

## 稲作の圃場水管理における遠隔・自動制御の取組

誌名	農研機構研究報告 = Journal of the NARO Research and Development
ISSN	24349895
著者名	鈴木,翔 坂田,賢 若杉,晃介
発行元	農研機構
巻/号	1号
掲載ページ	p. 47-53
発行年月	2019年4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



## ミニレビュー

## 稲作の圃場水管理における遠隔・自動制御の取組

鈴木 翔<sup>1)\*</sup>, 坂田 賢<sup>1)</sup>, 若杉晃介<sup>2)</sup>

本報告では、戦略的イノベーション創造プログラム「次世代農林業創造技術（アグリイノベーション創出）」による稲作の圃場水管理を遠隔または自動で制御するシステム（圃場水管理システム）の開発および実証試験の結果を示した。圃場水管理システムの開発では、特に給排水口制御装置の一体化、小型化、構成部品の削減、筐体の材質選定などにより作製費用の削減を図った。また、バッテリーの負荷削減を目的として、電力消費を抑制するための制御方針の改良、モーター出力の効率化を実施した。

所内圃場と現地圃場6地区で実施した実証試験では以下の効果が認められた。すなわち、水管理時間に関して、圃場水管理システムを導入した試験区で要した水位確認と携帯情報端末を用いた操作の時間合計と、未導入の対照区で要した給排水操作および自宅や事務所などの起点から対照区までの移動の時間合計を比較したところ、所内圃場で85%、現地圃場平均で1筆あたり80%、10aあたり85%の時間削減が認められた。また、圃場水管理システムの導入は、長大かつ急傾斜法面を有する圃場での遠隔操作や、寒冷地で低温障害回避のための深夜の自動灌漑など、労働条件の緩和にも貢献した。

キーワード：圃場水管理システム，遠隔操作，自動制御，省力化，稲作

## はじめに

スマート農業の実現に向けた具体的な取り組みとして未来投資戦略2018では「農業用水利用の効率化に向けたICTの活用」が農機の無人走行システムの実現などともに政府が新たに講ずべき施策に位置づけられている（首相官邸2018）。これに先立ち、平成26年度からの5年間で実施された内閣府による戦略的イノベーション創造プログラム「次世代農林業創造技術（アグリイノベーション創出）」（以下、「本プロジェクト」という）では、技術目標として1) 農業のスマート化、2) 画期的な商品の提供、3) 新たな機能・価値の創造を技術的目標に掲げている（内閣府政策統括官（科学技術・イノベーション担当）2014）。本報告では、農業のスマート化により「水管理労力の削減と高品質栽培を同時に実現するため、末端圃場のバルブやゲートの開閉を自動化するとともに、各圃場の水深を遠隔操作で設定できるシステムを開発」することにより「水管理に係る労働時間の50%削減」を達成することを目標とした技術開発の経緯と実証

試験結果について述べる。なお、本報告は上記の成果の一部である若杉、鈴木（2017）および鈴木、若杉（2018a, 2018b）を再構成した。

本プロジェクトの背景として、稲作の水管理（以下、「水管理」という）は田植えや刈取りなどとは対照的に、農業農村整備や農機開発などの進展により農作業時間が一貫して低下する中において省力化が進んでいない（図1）。具体的には、直近の調査において水管理を含む「管理」に要する作業時間はほかに比べて稲作の中で最も時間を要する農作業となっている（農林水産省大臣官房統計部2018）。

この対策として、平成28年8月に閣議決定された土地改良長期計画では「ICT等の省力化技術の活用による生産コストの削減を促進する」ために、「整備ほ場や水管理等における省力化技術（ICT、GPS等）の導入地区の割合」を約8割以上とすることが施策の成果目標として設定されている（農林水産省2016）。このような情勢の下、水田の湛水、気温や湿度などの気象要素などの計測機器や計測値を用いて用排水の制御が可能な装置な

