Vol.2020-CDS-29 No.7
2020/12/4

Sigfox 通信を用いた水田水位監視システムの構築および実証

西垣一馬 [1]　松井加奈絵 [1]

概要：中山間地域には日本の伝統的風景を形成する要因のひとつである棚田が存在するが，その地形的特徴や農業従事者の高齢化によって稲作の存続が困難な状態になっている．そこで，本研究では稲作における作業時間の 3 割を占める水管理に注目し，Sigfox　通信を用いた，水管理の省力化を目指した水田水位監視システムを提案した．また，特徴として高齢農家においても利用可能なシステムデザインを実施し，提案のシステムの可用性の検証のため長野県北安曇郡小谷村にて実証実験を行った．結果，定量的定性的評価において一定の評価を受けた．

キーワード：農業 IoT，水管理，省力化，棚田，Sigfox

Design of water level monitoring system in paddy fields with Sigfox communication

KAZUMA NISHIGAKI[†1]　KANAE MATSUI[†1]

Abstract: Rice terraces, which are one of the factors that form the traditional landscape of Japan, exist in the hilly and mountainous areas, but due to their topographical features and the aging of agricultural workers, it is difficult for rice cultivation to survive. Therefore, in this study, we focused on water management, which occupies about 60% of the working time in rice cultivation and proposed a paddy field water level monitoring system aiming at labor saving in water management using Sigfox communication. In addition, we implemented a system design that can be used by elderly farmers, and conducted an experiment in Otari Village, Nagano Prefecture to verify the availability of the proposed system. As a result, we received a certain evaluation in the quantitative and qualitative evaluation.

Keywords: Agricultural IoT, Water Management in paddy field，Lavor saving, Rice terraces，Sigfox

1. はじめに

農業 IoT 分野においてネットワーク，ハードウェア，ソフトウェア，それぞれの技術革新が進み，省力化，自動化を目的とした様々なアプリケーションの研究，実用化が進められている．本分野において，専業農家，兼業農家においては投資額,また技術における要求要件が大きく異なる．また，育成環境においても適応可能な技術が異なることから，農業体制，環境における要求要件を満たしたシステムが必要となる．

このような背景において，本研究では棚田における兼業農家の水管理の省力化に着目した．棚田は日本の里山の風景を現すものとして景観価値があるだけでなく，灌漑地とるなど防災として機能するため地域における重要な資源である一方，舗装等が困難であることや平面でないことから大規模農業が難しく，耕作放棄地になりやすい土地である[1]．このような現象は棚田を抱える中山間地域で起きており，本研究では投資が行いにくい棚田における稲作の省力化を目指し，低コストかつ高齢農家が利用可能な IoT ベースの水位監視システムを提案する．水管理は稲育成時の農作業の 3 割を占めており，この点の省力化を図ることで，負担からの開放を目指した．

また提案のシステムを，棚田を持つ中山間地域である長野県北安曇郡小谷村の 3 農家に設置し，システムの有用性を定量的，定性的評価によって検証した．

2. 関連製品

本章では，農業 IoT 分野における稲作における水管理システム，アプリケーションについて述べる．

2.1 PaddyWatch

本製品は株式会社ベジタリアが販売している水田における水位センサを兼ね備えた，水稲栽培に必要な水位，水温を自動計測するシステムである[2]．本製品は水位の状態を Web ページで提供することで，農業従事者の水の見回り回数，見回りに必要な時間の削減を目的としている．また，適切な水管理するために必要な機能を有しており，データ解析における追加機能を購入することができる．ネットワークは NTT ドコモ社の SIM を利用している．また，センサ部においては水位，水温の計測，またオプションで他のデータの取得が可能となっている．Web アプリケーションではデータが見える他，育成に必要な情報提供がなされている．PaddyWatch，PW-2300，PW-2400 といった 2 シリー

1 東京電機大学
Tokyo Denki University

ⓒ2020 Information Processing Society of Japan

ズを展開しており，2020 年 11 月 10 日現在，標準コンテンツ 月額基本料金（利用期間のみ）として 1,980 円（消費税別）である．

2.2 paditch gate 02+

本製品は，株式会社笑農和が提供している水管理における水門の管理のリアルタイム遠隔制御を実現する製品である[3]．本製品では，水位調整機能を有しており，予め水位や時間を設定し、自動で開閉を行うこともできる．センサ部では圃場の水位，水温を計測し，利用者が水門の開閉を行うべきか判断しながら水管理を行うことが可能となる．水管理においては水位，水温といったデータから水門を開け新たに水を水田に入れることで水位を上げ水温を下げるか，水門を閉じ水位を下げることで水位を下げ水温を挙げるか，といった判断および行為が必要となる．本製品ではその点を遠隔操作，自動化することで，水管理における省力化を図っている．2020 年 11 月 10 日現在，オンラインストアの価格として，160,000 円（消費税別）が提示されている．

