

IoT社会実現のための革新的センシング技術開発/革新的センシング 技術開発/
次世代公共インフラ実現へ向けた高密度センサ配置による微量信号計測技術の研究開発

次世代公共インフラ実現へ向けた 微量信号計測技術の研究開発

【研究開発責任者】

大阪大学 教授 関谷 毅

【発表者】 大阪大学 特任助教 野田 祐樹

【実施者】 国立大学法人 大阪大学
国立大学法人 神戸大学
東電設計株式会社
東電タウンプランニング株式会社

災害から誰もが守られる社会の構築を目指して

平常時



クルマ・ヒトの流れ ➡ マーケティング
振動・騒音 ➡ 生活環境情報

市場活性化・住民サービス
防災計画の策定を支援

災害時



地震・土砂災害 ➡ 建物被害 交通マヒ
クルマ・ヒトの流れ ➡ 避難経路の確保

避難行動の意思決定を支援
救助・復旧の策定を支援

社会課題とプロジェクト基本方針

社会課題

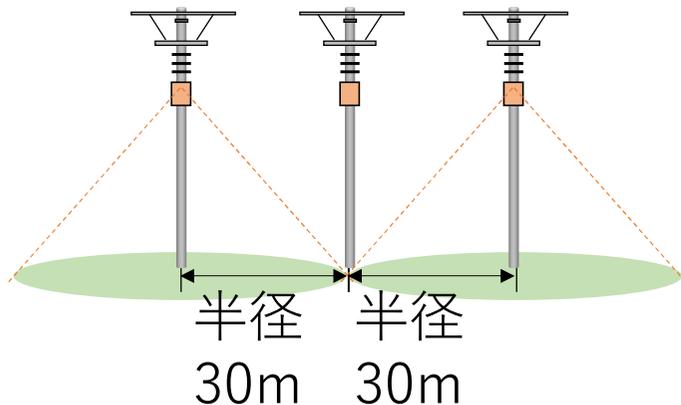
- ・情報が**広域**
- ・情報に**リアルタイム性がない**

➡ 災害時は、**危機を自分のものとして捉えられない**

解決手段

- ・高密度(周辺半径30m)
- ・リアルタイム

➡ 各住民に災害情報を届ける



地震関連のセンサ密度

	気象庁等	東京ガス	今回提案
センサ	震度計	SIセンサ (地震計)	地震・土砂災害+環境変化
密度	60本/1,000km ² (東京都)	1個/1km ²	300本/1km ²

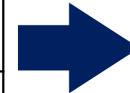
災害時に必要な情報

(自治体・インフラ企業のヒアリング結果)

ユーザ	なぜ必要か	必要な情報
自治体	<p>【復旧のため】</p> <ul style="list-style-type: none"> 被害状況把握のため 対応の優先順位付けのため 避難および救助活動のための二次被害への備え 	<ul style="list-style-type: none"> 災害の発生検知（いつ、どこで） 地震の揺れが強い場所 家屋の倒壊 道路障害（道が通れるのか） 道路の浸水 避難民の滞留や避難所の状況
インフラ企業	<ul style="list-style-type: none"> 管理している施設・構造物への対策のため（点検の優先順位付け） 	<ul style="list-style-type: none"> 災害の発生検知（いつ、どこで） 管理している構造物直近の地震の揺れ具合 管理している構造物の損害
住民	<p>【避難のため】</p>	<ul style="list-style-type: none"> 家屋の倒壊 道路障害（道が通れるのか） 避難所の空き具合

災害時に必要な情報を得るための手段

必要な情報	既存技術
災害の発生検知 (いつ、どこで)	<ul style="list-style-type: none"> 地震計 (地震災害) 傾斜計など (土砂災害) 浸水検知センサ (浸水被害)
地震の揺れが強い場所	地震計 (地震災害)
道路障害	<ul style="list-style-type: none"> 監視カメラ ドローンなどによる空撮 目視確認
避難民の滞留や避難所の状況	監視カメラ/目視確認
避難所の空き具合	監視カメラ/目視確認
家屋の倒壊	<ul style="list-style-type: none"> 監視カメラ/目視確認 ドローンなどによる空撮



振動センサ

地震・土砂検知

周辺被害想定

- 既存の地震計と同様の地震波形が計測
- 土砂災害特有の波形が計測
- 10W以下の消費電力 (定額契約内)

差分センサ

浸水検知

群衆・障害物検知

- 障害物の存在有無
- 人・車両の有無と移動している方向
- 浸水 (深さ5cm) の有無
- 個人を特定しない
- 10W以下の消費電力 (定額契約内)

