

戦略的創造研究推進事業  
(社会技術研究開発)  
平成29年度実装活動報告書

研究開発成果実装支援プログラム  
「間伐材を用いた土砂・雪崩災害警報システムの実装」

採択年度 平成27年度

実装責任者 下井 信浩

(秋田県立大学 システム科学技術学部、教授)

## 1. 要約

本実装活動では、間伐材を用いた柵に簡易振動センサ等を設置した計測用柵を製作し、土石流、落石、雪崩における小規模な発生状況を予兆現象として捉え、災害発生の可能性および発生後の状態を認識するための計測システムの有効性と性能評価を実施した。本システムの実現により危険個所の管理者または地域の責任者が、迅速に危険個所を認識し、速やかな住民の避難や救助および災害現場の復旧対応が可能になる。本システムはこれらの支援情報を提供できる仕組み作りを目指すものである。

昨年度は製作したセンサユニットおよび間伐材による計測柵を用いて、研究所内にて基本特性の評価試験を実施した。評価試験では、荷力試験機による完全破壊までの計測柵およびセンサの基本特性について検証し、重錘落下衝撃試験による加速度計およびボルト型振動センサの計測結果の確認を行った。

本年度は昨年度に計測柵を設置した秋田県能代市二ツ井の2ヶ所の実証試験現場で継続的観測を行い、その耐久性および計測の有効性を評価した。また、同市に位置する秋田県立大学木材高度加工研究所（以下、木高研と記載）敷地内に同型の計測柵を設置し、落石および積雪を模擬した状況を人為的に実施する事により計測柵の性能を評価した。

## 2. 実装活動の具体的内容

全体計画を図-1に示す。

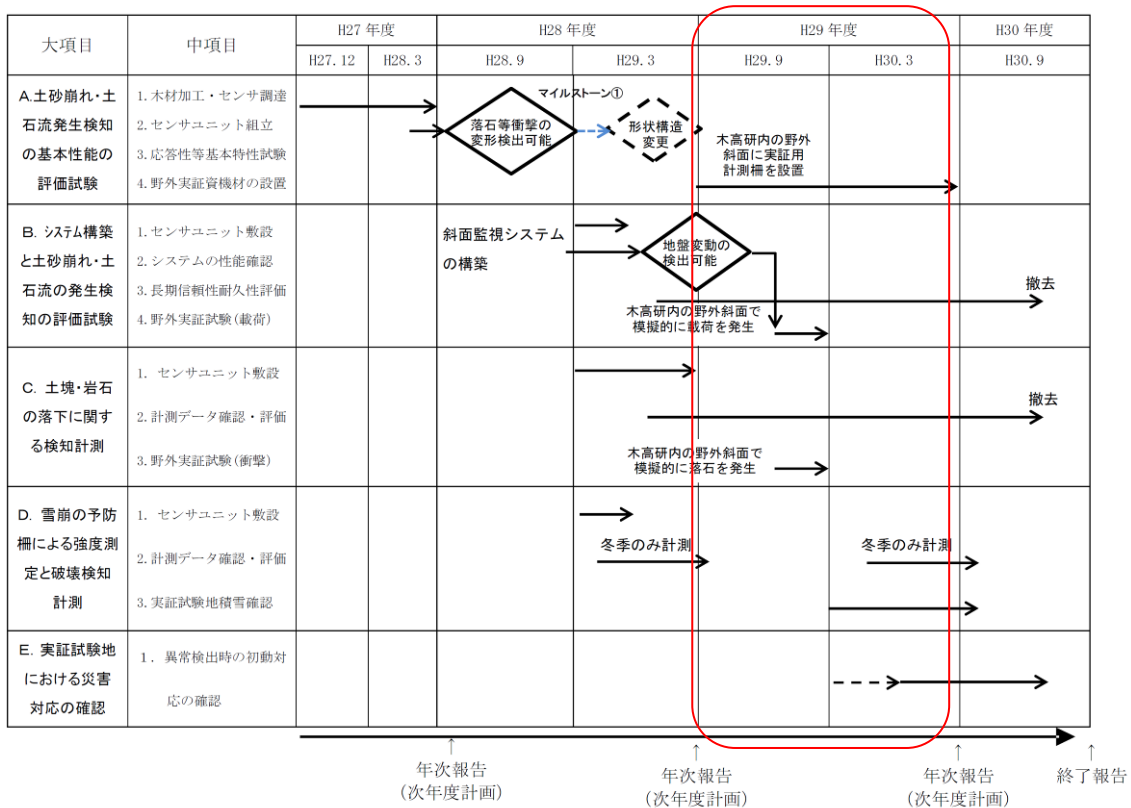


図-1 全体工程 (赤枠内が本年度実施事項)

このうち平成29年度は、実施3年目として、以下の7事項を実施した。

- (1) 木高研内の野外斜面に実証試験用の計測柵および検知システムの構築
- (2) 木高研内の野外斜面での計測柵の载荷による実証試験
- (3) 木高研内の野外斜面での計測柵の衝撃による実証試験
- (4) 実証試験現場での積雪状況確認（能代市二ツ井）
- (5) 野外における検知システムの長期計測の信頼性評価と耐久性の評価
- (6) 計測データの確認およびその性能評価
- (7) 異常検出時の初動対応のシステム構築

### 2-1. 木高研内の野外斜面に実証試験用の計測柵および検知システムの構築

土石流、落石、雪崩の状況を人為的に発生させて実証評価を行うため、木高研内における野外斜面に計測柵を設置した。設置場所の概況ならびに計測柵の設置状況を図-2に示す。計測柵は、平成28年度実施の室内評価試験に使用した同様の柵を使用し、実証試験現場に設置している計測柵を再現している。