2.3 本研究のポジション

このように，稲作における水管理を対象とした製品は広がりを見せており，実際の現場に導入されつつある．特に，PaddyWatch は本研究の目的である IoT 技術を用いた水管理，NTT ドコモ社のネットワークしており，また山間部でも比較的電波が安定しているとあり，本研究が対象としている中山間地域においても安定稼働が期待される．また，paditch gate 02+においては，水位計測後に必要な水管理までを遠隔操作，自動化も可能であり，水管理を離れた場所から実施可能なサービスが提供されている．これらは後述に述べる，ヒアリングから判明した棚田の農業従事者が抱える問題を解決することが可能である．このような背景において，本研究の新規性として対象者の属性に着目した点を挙げる．

稲作における農業人口は年々現象しており，かつ高齢化が進んでいる[4]．上述にあるように，棚田は中山間地域に多く存在し，農耕地としてはひとつの水田における面積は大きくないため，大規模な収穫量が見込めない．また，立地としては整備された車道に面していない場合があるため，農業機械を入れにくいなどの立地的な不利益が存在する[5]．しかしながら，棚田には様々な機能があり，中山間地域における土地利用観点における持続可能性を鑑みると，棚田における水田を守るために，省力化，自動化技術を取り入れることは重要な施策となると考えられる．棚田を耕作地として存続させるためには，その担い手に着目し，担い手の属性に合わせたシステムが必要であると考えた．

棚田の担い手は農業人口と同じく高齢化が進んでおり[4]，農業 IoT のシステムの多くは，水位・水温といったデータから水位管理における判断を行うための情報提供部分は Web アプリケーションとなる．しなしながら，高齢者にとって，Web アプリケーションは日常的に使用するツールではない場合が多く，提供するサービスを使いこなせないといったギャップが存在する．本研究では，情報提供箇所において事前に実施した内容を反映させ，カスタマイズし提供した．以下，提案のシステムについて説明する．

3. 提案のシステム

提案のシステムでは，本研究の実証実験自治体である長野県北安曇郡小谷村のネットワーク環境，また棚田における農業従事者の特性を反映した．以下，システム概要を示した後，ネットワーク，ハードウェア，ソフトウェア別に詳細を述べる．

3.1 システム概要

図 1 に，本研究の目指す世界を示す．また以下，本システムを構成するための技術をネットワーク，ハードウェア，ソフトウェアに分けて示した．本提案の水田水位監視システムは，中山間地域における棚田を図 1 に本システムの概要図を示す．

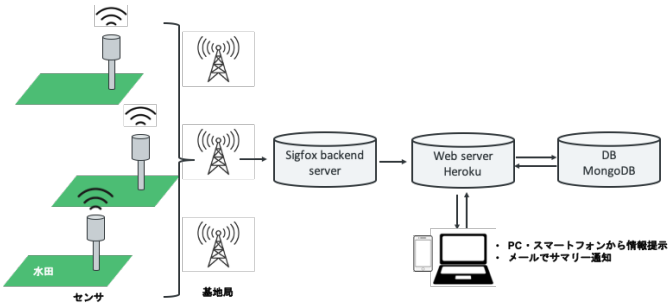


図 1 概要図
Figure 1 Overview.

図に示した，データ計測から情報提供までの流れを説明する．まず，水田における水位計測を行うデバイスは Sigfox との通信モジュールを内蔵しており，指定した時間間隔でデータを送信する．次にデータは Sigfox Backend Server に送信され，本サーバーから本研究におけるデータサーバーに送信される．Web アプリケーションのために用意した Web アプリケーションサーバーと本データサーバーが通信し，各ユーザに対してデータの見える化を提供する Web ページを提供する他，指定された E-mail アドレスに対し，計測データのサマリー情報を送信する．

以下，本システムを構成するための技術であるネットワーク，ハードウェア，ソフトウェアにおける詳細を述べる．

3.2 ネットワーク

ネットワークとして，実証実験協力自治体が整備済みの Sigfox を採用した．Sigfox は，LPWA（Low Power Wide Area）の規格のひとつであり，低価格，低消費電力，長距離伝送を特長としたグローバル IoT ネットワークである[6]．本ネ

ットワークの 920MHz 近辺の周波数帯を利用し，端末から基地局への上り通信は 100bps，下り通信は 600bps 程度の速度である．また，一度の通信で送信できるデータ容量は最大 12 バイトまで， 1 日の通信回数の上限が決まっており，上りが 140 回，下りは 4 回までと制限がある．

計測部にてデータ選定の詳細を述べるが，今回は表 1 のデータを取得し，ハードウェアより Sigfox Backend Server に送信するデータのペイロードを図 2 の形式とした．また，表 3 に各データの詳細をまとめた．

表 1　取得データ種類一覧

Table 1　A list of collected data.

