

令和 6 年 6 月 13 日現在

機関番号：32657

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2023

課題番号：19K11949

研究課題名（和文）直接クラウド通信機能を有するセンサ杭開発による持続可能な土砂崩落検知の実現

研究課題名（英文）A System of sustainable landslide detection by developing a sensor picket with direct communication function to cloud servers

研究代表者

岩井 将行（Iwai, Masayuki）

東京電機大学・未来科学部・教授

研究者番号：30458971

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：既存のフィールドセンサ基盤は中継器と安定電力供給を前提としており、長時間の無電源運用、低コスト運用、迅速な警報機能に欠ける。本研究では、大規模通信インフラ崩壊時にも災害情報を検知・把握するため、道路・沿岸部・山間部の地盤状況や水位変化を低コストで高精度に分析する手法を確立した。運用実験を繰り返し、高精細センサ内蔵杭を研究し、高信頼のモニタリングおよび警報システムを開発した。防災地域で住民が自ら設置・運用できる持続可能な高精度・低コストのセンシングシステムを開発し、気象情報に基づきセンシング周期を動的に調整することを可能とした。水位センサ情報を含む災害リスク情報の迅速な通知も可能とした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、山間部や沿岸部での従来の中継サーバや有線ケーブル設置に伴う高コスト・時間的制約を克服する新たなセンサ杭の手法を提案した。本手法による、学術的にはセンサ杭が直接携帯電話網に通信し、低コストかつ省電力でデータを即座に無線伝送する優位性を持つ。9軸センサや気圧センサを統合し、複雑な土壌動作を高精度に解析する点で独自性があり、既存のシンプルな加速度センサより観測能力を実現する。さらに予測データに基づく動的センシング周期の調整、センサデータの時系列解析による広域危険度把握、迅速な無線データ転送技術、そして危険度予想の迅速通知フレームワークを統合し、災害リスクの早期検知・通知を可能にした。

研究成果の概要（英文）：Existing field sensor infrastructure assumes a repeater and stable power supply and lacks long-term powerless operation, low-cost operation, and rapid warning functions. In this study, we established a low-cost, high-precision method for analyzing ground conditions and water level changes on roads, coastal areas, and mountainous areas in order to detect and understand disaster information even in the event of a large-scale communication infrastructure collapse. Through repeated operational experiments, we studied piles with built-in high-definition sensors and developed a highly reliable monitoring and warning system. Developed a sustainable, high-precision, low-cost sensing system that can be installed and operated by residents in disaster-prone areas, and dynamically adjust the sensing cycle based on weather information. The system also enables rapid notification of disaster risk information including water level sensor information.

研究分野：フィールドIoT

キーワード：防災センサネットワーク フィールドIoT 防災センサ LoRa Cat.M1 水位計測

1. 研究開始当初の背景

既存のフィールドセンサ基盤は中継器を設置し、安定的な電力供給を前提とする計測であり、長時間の無電源、警報の正確性と無線等の警報の迅速性を兼ね備えていない欠点がある。本研究では、大規模な通信インフラ崩壊時にも災害情報を検知・把握可能にするため、道路・沿岸部や山間部の地盤状況や水位の変化を低コストで高精度に分析する手法を確立する。さらに無線で素早く危険情報を無線伝播する機能を有した統合無線センサシステムを研究開発する。山間部や沿岸部をカバーした上流の災害の情報を正確、迅速に伝え得るセンシングネットワークを構築する。本研究成果は測量関係企業とも技術連携し運用可能となる段階まで実用化を進める。

小型かつ高精細なセンサ内蔵の杭を研究し、効率的且つ高信頼の安心安全なモニタリングおよび警報を出すシステムの研究を行う。本研究では防災地域で住民自ら設置や運用を可能とする高精度かつ低運用コストの持続可能なセンシングシステムとして学術的に新しい研究を行う実用化につなげる複合的なセンサの情報を組み合わせ、気象情報を基に動的にセンシングレート