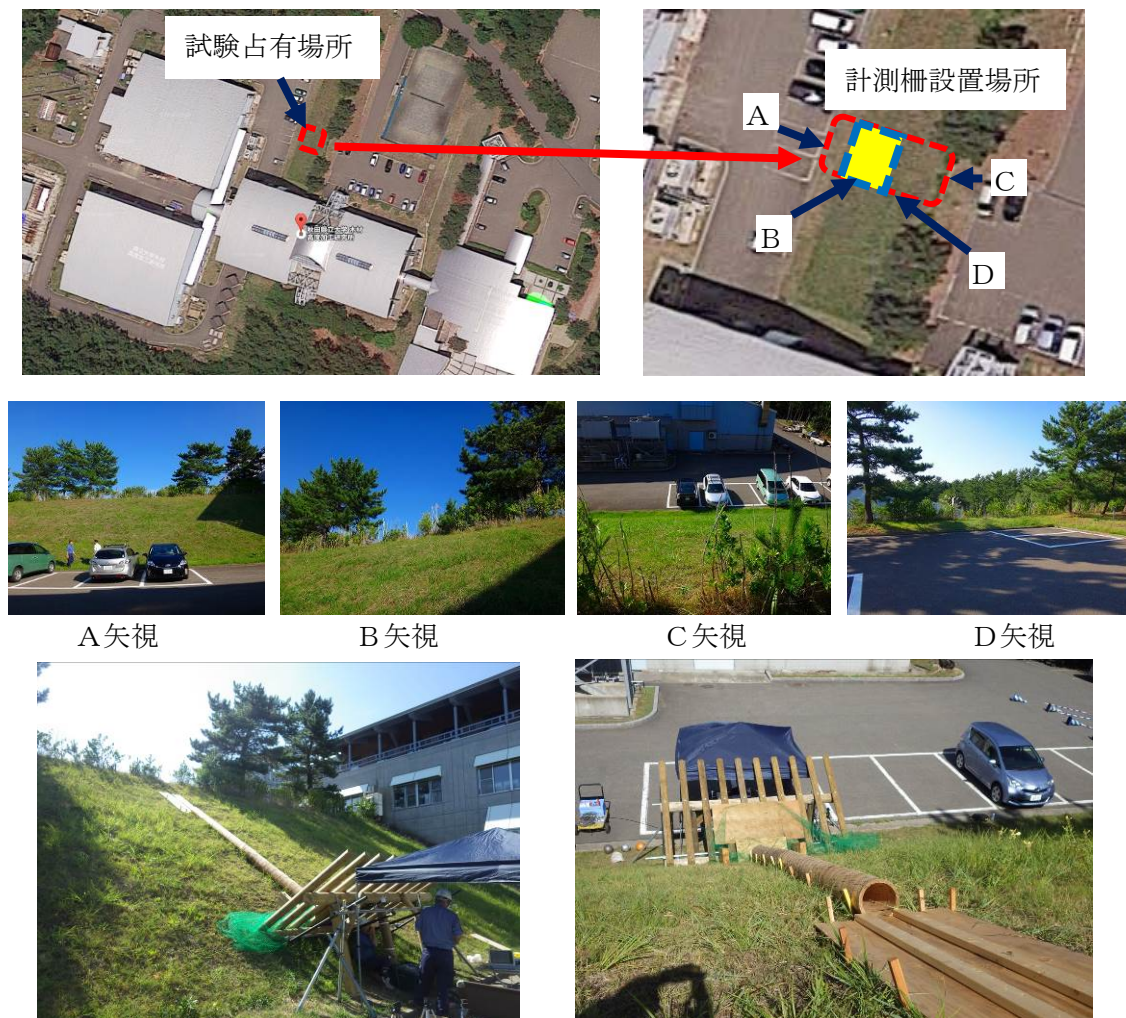


図-2 木高研敷地内に設置した計測柵

## 2-2. 木高研内の野外斜面での計測柵の荷重による実証試験

検証のために、研究所内の野外斜面に設置した計測柵で荷重試験を実施した。平成28年度実施の室内評価試験で得られた荷重および変位データより検討した危険予測の設定値に関する検知範囲の設定の妥当性を検証した。

荷重試験は、重さ500kgの砂袋（内1個は1000kg）をクレーンで計測柵の上に荷重する方法で積雪荷重を模擬した。室内評価試験と同様に柵の変状を計測するため、変位計は各接合部分および梁等の計測するために配置している。リミット型変位センサは中央支柱接合部のセンサフォルダ一部に装着した。（試験の実施手順を図-3に、試験の実施状況を図-4に示す。）