名前	内容
水位 1	6 段階（間隔 3cm～ 5cm）
水位 2	0.5cm（最大 12cm）
水温	水田水温（℃）
気温	地面から約 1.2m 位置の気温（℃）
湿度	基板上の湿度（%）
大気圧	（hPa）
基板温度	基板温度（℃）
照度	0～255 段階照度
内部動作電圧	（V）

Byte index	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	気温		水温	基盤温度	照度	電圧	気圧		温度	水位	水位	ー

図 2　ペイロード

Figure 2　Payload.

3.3 ハードウェア

本節では，水田に設置するネットワーク対応水位計測デバイスについて，計測部，送信部，電源部について記述する．図 2 に各部のつながり，およびその部が使用する基板を示したブロックダイアグラムを示す．

ハードウェアはデータ通信部，計測部，動力部に分かれており，計測部は主に水位データと気温や湿度等の環境データの計測を行う．以下，詳細を述べる．

通信部

通信部の詳細について述べる．通信部は，制御，演算を行う Arduino をメイン基板とし，送信を行う Sigfox シールド，および電源部の制御を行うオリジナル基板で構成されている．通信部の役割は，計測部からアナログ値，および I2C 通信で得た 9 種類のデータ（表 1）を Sigfox Backend Server に送信することにある．送信部には Sigfox ネットワークに接続可能な Sigfox モジュールが接続されており，制御部にて指定した送信タイミングおよび送信間隔にて，データ Sigfox Backend Server にデータ送信を行う．表 2 に測定項目の詳細と Sigfox ペイロード各測定項目の詳細を示す．

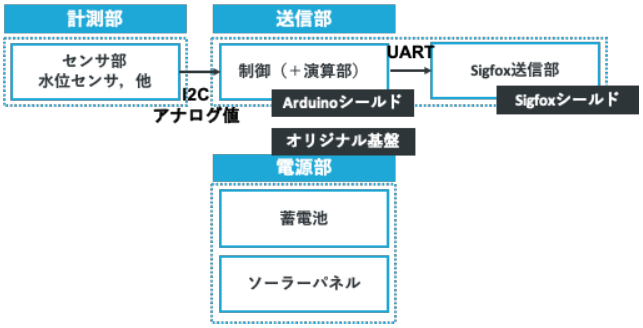


図 3　ブロックダイアグラム

Figure 3　Block diagram.

表 2　取得データの詳細

Table 2　Detailed information of collected data.

Byte Index	Type	データ	詳細	エラー	値
0※1	Int16	気温	水田上約 1.2m の位置に設置したセンサの気温 (-550 - 1250)	-1270	275 / 27.5 ℃
1	Int8	水温	水田の水温 小数点切り捨て (-55 - 125)	-127	27 / 27 ℃
2	Int8	基板温度	基板温度 小数点切り捨て (-128 - 126)	127	27 / 27 ℃
3	Int8	照度	0 - 255 段階照度	-	240 / 240
4	Uint8	内部動作電圧	基板内部のメイン IC の動作電圧， 小数第 2 位切り捨て (0 - 255)	-	50 / 5.0 V
5	Uint8	気圧	基板上の気圧， 小数第 2 位切り捨て (0 - 65534)	65535	10132 / 1013.2 hPa
6※7	Uint16	湿度	基板上の湿度， 小数点切り捨て (0 - 100)	255	42 / 42 %
8	Uint8	水位	フロートスイッチで計測した水位 6 段階 (0 - 5)	255	1 / 1 段階
9	Uint8	水位	水見センサで計測した 5 mm ごとの水量 25 段階 ((0 - 24) *5)	255	3 / 1.5 cm
10	Uint8	基板温度	水田上約 1.2m の位置に設置したセンサの気温 (-550 - 1250)	-	-
11	empty	未使用	-	-	-

また，以下にデータ送信タイミングをまとめた．

- 水位変化時 : 10 分毎に計測し，前回の送信値から水位変化量が水見センサ 1cm 以上，フロートスイッチ 1 段階以上変化した場合にデータ送信
- 定期送信 : 30 分毎

