

技術紹介

2 静電容量型水位計を用いた浸水把握システムの開発

Development of an Inundation Monitoring System Using a Capacitive Water Level Sensor

早川 将太郎	Shotaro Hayakawa	商品開発センター
田村 博規	Hironori Tamura	商品開発センター 主任
松崎 政彦	Masahiko Matsusaki	商品開発センター 主任
市川 真太郎	Shintaro Ichikawa	商品開発センター 技術シニアマネージャー

キーワード: 静電容量センシング、IoT、浸水把握、防災

Keywords: Capacitive sensing, Internet of things, Flood monitoring, Disaster prevention

要 旨

近年、地球温暖化に伴う気候変動の影響により、豪雨をはじめとする異常気象の発生頻度が増加し、水害の激甚化が世界的な課題となっています。水害は社会インフラに深刻な被害を与えるだけでなく、人命に関わる災害でもあるため、発生状況を迅速に把握し、被害拡大を防ぐことが重要です。しかし実際には、判断材料となる現地情報の不足により、避難指示や交通規制などの防災対応が遅れる事例も報告されています。被害を最小限に抑えるためには、客観的かつリアルタイムな浸水情報を取得できる体制の構築が不可欠です。

そこで本研究では、当社が保有する静電容量計測技術を基に開発した低消費電力・現地調整不要の水位計を用い、浸水把握システムを構築しました。さらに、国土交通省が推進する「ワンコイン浸水センサ実証実験」に参画し、埼玉県伊奈町と連携して実運用における適用可能性を評価しました。本技報では、実証実験の概要とシステム構成、ならびに水位データ取得手法の工夫について報告します。

SUMMARY

In recent years, climate change associated with global warming has increased the frequency of extreme weather events, including heavy rain, escalating flood-related disasters worldwide. Flooding severely damages infrastructure and threatens human life, making rapid assessment of inundation conditions essential. However, disaster response measures such as evacuation orders and traffic control can be delayed by a lack of objective, real-time on-site information. Therefore, a system that provides objective, real-time inundation information is essential to mitigate damage.

In this study, we developed an inundation monitoring system using a low-power, calibration-free water level sensor based on proprietary capacitive sensing technology. The applicability of the system was evaluated through participation in a demonstration project promoted by the Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism of Japan, in collaboration with Ina Town, Saitama Prefecture. This paper presents the demonstration overview, system configuration, and water level data acquisition method.

1. はじめに

近年、地球温暖化に伴う気候変動の影響により、豪雨をはじめとした異常気象の発生頻度は増加傾向にあり、それに伴って水害の激甚化が世界的な課題となっています。¹⁾ 国土交通省の報告によれば、世界の平均気温の上昇に比例して異常気象の発生回数は増加しており、水害による被害額も年々拡大しています。²⁾ 水害は住宅や社会インフラへの被害にとどまらず、場合によっては人命を奪う深刻な災害であり、その被害をいかに早期に把握し、拡大を防ぐかが重要な課題となっています。

水害発生時には、自治体が現地の状況を的確に把握し、交通規制や避難指示などの防災対応を迅速に行うことが求められます。しかし実際には、判断に必要な情報が不足していることなどを理由に、対応が遅れてしまうケースも少なくありません。代表的な事例として、2015年9月に発生した関東・東北豪雨に伴う鬼怒川堤防決壊が挙げられます。この水害では茨城県常総市において2名の死者が発生し、県内全体の被害総額は4,014億円に上ったと報告されています。^{3) 4)}

この際、避難勧告・指示の発令が遅れた要因として、発令の判断基準となる想定状況や具体的な指標が十分に整備されていなかったこと、避難対象地域の判断において洪水ハザードマップが十分に活用されていなかったことなどが指摘されています。⁵⁾ すなわち、防災対応の判断に必要な客観的な材料が不足していたことが、迅速な対応を妨げた一因であったと考えられます。

避難指示は、住民が避難行動を開始するための重要な契機であり、その発令が遅れることで避難の機会を失い、取り残されるリスクが高まります。⁶⁾ 被害を最小限に抑えるためには、事前に明確な基準を定めることに加え、判断を支えるための現地情報を客観的かつリアルタイムに取得できる体制を構築することが不可欠です。