荷重量およびリミット型変位センサの出力値の荷重試験結果を図-5に示す。

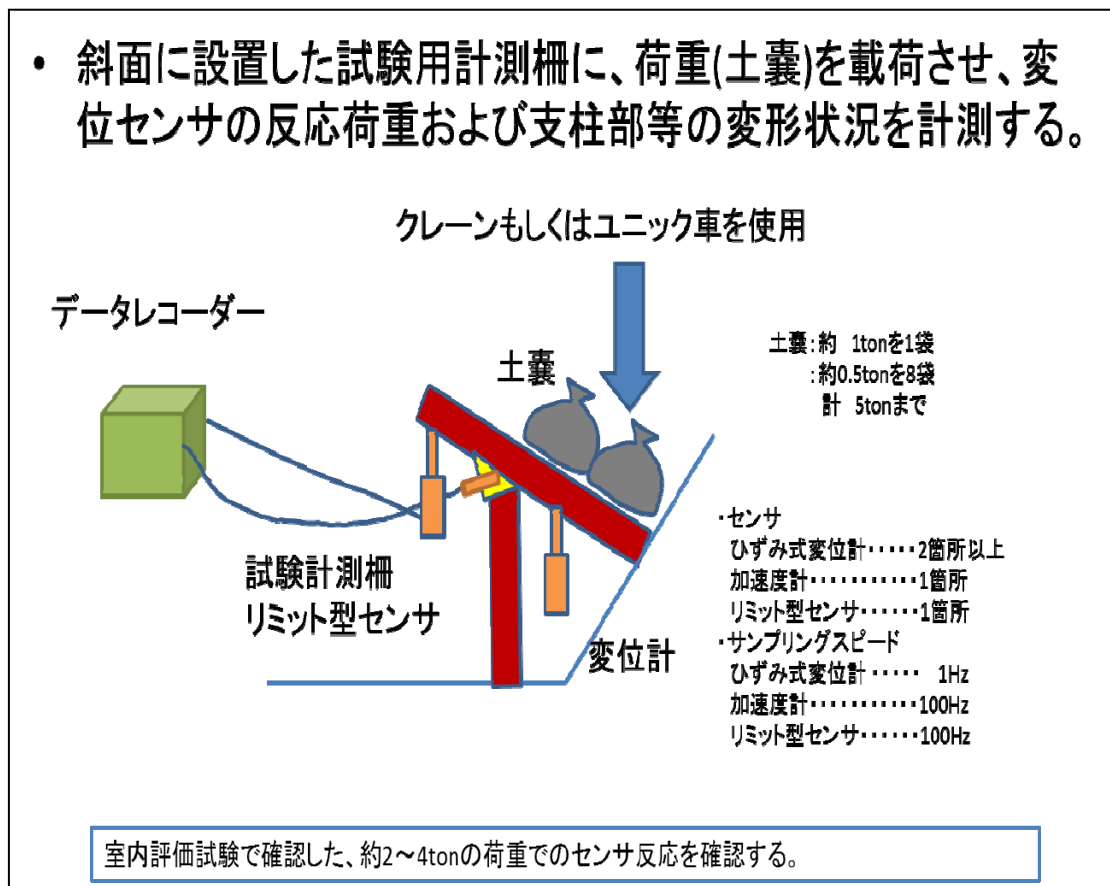


図-3 荷重試験手順



図-4 50kN载荷の計測柵上面

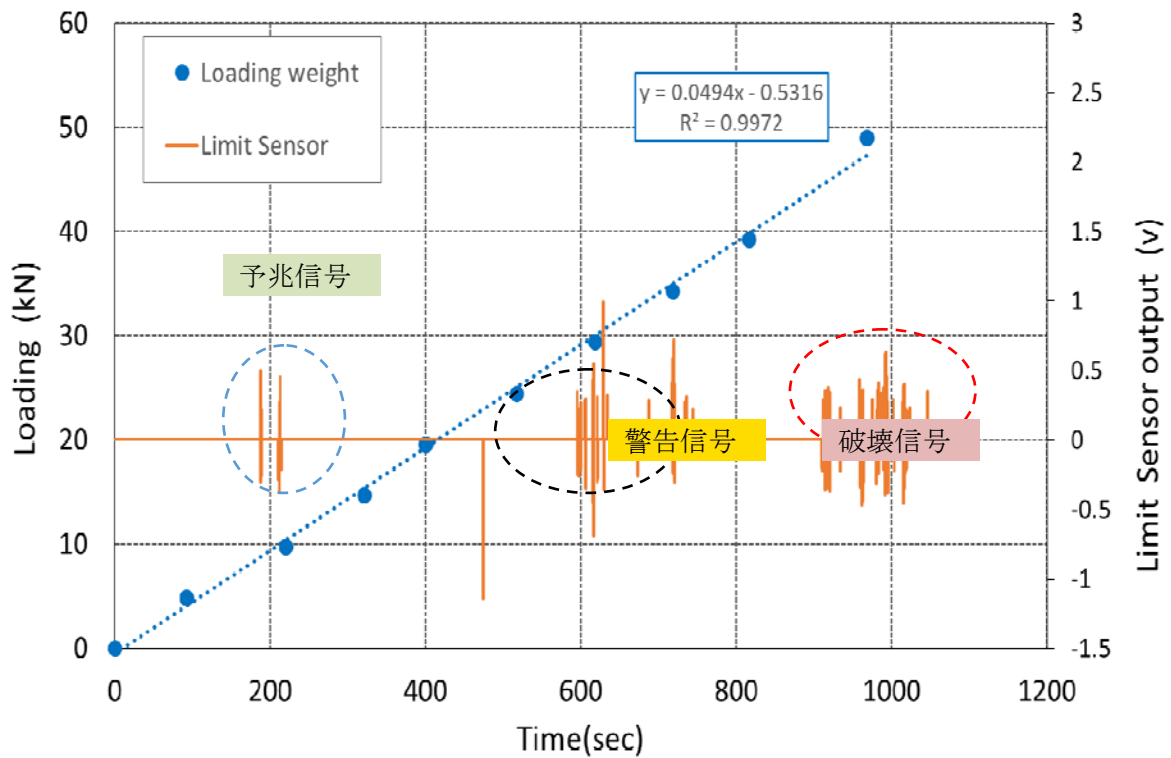


図-5 加力とリミット型変位センサの出力関係

試験結果より、リミット型変位センサは载荷量の増加に伴い電圧による出力回数が増加し、10kN付近で初動信号を検出している。リミット型変位センサの構造は、ピエゾ素子を

ガラス管に固着し、さらに金属製の保護管内に挿入している。構造上、設定以下の加力ではセンサ出力はされず、変位や静的荷重が発生した場合にガラスが割れ、センサ出力が認められる。構造上の特性から、初動信号は中央支柱の接合部に設定以上の変位が発生した場合に予兆信号と判断できる。

また、30kN付近と40kNを超えた段階でセンサの出力の度数が急増しており、計測柵に大きな変異や変形が生じたことを示していると考えられる。

### 2-3. 木高研内の野外斜面での計測柵の衝撃による実証試験

研究所の野外斜面に設置した計測柵で模擬的な落石状況を実施させ、平成28年度に実施した室内評価試験で得られた衝撃振動データの算定した値が、検知範囲の設定値と同様であるかを検証した。

衝撃試験の実施方法を図-6に示す。木高研内の野外斜面に設置した計測柵に、落石を模擬した球体を衝突させ、その衝撃を観測した。球体の衝突位置がそのつど変わらないようにガイド管を斜面に設置し、その内部に球体を滑らせるよう工夫した(図-2, 図-7)。

図-9に示すように、球体の重量は6kg、11kg、31kgの全3種類を作製した。31kgの鉄球は、直径30cm程度の落石を想定した落下物である。衝撃試験に際しては、リファレンス用として3軸加速度計を計測柵に取り付け、ボルト型振動センサからの出力と加速度計の値を比較検討した。図-8に計測器の設置状況を示す。

