

Cat.M1 を用いた曇天時対応の発電型水路向けの低消費電力リアルタイム 遠隔水位監視 IoT ノードの広域実証

Wide-area demonstration of low-power real-time remote water level monitoring IoT node for power-generating canals in cloudy weather using Cat.M1

山田 倫太郎[†] 石田 卓也[‡] 野中 健一^{*†} 野中 直樹^{*‡} 岩井 将行[†]
Rintaro Yamada Takuya Ishida Kenichi Nonaka Naoki Nonaka Masayuki Iwai

1. はじめに

持続可能な生物資源の利用において、リンの適切な循環は欠かせない。昨今、適切なリン循環を考慮して最適な社会循環構造を構築することが急務とされている。リンの循環をトレースするためには、複数の農地で調査する必要があるが、農地内で変化する大量のデータをセンシングすることでコストが大きくなりやすい。また、遠隔環境下で調査を行うため、電力供給やメンテナンスが困難になり、現場の状態を認識しづらいという問題がある。そこで本研究では、曇天時の電力供給に対応しつつ、低消費電力で運用可能なリアルタイム水位監視 IoT ノードの広域実証を行う。特に、通信の不確実性を克服するために、Soracom Harvest を用いた Cat.M1 通信網を採用している。これにより、遠隔地からでも安定したデータ送信が可能となり、メンテナンスの手間を大幅に軽減できる。このシステムは、発電型水路に設置される超音波センサや気温センサを用いて水位と気温を計測し、Cat.M1 通信を通じてデータをリアルタイムで送信する。また、データは Soracom Harvest プラットフォームに集約され、効率的なデータ管理と解析が可能となる。

本論文では、システムの設計および実装、実証実験の結果、そして通信の安定性と省電力性能について詳細に報告する。これにより、農業および水資源管理分野における IoT 技術の新たな可能性を示し、持続可能な資源管理の実現に寄与することを目的とする。

2. 関連研究

Zhang ら[1]はブドウ畑に設置された環境、植物、土壌の 3 つのセンサグループを LoRaWAN プロトコルで接続し、水の状態をリアルタイムで監視するシステムを開発した。結果として、データ通信の連続性が確認され、WiFi や Bluetooth と比べてコストと通信範囲の優位性が示された。これにより、遠隔地での持続可能な水資源管理が可能となった。しかし、LoRaWAN はゲートウェイの設置場所に制約があり、通信環境に依存するため、特に遠隔地や高台にゲートウェイの設置が厳しい場所では通信の不確実性が課題となる。

Aijaz ら[2]は IoT アプリケーションのための Cat.-M1 ベースシステムの制御パスにおける電力消費の詳細な解析を行った。結果として、Cat.-M1 の低消費電力特性と広域カバレッジが、遠隔監視システムにおいて効果的であることが示された。

これに基づき、本研究は Cat.M1 を用いた曇天時対応のソーラー発電型水路向けの低消費電力リアルタイム遠隔水位監視 IoT ノードの広域実証を行う。Cat.M1 は、既存の

LTE ネットワークを活用するため、追加のインフラ整備が不要であり、広範囲で安定した通信が可能である。また、電力消費が少なく、ソーラー発電により農業シーズン中に一度もバッテリー交換が必要ないため、運用コストの削減が期待できる。これにより、より効率的で持続可能な水資源管理が実現される。

3. Cat.M1 を用いたシステム開発

Cat.M1 を用いた曇天時対応のソーラー発電型水路向けの低消費電力リアルタイム遠隔水位監視システムを開発する。以下に主要な構成要素とその役割について記述する。

3.1.1 ハードウェア構成

マイコンには xiaoC3 を使用し、xiao の拡張ボード (Expansion Board Base for XIAO) に接続することでセンサデータの収集と処理を行う。通信には M5Stamp SIM7080G 搭載の Cat.-M モジュールを使用し、データはリアルタイムで Soracom Harvest プラットフォームに送信される。これにより、遠隔地からのデータ監視と管理が可能となる。

ソーラーパネルは Elecrow PS0306MGE を採用し、曇天時にも効率的な発電を実現するため、CN3791 MPPT Solar Panel Regulator Controller Module を使用して電力管理を行う。リチウムイオンポリマー電池 (3.7V 2400mAh) は、システムの稼働を支える主要電源として機能し、農業シーズン中に一度もバッテリー交換が必要ない設計となっている。また、xiaoC3 には Deep Sleep 機能が組み込まれ、NchMOSFET トランジスタを用いて Deep Sleep 時の無駄な電力流出を防ぐ。水位センサには DFRobot 社[3]の A02YYUW Waterproof Ultrasonic Sensor を使用し、正確な水位データを収集する。