ⓒ2020 Information Processing Society of Japan

計測部

本システムにおいて，水田の水管理に必要な水位，水温が重要な計測データとなる．今回は異なる計測方法をもつ 2 つのデバイスを用いた．ひとつは，フロートの昇降によりリードスイッチが反応し水位位置を判定するフロートスイッチ式水位計測センサ（以下，フロートセンサ），もうひとつは 2 極間の抵抗値（電圧）を計測し水の有無を判定するフロートレススイッチ形式の水位計測センサである[7]．前者は比較的安価な構成で，制作できるため，本システムではこの方式の採用を目的としたが，計測間隔はモジュールの大きさに依存する．

そのため，既存モジュールから設計した場合，計測間隔の最小値は 3cmとなった．なお，一般的に個人農家の水田管理では，十分な解像度と予想し，制作を進めた．後者は，フロートセンサでの水位計測で十分な解像度ではあるものの，比較対象として計測間隔 0.5cm を実現する水見センサ（アスザック株式会社製 ASZ-M0917 [8]）を導入し，データの比較検証ができるように 2 種類のセンサの併用を行った．図 3 に，2 つのセンサの概要図および外観を示す．

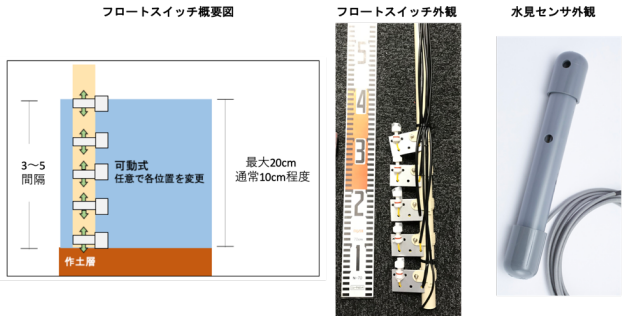


図 4 フロートスイッチ式水位計測センサ
および水見センサ外観
Figure 4 Appearance of two types of water level sensors.

本研究では，フロートセンサ式水位計測センサの設計を行った．以下，詳細を記述する．フロートセンサを約 5cm 間隔で設置し，閾値として設けたい部分において微調整を設置時に行うものとした．上述の通り，最小値は約 3cm と調整可能であるが，利用者の希望の間隔をシステムに登録することが可能である．なお，5cm 間隔とした場合，計測量は 0～20cm である．次に，図 5 にフロートセンサの回路図を示す．図内 S1 のフロートセンサが地面側を示しており，S1 から順に接地することにより抵抗値（SUM R1～R5）が変化し，入力電圧（Vin）による識別が可能となる設計とした．

また，図 6 に，各スイッチの入力状態と電圧をグラフ化したものを示す．次に，アナログ電圧の閾値表として表 3 を示す．フロートセンサにおいて，フロートスイッチによるアナログ電圧の変化を 6 ステップの値に変換するための閾値は，各理論値同士の中点となりそれぞれの値は表 1 の通りとなる．THRSD+，−列は各理論値から閾値の距離を示している．

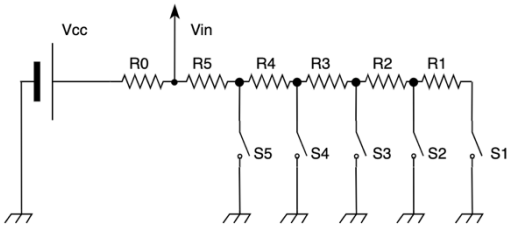


図 5 フロートセンサ入力部回路図
Figure 5 Float sensor input circuit diagram.

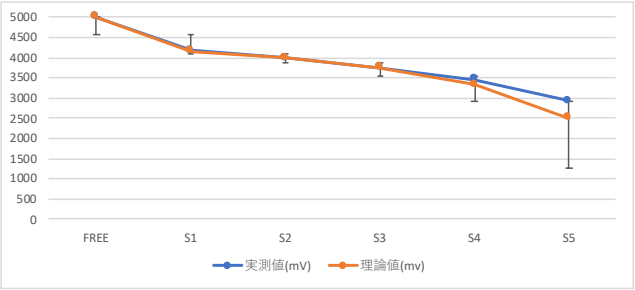


図 6 複数スイッチによるアナログ電圧の変化
Figure 6 Changes in analog voltage.

表 3 アナログ電圧の閾値表
Table 3 A table of Analog voltage threshold.