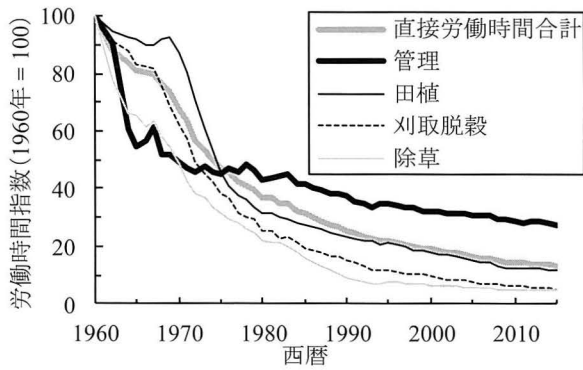
1) 農研機構 農村工学研究部門 農地基盤工学研究領域 水田整備ユニット

2) 農研機構 企画調整部（現 企画戦略本部 経営企画部）

\*責任著者 農研機構 農村工学研究部門 農地基盤工学研究領域 水田整備ユニット

〒305-8609 茨城県つくば市観音台2-1-6

suzusho@affrc.go.jp



※農業経営統計調査より、1960年における10a当たりの直接労働時間合計と各作業別労働時間を100とし、2015年までの値を指数化して示した。水管理は「管理」に含まれる。

図1 主な作業別労働時間の推移 (坂田ら 2017)

ど、圃場の状況を把握し、通信によって監視や制御を可能とするシステムがメーカーや研究機関などで開発されている。

近年この傾向が顕に顕著であるが、その嚆矢は数十年前に遡る。すなわち、冷害への適応策として、イネの生育を大きく左右する湛水深管理の自動制御が挙げられる(農林水産省東北農業試験場長 1994)。穂ばらみ期において水田内の気象条件に合わせて湛水深を調整することにより不稔を回避できる(鳥山、井上 1984)知見を活かして、天候と生育状況から最適水位を求めるシステムを構築し(井上 1993)、水管理装置が開発された(井上 1994)。しかし、本装置を稼働させるためには多数のセンサーが必要であること、多くの気象要素や予報値を手動で入力していること、コンピュータの価格や処理速度、当時の通信環境などに鑑みて社会実装は困難であったと推察される。ただし、社会実装が進展しつつある現在の機器と比較して基本的な考え方に大きな違いはないと考えられる。

上述したように、数十年前の技術水準では、様々な要素を考慮して最適な水位を設定するシステムの構築は困難であった。一方、単純な条件を満たす自動水管理装置は開発され今日も利用されている。

制御の条件(対象)の一つとして水位が上げられる。具体的には、天候などに依らず水位を範囲内に制御する方法である。水面に連動するフロートを用いて予め設定した水位よりフロートが低い位置にある場合に給水し設定水位に達すると給水を停止する仕組みである(例えば、旭有機材工業株式会社 1993a, 1993b)。

別の条件として稼働時間が挙げられ、同じ時間帯に給水を繰り返すことである。具体的には給水栓にモーターを連結させ、タイマーを使って設定した周期に合わせて

給水の開始と停止を繰り返す仕組みである(例えば、株式会社アヤハエンジニアリング 1994)。

耕作者が水管理を行う場合、まず給水を開始させるために圃場を巡回する。その後、ある程度時間が経過した後に再び圃場を巡回して湛水状態を確認し、十分な湛水が得られたと判断すれば給水を停止させることが想定される。すなわち、給水を判断する条件を水位または時間とすることは、上記の水管理を反映させた設定条件と考えられ、耕作者が毎日のように繰り返し行っている作業を代替する手段として適していると考えられる。

現在の情報通信技術などの発達により、数十年前には社会実装が困難であった遠隔操作や自動制御が可能なシステムの開発を実施し、所内圃場および現地圃場を対象に水管理時間の削減効果について検証を行った。

## 圃場水管理システム開発の経緯

圃場水管理システムの開発にあたり、複数の試作機の作成、改良を行ってきた。最終版となる給排水口制御装置等の構成概要は図2に示すとおりであり、特徴については農研機構・株式会社クボタケミックス(2014)、農研機構(2016, 2017)に詳述されている。以下では、各要素に関する特徴と改良点を示す。また、特徴の概要と概観をそれぞれ表1、図3に示す。

### 給排水口の制御装置

圃場水管理システムの給排水口制御装置(以下、「子機」という)のプロトタイプ(1号機)は、電動アクチュエータを接続した給水バルブまたは落水口、制御盤、バッテリー、ソーラーパネル、通信機器で作製した。1号機ではそれぞれの機器が独立しており、有線で接続した。