衝撃試験の計測回数は、6kg、11kg、31kgの各々を5回実施した。31kgの球体を落下したときの衝突時間とボルト型振動センサの出力値の関係を図-10に示す。

各実験における加速度(x, y, z軸の3軸の合成)とボルト型振動センサの出力値および球体の落下エネルギーの関係の比較した結果を図-11に示す。

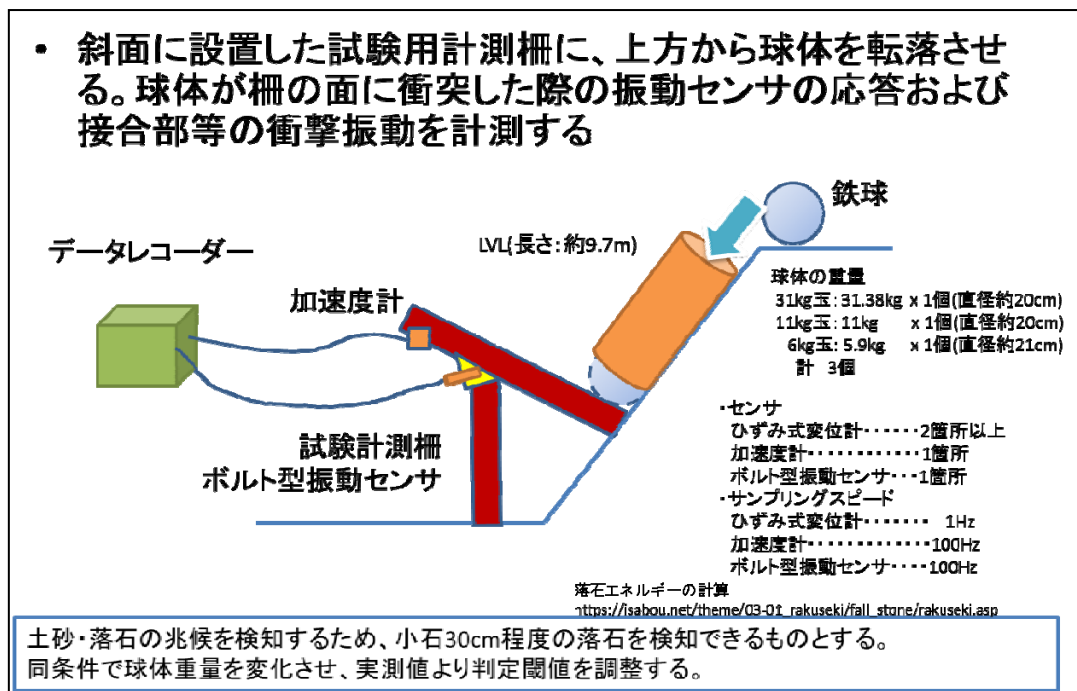


図-6 衝撃試験の実施方法

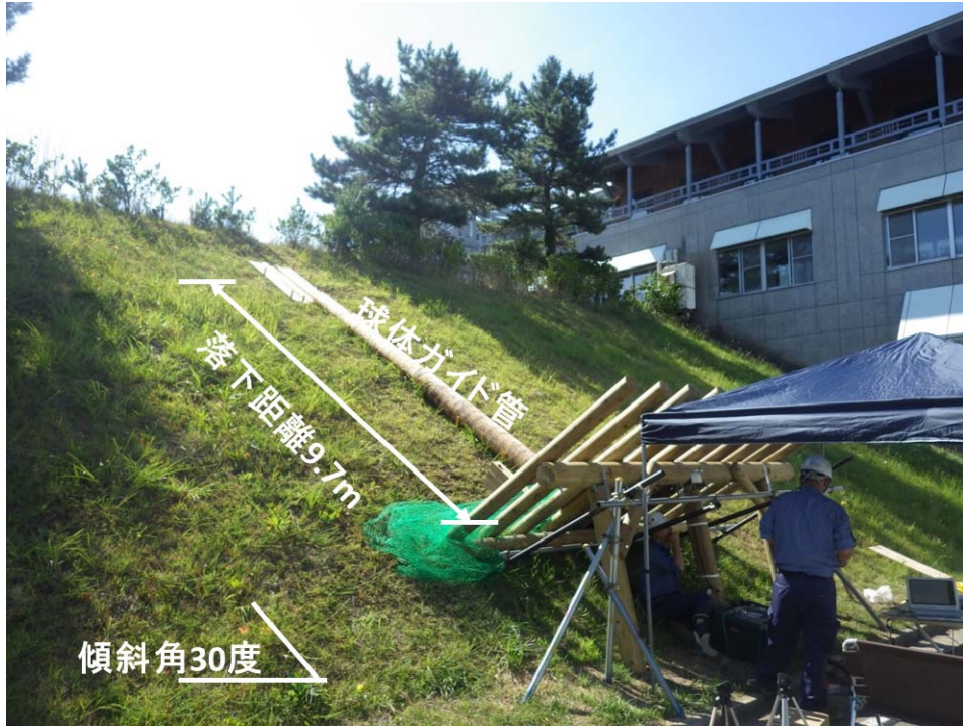


図-7 試験実施状況

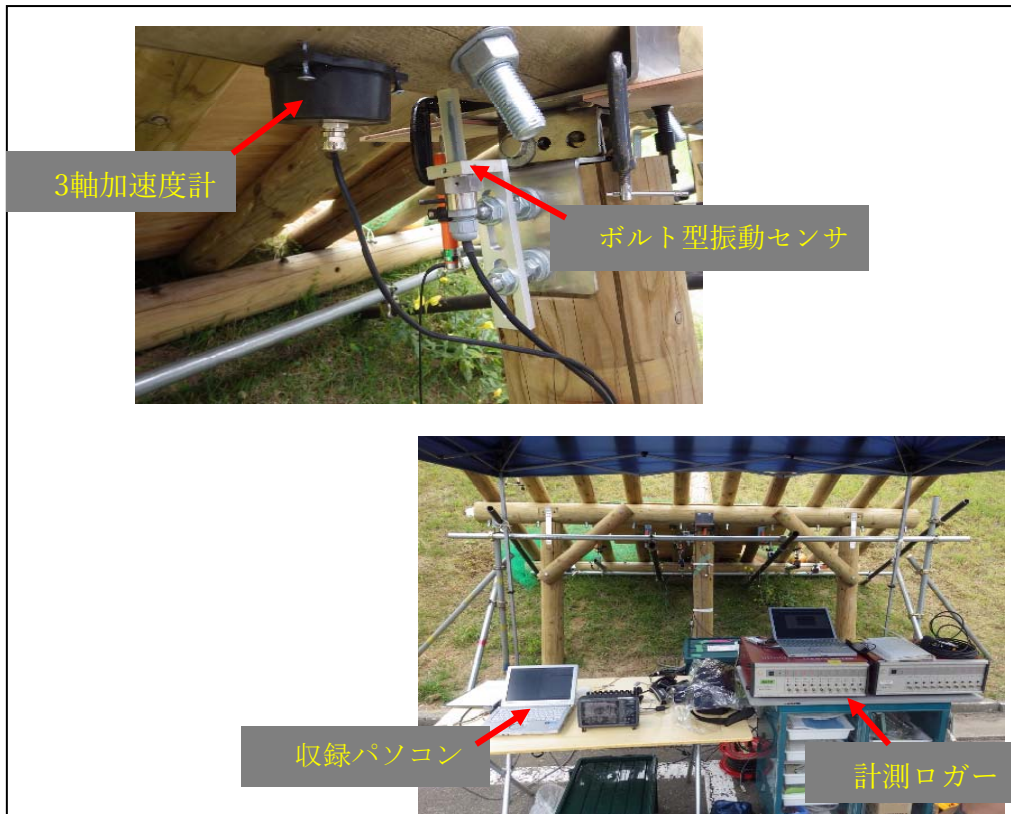


図-8 ボルト型振動センサの配置と観測装置

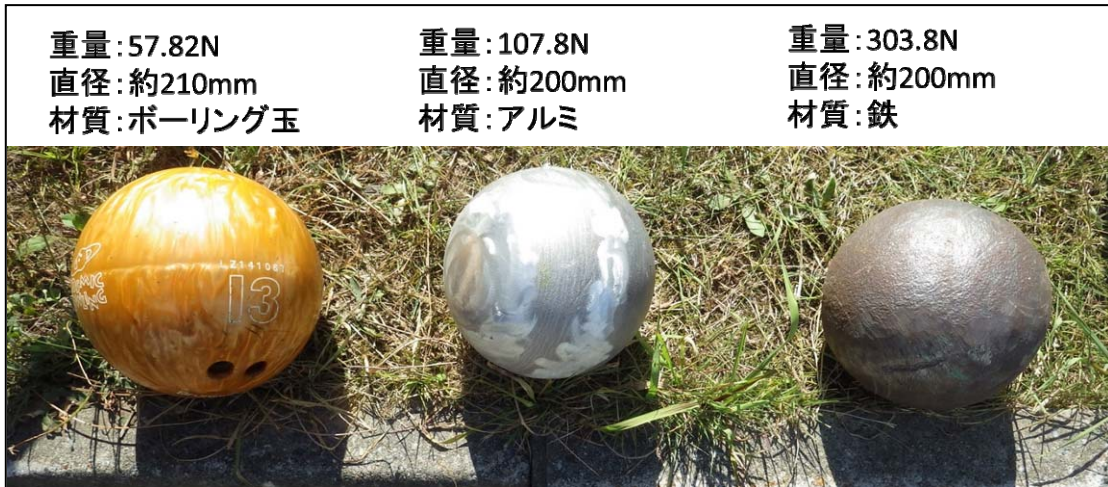


図-9 落石を模擬した試験用球体

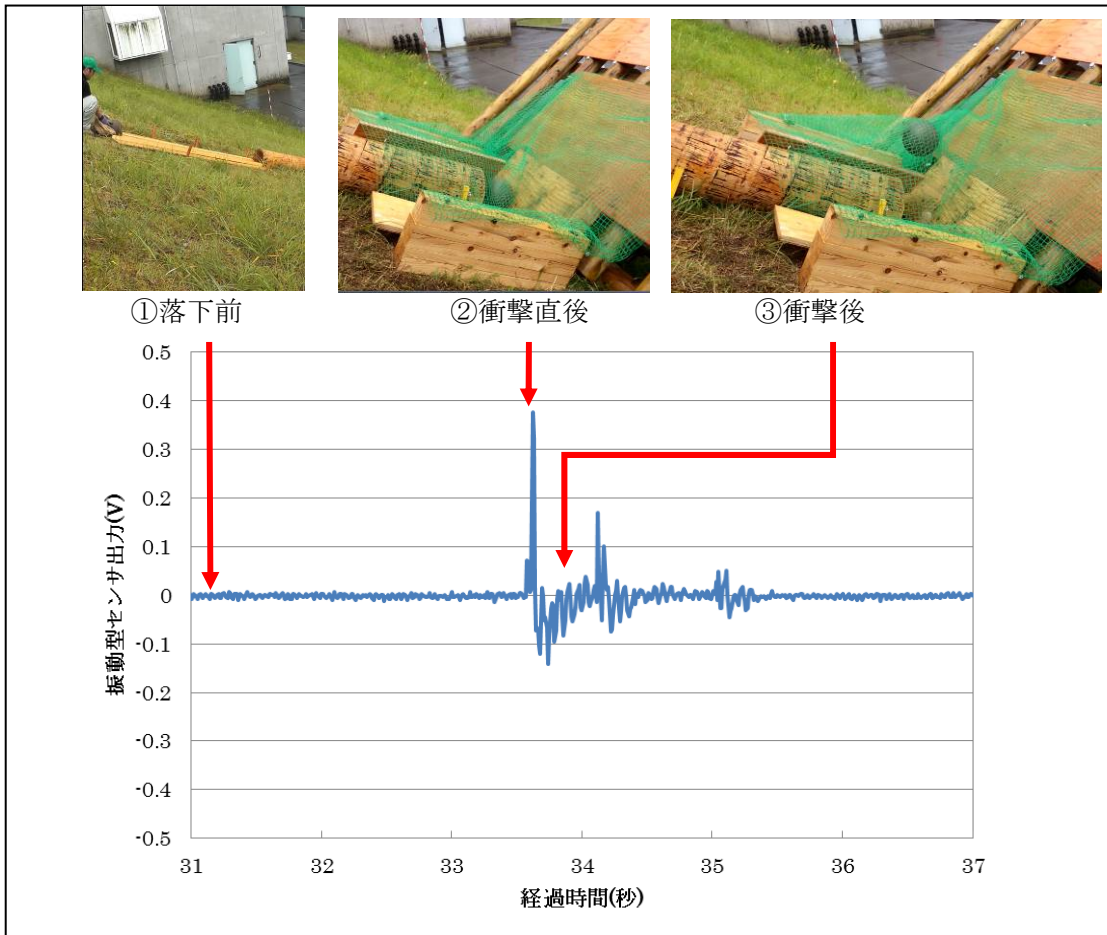


図-10 ボルト型振動センサーの出力値