そこで本研究では、当社が保有する静電容量計測技術を応用して開発した水位計を用い、浸水状況をリアルタイムに把握するシステムを構築しました。本システムは、低消費電力で現地調整を必要としない水位計の特長を活かし、センサの扱いに不慣れな自治体職員でも短時間で設置可能であるとともに、乾電池駆動により電源環境に依存せず、長期運用時の電池交換頻度を低減できる設計としました。また、地形や構造物の影響により通信環境が十分に確保できない設置場所を想定し、設置自由度を高めるとともに通信の信頼性を向上させた送信機を開発しました。さらに、国土交通省が推進する「ワンコイン浸水センサ実証実験」に参画し、実運用での適用可能性を評価するため、埼玉県伊奈町を実証フィールドとして浸水把握システムを設置しました。

本技報では、ワンコイン浸水センサ実証実験の概要を示すとともに、構築した浸水把握システムの全体構成、ならびに水位計におけるデータ取得手法の工夫について報告します。

2. 浸水把握システムの構成

2.1 浸水把握システム

開発した浸水把握システムを図 1 に示します。本システムは水位計、水位データを LPWA (Low Power Wide Area) の一種である LoRa (Long Range) 通信で送信する送信機、データを受信するゲートウェイ、ならびにデータを集約・可視化するサーバおよび Web アプリケーションから構成されます。

省電力化を実現するため、本システムでは水位状態に応じてデータ送信間隔を切り替える制御を採用しています。具体的には、水位が 0 mm を超えた場合には 3 分間隔で水位データを送信し、水位が 0 mm 以下の場合には 1 時間間隔で送信します。これにより、平常時の消費電力を抑制しつつ、浸水発生時には高頻度での状況把握を可能としています。

ゲートウェイに集約された水位データは、携帯回線を介して当社サーバへ転送・蓄積されます。蓄積されたデータは、当社および国土交通省が提供する Web アプリケーションを通じて参照可能であり、関係者はリアルタイムに水位状況を確認できます。サーバでは、受信した水位データを時系列データとして管理し、Web クライアントでの表示や解析に適した形式で提供しています (図 2)。これにより、複数地点の水位変化を一元的に把握できる構成としています。

また、本システムでは、事前に設定した水位の閾値に達した際に、電子メールや LINE 等を用いて自動通知を行う機能を備えており、浸水発生時の迅速な初動対応を支援します。