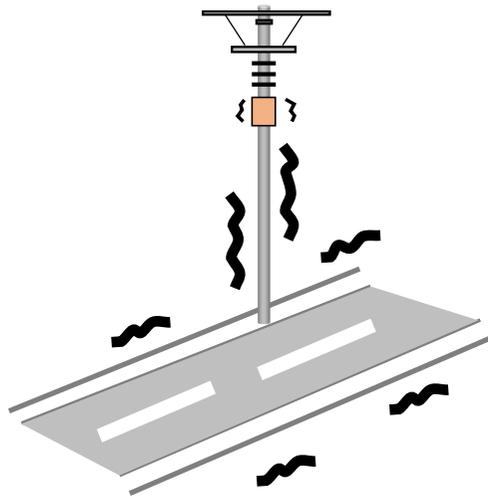
微小量信号計測技術

振動センサ

×

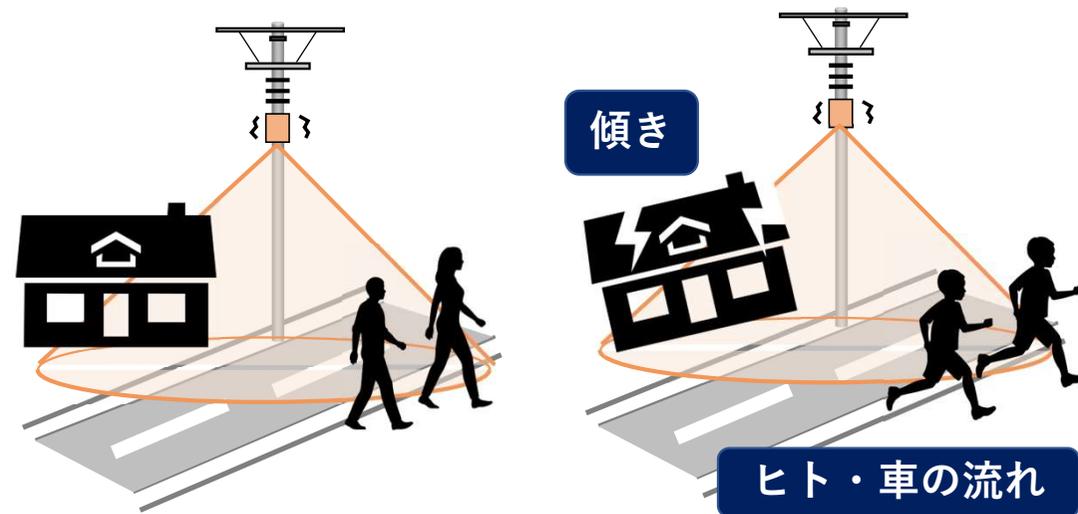
差分センサ

シート状の振動センサを設置
地面の揺れを面的に取得する



計測した電柱の振動から
地震や土砂流動を推定

監視対象に超音波を照射
反射波で事象前後の差分を計測



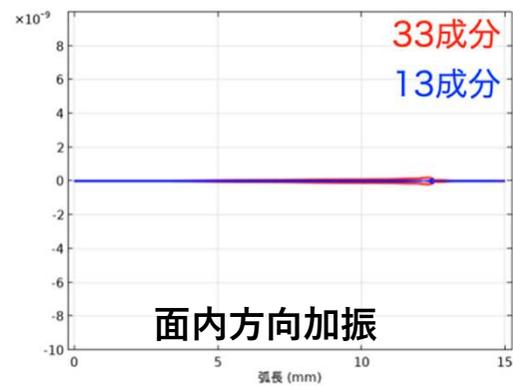
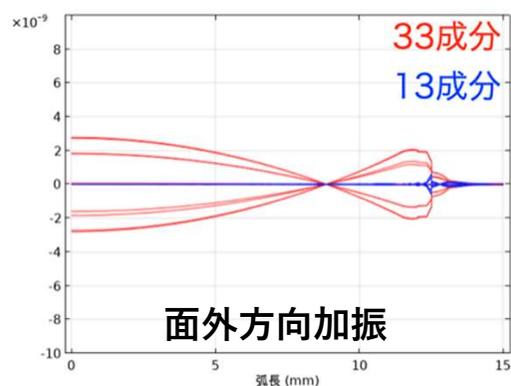
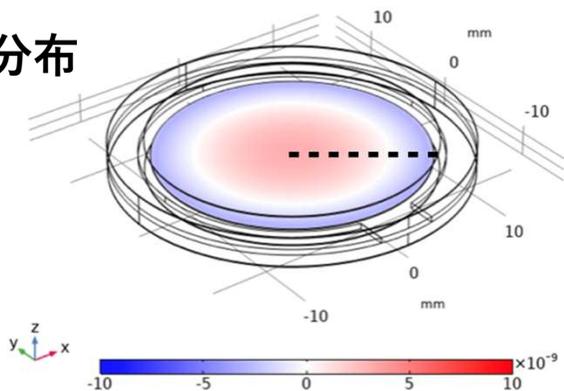
計測した形状の変化から
周辺状況の動きを推定