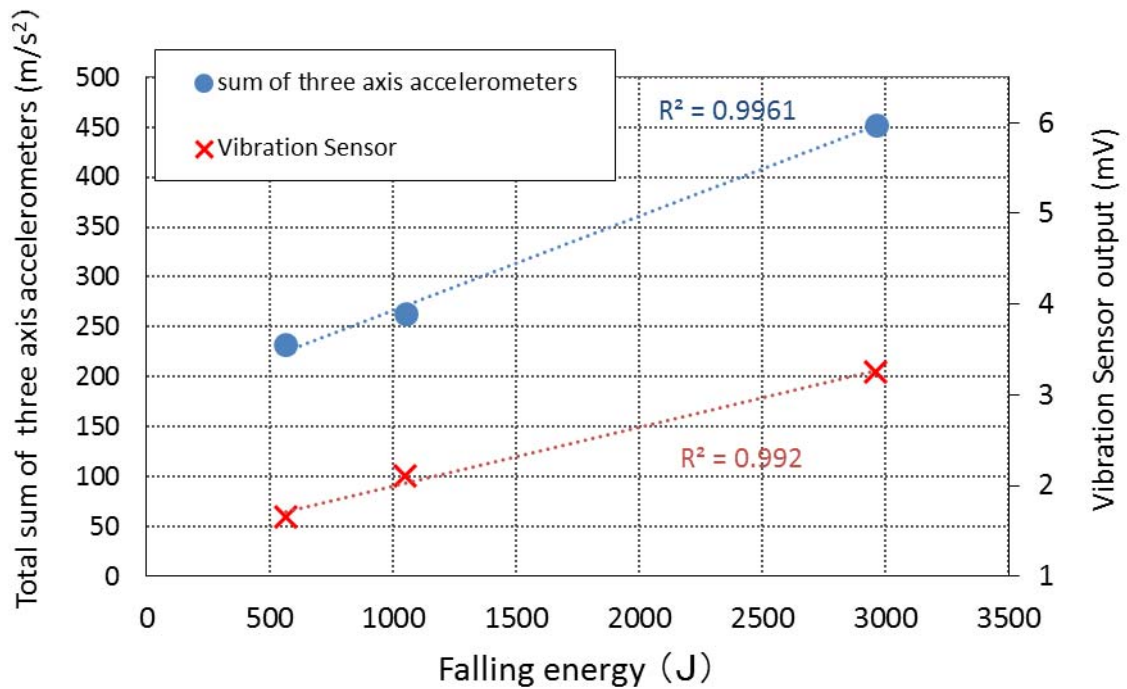


図-11 3方向加速度の和とボルト型振動センサの出力和の比較（平均値）

試験結果により、センサ出力と落下エネルギーに予想していた正の相関関係が認められる。研究所内の室内における評価試験の結果と同様に、簡便なボルト型振動センサで落石の危険度を識別・判定することが可能であるかを検証した。また、ボルト型振動センサと加速度計を用いた衝撃測定においては、高性能の加速度計の値と比べても、ボルト型振動センサの計測性能は劣らない結果が得られてた。

この結果からボルト型振動センサを用いた簡易計測技術は、計測用電源を必要としない利便性や安価な計測装置とし、耐久性にも優れ実用的なセンサであると思われる。

#### 2-4. 実証試験現場での積雪状況確認（能代市ニツ井）

実証試験現場の降雪状況において、計測柵への積雪深および計測柵への影響を確認した。評価の信頼性向上のために、積雪深をレーザー変位計を用いて計測できるようにセンサの追加設置を実施した（図-12）。