を動的にデータ計測間隔、送信間隔を変化させ、異常状態を住民に伝えることを可能にする。さらに水位センサの情報を複数地点の危険地域において無線通信網を用いて送信し、遠隔の住民に迅速・確実に通信を行い情報共有のための危険度予想伝達や災害リスク情報を迅速に通知する。令和3年7月には伊豆山土砂災害において、静岡県熱海市伊豆山地区の逢初川で発生した大規模な土砂災害があったことが記憶に新しい。こちらは河川越水では盛土の崩落であるが水災害による上流の水に滞留や異常な流れはいち早く下流に居住域や新幹線などの重要なインフラに対して危険性を通達する必要があると考える。

住民が常に水位などを監視できるには IoT センサノードにより広範囲のセンシングが不可欠である。越水による氾濫検知のため、排水処理を妨げず、設置が容易である必要があり、小型で自律的に稼働するセンサを複数設置し可能な形態が求められる。リアルタイムで水位を住民が知ることで避難の指針としたり、避難経路としてリスクを表示するなどシステム構築が期待できる。我々は水位検知無線センサを内容した通信機能付きのセンサ杭を開発した。

2. 研究の目的

越水が始まったことを検知することができれば、早めに避難を始めることができ、人的被害を最小限に抑えることができる。そこで、本稿ではセンサ杭での越水検知システムを提案する。堤防などの堤防に杭を打ち込み、防水気圧センサを用いて水位を計測する。その計測値を LTE 回線でサーバに送信し、越水とそのレベルを検知、ユーザに知らせるシステムを開発した。この提案システムの評価の予備実験としての水位センシングの実験を行い、越水の検知及び水位状況の報告が行えることを確認した。

水検知の関連研究では、単純に2つの電極を用いて水によって短絡することで水を検知するものも存在する。これらはセンサ部分が直接水に接触するため、長期間の運用によって精度が劣化する懸念がある。また、水圧によって水位を計測する静水圧方式も存在するが、越水時には水流や大気圧による影響を補正する必要がある。ダムや河川の水位計測には、水面にフロート(浮き)を設置し、液体の浮力によって上下することで、水位を検知する方法が用いられている。この方式では設置のコストとメンテナンスが高い。以上のような、水に接触するセンサを越水時に適用すると、数値の誤差の恐れもある。超音波センサは防水加工することが難しいため、水没によって故障する。これを越水が起こりうる場所に設置した場合、氾濫によって水没する危険性があり、安定的に運用することは難しい。静電容量を計測することで水位を計測する方法は、非接触かつ安価に実装できるため、様々なものが提案されているが、タンクや配管等の容器の側面から水の動きが一定で安定した水面を計測するものがほとんどである。そのため、これを用いて越水時において水を検知するためには、検討の余地がある。我々は今まで、目立たず、かつ低コストで細やかに地下空間での氾濫を検知することを目指し、排水溝内での氾濫検知に静電容量方式の水位センサの適用を提案してきた。防水非接触型水検知無線センサノードを開発し、ノードに設置された銅テープ正面空間の静電容量が、水面との距離やその他の条件によってどのように変化するかを評価実験により確かめ、実験環境においてセンサから 8.80cm 以内の水面の距離を計測することが可能であるという結果を得たが大規模の急激な越水検知には測定距離の関係から不向きである

3. 研究の方法

本研究では、急激な越水検知に気圧センサ利用した水位計測を行い、更に堤防の崩壊予測に2つに深さの土中水分センサを使用する。入水方面に向けて土中水分センサを高低差つけて計測する。これにより堤防の崩壊の様子を正確に推定する。実際に越水したかどうかは、越水検知に気圧センサ利用した水位計測であり低コストなセンサとなっている。また通信部分は計測データをリアルタイム WioLTE を用いて AWS に送信している。

データ送信: 計測したデータは、WioLTE を使用して LTE 回線で Soracom を中継し Amazon Web Service へ MQTTs で送信される。送信されたデータは、DynamoDB に保存される。保存されるデ

ータは、空気中の気圧と水中の気圧、土中水分高、土中水分低である。それらの数値を AWSLambda で計算する。(図1)