	実測値 (mV)	理論値 (mv)	THRSD+	THRSD-
FREE	5000	5000	0	418
S1	4169	4165	418	83
S2	3998	4000	83	125
S3	3758	3750	125	208
S4	3450	3335	208	418
S5	2917	2500	418	2500
FREE	5000	5000	0	418

今回は水位だけでなく，水温，外気温，湿度，大気圧といった環境データ，またデバイス内部の状態データを収集した（表 1）．これは，実証実験を行うにあたり，稲作において必要なデータの整理を行うためと，デバイスの内部状態データを運用に活かすためである．水温および気温はセンサ（DS18B20）を利用し，湿度，大気圧，基板温度は Sigfox の送信モジュールである Una Shield（V2S2）に搭載されているセンサを使用した．照度はダイオードを使用し，0～5V のアナログ入力が可能な Arduino の入力端子から 0～255 の 256 段階に変換したものを取得した．なお，変換については Arduino の仕様であり，解像度は 19.5mV である．照度に関しては日の出・日の入りのタイミング，他の日と比較した際の相対的な陰り等の参考を想定しており，実際の光

ⓒ2020 Information Processing Society of Japan

の明るさを示す物理量に変換することは想定していない．内部動作電圧は Arduino 内のメイン IC で動作する電圧である．バッテリーから Arduino に 9～24V の電圧を入力し，内部で 5V に降圧する．値は，メイン IC 内で取得した電圧であるため，原則 5V が計測される．

電源部

電源部であるが，太陽光パネルによる発電とデバイス内部に設置した蓄電池を使用し，満充電後は 2～3 日の雨天でも十分に動作可能となっている．また，太陽光パネルはセンサデバイス本体とは別の位置に設置する．表 4 に，今回利用した太陽光パネルの電気的特性を示す．また，表 5 にデバイスの電気的特性を示す．

表 4　太陽光パネル電気的特性

Table 4　Characteristics of solar panel.

名前	表記
項目	12W
最大出力電力	21.8V
開放電圧	0.73A
短絡電流	17.4V
最大出力電力電圧	0.69A
最大負荷時電流	表記

表 5　デバイス電気的特性

Table 5　Characteristics of device electrical.

項目	用途
蓄電池容量	14000 (mAh)
入力電圧	9～24 (V)
動作電圧	9 (V)
消費電力	待機時:約 0.36 (W) 送信時: 約 0.9 (W)
動作温度	0 - 40 (度)
保管温度	-40 - 85 (℃)

図 7 に，ハードウェアの外観を示す．

図 7　ハードウェアの外観および設置の様子

Figure 7　Appearance of designed hardware and setting.

3.4 ソフトウェア

本システムは上述のハードウェアを水田に設置し，水位といった水田監視に必要なデータを収集，スマートフォンや PC 等デバイスで可視化し，水田の状況を離れた場所からでも確認できる環境を提供する．ソフトウェアの箇所では，Web アプリケーションとして 3 つの機能を有している．

(1)　Sigfox Backend Server から計測データを定期取得

(2)　計測データを Web ページに表示（ユーザ画面，監視者画面対応

(3)　最新の計測データを指定したメールアドレスに指定された送信間隔で送信

項目（1）の機能は，Sigfox Backend Server からデータを予め用意したデータサーバー（以下 DB）に格納するものである．Sigfox Backend Server 側に Webhook を設定し，DB に格納する．Webhook とは，Web アプリケーションでイベントが実行された際，外部サービスに HTTP で通知する仕組みであり，今回は Sigfox Backend Server に新しいデータが格納された場合，同時に DB にデータを送信する．本機能のもと項目（2）として，DB は最新のデータを取得し，連携した Web アプリケーションサーバーから最新のデータを Web ページへ反映する．また，項目（3）として，メールへの定期送信を実施する．

今回はクラウド・アプリケーション・プラットフォームである Heroku 内 Web アプリケーションサーバを，JavaScript 言語である Node.js を用いて構築した．また，ドキュメント指向データベースである MongoDB を，計測データを保管する DB として用い，Heroku，本 DB 間は Socket 通信を用いてデータを連携させた．また，Heroku 内では，JavaScript フレームワーク Vue.js，CSS フレームワーク Bootstrap を用いて構築した Web ページを提示するフロントサイドを構築した．上述の機能のために，図 8 を実装した．表 6 は，開発環境である．

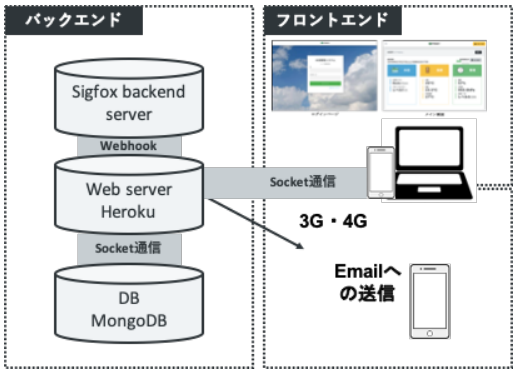


図 8　システム概要

Figure 8　Overview of proposed system.

表 6　開発環境

Table 6　Development environment.