降雪期間（2017年12月～2018年2月）の積雪データを図-16に示す。なお、レーザー変位計を測定している観測機器において、一部電源不足により停止していた期間あるが、評価に影響が出る期間ではなく、現在は復帰して動作している。

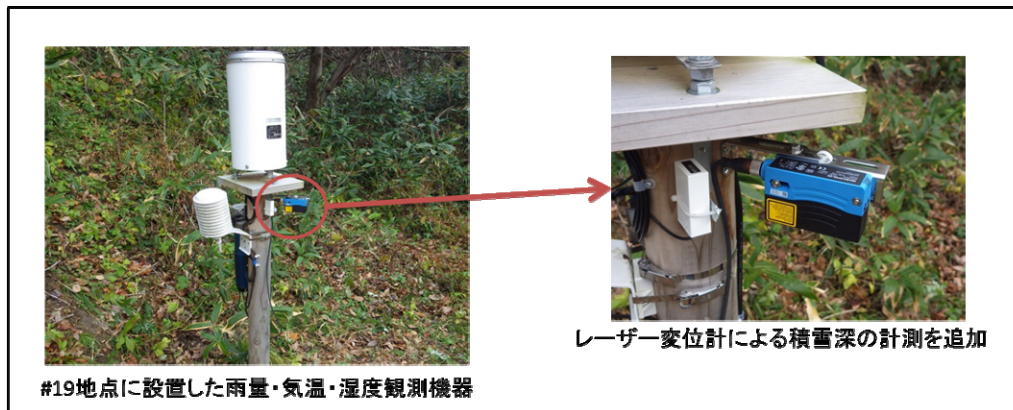


図-12 ニツ井に設置したレーザー変位計による積雪深計測

#### 2-5. 野外における検知システムの長期計測の信頼性評価と耐久性の評価

検知システムがバッテリーで長期間（約1年間）の観測が可能であることを検証した。確認は隔週で実施し、現地にて状況確認作業も実施している。実証試験現場における計測状況を図-13に示す。

検知システムからの測定データが、遠隔地のクラウドサーバーに送信され安定した運用が可能であることを確認することができた。野外に設置した状態で、計測柵および検知システムのボルト型振動センサ、リミット型変位センサの腐食や破損などの耐久性の評価を行い、長期計測に関する耐久性については問題のないことを確認した。