振動センサの開発：検出精度

物理シミュレーションによるセンサデザインの最適化

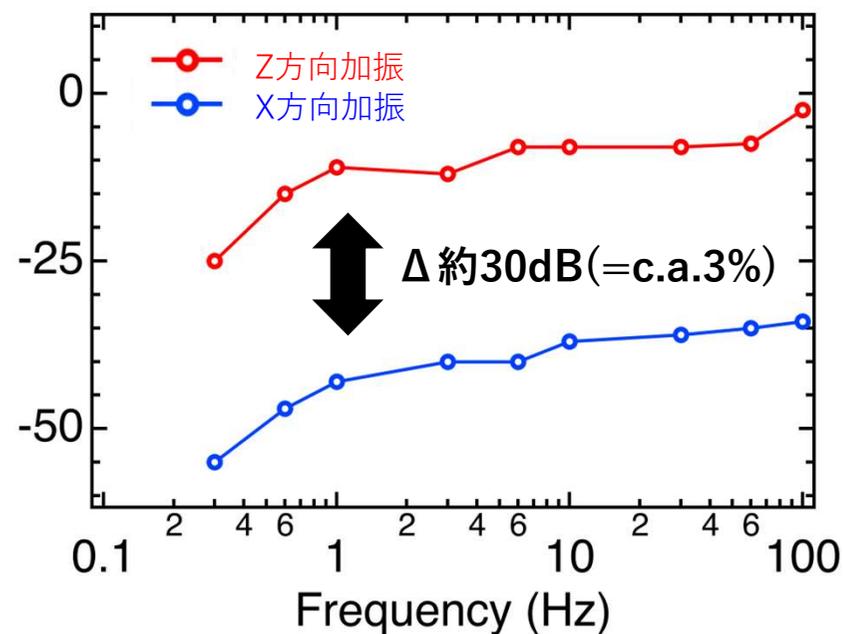
周波数特性 & 他軸感度

歪分布



フィルム面外方向に感度をもつセンサのデザイン

FFT Int. (dBV)

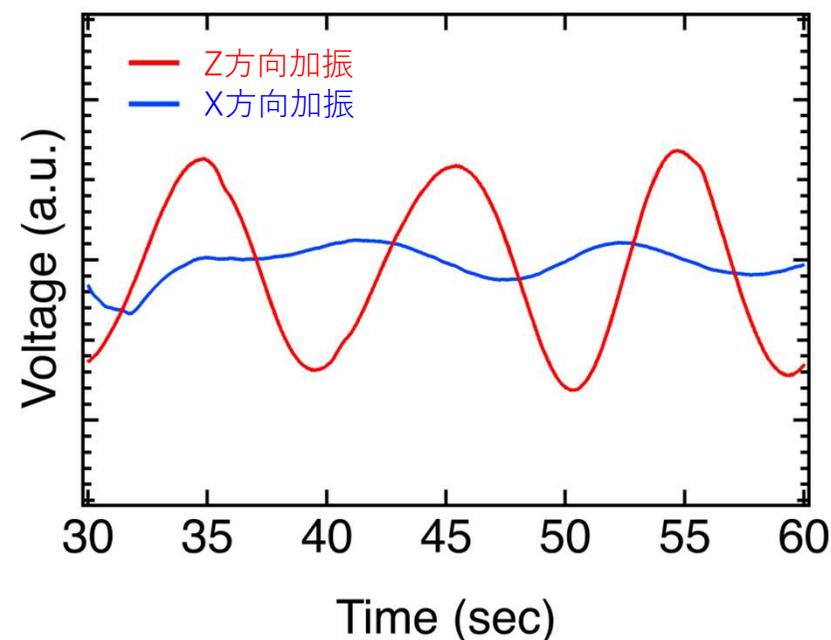


カップリング誤差約3%を
0.3Hzから100Hzで実現

振動センサの開発：検出精度

(産業技術総合研究所との共同研究)