2号機は、1号機で独立していた部材を一体化し、大幅な小型化・低コスト化を達成した。具体的には、電動アクチュエータ、制御盤、バッテリー、ソーラーパネル、無線通信用基盤を一体化し、アタッチメントや回転軸などの改良により低コスト化を図るとともに給排兼用の装置となった。これら改良により、給水バルブや落水口への子機の取り付けも簡略化された。マイコンおよび無線機のスリープ機能も実装し、消費電力の削減も行った。

3号機および4号機は、2号機から基本的な構造の変化は大きくなく、省電力な運用法によるソーラーパネルおよびバッテリーの小型化、複数社の給水バルブに設置可能なアタッチメントの開発などによる低コスト化や汎用性の向上、動作の安定化が図られた。

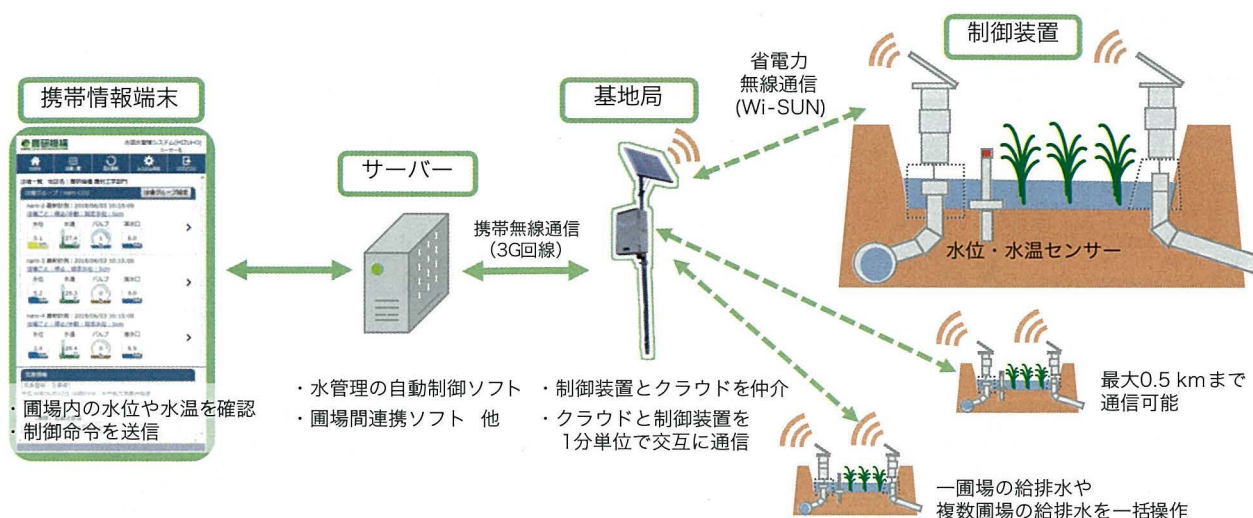


図2 完成した圃場水管理システムの構成概要

表1 圃場水管理システムの開発段階ごとの主な特徴と改良点

	1号機	2号機	3号機	4号機	5号機
給排水口 制御装置 (子機)	電動アクチュエータ（駆動軸およびモーター）、制御盤、バッテリー、ソーラーパネルおよび通信機器を個別に作製し接続。	・通信機器以外を一つの筐体に格納。 ・給水バルブおよび落水口を同一構造の子機で制御できるように改良。 ・設置作業を簡素化できるように改良。	・通信機器も一つの筐体に格納。 ・特殊アタッチメントを開発し、複数の給水バルブに設置可能とした。	初期設定（開度状況の確認など）の自動化を実現し、専門知識がなくても設置できるように改良。	・筐体の材質を塩化ビニル樹脂に変更。 ・汎用製品を組み合わせることにより作製費用を削減。 ・機器配置を変更し、防水性を向上。 ・モーターのトルク値を上昇させ、動作安定性を向上。
基地局 (親機)	・子機との接続に省電力無線通信（Wi-SUN）を使用し、サーバーとの接続に携帯無線通信（3G回線）を使用。 ・ソーラーパネルとバッテリーで駆動できるように作製。（1号機から3号機までは、共通の仕様）	・通信機器も一つの筐体に格納。 ・特殊アタッチメントを開発し、複数の給水バルブに設置可能とした。	通信エラーを抑制できるように、制御フローを改良。	不意の機能停止に対応するため、遠隔操作による再起動機能を追加。	
サーバー ソフト ウェア	・目標水位と落水口高の設定を可能とした。 ・水位データを取得し、設定水位に応じて給水の開始と停止を可能とした。	・子機の作動回数を抑制するために、制御幅設定機能を追加。 ・データバックアップや異常時のアラート機能などを追加。	大幅な変更なし	制御ソフトを改良し、間断灌漑機能を追加。	制御ソフトを改良し、時間灌漑機能を追加。