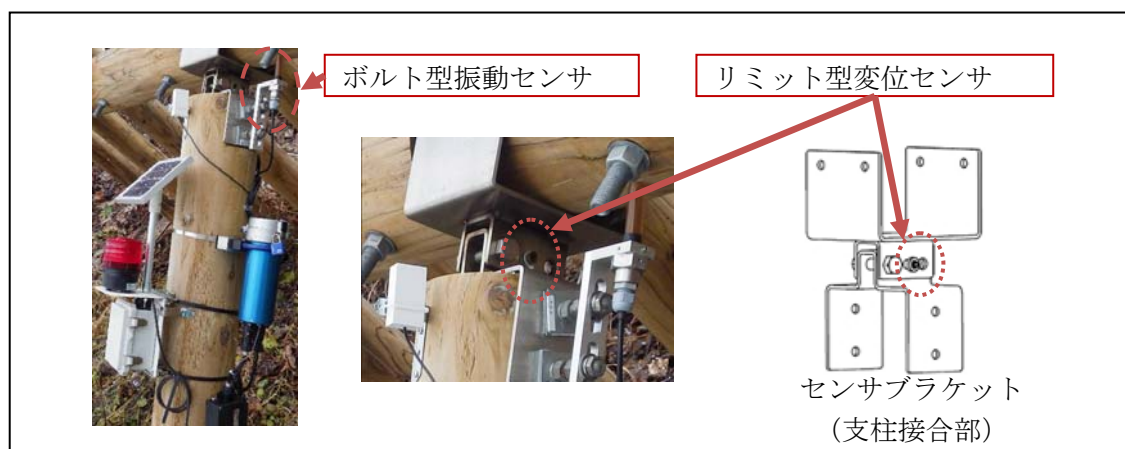


図-13 検知システムの状況

## 2-6. 計測データの確認およびその機能評価

実証試験現場にて約1年間の継続した計測を実施し、リファレンスセンサで得られた環境状況および計測柵の挙動と、測定データおよび検知結果との照合を実施した。実証試験現場の地点No. 5と地点No. 19の状況を図-14に、ボルト型振動センサの計測結果(2017年3月～2017年12月)を図-15に示す。2017年3月、4月、11月に信号が確認できるが、これらは、動作確認ならびにJSTサイトビジットの際における見学者向けのセンサ性能のテスト動作確認試験を実施したための計測信号である。



図-14 計測柵の状況写真 (2017年12月25日時点)

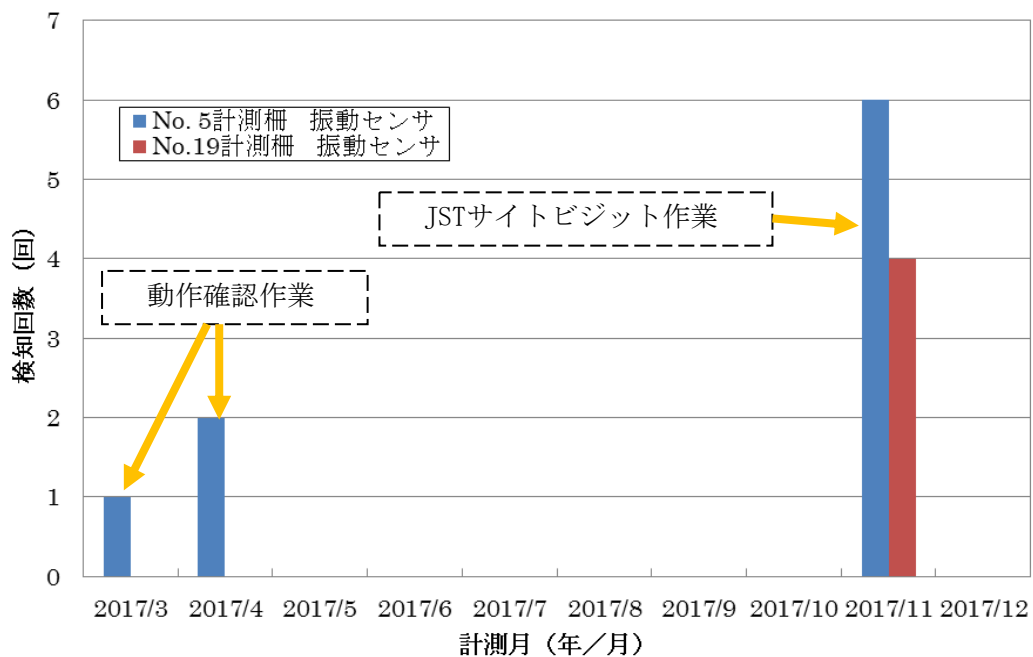


図-15 月毎の観測結果データ (2017年3月～2017年12月)

実証試験現場(No. 19)の冬季(2017年12月～2018年2月)のデータを図-16に示す。



図-16 2017年12月1日～2018年2月1日までの観測結果

リファレンス用の傾斜計の値から確認した結果、積雪深が深まるに従い、計測柵のX軸方向(斜面下方向)に0.1度程度の変形が認められた。しかしながら、ボルト型振動センサの出力値からは、変形による危険状態を示す出力は確認されておらず、かつ、現地における計測柵の定期目視調査においても雪崩や落石の痕跡は認められなかった。このことから、斜面は安定した状態にある事が証明されている。

## 2-7. 異常検出時の初動対応のシステム構築

計測システムは、一昨年より応用地質株式会社が提供するクラウド型災害試験システムと連携させている。このシステム図を図-17に示す。今年度は、異常通報を迅速に検知できるように遠隔警報装置を追加し、異常を検知した場合に直ちに災害支援システム上で状況が確認でき、災害初動対策が実施可能な計測システムである事を確認した(図-18)。