「研究開発項目② 革新的センシング基盤技術開発
/超微小量センシング信頼性評価技術開発/微小振動計測に係る信頼性評価技術開発」



産総研とのプロジェクト横断体制により低周波域の振動試験を実施

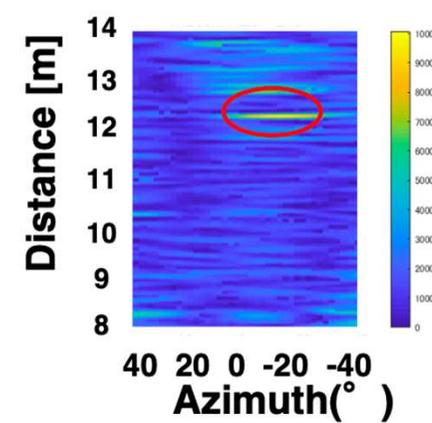
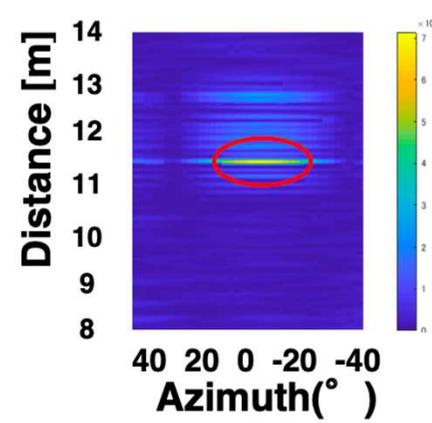
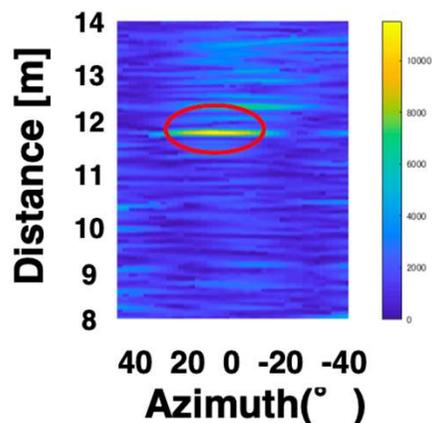
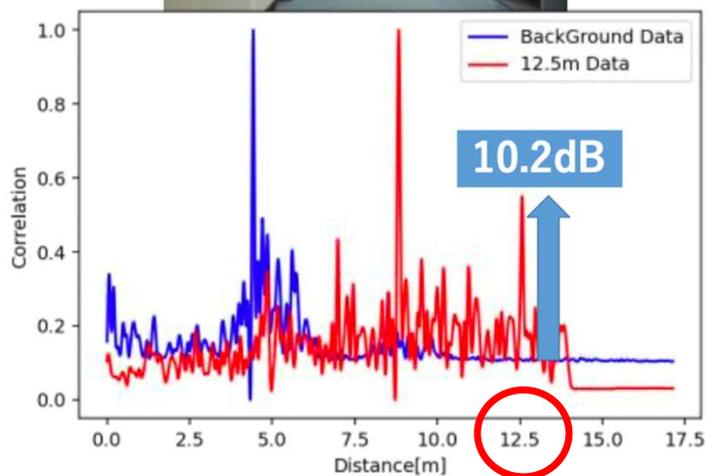
0.1Hz, 0.06m/s²において信号検出に成功

振動センサの特徴

	周波数	加速度	カップリング誤差	電力 (センサのみの見積)	コスト
サーボ式	× (DC-100Hz)	◎ (30m/s ²)	○ (1%)	△ (数W)	× (65万円)
MEMS式1	◎ (DC-1,000Hz)	○ (20m/s ²)	○ (2%)	△(数W)	× (35万円)
MEMS式2	× (DC-200Hz)	◎ (80m/s ²)	× (10%)	○ (数mW)	◎ (< 1000円)
開発	○ (0.1Hz-1,000Hz)	○ (10m/s ²)	○ (数%以下)	◎ (0 W)	◎ (< 1000円)

