

# 貯水槽の水位制御および開水路の水位モニタリングへの特定小電力無線の適用

誌名	農村計画学会誌 = Journal of Rural Planning Association
ISSN	09129731
著者名	森, 充広 中矢, 哲郎 浅野, 勇 渡嘉敷, 勝 西原, 正彦
発行元	農村計画学会
巻/号	31巻
掲載ページ	p. 357-362
発行年月	2012年11月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター  
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council  
Secretariat



# 貯水槽の水位制御および開水路の水位モニタリングへの 特定小電力無線の適用

Application of Specified Low Power Radio Station for Water Level Control in Farm Pond and Water Level Monitoring in  
Irrigation Cannel

森 充広\* 中矢哲郎\* 浅野 勇\* 渡嘉敷 勝\* 西原正彦\*

Mitsuhiro MORI\* Tetsuo NAKAYA\* Isamu ASANO\* Masaru TOKASHIKI\* Masahiko NISHIHARA\*

(\* (独) 農研機構 農村工学研究所)

(\*National Agriculture and Food Research Organization National Institute for Rural Engineering)

## I 本研究の背景と目的

大規模国営事業によって造成された土地改良区では、テレコン・テレメータシステムによる水管理が主流となっている。しかし、これらのシステムは、設置後数年で交換部品の入手が困難となり、また、頭首工や水路などの構造物と比較すると、早期に陳腐化するという課題を有している。農林水産省によれば、耐用年数が経過した水管理システムの割合は平成 20 年時点で 63%であり、平成 30 年度には 80%に達すると予測されている<sup>1)</sup>。したがって、今後システムの保守・修繕・更新に多大な費用が発生することが懸念される。

さらに、農業水利施設自体も、供用後数十年を経過し、劣化や機能低下が進んでいる。例えば、コンクリート水路のひび割れや目地部からの漏水、水路の沈下による溢水などの不具合が各地で発生している。土地改良区の合併により、管理しなければならない施設が増加し、また高齢化が進む中で、監視しなければならない重要な施設に関しては、簡便に設置でき、かつ安価な農業水利施設のモニタリングシステムによる継続的な監視・制御の必要性が高まっている。

農業水利施設をはじめ、フィールドのデータをモニタリングするための技術として、携帯電話網を活用したシステムがすでに実用化され、販売されている。このシステムでは、通信エリア内であれば通信距離に制限はないため、土地改良区事務所から離れた遠方の農業水利施設のモニタリングには最適である。しかし、毎月の通信費用がかかること、また災害時など、至急データが必要な場合に携帯電話通信が不通となる恐れがある、などの問題がある。このほかに、無線 LAN による通信が可能なフィールドサーバ<sup>2), 3), 4)</sup>なども研究開発、実用化されているが、通信距離が数百 m と短いため、広域に分散して存

在する農業水利施設のモニタリングに利用できる場所は限定されると思われる。

そこで、本研究では、監視すべき施設の情報を安価にモニタリングあるいは制御するためのシステムを構築することを目的とし、通信費用が無料の特定小電力無線を活用した ICT (Information and Communication Technology) システムの開発を行った。そして、開発した ICT システムを①貯水槽の水位管理および水位制御、②農業用水路の水位モニタリング、に適用し、省力的維持管理および機能診断への活用について考察した。

## II 特定小電力無線による ICT システムの概要

### 1. 通信に必要な機器

特定小電力無線とは、免許や資格が不要で、登録せずに無料で使用できる低出力タイプの無線であり、その出力は 10mW 以下に制限されている。今回開発した特定小電力無線通信システムでは、居室に監視局を、野外の観測すべき施設に観測局を設置する。監視局と観測局との間の通信には、市販されている 400MHz 帯の特定小電力無線機を用いた。監視局は、特定小電力無線機、制御装置およびこれらを制御する監視局 PC とソフトウェアから構成される。一方、観測局は、特定小電力無線機、制御装置および測定器から構成される。制御装置およびソフトウェアの製作は、専門業者に委託した。

### 2. データ通信方法

本 ICT システムにおけるデータ通信は、以下の手順で実施される。

- ①監視局 PC のソフトウェアが、データを入手する時刻に監視局制御部に通信コマンドを発信させる。
- ②監視局制御部が伝送制御コードに従い、観測局制御部と通信を行う。通信は、観測局の局番に「監視要求」