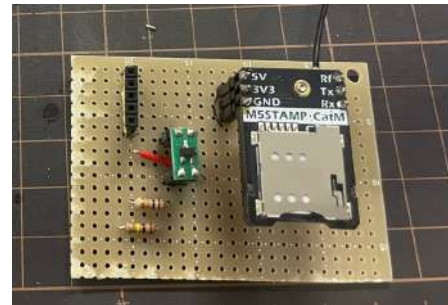


図 1 作成した回路基板

[†] 東京電機大学大学院

Tokyo Denki University

[‡] 広島大学

Hiroshima University

^{*} 立教大学

Rikkyo University

^{**} プランクユニッツ (株)

PlanckUnits

3.1.2 ソフトウェア構成

ソフトウェアは、センサデータの収集、処理、通信を統合する形で設計されている。xiaoC3 上で動作するプログラムは、センサからのデータをリアルタイムで収集し、必要なデータ処理を行った後、Cat-M1 通信モジュールを通じてデータを Soracom Harvest に送信する。データ送信は 1 時間に一回の頻度で行われる。

4. 実証実験と評価

本システムの実証実験は、以下の場所と期間で実施された。

4.1.1 実証

岐阜県恵那市串原

- 期間: 2024 年 5 月 7 日 11:30 から 2024 年 6 月 14 日現在までの 38 日間
- 設置センサノード数: 2 台

岐阜県中津川市付知:

- 期間: 2024 年 6 月 10 日 10:50 から 2024 年 6 月 14 日現在までの 4 日間
- 設置センサノード数: 4 台



図 2 設置現場の様子

4.1.2 検証

各センサノードは、定期的に水位データを収集し、リアルタイムでデータ送信を確認した[図 3]



図 3 Soracom Harvest

恵那市串原では実験期間中に日照時間が 3 時間未満の日が 9 日あったが、データ欠損は一度も発生しなかった。これにより、システムの安定性、電力消費効率、通信の信頼性が評価された。

中津川市付知町は 1 つの機材でデータ送信率が 96% となった。これは、バッテリーをフル充電してから設置を行うまで 1 か月以上屋内で放置されていたことが原因であると考えられる。バッテリーの最終充電時間から初期稼働時ま

で時間が空いた場合でも動作を保証することが今後の課題である。

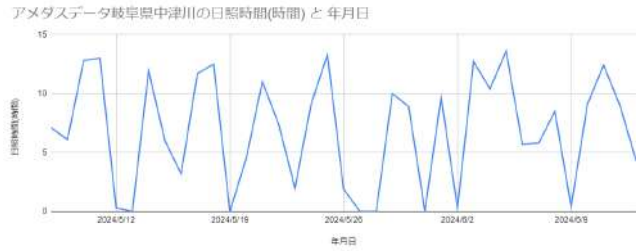


図 4 中津川市の日照時間

5. おわりに

本研究では、Cat.M1 を用いた曇天時対応のソーラー発電型水路向け低消費電力リアルタイム遠隔水位監視システムの開発と実証を行った。実証実験は岐阜県恵那市串原および岐阜県中津川市付知にて行われ、両地点でのデータ収集と送信が安定して行われたことが確認された。特に、日照時間が 3 時間未満の日が 9 日間あったにもかかわらず、データ欠損は一度も発生しなかった。

本システムは、低消費電力設計と Cat.M1 通信の特性を活かし、遠隔地でも安定したデータ通信を実現した。また、ソーラー発電により農業シーズン中に一度もバッテリー交換が必要ないことが確認され、運用コストの削減にも成功した。これにより、持続可能な水資源管理が実現可能であることが示された。

本研究のハードウェア構成は LoRa 通信にも応用可能であり、臨機応変に通信方式を変更することが重要である。今後の課題としては、更なる長期間の実証実験を通じてシステムの長期的な安定性と信頼性の検証を行い、他地域や他用途への応用可能性を探ることが挙げられる。これにより、農業や水資源管理のみならず、他分野への IoT 技術の応用が期待される。

謝辞

本研究は、JSPS 科研費 19K11949 および 21H04381 「リンの物質循環からとらえる地域循環共生の統合的研究」の助成を受けたものです。岐阜県中津川市議会議員三浦八郎氏と付知町の皆様のご協力に深く感謝いたします。

参考文献

- [1] H. Zhang, L. He, F.D. Gioia, "A LoRaWAN IoT System for Smart Agriculture for Vine Water Status Determination", *Agriculture*, Vol. 12, No. 10 (2022)
- [2] S. A. Aijaz, B. T. Shareef, S. H. Ahmed, "Critical power analysis for control path of a CAT-M based system for IoT applications", *IEEE Transactions on Green Communications and Networking*, Vol. 4, No. 2 (2020)