カップリング誤差・電力・コストで有利

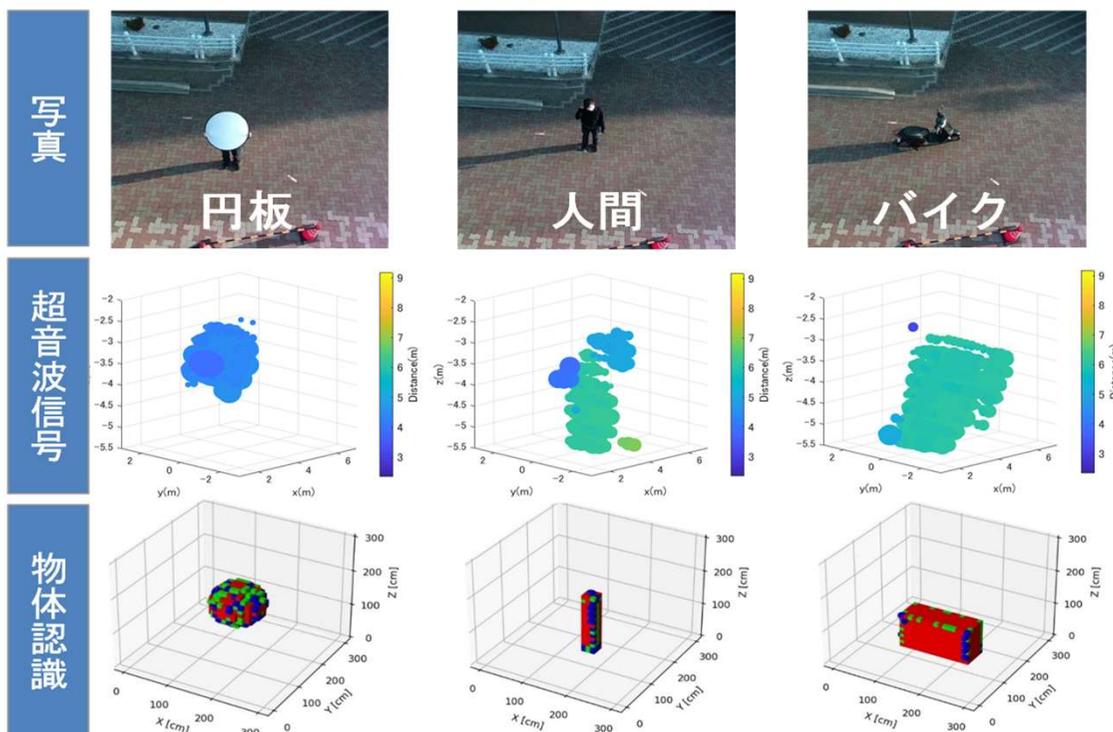
差分センサの開発：検出精度



12.5m 距離で信号対雑音比 10.2dB、
位置精度99% (±5cm)を達成

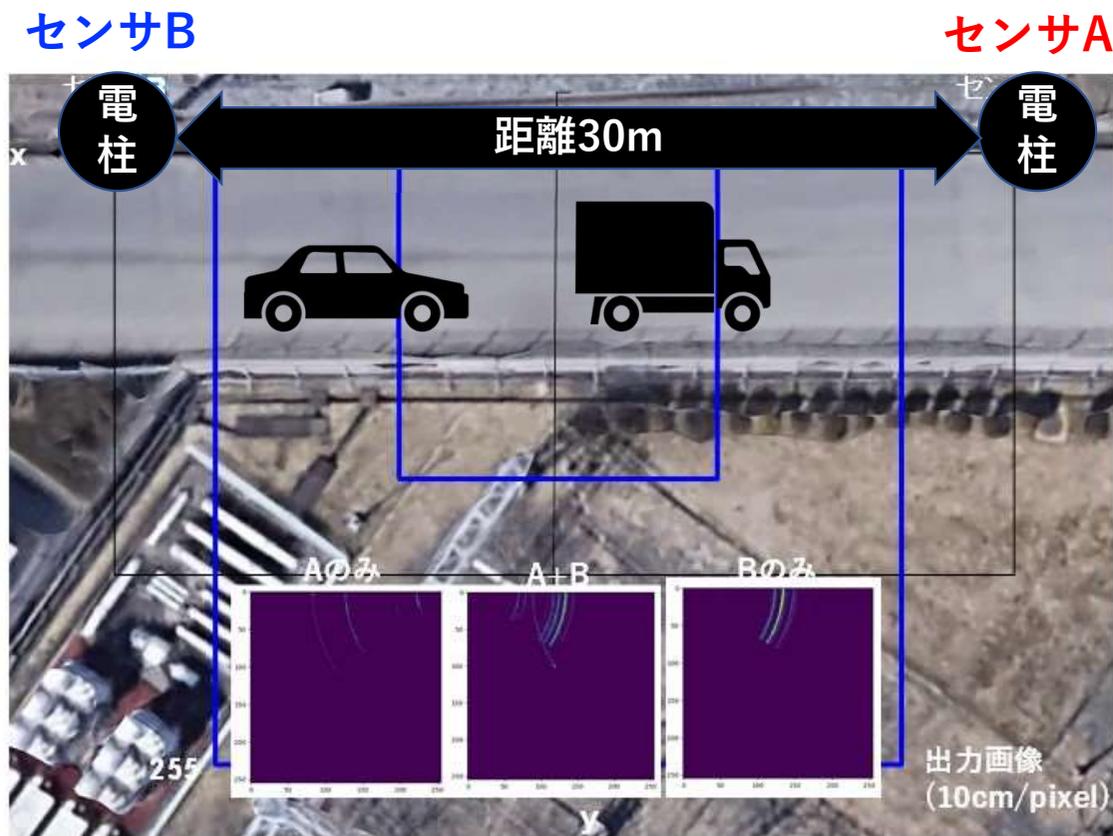
(世界初) 屋外ノイズ環境下における12.5m 距離での
超音波ビームフォーミングによる物体検出

差分センサ：機械学習による地表面上の物体認識



- 12.5m先の道路上にある円板・人間・バイク・ダンボール箱の交通種別の推論を機械学習で実施
- 円板・人間・バイク・ダンボール箱を混在させた場合、**再現率87%、適合率94%**