置した。観測局 1 には、測定器として貯水槽 A 内に設置した水位計 1 および送水管の途中に設置したパドル式流量計を接続するとともに、制御対象である送水ポンプを接続した。観測局 2 には、貯水槽 B 内に設置した水位計 2 を接続した。また、監視局との通信は、監視局と観測局 1 を直接通信とし、観測局 2 は観測局 1 を経由して監視局と通信する中継通信とした。監視局と観測局 1 との通信距離は直線距離で約 200m であった。制御は、貯水槽 B の水位が 1.75m を下回ると送水ポンプを作動させ、貯水槽 A から貯水槽 B へ水を供給する。また、貯水槽 B の水位が 1.90m を上回るとポンプを停止させる。水位の計測は、20 分に 1 回の頻度とし、その都度データを監視局に集約する。そして、監視局 PC のソフトウェアで貯水池 B の水位と設定水位とを比較し、送水ポンプの ON/OFF 制御信号を送信する仕組みとなっている。また、4 時間に 1 回、それまでに計測したデータ (12 データ) を管理者にメールで送信した。

### 3. 水位モニタリング結果

試験期間中の 2010/10/14~12/23 における両貯水槽の水位変化を図 3 に示す。水位計測およびポンプ制御を実施して以降、貯水槽 B の水位は、設定した 1.75m~1.90m を保持しており、また、1.75m を下回った時間からポンプが作動し、貯水槽 A から貯水槽 B に毎分約 150~1600 の量が送水されている状況が確認できた。11/1 と 11/23 に貯水槽 B の水位が急に 1.9m を超えた値となっているが、これは貯水槽 B の上段に設置されている高水槽からの逆流によるものと考えられた。

貯水槽 B の運転状況をより詳細に確認するために、11/6~11/12 にかけて観測された 20 分ごとの水位および流量の記録を拡大したものを図 4 に示す。貯水槽 B の水位は、水面からの蒸発等によって少しずつ水位が低下したが、11/8 8:40 から一気に水位が低下した。これは、貯水槽 B の水が使用され始めたことを意味する。約 5 時間後の 11/8 14:00 に、貯水槽 B の水位があらかじめ下限値として設定していた 1.75m を下回ったため、送水ポンプが作動し、貯水槽 A から毎分約 150~1600 で貯水槽 B へ送水され、貯水槽 B の水位が上昇し始めた。翌 11/9 7:40 から再び貯水槽 B の水位が低下し、使用が開始されたことが分かる。その後も貯水槽 A からの水の供給が行われた結果、11/10 2:20 に、貯水槽 B の水位があらかじめ上限値として設定した 1.90m に達し、貯水槽 A からの送水ポンプは停止した。

以上のように、本 ICT システムを用いて水位のモニタリングおよび送水ポンプの制御が適切に実施されることが示された。また、貯水槽水位やポンプ流量のモニタリングにより、施設の運転管理情報を取得でき、貯水槽の

利用実態を遠方で監視できることが示された。

## IV 適用事例 2 開水路の水位モニタリング

### 1. 目的

開水路に溢水、漏水、土砂堆積などの水理的な機能低下要因が存在した場合、その機能低下を水面形状の変化としてとらえられる可能性がある<sup>5)</sup>。すなわち、連続した開水路の水位をモニタリングすることによって、通水中の開水路の機能低下を発見できる可能性がある。そこで、途中で断面変化や分水施設がない開水路において