5号機は筐体を金属製から塩ビ製に変更、無線通信アンテナの本体内部への内蔵、モーター出力の効率化、取り付けアダプタの改良を行った。各改良によって必要部品数が減少したため、4号機よりもさらに低コスト化した。特に筐体部材は既製品である塩ビ製品の組み合わせで作成したことで大幅なコストダウンに寄与した。また、落水口の制御技術を応用して開水路圃場の給水操作も可能とした。

### 基地局

サーバーとのデータ通信に用いる基地局は、子機との通信用の無線通信（Wi-SUN）、サーバーとの通信用の携

帯通信（3G回線）のゲートウェイを備え、子機と同様に動力はソーラーパネルとバッテリーとした。1号機の時点から圃場水管理システムの通信に関する基本形は構築されており、給水口側の装置に接続されたセンサーから圃場内の水位や水温などのデータを取得し、そのデータを無線通信により基地局に送り、基地局に集められたデータは携帯通信によってサーバーに送られ、蓄積される。以降の改良点は主に安定化が進められており、通信エラーを削減できる制御フローの開発が行われた。また、基地局と子機との通信が途絶えるリスクを考慮し、遠隔操作によって利用者が再起動を指示できる機能を加えた。

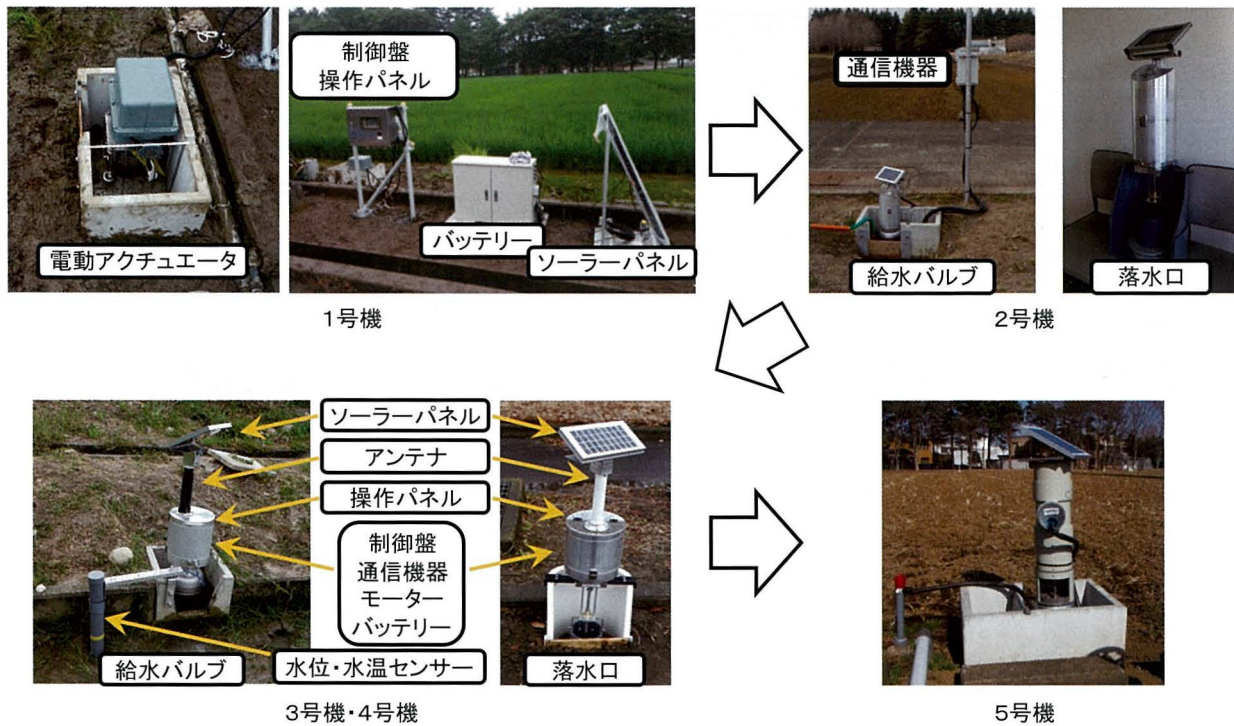


図3 給排水口制御装置（子機）の概観および機能の概要

### サーバーソフトウェア

圃場水管理システムには親機からサーバーに送られたセンシングデータの収集やデータの閲覧・表示・グラフ化・書き出しなどを行うほか、水管理を行うための制御用にサーバーソフトウェアを搭載した。サーバーソフトウェア一覧を表2に示した。パソコンやスマートフォンなどの端末からの管理ソフトは、Webブラウザベースで作成し、アプリなどのダウンロードは不要とした。

水管理用のソフトは、試験の成果や利用者の要望などを元に更新し、間断灌溉機能や時間灌溉機能などを実装した。

### 実証試験の概要

#### 試験地概要

表3に示した7地区の実証圃において、圃場水管理シ

表2 サーバーソフトウェアの機能と概要

機能	概要
データ表示閲覧	センシングデータ（水位、水温）の現在値とグラフ表示。
遠隔制御	給水バルブおよび落水口の遠隔操作。