差分センサ：複数センサによる性能向上



乗用車・大型車追跡例と精度

	センサBのみ		センサA+B	
	乗用車	大型車	乗用車	大型車
精度	55%		68%	
再現率 (Recall)	93%	24%	100%	43%
適合率 (Precision)	50%	81%	58%	100%

複数センサを活用し精度が55→68%へ向上

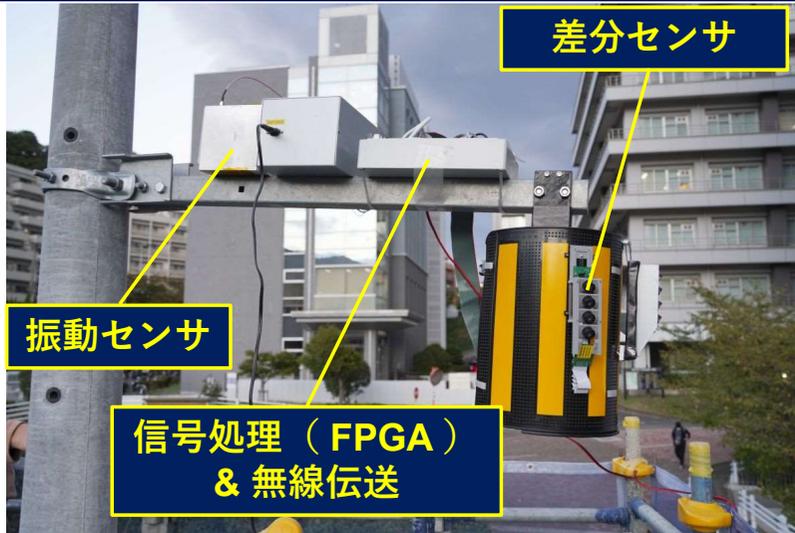
乗用車の適合率、大型車の再現率は振動センサと組み合わせて推定精度の向上可能

差分センサの特徴

	認識精度	認識距離	認識角	電力	コスト	プライバシー
監視カメラ	◎ (人間99%)	○ (5-50m)	◎ (90-180度)	○ (数W)	○ (数千円)	× (侵害)
ミリ波 LiDAR	× (存在のみ)	◎ (200m)	× (垂直5度)	× (数-数10W)	× (1-100万円)	◎ (侵害しない)
開発	○ (人間と車両)	○ (20~30m)	○ (55度)	◎ (4W)	◎ (2000円)	◎ (侵害しない)