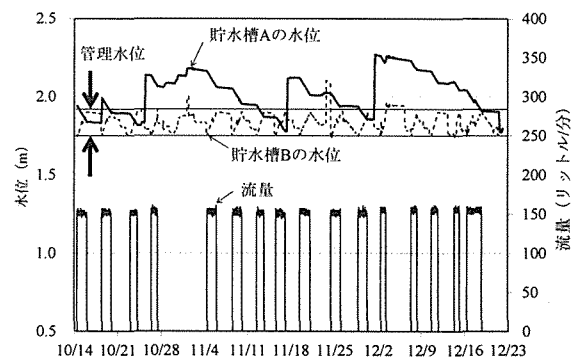


図 3 貯水槽水位モニタリング結果  
Fig.3 Result of water level monitoring

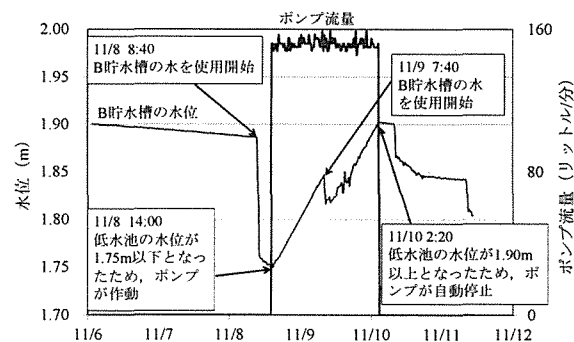


図 4 水位モニタリングから得られた管理実態  
Fig.4 The water usage management that is guessed by the water level monitoring

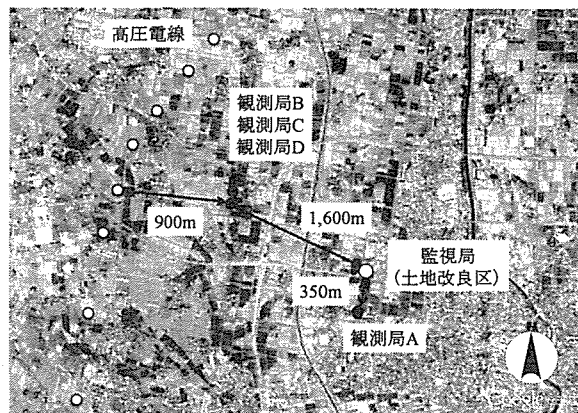


図 5 監視局・観測局の設置状況  
Fig.5 Arrangements of control station and observation stations

ICTシステムによる複数地点の水位モニタリングを実施した。本実証試験では、ICTシステムの通信性能や現地観測局設置の作業性を確認すること、また、得られた水位情報から機能低下の有無を診断することを目的とした。実証試験は、2011年7月、O地区土地改良区事務所内の開水路において、約2ヶ月間行った。その間、ICTシステムの通信状態を確認するとともに、水位、水温および太陽光パネルによるバッテリーの充電状況などを計測し、現地での適用性を評価した。

## 2. 方法

O地区土地改良区事務所建屋内に監視局を、事務所から直線距離で約350m離れた開水路に観測局Aを、直線距離で約1,600m離れた開水路に3点の観測局B、C、Dを設置した(図5)。本地区周辺には、図5に示すように、高压電線が位置していた。観測局Dとの直線距離は約900mである。観測局Aは、幅0.8m、高さ0.8mのコンクリート開水路で、過去に溢水したことがある地点に設置した。このため、観測局Aでは、上限水位を0.7mに設定し、この水位を超えた場合に土地改良区の管理者に警報のメールが通知される設定とした。

一方、観測局B、C、Dは、幅1m、高さ0.87mの開水路の約200m区間に等間隔で設置した。対象水路最上流の分水工から50m下流に観測局Bを、観測局Bから100m下流に観測局Cを、観測局Cから100m下流に観測局Dを設置した。得られたデータは、土地改良区事務所内に設置した監視局パソコンに保管されるほか、別途用意したWebサーバにもデータを転送し、関係者がWebサーバにアクセスすることによって計測された水位や水温の情報を共有できるICTシステムを構築した。監視局と観測局の設置は、作業員3名により2日間で完了した。

## 3. 水位・水温・バッテリー電位のモニタリング結果

観測は、ICTシステム設置が完了した2011年7月中旬～9月上旬に実施した。

### (1) 観測局Aの水位および水温モニタリング結果

観測期間中の観測局Aの水位は、おおむね0.30～0.40mの水位でほぼ一定していた。台風が到来した7月末には、台風に向けて頭首工取水口のゲートを閉めた結果、全体

の流量が減少し、水位は0になった。8/13夕方18時～19時には最大0.48mに達したものの、全測定期間を通して警報を発する上限水位0.70mに達しなかった。また、水温は天候に応じて晴天時には2～3℃幅の日変動を繰り返し、25℃を超えている時期もあった。

### (2) 観測局B、C、Dの水位およびバッテリーのモニタリング結果

観測局B、C、Dの水位の変動を図6に示す。観測局Dにおいて8/14 8:40以降(8/15 11:40まで)のデータが欠損したため、現地を確認したところ、制御装置の一部に焼け焦げたような状況が認められた。落雷による損傷状況と類似していたため、土地改良区が周辺住民に聞き取りを行ったが、特にこの時期に雷等はなかったようであり、結果的にはっきりした原因は判明しなかった。8/15午前中に修復作業を行って以降は順調に計測が行われた。