名前	用途
Macbook	開発用 PC
Heroku	Web アプリケーションサーバー
MongoDB	データサーバー
Node.js	バックエンドおよびフロントエンド開発言語

ⓒ2020 Information Processing Society of Japan

Vue.js	フロントエンド開発言語
Bootstrap	フロントエンド開発用 CSS フレームワーク

実際の Web ページのスクリーンショットを，図 9 に示す．メイン画面では，水位，温度，環境とカテゴリ別データを閲覧することが可能であり，右側のゲージは Sigfox Backend Server に新しいデータが送信され，本ページに最新データが反映されるまでの時間を示している．

図 9　PC 向けログインページとメイン画面
Figure 9　Screen shots of login and main web pages.

またこのデザインは，事前に実施した実験協力者（3 水田提供 3 名）に対して行ったヒアリングからデザインされている．実験協力者はインターネット環境が整っており，パソコンやスマートフォン，タブレットといったデジタル機器への抵抗が無く，Web アプリケーションを使用することに対して前向きであるものの，提供されるデータ種類の選定（主に水位，水温が目に付きやすいこと），またメール通知によるプッシュ型のデータ提供を求めていた．そのため，図 9 のようなシンプルなデザイン，またメール通知機能を実装した．

メール通知

本機能は，ユーザより指定を受けた時間帯に，DB 内にある最新のデータを予め作られた定型文内に挿入し，指定されたメールアドレスに送信するものである．本機能は Heroku 内で実行され，3G/4G などの広域ネットワークを通じて利用者が受信する．

4.　実証実験

本章では，提案のシステムを使用した実証実験について述べる．長野県北安曇郡小谷村において，実証実験を，2019 年 7 月 12 日から 9 月 20 日の約 2 か月間実施した．

実験協力者は 3 名の水田保有者であり，それぞれ 3 水田にデバイスを設置し，合計 9 台の運用を実施した．その前後に，本システムに関連する情報収集のためのヒアリングを実施した．以下，地理的な情報も含めた実験協力者情報について述べる．

4.1　実験協力者

本節では，実験協力者の詳細情報を述べる．表 7 は，実験協力者情報をまとめたものである．個人情報秘匿のため，各協力者を番号でナンバリングした．なお地区は小谷村内の地区である．

表 7　実験協力者情報
Table 3　Information of experiment participants.

番号	地区	年齢	実験対象水田
N	深原	70 代	3 枚
C	黒川	40 代	3 枚
S	虫尾	60 代	3 枚

また，図 10 は全体の位置関係についてまとめたものである．北部から深原，虫尾，黒川地区が存在している．また図 11 に，小谷村における棚田の様子を示す．

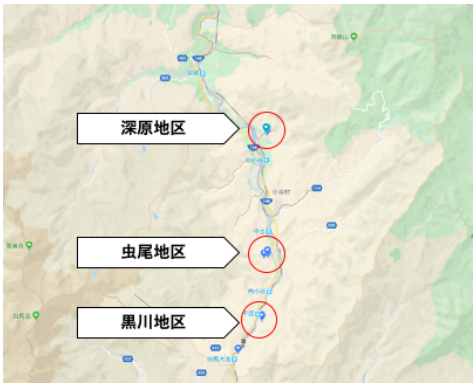


図 10　実証実験の場所
Figure 8　Places of the experiment.

図 11　小谷村における棚田
Figure 11　Rice terraces in Otari village.

5.　評価

本章では，ネットワーク，ハードウェア，ソフトウェアにおける実証実験から得られた評価について述べる．

5.1　ネットワーク

本節では，Sigfox backend server に格納されていた RSSI 値をもとに作成した各地区の電波状況をまとめた．図 12

は，Sigfox 基地局と各地区の位置を示している．小谷村には Sigfox の基地局が 3 基設置されており，基地局の識別 ID はそれぞれ 65B2，65A3，6595 である．各々の基地局は，図 12 に示す識別 ID の円内の中央付近に設置されている．

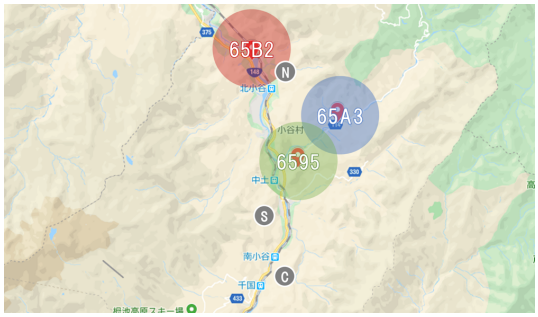


図 12　基地局と地区の位置
Figure 12　Location of base stations and experimental districts.