自動制御	別途作成したモデルを組み込み、水管理を自動化。
圃場間連携	複数の圃場をグループ化とグループごとの一括操作。

ステムによる水管理の省力効果について現地実証試験を行った。

試験地は、北海道や東北、北陸、関東であり、中山間に試験圃場を設けた富山以外は全て平地である。各地区では圃場水管理システムを導入した試験区および例年通りの水管理を行う対照区を設けた。基本的には1筆に対して給水側の子機を1台設置したが、北海道Aは区画規模が大きいため給水側の子機を5台設置した。岩手県は、管理者の意向で3台とした。排水側の子機は、岩

表3 実証試験地の概要

試験地	筆数、面積	子機台数	実施年度 計測日数
北海道A	試：1筆, 3.4ha 対：13筆, 31.6ha	給水側 5	平成 29 65日
北海道B	試：3筆, 2.3ha 対：47筆, 33.1ha	給水側 3	平成 29 49日
岩手県	試：1筆, 1.0ha 対：1筆, 0.4ha	給水側 3 排水側 3	平成 29 110日
宮城県	試：14筆, 12.0ha 対：19筆, 16.2ha	給水側 14	平成 29 42日
富山県	試：3筆, 0.8ha 対：12筆, 2.0ha	給水側 3 排水側 3	平成 29 84日
茨城県	試：11筆, 5ha 対：384筆, 140ha	給水側 15	平成 29 92日
所内	試：1筆, 0.3ha 対：1筆, 0.3ha	給水側 1 排水側 1	平成 28 74日

注：「筆数、面積」の「試」「対」はそれぞれ「試験区」「対照区」の諸元を示す。また、所内は農工部門内の試験圃場を示す。

手県、富山県および農研機構 農村工学研究部門内の試験圃場（以下、「所内」という）の3地区のみに設置した。

試験は、所内のみ4号機を用いて平成28年度に実施し、その他は5号機を用いて平成29年度に実施した。

## 調査方法

水管理労力の省力効果を算定するにあたり、試験区または対照区の水管理を実施した日付や作業にかかった時間が記録された日誌を読み取り、集計することでそれぞれの水管理のみにかかった合計時間を求めた。その際に、10aあたりおよび圃場1筆あたりの合計時間への換算およびその省力効果を計算した。試験区および対照区において水管理として時間を記載した作業は以下のとおりとした。