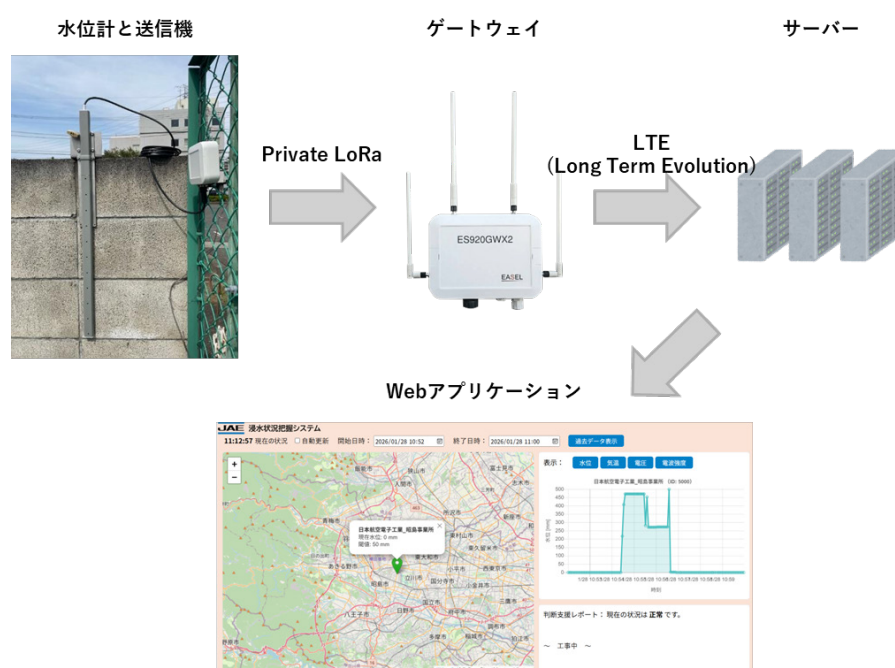


図 1. 浸水把握システムの構成

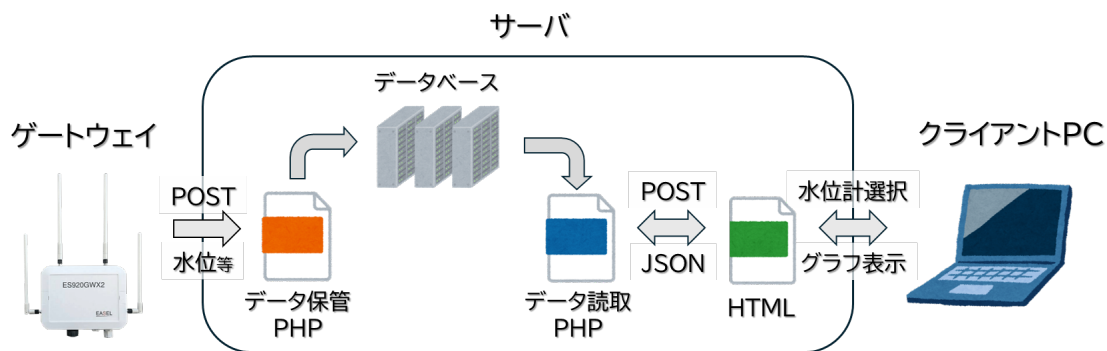


図 2. Web アプリケーションの構成

2.2 静電容量型水位計

本水位計は、当社が保有する静電容量計測技術を応用して開発したものです（図 3）。センサ素子と検出回路をプリント基板上に一体形成することにより、製造コストを抑えるとともに、低消費電力での動作を実現しています。これにより、広範囲のモニタリングおよび長期間の常設運用が求められる防災用途に適した構成となっています。さらに、気圧や温度などの影響を受けずキャリブレーションが不要であるため、現地において設置作業が簡素化できるという特長を有しています。したがって、専門業者に依存せず自治体職員による設置・運用を可能とし、過去の浸水履歴や地形条件に基づき監視対象の箇所を事前に選定することで、効率的な浸水状況の把握を実現しています。

一般的な静電容量式水位計では、温度変化や汚泥の付着などの外部環境要因によって誘電率が変動すると、検出精度が低下するという課題があります。また、検出分解能を高めるために電極数を増加させると、それに比例して配線数も増大し、寄生容量の増加や配線スペースの制約が生じることで、安定した検出が困難になるという問題も指摘されています。これらの課題に対し、当社の静電容量型水位計では、静電容量をアナログ量として直接扱うのではなく、電極間の容量の大小関係を二値化し、デジタル値として水位に換算する方式を採用しています。この方式により、静電容量検出回路の動作域を限定でき、外部環境の影響を受けにくい、安定した水位検出を可能としています。⁷⁾

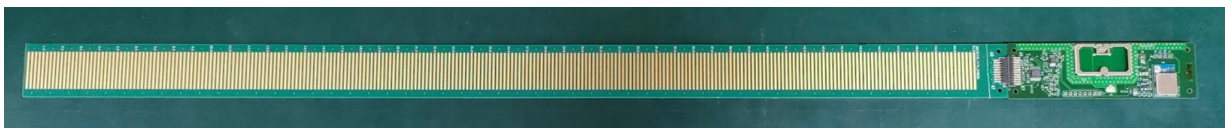


図 3. LoRa を搭載した水位計

2.3 送信機

送信機は、水位計が用水路や住宅街など、建物や構造物といった障害物の多い環境に設置されることを想定し、安定した無線通信を実現するために新たに開発しました。伊奈町において、町役場に設置されたゲートウェイから最も離れた町境までの距離は約 3.5 km であり、理論上は外付けアンテナ同士を用いた LoRa 通信により約 10 km 程度の通信が可能であることから、通信距離の観点では町全域をカバ