Sigfox の日本国内の国内人口カバー率 95%はであるが [1]，中山間地域の小谷村では電波が届かない地域があるため，基地局を整備した．本システムは村内で初めて設置された屋外 IoT システムであったため，ネットワークが適切な働きであるかを確認することを目的に，この分析を実施した．図 12 に，深原地区における電波強度データを示す．図 N の位置である，65B2 の基地局への送信頻度が高いことがわかる．他の 2 地区においても同様に解析し，各々近隣の基地局への送信頻度が高いことが分かった．

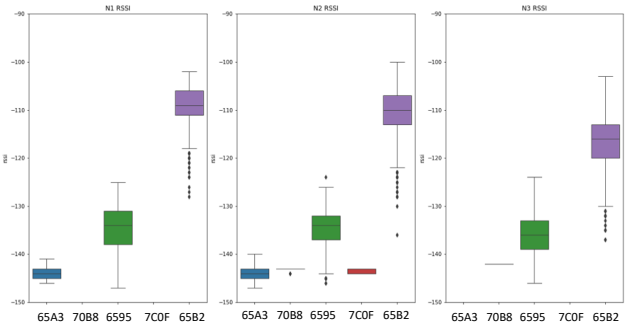


図 13　深原地区の電波状況
Figure 13　Radio wave condition in Fukahara area.

本結果から，ネットワークは安定しており，データ欠損等のシステム動作の不具合にはつながらなかったと判断した．

5.2 ハードウェア

本節では，主に水位センサデータの計測結果について述べる．図 13 は，黒川地区 C-1 における 2019/7/11 から 9/19（70 日間）にフロートスイッチ，および水見センサから計測した全データを示したものである．横軸は日付，縦軸は水位（0 から 15 cm）を表す．C-1 は比較的水量が少なく，平均は 0 に近い値となった．水見センサを基準とし，フロートセンサの値と比較すると，水見センサの値に追従して値が変動していることがわかる．しかしながら，8/5 から 8/7，8/11，8/13 時点ではフロートセンサが動かない箇所も見受けられる．

5.3 ソフトウェア

ソフトウェアにおいてはシステム的安定稼働が見られたため，本評価では対面式で行われたアンケート調査票に基づくヒアリングに結果について述べる．項目として，本システムから得られるデータ， Web アプリケーションのユーザビリティについて述べる．

データ

実験協力者 3 名は，1 日 3 回以上 Web アプリケーションを閲覧しており，計測データへの関心は高かった．関心が高かったデータとしては水位が最も高く，次に気温，水温であった．気温，水温に関してはこれまで確認できなかったデータであるため，稲の生育にどのように関係してくるのか気になるとの意見が多かった．反対に，大気圧と照度に関しては，あまり参考にならなかったことが分かった．

Web アプリケーションのユーザビリティ

Web アプリケーションの利便性についての評価は高く，ユーザビリティにおいて評価があったと言える．しかし，1 日の最高気温や最低気温の表示など，必要なデータが表示できると良い意見があり，データ表示機能の柔軟性が今後の課題と言える．また，Web アプリケーションの閲覧方法はパソコン，タブレット，スマートフォンと実験協力者によって異なった．そのため，表示が小さかったとの意見があり，文字の大きさをカスタマイズ可能にする必要性が考えられた．

本システムの目的はシステム導入による，水管理における水田の見回り回数の減少，つまりは省力化である．実験協力者に対するヒアリングから，水田の見回りの参考になったとの意見が多く聞かれ，水田の見回る順番の効率化や全体的な見回り回数の省力化に対し，一定の評価が得られた．1 日の見回り回数の変化はあまり見られなかったものの，雨天時の見回り実施の判断や遠方からの情報確認が行うことができて安心だった，という意見があった．

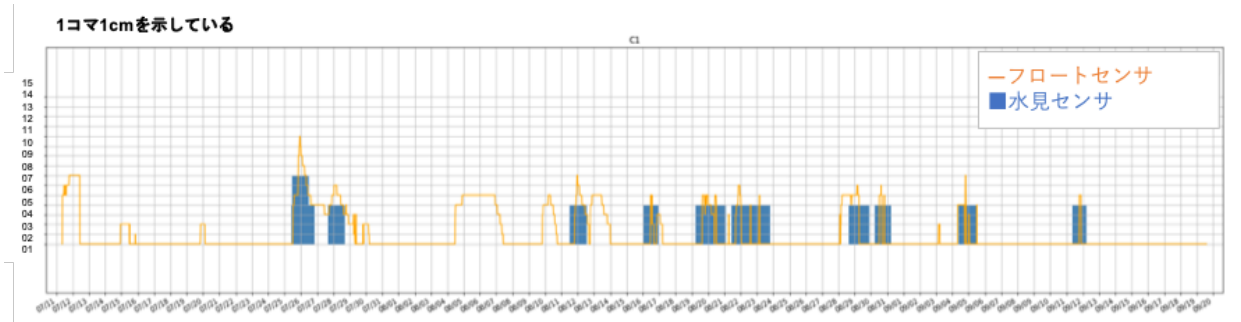
メール通知機能

メール通知機能に関しては，水田管理者ごとのカスタマイズを行ったことで個人に最適な情報提示を行った．通知内容に関しては，水位，水温，気温の 3 項目の最新情報であったが，水位しか見ることはないとの意見があり，通知内容に関しても必要な情報は個人ごとに異なるため，利用者がカスタマイズ可能な管理機能の必要性が見られた．