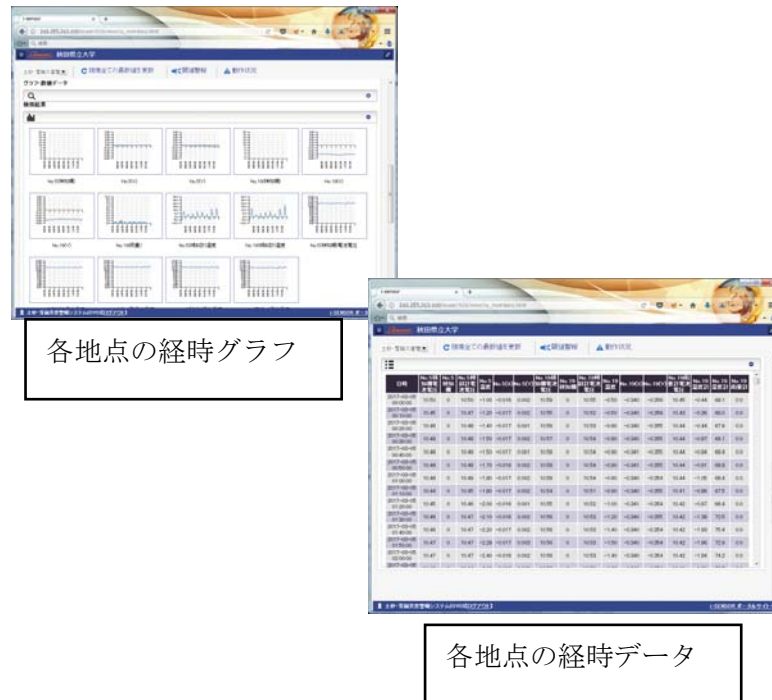


図-17 クラウドシステムの現況確認画面例

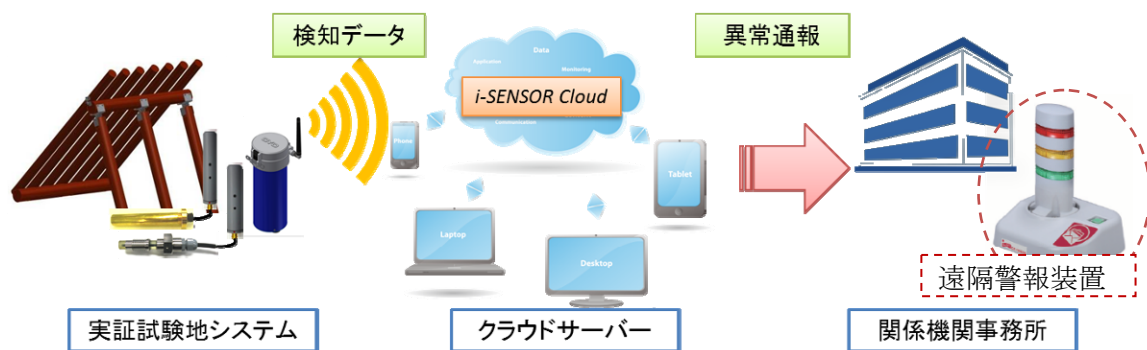


図-18 応用地質株が提供する災害支援システムとの連携確認状況

### 3. 実装成果の発表・発信状況、アウトリーチ活動等

#### 3-1. 展示会への出展等

・該当なし

#### 3-2. 研修会、講習会、観察会、懇談会、シンポジウム等

年月日	名称	場所	概要	ステークホルダー	社会的インパクト
H29.8.8 ~ H29.8.10	土砂・雪崩災害警報システムの野外実装試験	秋田県立大学 木材高度加工研究所	希望見学社1社。野外において、載荷実証試験および衝撃実証試験による特性評価	一般企業	
H29.11.22	土砂・雪崩災害警報システムのJSTサイトビジット報告会	秋田県立大学 木材高度加工研究所および実証試験現場	参加人数数十名。土砂・雪崩災害警報システムの中間報告および現場視察		

#### 3-3. 書籍、DVD

・該当なし

#### 3-4. ウェブサイトによる情報公開

・秋田県立大学ロボット工学研究室ホームページ  
<http://www.akita-pu.ac.jp/robotics/>

#### 3-5. 学会以外のシンポジウム等への招聘講演実施等

・該当なし

#### 3-6. 論文発表

(1) 国内誌 (  0  件)

(2) 国際誌 (  1  件)

・Nobuhiro Shimoi, Kazuhisa Nakasho, Carlos Cuadra, Masahiro Saijo and Hirokazu Madokoro, “Avalanche and Falling Rock Measurement Using Piezoelectric Dynamics and Static Sensors”, American Journal of Remote Sensing issued by Science Publishing Group. Vol.5, Issue.2, pp10-15 (2017.7)

#### 3-7. 口頭発表（国際学会発表及び主要な国内学会発表）

(1) 招待講演（国内会議  0  件、国際会議  0  件）

・該当なし

(2) 口頭発表 (国内会議 0 件、国際会議 3 件)

- ・ Nobuhiro SHIMOI, Calros CUADRA, Kazuhisa NAKASHO, Hirokazu MADOKORO, “Active image processing for wooden traditional structure using IR cameras”, The 14<sup>th</sup> International Workshop on Advanced Infrared Technology and Applications, (AITA2017), Canada Quebec, Sep.27-29 (2017)
- ・ Kazuhisa Nakasho, Carlos Cuadra, Hirokazu Madokoro, Nobuhiro Shimoi, “Infrared Thermography Applied for Robust Image Processing to Examine Historical Wooden Buildings”, The 14<sup>th</sup> International Workshop on Advanced Infrared Technology and Applications (AITA2017), Kanada, Quebec, Sep.27-29 (2017)
- ・ Hirokazu Madokoro, Kazuhito Sato, Kazuhisa Nakasho and Nobuhiro Shimoi, “Adaptive Learning Based Driving Episode Description on Category Maps”, 2017 International Joint Conference on Neural Networks, May 14-19, 2017 Anchorage, Alaska (2017)

(3) ポスター発表 (国内会議 1 件、国際会議 0 件)

- ・ 秋田県立大学本荘キャンパス オープンキャンパス研究室紹介 (H29. 7. 17)

**3-8. 新聞報道・投稿、受賞等**

(1) 新聞報道・投稿 (0 件)

- ・ 該当なし

(2) TV放映 (1 件)

- ・ テレビ東京, ミライダネ「介護現場を変えるセンサー技術」, (H29. 6. 24 22:52~22:57)

(3) 雑誌掲載 (1 件)

- ・ 下井信浩, クアドラ カルロス, 中正和久, 間所洋和「ピエゾセンサを用いた木造構造物の振動解析」, 超音波テクノ, 日本工業出版(株), Vol 29, No2. pp29-33 (2017. 4. 1)

(4) 受賞 (0 件)

- ・ 該当なし

**3-9. 知財出願**

- ・ 該当なし

### 3-10. その他特記事項

#### (1) 波及効果

\* 本計測システムの実用化に関する相談

エイデイケイ富士システム株式会社 七曲開発センター <http://www.adf.co.jp>

- ①土砂・雪崩警報システムの導入（仙北市玉川エリア）
- ②地域の林業組合員企業の活用（施行関連）
- ③エイデイケイによる地域発サービス確立の支援（システム販売及び自治体・民間向けデータ提供）