コスト・電力・プライバシーで有利

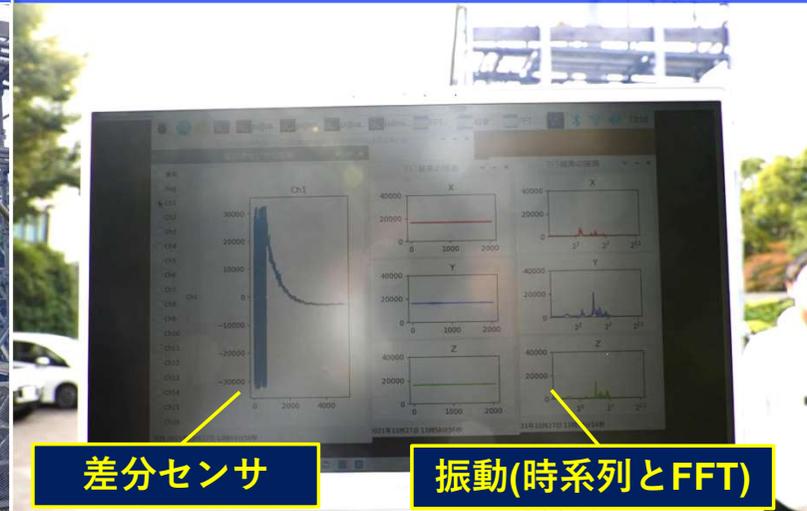
差分&振動センサの統合



無線伝送の様子

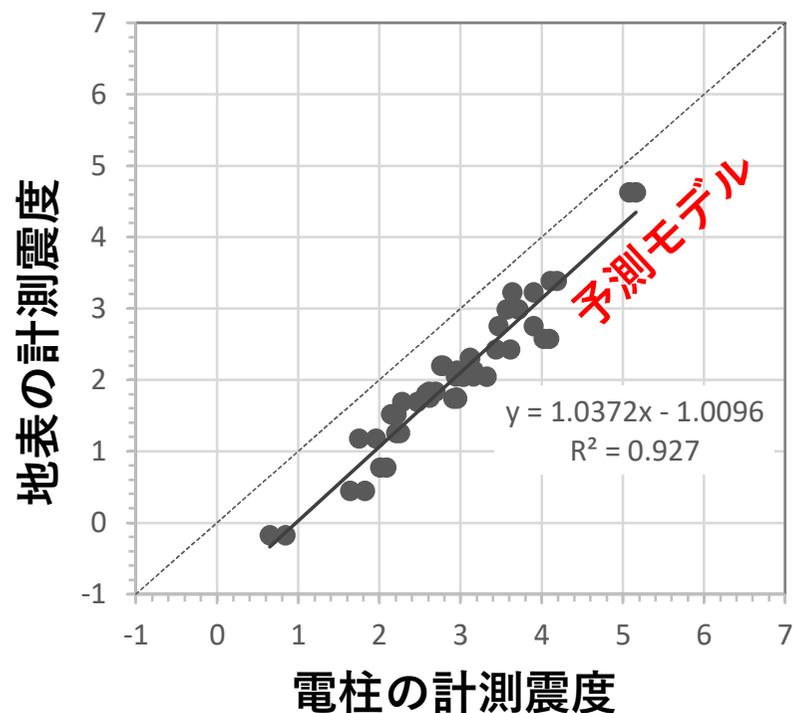


差分と振動の同時計測 & 表示

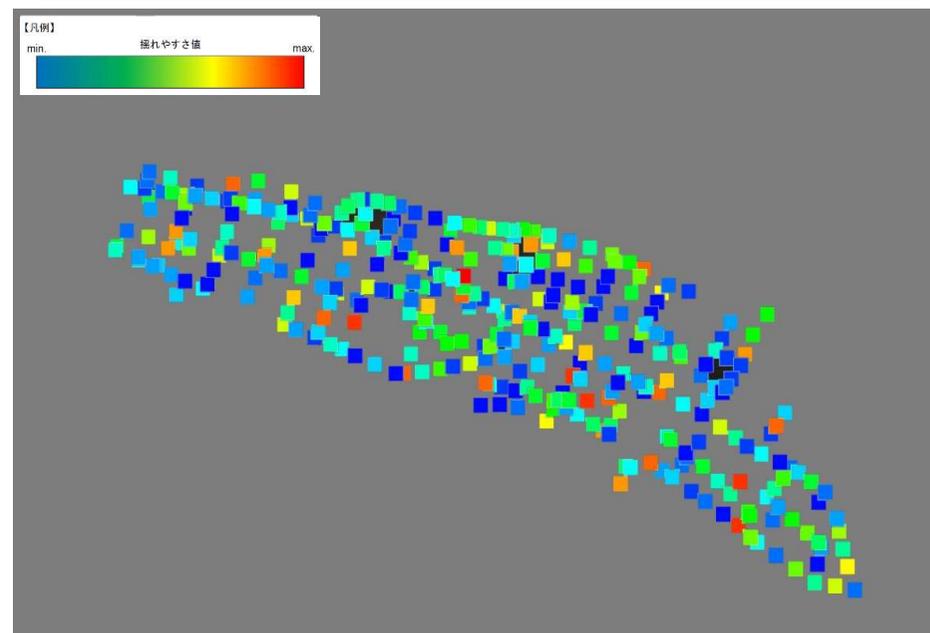


自然災害の評価アルゴリズム開発

電柱と地盤との計測震度の関係



市街地の揺れやすさ分布図 (シミュレーション)



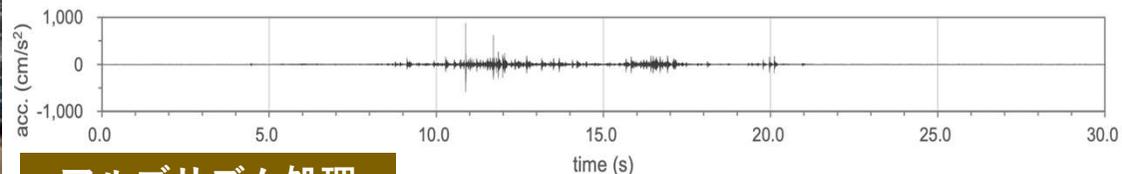
- 市街地の電柱上に設置した振動センサで面的に得られるデータを処理
- 地震動の分布の算定や高リスク箇所の抽出を行なうアルゴリズムを開発

土砂流動による地盤振動データの取得と評価

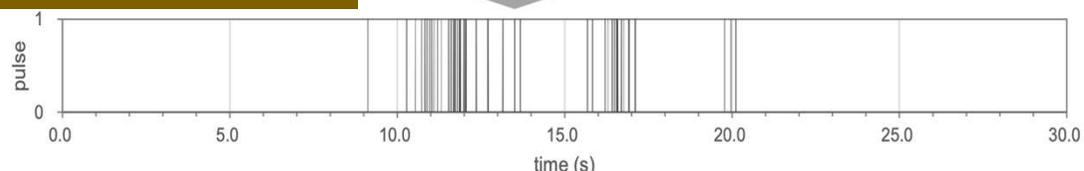
(防災科学研究所との共同研究)