一できると考えられます。⁸⁾ また、使用する周波数帯は 920 MHz 帯であり、Bluetooth などの 2.4 GHz 帯と比較して回折性が高く、遠距離伝搬に有利です。しかし、LoRa を搭載した水位計は窪地など設置場所が固定されることや、周囲に障害物が多く存在することから、必ずしも安定した通信が確保できないケースが想定されました。

そこで本システムでは、水位計と無線通信部を分離し、通信環境の良好な場所に送信機を設置する構成としました。送信機には当社開発の小型アンテナを搭載することで、広域かつ安定した通信を実現しています。本アンテナは、当社が有する精密加工技術を活用し、SRR (Split Ring Resonator) を用いたアンテナ形状を最適化することで、扱いやすい表面実装部品でありながら、高効率かつ全方位に近い放射特性を有する構成としています。

また、水位計から送信機への通信には RS-485 による差動通信を採用しました。水位計の設置場所は浸水リスクに基づき限定される一方で、送信機は通信環境の良好な場所へ柔軟に配置する必要があるため、両者を接続するケーブルが長くなることが想定されます。このため、ノイズ耐性に優れた RS-485 を用いることで、長距離配線においても安定したデータ伝送を可能としました。

また、送信機は最大 2 台の水位計を接続可能な構成としており、複数の水位計データを 1 つの LoRa モジュールで集約して送信できます (図 4)。この構成により、必要な無線モジュール数を削減でき、システム全体のコスト低減にも寄与しています。

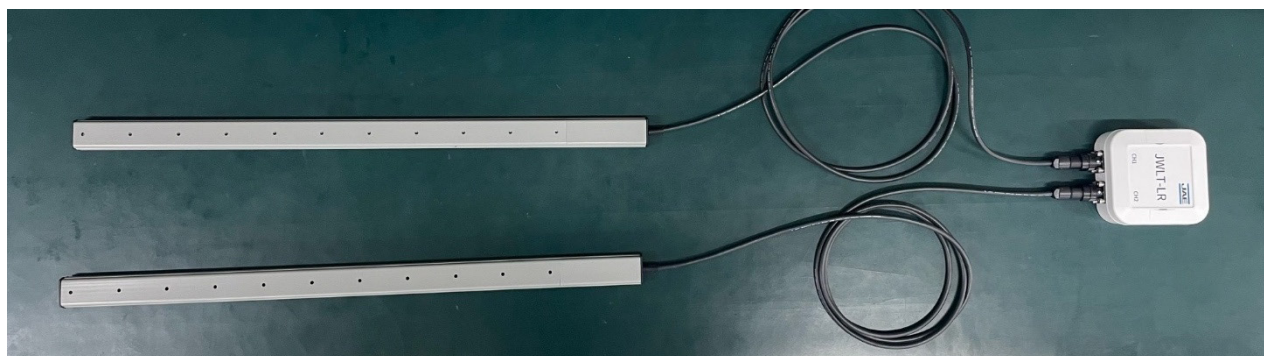


図 4. 水位計と送信機

3. ワンコイン浸水センサ実証実験の概要と伊奈町

豪雨の頻発や都市化の進展に伴い、内水氾濫を含む浸水被害が各地で顕在化しています。こうした状況を受け、国土交通省は、浸水発生時の状況を迅速かつ面的に把握することを目的として、「ワンコイン浸水センサ実証実験」を官民連携により推進しています。本実証実験は、低コスト・小型・長寿命といった特長を有する浸水センサを多数設置し、リアルタイムに浸水情報を収集・共有する仕組みの有効性および実運用性を検証するものです。自治体が地域の浸水リスクを踏まえて設置箇所を選定し、民間企業がセンサや通信技術の提供、システム構築・運用を担うことで、多地点・高密度な観測体制の実現を目指しています。⁹⁾

私たちは、当社が開発した静電容量型水位計の実運用に向けた初めての実証の場として、本実証実験

への参画を検討しました。その際、限られた人的・物的リソースの中でも安定した運用・保守が可能であることに加え、浸水状況を面的に把握でき、実証効果を評価しやすい地域であることを重視しました。

