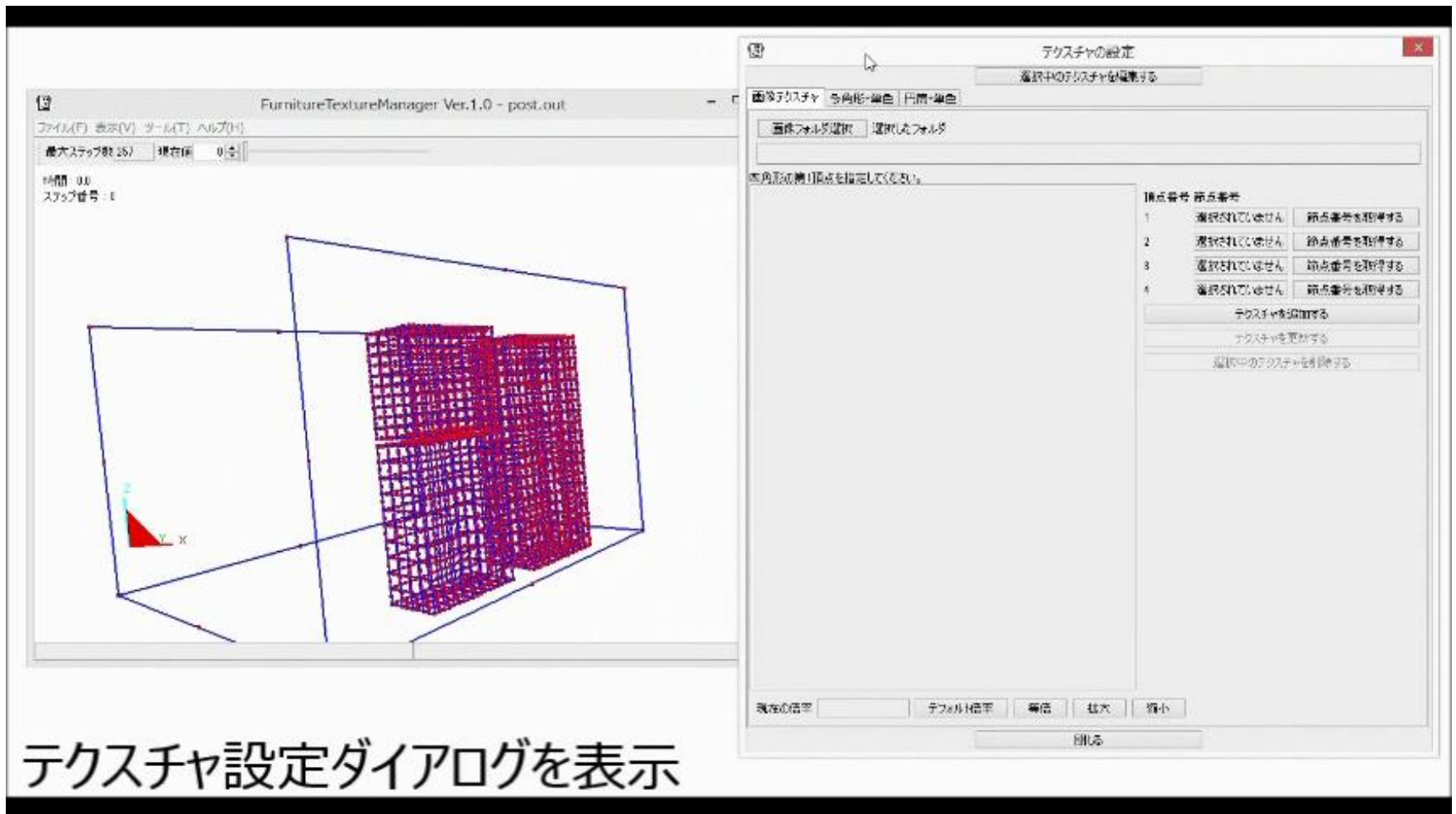
## 外れ値の除去, 平滑化

ノイズに起因する外れ値を取り除き, 移動最小二乗法による平滑化

## 点群からのメッシュ生成

メッシュ生成にはgreedy triangulation algorithmを用いる

# 室内シミュレーションのリアリティのある可視化のための プリ処理アプリケーション開発 1/2





# 室内シミュレーションのリアリティのある可視化のための プリ処理アプリケーション開発 2/2

時間 : 0.0  
ステップ番号 : 0



# JMA神戸25%加振，基礎固定（視点1）



# JMA神戸25%加振，基礎固定（視点2）





# 融合動画に関して



- 任意の視点から映像を再生できる.

- 任意の位置にシミュレーションによる仮想の家具を配置できる.



- 点群データを高画質で高速に描画するための手法が必要

# 3次元点群のVR可視化のための検討

## ・複数センサ三次元時系列データの統合処理

各センサからの座標系から全体座標系への変換機能を実装.

PC時刻参照から同期信号参照への変更による映像品質の改善.



PC時刻参照

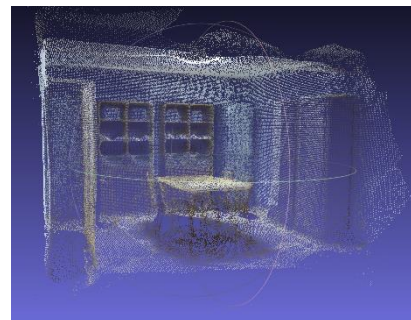


同期信号参照

## ・高品質可視化のためのポリゴン生成機能

点群からポリゴン面を生成することで三次元点群データの高品質可視化を試みた.

ポリゴン面の生成にはGreedy Projection Triangulationのアルゴリズムを用いた.