試験区：端末からの水位確認、給排水の遠隔操作、自動制御などの設定変更

対照区：自宅から対照区までの移動距離および各圃場での給排水操作

水管理を行う頻度や操作方法は耕作者に任せた。試験中には不具合はほとんど発生しておらず、かつ発生した不具合は圃場水管理システムに由来するものではなかったことから、試験区および対照区のどちらにも含めていない。

また、圃場水管理システムの使用感などを把握するために、各地区の農家にヒアリングを行った。

## 実証試験結果および考察

### 所内試験

所内における水管理労力の試験は、表4および以下に示すとおりである。

栽培日数は平成28年5月16日から8月25日の102日間であるが、実際に水管理（見回り）を行った日数は74日間であった。また、毎日の見回りは朝夕の2回行

表4 水管理を行った日数と所要時間

	試験区	対照区
水管理日数	74日	
水位確認回数	148回（朝夕2回実施）	
確認方法	PCからの水位確認と週に1回の見回り（期間中14回実施）	目視による水位確認
バルブの操作	自動制御	人力（開閉合計46回）
所要時間	1.5min/回 週1回見回り： 23min/回	バルブの操作 あり：23.5min/回 なし：23min/回

い、作期を通じた見回りの回数は148回となった。自動制御を用いた圃場は、PCを通しての水位確認に、1回あたり1.5分を要した。また、週1回の圃場の見回りを行い、1回23分を要し、作期を通して14回行った。次に、対照区では見回りと圃場で目視による水位確認を行うため、1回あたり23分を要した。加えて、給水バルブを操作する場合はさらに1回あたり0.5分を要した。操作した回数は合計で46回だった。なお、給排水口のゴミ詰まりなどの水管理にかかる不具合は、試験期間中は両圃場で発生しなかったため、所要時間への影響はない。

以上の条件を用いて、それぞれの合計時間を求めると、自動制御による水管理は、

$$134回 \times 1.5min + 14回 \times 23min = 523min \quad (1)$$

対照区における人力による水管理は、

$$102回 \times 23min + 46回 \times 23.5min = 3,427min \quad (2)$$

となった。

圃場水管理システムを導入したことで、上記の条件において水管理にかかる労力は対照区と比べて85%の削減となった。1日に2回の頻度で行う水管理はこまめな水管理ができる反面、人力での労力の負担は大きい。一方で、水管理を数日に1回などと頻度を落とす場合、労力面の負担は小さくなるが、粗放的な水管理となる。圃場水管理システムは労力をかけずに水位確認とそれに対応した制御を実行しており、用水量と労力の低減を両立することができる。

### 現地実証試験

所内試験の結果を踏まえ、同様の水管理省力効果が得られることを示すことを目的に、平成29年には現地実証試験を6地区で実施した。以下では、圃場水管理システムのユーザーである耕作者の使用実感および水管理時間測定の結果について述べる。

### ユーザーによる圃場水管理システムの定性的評価

実証試験中は、全ての地区でスマートフォンまたはタブレット端末から圃場水管理システムを操作した。基本は農家が所有している端末を用いたが、数地区では協力していた公的機関から借りた農家もいた。そのような一部の農家からは「これまでそういう機器に触ったことない」という声を聞いた。富山県の農家もタブレット端末などの使用経験はなく、開始当初こそ操作に難航していたが、直感的に簡単に操作できることから、作期が終わる前には苦勞している様子はなく、「ちょんちょんと押せば水が出る」と遠隔による制御を問題なく実行してい

表5 実証試験における省力効果

地区名		水管理に要した時間 (分)			削減率 (上段) と削減時間 (下段)	
		合計	1筆あたり	10aあたり	1筆あたり	10aあたり
北海道 A	試験区	96	96	2.8	61%	72%
	対照区	3,233	248.7	10.2	152.7分	7.4分
北海道 B	試験区	61.3	20.4	2.7	95%	95%
	対照区	17,640	375.3	53.3	354.9分	50.6分
岩手県	試験区	118	118	11.8	75%	91%
	対照区	466	466	129.4	348分	117.6分
宮城県	試験区	15	1.1	0.1	97%	97%
	対照区	718	37.8	4.4	36.7分	4.3分
富山県	試験区	93	43.5	11.6	87%	83%
	対照区	1,400	326.3	70	282.8分	58.4分
茨城県	試験区	217	19.7	4.3	67%	74%
	対照区	23,220	60.5	16.6	40.8分	12.3分
所内	試験区	523	523	174	85%	85%
	対照区	3,427	3,427	1,142	2,904分	968分