埼玉県中南部に位置する伊奈町は、都心から約 40 km 圏内にあり、面積 14.8 km²に対して約 44,000 人（2025 年 4 月時点）が居住する比較的人口密度の高い町です。伊奈町は大部分が大宮台地上に立地しますが、東の綾瀬川および西の原市沼川沿いには帯状の沖積低地が分布します。特に低地部では標高が相対的に低く、自然流下による排水が制約されるため、降雨時に雨水が滞留しやすく浸水が発生しやすい環境にあります。¹⁰⁾ 加えて、住宅地が広く分布し不浸透面が多いことから流出量が増加しやすく、浸水時の影響が拡大し得ます。実際に、平成 26 年から現在（2026 年 1 月時点）までに 13 回の浸水が記録されており、¹¹⁾ 浸水状況を早期に把握し、適切な防災対応につなげるための対策が継続的な課題となっていました。

このような伊奈町の地域特性と防災上の課題は、私たちが求めていた実証フィールドの条件と合致しており、浸水状況の可視化と防災対応力の向上を目指す伊奈町の目的とも一致しました。こうして 2025 年 4 月より当社は伊奈町と連携し、「ワンコイン浸水センサ実証実験」に参画するに至りました。現在、町内の 18 か所に設置した静電容量型水位計により（図 5）、浸水状況をリアルタイムで観測・把握できる体制を構築しています。本取り組みは、自治体による迅速な防災判断を支援するとともに、当社技術の実環境下での有効性を検証する重要な実証の場となっています。



図 5. 伊奈町での設置例

4. 取得データ

取得したデータの一例を図 6 に示します。図 6 は、2025 年 9 月 5 日に発生した台風 15 号接近時に、伊奈町内の小川に設置した水位計で観測された水位データを示したものです。本事例では、水位が溢水直前の水準まで上昇しました。図 6（右）中の赤線は警戒水位（100 mm）ならびに警戒解除水位（70 mm）を示しており、これらの閾値に達した際に LINE およびメールによる自動通知を行っています。当日は当該地域周辺で降雨が継続していたものの、水位が緩やかに減少傾向を示していたことから、天候状況と併せて総合的に判断し、現地での目視確認や通行止め等の対策は実施せず、通常体制を維持しました。本事例により、水位という客観的な観測データを判断材料として活用することで、夜間や悪天候時における現地確認作業を省略でき、担当職員の負担軽減につながることを確認されました。

しかし、現状の運用では、現場での判断が降雨の強さに対する感覚的な評価に依存する部分が大きく、水位と降雨量の関係性が十分に定量化されていません。そのため、判断基準にばらつきが生じる可能性があり、見落としや判断遅れによる事故につながるリスクも否定できません。そこで、今後は水位計に加えて雨量計を併用し、地域の降水量と水位をリアルタイムで同時に監視することで、両者の関係性をデータとして蓄積・解析することが重要であると考えています。オープンデータとして公開されている雨量データを利用した降雨量の推定は、広域的かつ比較的弱い降雨に対して一定の有効性があると考えられます。一方で、近年問題となっている局所的な集中豪雨に対して降水状況を正確に把握することは困難です。また、一般的に用いられている転倒ます型雨量計は、豪雨時に計測漏れが発生しやすいという課題を有しています。そこで航空電子技報 No.46 にて紹介した当社開発の雨量計を組み込むことで、強い降雨時においても高い追従性を有する雨量データの取得が可能となります。¹²⁾ 今後、雨量と水位の相関関係を明確にすることで、避難指示や通行規制を判断する際の定量的かつ客観的な根拠を提供でき、自治体の防災対応をより確実に支援できると考えています。