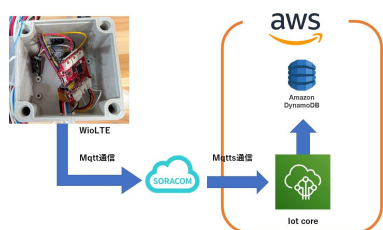


図1 データ送信のプロセス

本研究の提案システムの外観及び構成図をそれぞれ図2,図3に示す。センシングにはマイコンに WioLTE, センサに気圧センサ LPS33HW と DFRobot 社の土壌水分量センサ SEN0193 しており、電源として Li-ion バッテリ 5000mA の 2 並列と WioLTE への電力変換を行う DC/DC モジュールを用いている。図2 上部の灰色の箱に WioLTE 及びバッテリー等の給電系が収められており、その下部の杭部分に地表用気圧センサ及び 2 つの土壌水分センサを取り付けている。センサ杭に搭載する機能として、水位及び深さごとの土中水分量を測定する機能と取得したセンサデータを LTE 回線を通じてクラウドのデータベースへ一定間隔毎に送信する機能がある。これらの機能の実装方法として、まず水位の測定は、気圧センサ LPS33HW を 2 つ用いて行う。この気圧センサは、一方をセンサ杭上部の防水箱内に取り付け、もう一方はセンサ杭設置時に地表部となる位置に取り付ける。防水箱内の気圧センサは大気圧の値が測定され、地表部の気圧センサは、越水等が発生していない時は大気圧の値、発生時には大気圧に加えて堤防天端からの水圧値が測定される。
 $\rho = 1.0 \times 10^3 [\text{kg/m}^3]$, 重力加速度 $g = 9.8 [\text{m/s}^2]$ とすると、水位 10cm ごとに約 9.8hPa 増加する $p = \rho g h (1)$
したがって、越水時の水位は、防水箱内と地表部それぞれの気圧の差を求め、上記の式を用いて求めている。また、水密度と重力加速度は定数として計算している。
土壌水分量の測定は静電容量感知式の土壌水分量センサから求めている。土や水などに触れていない状態での出力値 sensemax を最大、水中に投入している状態での出力値 sensemin を最小とする。

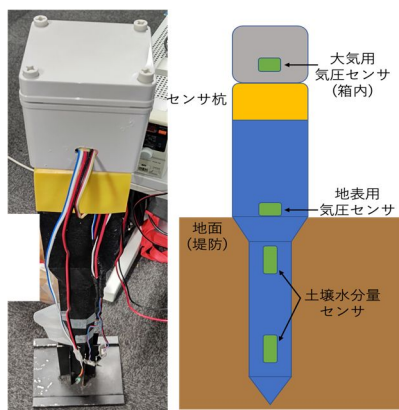


図2 水位センサ杭

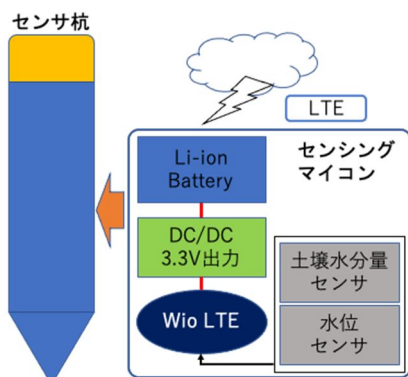


図3 システム構成

$$SoilMoisture[\%] = \frac{(x - sense\ max)}{(sense\ min - sense\ max)} \quad (2)$$

また、使用している土壌水分量センサの出力値は最大最小値含めて各センサごとに差があるため、それぞれ空気中と水中での値を事前に測定し、使用センサに合わせて上記の式の計算を行っている。今研究で使用したセンサの最大最小測定値を 1 に示す。

表 1 水分量センサ

センサ	最大値	最小値
地表部	628	428
地底部	541	370

これらのセンサデータ及び算出した値は WioLTE を用いて LTE 回線からクラウド上のデータベースにアクセス、送信することで保存を行っている。

河川越水を検知するリアルタイム水位検知杭の提案本研究の提案システムのブロック図を図 4 に示す。Li-ion バッテリは充電率によっておよそ 2.7 4.2V の出力であるため、WioLTE 及び各種センサの前に DC/DC である TPS61200 を用いた電圧変換を行い、3.3V を生成している。気圧センサ LPS33HW は I2C で WioLTE と通信を行うため、WioLTE の信号用接続ピンは 1 つとなる。土壌水分センサはアナログ信号を出力しているため、WioLTE では受信用に 2 つのピンを使用している。