観測記録



アルゴリズム処理



- 土砂流動実験の実施
- 振動データから土砂災害の評価アルゴリズムを作成

土砂流動による地盤振動データの取得と評価

(防災科学研究所との共同研究)



ユーザーインターフェースの研究開発

例：ヒートマップ〔人の密度〕 状況の可視化

マルチセンサマップ
× モックアップ版

2022年01月12日 08:00

センサ検知範囲

人

車

位置情報

ヒートマップ (密度)

流れ

避難場所マップ

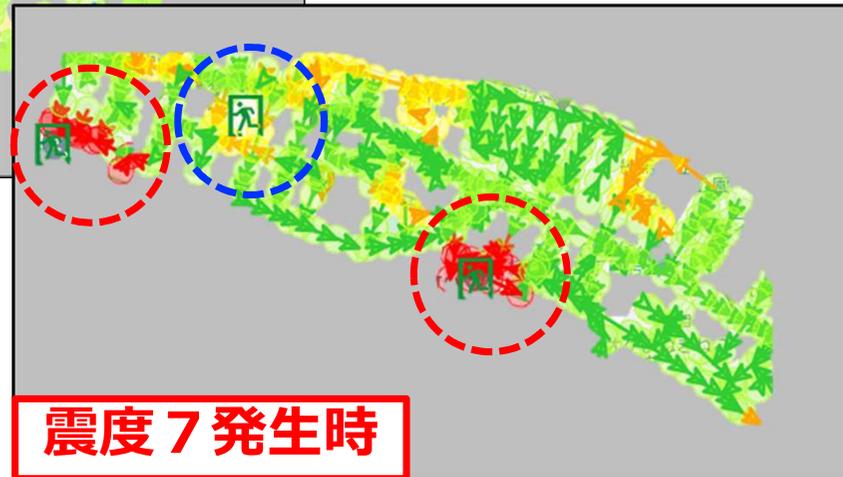
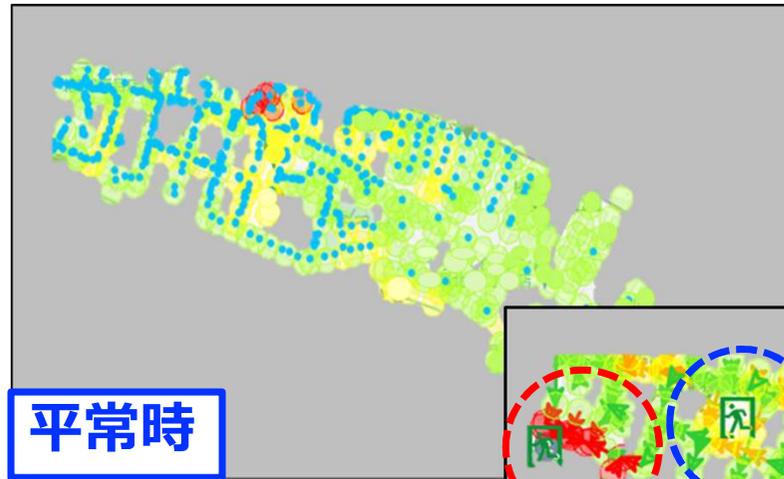
浸水予想区域

災害発生デモメニュー

大雨による浸水

震度5強発生

震度7発生



凡例

- 電柱位置
- 検知範囲 ※半径20m
- 位置情報

ヒートマップ (密度) ※半径20m

- 10人・台以上
- 5人・台以上 9人・台以下
- 0人・台以上 4人・台以下

流れ

- ← 10人・台以上
- ← 5人・台以上 9人・台以下
- ← 0人・台以上 4人・台以下

避難場所

- ・想定ユーザーのニーズに対応した災害時及び平常時の情報を表示できるソフトウェアの試作
- ・利用シーンを想定した情報の可視化と電柱からのセンシングイメージの最適化を検討・実施

実用化・事業化に向けて

売上見通し

①. 防災情報サービス

- 地震災害、土砂災害、浸水被害情報を提供
- 想定顧客は自治体、社会インフラ企業、住民

②. 新たな付加価値を付けた情報サービス

- センサより得られた人流情報やそのほか観測データを提供
- 想定顧客は通信キャリア会社、気象情報会社、サービス事業者など

事業化戦略

- 事業展開に当たっては、**自治体と連携**
- フィールドでの試験：
 - [候補地]** ➤ 街中の自治体
 - 山間部の自治体
 - 浸水エリアの自治体
- 試験提供（無償提供）：
 - 地震災害、土砂災害、浸水被害



ご静聴ありがとうございました



大阪大学
OSAKA UNIVERSITY



神戸大学



東電設計株式会社
Tokyo Electric Power Services Co., Ltd.



東電タウンプランニング