ポリゴン生成前



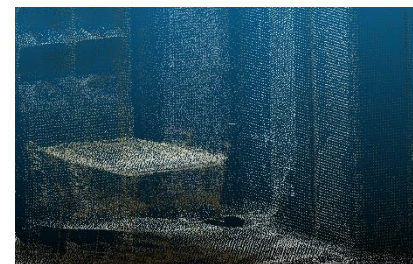
ポリゴン生成後

## ・効率化のためのデータ量削減機能

効率的かつ品質を損なわないデータの削減法としてVoxel Gridフィルタを用いた



Gridフィルタ適用前



Gridフィルタ適用後

## ・点群の大きさの自動調節機能

点群表示する場合, 視点からの距離に合わせて点の大きさを自動調整する機能を実装して映像品質を確保

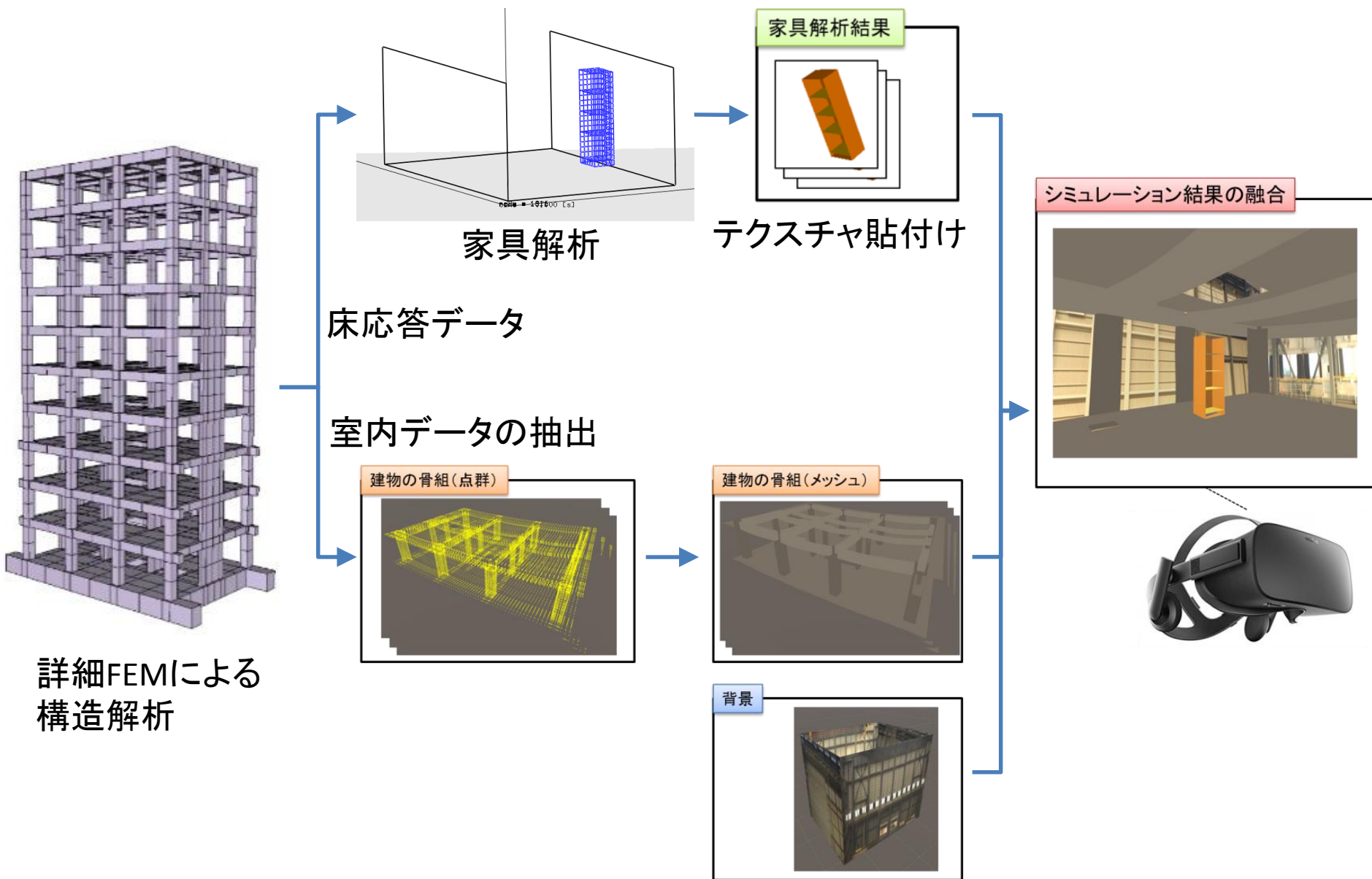


# HMDによる3次元点群のリアルタイム表示



「効率化のためのデータ量削減機能」、「点群の大きさの自動調整機能」により、一定の映像の品質を確保した3次元時系列点群データの、ヘッドマウントディスプレイによるリアルタイム表示が可能となった。

# シミュレーションVRのフロー



# 10層RC建物実験の10階室内のシミュレーションVR動画



- 構造物応答および家具応答の解析結果を用いて室内被害のVR動画を作成
- 解析は基礎固定, JMA神戸波100%加振



# まとめ

## 1. 10層RC建物実験での被害データ取得

- 提案した同期計測システムによりVR体験システムに用いる映像, 音声, 振動データを取得
- 映像に関して, 全天球映像と3次元点群による映像作成のための2種類のデータを取得

## 2. 全天球映像のVR可視化

- 10層RC建物室内の加振時の全天球映像を作成
- 映像を各種防災イベントや地震時の心理的把握の被験者実験に活用

## 3. 3次元点群のVR可視化と数値解析との融合動画

- 複数の空間センサの3次元点群データから室内の3次元映像を作成
- テクスチャ付きシミュレーション結果との融合動画を作成
- 3次元点群の映像のクオリティ向上が課題

## 4. 数値解析によるVR可視化

- 構造解析および室内解析の連成解析結果を用いたシミュレーションVR映像作成に着手
- 今後, 臨場感の高い様々な状況の映像コンテンツ生成を目指す