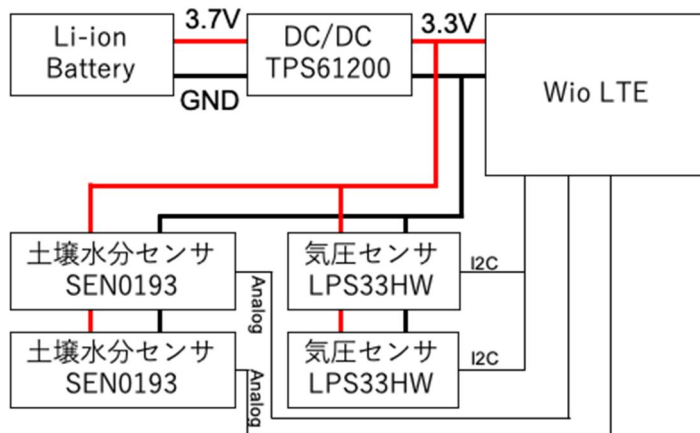


図 4 システム構成

4. 研究成果

実験装置 土中水分

今回の実験で使用する装置として水槽の長さ 60cm × 高さ 36cm × 奥行 30cm で検証をした。堤防と見立てるのが高さ 16cm × 長さ 45cm で越水の実験を行う。水槽にポンプで一定の水を流し込み川の越水を再現した。また、本研究は、最終的に杭の内部にデバイスを入れるため今回は、堤防天端に小さな杭を刺し裏のり面に水圧センサを装着させた。土中水分は設置個所の高低差つけて設置することで崩壊具合を計測できるようにした。実験装置を図 5 に示す。

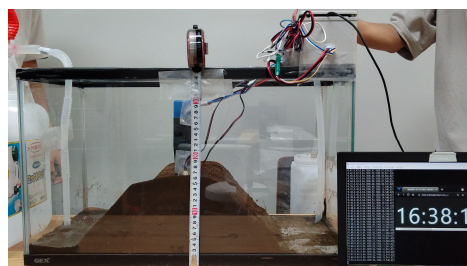


図 5 屋内実験環境

屋内実験方法

ポンプから一定の速度で入水を開始し越水を再現する。裏のり面側に来た水は、ポンプで吸い

上げ、水が蓄積させないようにする。実験は堤防が決壊するまで続け、データはクラウドを介さずリアルタイムで pc で記録する。

実験装置 気圧センサ 屋外実験では、大規模な越水実験を行い、越水を検知、どの程度越水が起こっているのかを実験する。ここでは、バッテリーで動作させ送信感覚を 1 分に 1 回に設定をした。屋外実験での設置風景を図 6 に示す。屋外実験方法この実験では、規模が大きいので、WiLTE と SIM カードを使用しインターネット通信を可能にした。データ送信には、SORACOM を中継しクラウド上のデータベースにリアルタイムで記録されるようにした。通信方式はデバイスから SORACOM までは MQTT でクラウドに送る際は、MQTTTS での送信になる。屋内実験では、土中水分の変位に注目して行っている。



図 6 屋外実験環境

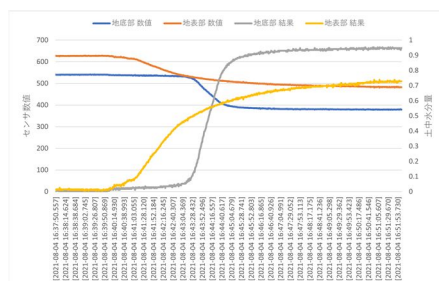


図 7 屋内での結果

結果は図 7 に示す。実験の際、地表部の土中水分に関しては、水が侵入していなかったのので、オレンジの部分が緩やかに変化している。しかし、地底部では、水が浸透してきているのが図の通りわかる。青い線が地底部の線だが、水が浸透してきたとたん急激に変化しているのが読み取れる。これにより堤防内部での固まった土が水を含むことにより崩壊の危険性が高くなり大規模な被害が起こる可能性がある。

屋外実験での評価: 屋外実験で気圧センサが記録したのを図 8 に示す。越水が開始した直後気圧センサーが急激な変化を表している。また、気圧センサは、単独測位の場合、気圧の変化を計算に含まなければ誤差を出してしまう。そのため計測では、気圧センサを 2 つ使用している。そうすることで気圧の変化に対して柔軟に対応することができるからだ。また、図の結果からも越水開始から継続され続けていても水位を測定を可能とした。