7/20～30は、上流の観測局Bよりも下流側の観測局Dの水位が高い状態が継続していた。しかし、7月末に到来した台風が過ぎて以降は、上中下流ともほぼ一定の水位が保持されていた。8/19以降は、再度下流側の水位が高くなるような水位変化が確認された。このような水位変化が得られた原因を究明するため、後日この区間の縦断測量および流量観測を行い、一次元の水理解析の基礎資料とした。測量および解析結果は後述する。

次に、実証試験期間中のバッテリーの電圧変化と日照時間の変化を図7に示す。バッテリーは、設置時に新品の市販品を用いた。測定開始直後は、おおむね12.5V～13.5Vの範囲で日変動し、7月末の台風時にもバッテリーが消耗することはなかった。設置後約1ヶ月を経過した8/19頃から、無日照時間が5日間継続すると、電圧が低下する傾向が見られたものの、12Vを下回ることはなかった。この結果から、20分に1回の通信であれば、夏場のモニタリングは独立電源のみで十分動作可能であることが確認された。ただし、冬場については、日照時間が減少し、発電量も低下することから、別途確認する必要がある。

なお、図示していないが、水温に関しては、連続した水路での計測であるため、3箇所の水温差はほとんどな

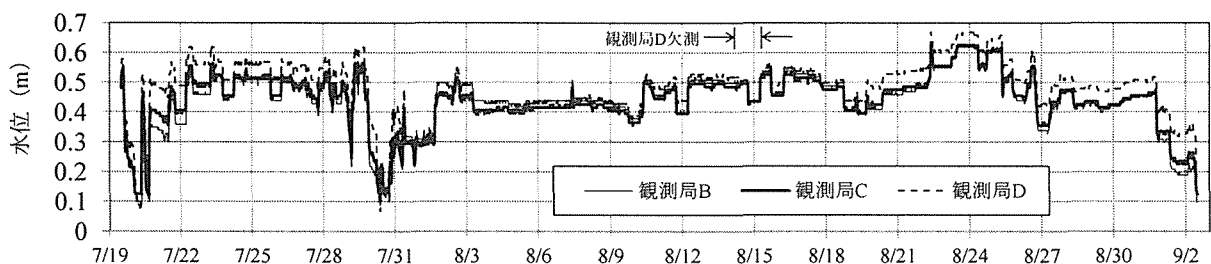


図6 観測局B、C、Dの水位  
Fig.6 Water level in Observation Station B,C.and D

かった。全期間を通しておおむね 15~25℃の範囲であり、水温の日変動は 2~3℃であった。

#### 4. 直線水路区間に発生した水位差に関する考察

200m 直線区間での水位観測結果で、時期によって異なる水位差が発生した原因について考察するために、まず、水路勾配の縦断測量を行った。測量は 3m 間隔を基本として行い、各観測局のポイントでも測量した。

次に、縦断測量で得られた底版の比高を入力した一次元の水理解析を行い、観測局 B および D の両端の水位を境界条件とした場合の水面形状（以下、解析水面）を求めるとともに、各観測局で観測された水位とその解析水面とを比較した。結果を図 8 に示す。図 8 の棒グラフは、水路底版の高さを示しており、左側が上流として表示した。水路の勾配は一定ではなく、ところどころ逆勾配になっている地点が見られた。また、観測局 B、C の設置位置が、ちょうど逆勾配の終点に位置していた。

水位が低い時期と高い時期において、観測水位と解析水面との差を比較するため、特定の時刻（7/20 6:41、同 16:22、7/21 1:21、同 15:21）の水位データを抜き出して整理した。図 8 から、観測局 C の観測水位が解析水面よりも高くなっていること、また、その差は、水位が低い場合に顕著であり、水位が高くなるにつれて解析水面との差は小さくなることを確認された。