5.4 全体

本システムの目的は省力化であるため水田の見回りの回数の軽減を期待したが，参考にはなるものの本システムにおける情報提供から水田の見回りに行く回数が大幅に少

ⓒ2020 Information Processing Society of Japan



フロートセンサ

平均(cm)	0.2
最大値	3
最小値	0

水見センサ

平均(cm)	0.2
最大値	11
最小値	0

図 13　実証実験期間中の 2 つの水位センサのデータ
Figure 13　Collected data of two types of sensors during the experimental days

なくなることはなかった. やはり水田の様子を見ることで, 稲の育成状況を把握したいという意見が多く，情報提供から稲の育成状況の目視を上回る効果を提供するのは難しかった.

6. 考察

本章では前章の結果を受け，ネットワーク，ハードウェア，ソフトウェアにおける考察について述べる．また，本研究における棚田における稲作の担い手である高齢者の利用が可能なシステムのデザインとなっていたかを考察する.

まず，ネットワークであるがこれは水田におけるデータが正しく得られるか, という観点で必要な項目であったが, 問題点は見受けられなかった. 次にハードウェアであるが, 今回は水位を最も重要なデータであるとし，水位のデータ解析を中心に実施した．結果，フロートセンサ，水見センサそれぞれに課題が見つかった．本データに信頼性がない場合, システム全体の価値がないものになってしまうため, 見直しが必要であると判断した．しなしながら，この点は水田の特性は千差万別であるため，全ての水田への対応可能なハードウェアの設計が難しい．汎用性のもたせ方について，検討が必要になると考えられる.

また，実験協力者 3 名のうち 2 名が高齢者となるが，そのどちらも本システムの利用方法を理解し，水田の見回りにつなげていたことは，本システムの目的においた可用性に対する一定の評価を得たと考えられる．また，取得データの活用を検討している協力者がおり，取得データを水田の見回りだけではなく，収穫時期の予測や品質管理への活用が期待されていることが分かった．そのため，データの信頼性の向上や，農業従事者への簡易なデータ提供を行う機能の整理などが今後必要となると考えられる.

7. おわりに

本研究では，エリアネットワークのひとつである Sigfox が利用可能な地域，長野県北安曇郡小谷村において，情報提供による水田の見回りの省力化を目的とした，水田水位監視システムを用いた実証実験を行った．上述の実証実験およびヒアリングから得られた定量的， 定性的評価についての結果から，本システムの可用性を確認することができた.

謝辞　本研究に多大なご協力をいただいた長野県北安曇郡小谷村役場，KCCS モバイルエンジニアリング株式会社の皆様に深く御礼申し上げます．本研究活動は，東京電機大学総合研究所 研究課題「Q19J-01」によって行われたものである.

参考文献

[1] 牛島朗，中園眞人，中山間地域の小規模集落における営農環境の変化と棚田保全．日本建築学会技術報告集. 2017, vol. 23, no.55, p. 979-984.
[2] “Office 製品”. https://office.microsoft.com/ja-jp/products, (参照 2020-11-10).
[3] “paddich”. https://paditch.com/, (参照 2020-11-10).
[4] “棚田地域の振興に関する基本的な方針”. https://www.kantei.go.jp/jp/singi/tiiki/tanada/pdf/tanada_kihon_housin.pdf, (参照 参照 2020-11-10).
[5] “棚田地域の振興について”. https://www.maff.go.jp/j/nousin/tanada/tanada.html, (参照 2020-11-10).
[6] ZUNIGA, J. et al. Sigfox system description. LPWAN@ IETF97, Nov. 14th, 2016, 25.
[7] Tung Ta Duc, Masaru Mizoguchi, Yoshihiro Kawahara, Tohru Asami, “Error Reduction in Capacitive Based Water Level Sensor for Paddy Field,” 信学総大 2016, B-18-16, March 2016.
[8] “水見センサ（水位検知・検出・測定）”. http://www.asuzac-pd.jp/seihin/mizumisensa.htm, (参照 2020-11-10).

ⓒ2020 Information Processing Society of Japan