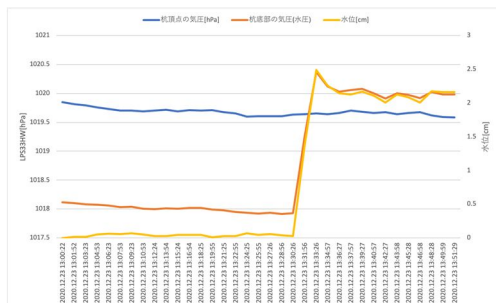


図 8 越水時の気圧センサ

実験結果として、土中水分の変位に関しては、水の浸透具合の差分がとることができたため、センサ部分の堤防が決壊した場合の検知も数値が即座に変位するため検知可能であると考えられる。別日に行われた越水実験では、水圧センサを取り付けた杭が越水時、約 10cm と記録されているためこちらの検知も想定通りの動作とデータをとることができた。今後は堤防決壊がどういった要因を土中水分と組み合わせる他の箇所のセンサと融合して検証するシステムやより省電力や発電式のセンサ杭を実環境で運用し検証していく。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計32件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 中村快・岩井将行
2. 発表標題 KanboT: 道路工事の区間情報を共有する自動マッピングIoT システム
3. 学会等名 情報処理学会 コンシューマ・デバイス&システム研究会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 成尾一征・岩井将行
2. 発表標題 河川水難事故未然防止に向けた救難ロープに後付け可能な投擲型水深測定デバイスと遠隔可視化システム
3. 学会等名 情報処理学会 コンシューマ・デバイス&システム研究会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 島田友憲・岩井将行
2. 発表標題 LoRa 通信を用いた複数の多方位紫外線計測デバイスによる UV Index の推定同時計測と紫外線危険度の可視化システム
3. 学会等名 情報処理学会 コンシューマ・デバイス&システム研究会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 島田友憲・岩井将行
2. 発表標題 LoRa 通信を用いた複数の多方位紫外線計測デバイスからのデータ収集とグラフ化システム
3. 学会等名 電子情報通信学会 ヒューマンプローブ研究会
4. 発表年 2022年～2023年