このような水位異常が観測される要因には、以下のようことが考えられる。

- 障害物、土砂堆積などによる水路底版の比高変化
- 局所的な粗度係数の悪化
- 水路上下流の分水操作

なお、今回の計測期間中、観測局 C-D 区間に直接水路から水を取水する φ200mm の塩ビ管が 2 カ所設置されていたことから、途中の分水により流量が低下し、観測局 D の水位が流量低下後の水位になっている可能性がある。しかし、今回の水理解析は、流量一定で、かつ最上流の観測局 B、最下流の観測局 D の水位は正しいとして逆算で求めた解析水面であり、この取水の影響は評価出来ない。今後は、流量の変化や、携帯型粗さ測定装置<sup>6)</sup>によって 3m 間隔で推定した粗度係数を入力データとしたより詳細な水理解析を実施し、解析水面と観測値との差の原因を明らかにしたい。

#### V システムの長期安定性に関する確認

開水路における実証試験終了後、システムの長期的な安定性を確認することを目的として、適用事例 1 で示した貯水槽の水位モニタリングを 20 分に 1 回(1 日 72 回)の頻度で継続実施している。独立電源で稼働中の図 2 観

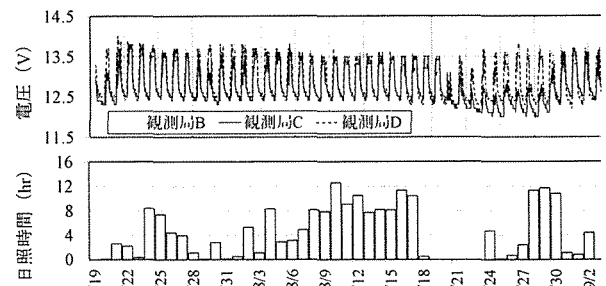


図 7 バッテリー電圧および日照時間の結果  
Fig.7 Battery voltage and actual sunshine duration in observation station B,C,and D

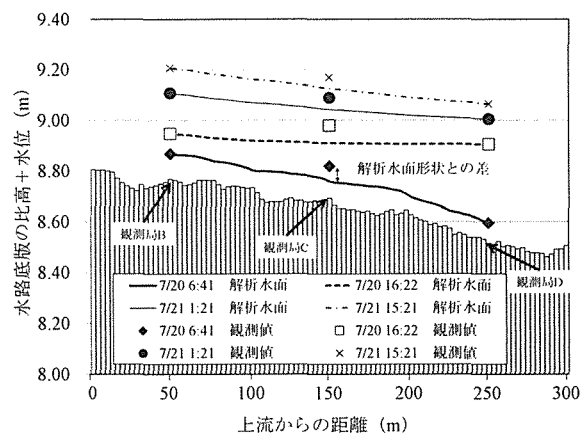


図 8 7/20~21 の各観測局の観測水位と解析水面  
Fig.8 Water surface profiles by hydraulic numerical analysis and the water level at the point of each observation station in 7/20-21

測局 2 について、2011.11 以降に観測したバッテリー電圧値の変化およびその時の気象条件を図 9 に示す。2012/2/13~17 に 4 日間日照時間がなかったときに 8V まで電圧が低下したが、その後の日照により電圧は回復した。しかし、2012/2/29~3/9 までの 10 日間で日照時間が計 7.2hr しかなかった際には、電圧が 6.3V まで低下し、システムが停止した。したがって、冬場、特に日照条件が厳しい箇所では、最大出力 32W の太陽光パネルとバッテリー (12V40Ah) による独立電源のみでは、通信が停止する可能性があることが判明した。

また、2012.7 月中旬までの総測定回数 15,698 回(人為的に停止させた時期を除く)に対し、データ欠測は 166 回であり、その割合は約 1%であった。なお、欠測したデータの通信時間帯は 10~15 時で多く(86 回)、降雨時のデータ欠測は 8 回と少なかった。しかし、このデータ欠測の原因については、現在解明できておらず、引き続き計測を行ってその要因を特定することとしている。