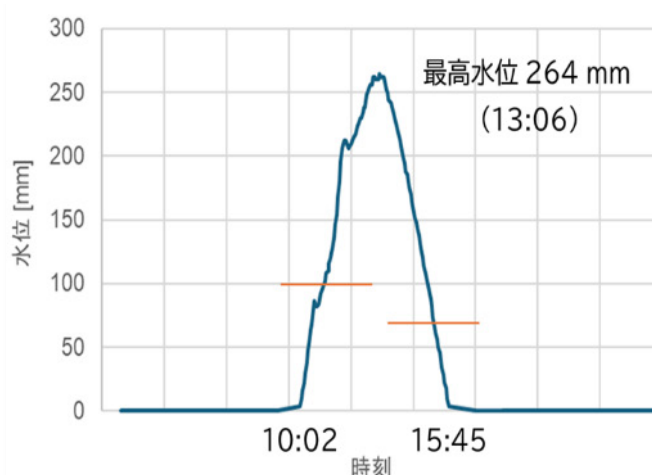
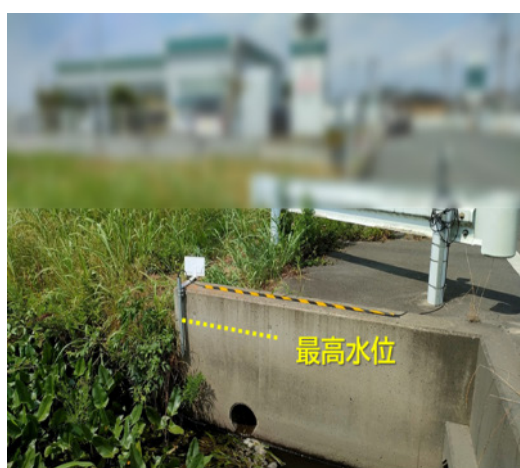


図 6. 台風 15 号時の伊奈町にある小川の水位

5. まとめと今後の展望

本稿では、国土交通省が推進するワンコイン浸水センサ実証実験の概要を示すとともに、伊奈町に導入した浸水把握システムの全体構成および、水位計におけるデータ取得手法の工夫について述べました。

実際に伊奈町において浸水把握システムを導入し継続的に運用を行った結果、防災対応の判断を支えるための現地情報を、客観的かつリアルタイムに取得できる体制を構築することができました。さらに、夜間や悪天候時の現地確認作業を省略でき、担当職員の負担軽減につながることも確認されました。

今後は、水位計に加えて雨量計を併用することで、水位あるいは浸水位と積算雨量を高精度に取得し、両者の関係性をより詳細に把握していく予定です。水位と雨量の相関関係を明確にすることで、浸水発生兆候を事前に捉えることが可能となり、避難指示や通行規制などの早期判断につながると考えられます。

6. 謝辞

本開発において浸水把握システムに関する実証実験に多大なご協力をいただきました伊奈町役場土木課の皆様に深く感謝申し上げます。

【参考文献】

- 1) 国土交通省, “序章 気候変動に伴う災害の激甚化・頻発化”, 国土交通白書 2022
- 2) 国土交通省, “1 年間の水害被害額の概要”, p. 1
- 3) 内閣府, “2015 年（平成 27 年） 関東・東北豪雨による災害”, p. 3
- 4) 国土交通省 関東地方整備局, “『平成 27 年 9 月 関東・東北豪雨』の 鬼怒川における洪水被害等について”, p. 9
- 5) 常総市水害対策検証委員会, “平成 27 年常総市鬼怒川水害対応に関する検証報告書”, p. 43
- 6) 総務省東北管区行政評価局, 東北大学災害科学国際研究所 准教授 佐藤翔輔, “洪水浸水想定区域内にお住まいの方の避難に関する意識調査”, p. 9
- 7) 早川 将太郎, 松崎 政彦, 田村 博規, 市川 真太郎, 航空電子技報 **47**, 8 (2025)
- 8) 株式会社 EASEL, “特定小電力無線モジュール ES920LR3 データシート Version 1.06”, p. 10
- 9) 国土交通省, “ワンコイン浸水センサ実証実験概要”, p. 1-3
- 10) 海津正倫, “3. 水害リスクを知ることのできる沖積低地の地形”, p. 1-3
- 11) 伊奈町危機管理課, “浸水記録（平成 26 年～）”, p. 1
- 12) 松崎 政彦, 田村 博規, 早川 将太郎, 市川真太郎, 航空電子技報 **46**, 7, (2024)