1. 発表者名 野田翔太郎・岩井将行
2. 発表標題 Teto:エッジAIカメラと振動デバイスを内蔵する歩行者向け安全IoTベストシステム
3. 学会等名 情報処理学会 第77回 コピキタスコンピューティングシステム研究会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 山田倫太郎・野口大輝・野中健一(立教大)・岩井将行
2. 発表標題 LoRaを利用した水田用水路向けの簡易遠隔水位監視システムの実証
3. 学会等名 SeMI センサネットワークとモバイルインテリジェンス研究専門委員会 (SeMI)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 新田一斗・岩井将行
2. 発表標題 小型のエッジAI ノードを利用したNode-REDサーバ経由Webブラウザによるリアルタイム位置検知システム
3. 学会等名 電子情報通信学会 研究会 センサネットワークとモバイルインテリジェンス研究専門委員会 (SeMI)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 飛塚大翔・岩井将行
2. 発表標題 RTK-GNSSとIMUセンサを内蔵する自己位置推定を用いた水位計測用IoTノードの研究
3. 学会等名 日本地理学会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 堀部咲歩・岩井将行
2. 発表標題 OpenCV AIカメラを用いた追突事故・巻き込み事故防止を目的とする自転車搭載型警告システム
3. 学会等名 ITS研究会 (ITS)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 島田友憲、岩井将行
2. 発表標題 LoRa通信を用いた複数方位および複数地点によるUV Indexの推定同時計測システムの検討
3. 学会等名 センサネットワークとモバイルインテリジェンス研究会 (SeMI) 2021年1月研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 ウラタ英寿、岩井将行
2. 発表標題 CO2センサとMinecraftを組み合わせた情報提供システムの提案
3. 学会等名 第73回ユビキタスコンピューティングシステム研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中村快, 岩井将行
2. 発表標題 道路工事情報共有のためのBLEビーコン立て看板の検討
3. 学会等名 情報処理学会第84回全国大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 成尾一征、岩井将行
2. 発表標題 機械学習を用いた白波検出による早瀬流域識別手法の検討
3. 学会等名 第26回ヒューマンプロブ研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 桑田司、岩井将行
2. 発表標題 位置情報及び高低差管理を目的としたGNSS信号のブラウザ解析ツール
3. 学会等名 第26回ヒューマンプロブ研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 立野倫太郎, 岩井 将行
2. 発表標題 ハイブリッド発電型のフィールドセンサ杭システム
3. 学会等名 情報処理学会 第73回ユビキタスコンピューティングシステム研究会 (UBI)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 桑田司, 立野倫太郎, 岩井将行
2. 発表標題 河川越水を検知するリアルタイム水位検知杭の提案
3. 学会等名 ユビキタスコンピューティングシステム (UBI)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 野口大輝・岩井将行
2. 発表標題 持続可能なリアルタイム環境・土壌情報を可能とするIoTプラットフォームの提案
3. 学会等名 第25回ヒューマンプローブ研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中村快,岩井将行
2. 発表標題 作業者の安全確保を目的としたM5StackとNode-Redを連携させたIoTシステムの提案
3. 学会等名 第25回ヒューマンプローブ研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 島田友憲, 渡邊慎一, 岩井将行
2. 発表標題 紫外線計測デバイス開発の小型化に向けた調査
3. 学会等名 第25回ヒューマンプローブ研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 岩井将行
2. 発表標題 実践的IoT・AI分野の動向:M5Stackについて中心に
3. 学会等名 SSILセミナー SSILと考えるシミュレーションファースト
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 伊東亮一, 渡邊慎一, 岩井将行
2. 発表標題 UV-Pub: 携帯網のMQTT通信を用いた紅斑紫外線量多方位同時計測用IoTシステム
3. 学会等名 センサネットワークとモバイルインテリジェンス研究専門委員会 (SeMI) 2020年11月研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 榎本泰矩, 岩井将行
2. 発表標題 複数地点の根の深さの土中水分量を同時に収集するハウス栽培向けフィールドIoTシステム
3. 学会等名 センサネットワークとモバイルインテリジェンス研究会 (SeMI) 2021年1月研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 秋元勇輝, 岩井将行
2. 発表標題 NFCを用いた登山者支援モバイルシステム
3. 学会等名 ヒューマンプローブ研究会 (HPB)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中村快, 野口大輝, 岩井将行
2. 発表標題 Node-REDを活用した地下作業員向けの安全統合管理システム
3. 学会等名 第69回UBI研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 成尾一征, 岩井将行
2. 発表標題 WAPS:水難事故被害抑止を目的とした水位による河川の危険エリア侵入の検知と通知システム
3. 学会等名 第68回UBI研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 伊東優輝, 岩井将行
2. 発表標題 安心安全を目的とした見守り監督者を支援するMR可視化システムの提案
3. 学会等名 インタラクシオン2020
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 立野倫太郎, 岩井将行
2. 発表標題 山間部での斜面監視を行うセンサ杭搭載型多方面ソーラー給電システムの提案
3. 学会等名 情報処理学会第65回UBI 研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 川東大輝, 岩井将行
2. 発表標題 持続的農業用UVセンシングに向けたI2CのLANケーブル拡張システム
3. 学会等名 電子情報通信学会第22回HPB研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 桑田司, 野口大輝, 岩井将行
2. 発表標題 RTK-GNSS を用いた盛り土の高さ変位実測システムの提案
3. 学会等名 電子情報通信学会センサネットワークとモバイルインテリジェンス研究専門委員会 (SeMI)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 林 晃輔, 岩井 将行
2. 発表標題 排水溝内での静電容量センサおよび距離センサによる内水氾濫検知システム
3. 学会等名 計測自動制御学会 計測部門スマートセンシングシステム部会 研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 岩井将行
2. 発表標題 情報・ユーザ情報に対応する新型センサノードを用いたエッジコンピューティング基盤およびクラウド連携
3. 学会等名 サイバーセキュリティシンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 米原宏郎・岩井将行
2. 発表標題 Line及びSlack間における即時情報共有システム
3. 学会等名 電子情報通信学会 HCGシンポジウム2019
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 岩井将行	4. 発行年 2020年
2. 出版社 リバネス	5. 総ページ数 2
3. 書名 中高生のための研究キャリア・サイエンス入門 2020. 夏号 vol.51 [サムワン]	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------