#### VI おわりに

本研究開発では、通信料が無料でかつ装置が安価な特定小電力無線通信を用いた ICT システムを開発し、農業

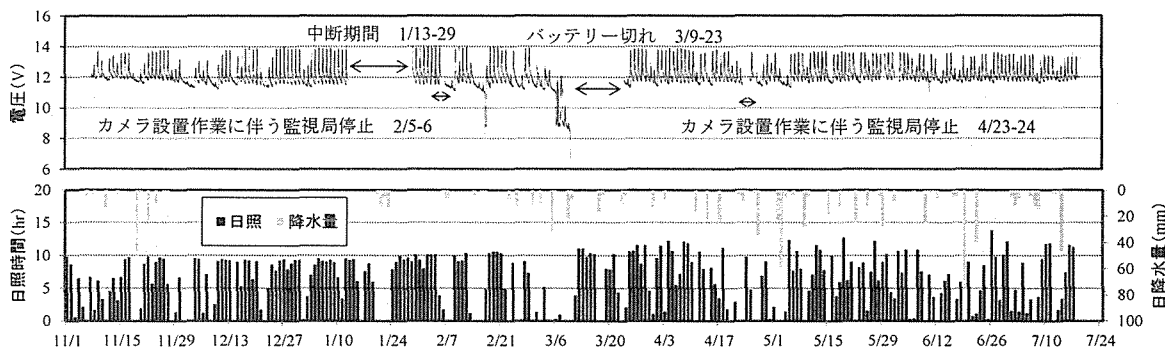


図9 バッテリー電圧の長期的な推移と気象条件と関連  
Fig.9 Relationship between battery voltage change and meteorological conditions in long term observation

水利施設の水位モニタリングおよび水位制御に適用した。  
この結果、以下のことが明らかになった。

- (1) 貯水槽の水位モニタリングおよび水位制御に ICT システムを適用した結果、設定した水位内で自動制御が行えること、また、20分に1回の頻度で計測した水位情報から維持管理の実態が把握できることが示された。
- (2) 開水路の連続した観測地点における水位モニタリングに ICT システムを適用した結果、水位、水温を約2ヶ月間独立電源のみでモニタリングできること、また水位の情報と水理解析との比較から、水位の異常箇所を検出できる可能性があることが示された。

一方、今後の課題として、以下が挙げられる。

- (1) 現在のところ制御ソフトウェアは汎用性が低く、ソフトウェアの作り込みに1ヶ月程度を要する。
- (2) 2011.11～7月の計測結果により、独立電源のみでは日照時間不足による特に冬季にシステムが停止する危険性がある。
- (3) 野外に設置した観測局は、落雷等による被害を受ける可能性があるため、その対策が必要である。
- (4) 携帯電話の範囲外のモニタリングでは、さらに長距離の通信が必要となるため、出力が大きいデジタル簡易無線等との接続を可能にする必要がある。

#### 謝辞

本研究開発の実証試験に際し、土地改良区関係者各位の多大なるご協力・ご支援を頂きました。記してお礼申し上げます。

#### 引用文献

- 1) 一般社団法人 農業土木事業協会 (2012) : 農業水利施設補修工事品質管理士講習会テキスト【総論編】、6
- 2) 溝口 勝 (2007) : フィールドサーバによる農地情報モニタリング, ARIC 情報, 86, 27-34.
- 3) 橋本 仁・内海富博・行松健一 (2007) : 独立電源と無線 LAN 技術を用いた広域農地での情報ネットワーク構築に関する検討, 農業情報研究, 16(1), 9-21.
- 4) 戸上 崇・伊藤良栄・橋本 篤・亀岡孝治 (2011) : 高品質ミカン生産を目的とするセンサーネットワークを活用した圃場環境計測, 農業情報研究, 20(3), 110-121.
- 5) 中矢哲郎・森 充広・渡嘉敷 勝・中嶋 勇・森 丈久・奥野倫太郎 (2011) : 水理情報を元にした低コストかつ省力的な水路施設管理手法の提案, 農業農村工学会誌, 79(7), 517-520.
- 6) 中矢哲郎・森 充広・森 丈久・渡嘉敷 勝 (2008) : 携帯型粗さ測定装置によるコンクリート水路の粗度係数推定手法, 第 63 回農業農村工学会中国四国支部講演会講演要旨集, 58-60.

#### Summary

The authors developed a new system using specified low power radio station to monitor various data in irrigation and drainage facilities. The characteristic of this system is that the installation cost of apparatus is low, and communication cost is free of charge. In this paper, we applied this system to monitor and control water level in farm ponds or irrigation channels. In conclusion, we propose the importance of data monitoring because we can understand the actual behavior of irrigation and drainage facilities, and diagnose the hydraulic performance degradation by these data.

キーワード (keywords) : 特定小電力無線 (specified low power radio station), ICT (Information and Communication Technology), 維持管理 (maintenance), 貯水槽 (farm pond), 農業用水路 (channel)

(2012年5月20日 受付)

(2012年9月16日 受理)