注：所内試験区のみ、週に1回の見回りの時間を含めて算出および対照区との比較を行った。

た。

寒冷地の農家は圃場水管理システムに組み込まれている時間灌漑の機能を駆使し、水温確保のための夜間灌漑を自動で行った。これまでは、夜9～10時に給水を開始し、朝方の6時までには停止する作業を行っていたが、時間灌漑機能により夜中の0～6時の間のみ自動で給水が行われるようになり、「これまでは辛かった作業が楽になった」とのことであった。さらに、自動制御だからこそできる、より精緻な管理にも期待していた。また、センシングデータの確認機能および時間変化のグラフ表示機能を活用し、これまでは経験などを基に管理を行っていたものを根拠ある数字で管理できるようになったことも好評だった。

そのほかには、中山間地域の地区では農道から給排水口までの法面が急傾斜な場所で、作業の安全面に期待する声や代かきから田植えの期間にかけての細かい水位調節を自動でやらせるといったより積極的な使用を希望する声も上げられていた。

### 現地実証試験における水管理の省力効果

現地実証試験の結果を所内試験結果と合わせて表5にまとめた。水管理労力の削減率は、1筆あたり60%程度、10aあたり70%程度から90%を超える地区までばらつきが見られたが、総じて省力効果は高く、6地区の平均は1筆あたり約80%、10aあたり約85%となった。

一番省力効果の高いのは宮城県の実証地区だった(1

筆あたり、10aあたりともに97%削減)。対照区の水管理を3日に1回程度の頻度で実施する一方、試験区は1週間に1回程度の頻度で指定の水位に維持されているかを確認するのみだった。対照区の水回りには1回30～60分かかるが、試験区の水位確認は1回あたり5分かからない程度の時間だった。水管理の頻度が当初から高くはなかったが、それよりもさらに労力を減らして水管理を行うことができていた。

一番低い省力効果を示した北海道Aは、対照区の水管理には1回あたり30分程度かかり、日によっては複数回水回りを行うこともあった。試験区は毎日1回あたり2分程度かけて水位確認および遠隔制御を実施していた。当地区は、1筆あたり3haを超える大区画に整備されていることや耕作する圃場も大きく分散していないことなどから、元々省力化が進んでいた地区である。対照区の総面積は31.6ha(13筆)に対し、水回りが1回あたり30分であるため、前述の宮城県(対照区の総面積16.2ha、19筆)と比べても水回りの負担自体は小さいことがわかる。それでもなお、6割を超える省力効果を示したことは重要な成果と捉えることができる。

省力効果の違いは圃場の区画サイズや農地の分散度合い、給排水口の設置数や配置などの整備状況に大きく左右される。ユーザーの圃場水管理システムへの信頼度や使用の習熟度も影響すると考えられるため、圃場水管理システムのより効果的な使用方法の提案も今後の普及に向けて重要な点の一つである。

## おわりに

本報告では稲作の圃場水管理時間の削減を実現するための技術として、携帯情報端末などで遠隔操作や自動制御設定が可能な圃場水管理システムの開発経緯と実証試験結果を示した。圃場水管理システムは水管理時間の削減のみならず、用水量の削減や期別減水深の測定が可能であることが示されている（若杉ら 2018）。また、本プロジェクトの関連成果となる、水温予測モデル（Maruyama et al. 2017）や水稻発育モデル（堀江、中川 1990）を応用して開発されたスマート水管理ソフト（丸山 2018）や、監視制御ソフトや無線通信などを組み合わせたポンプ場の配水管理制御システム iDAS（中矢 2018）との連携した運用が可能である。これらの成果を踏まえて圃場水管理システムを活用した稲作水管理のさらなるスマート化を実現することが今後の課題であると考えられる。

## 謝辞

現地実証試験の実施にあたり、圃場の利用に協力頂いた耕作者および関係自治体の担当者には多大な助力を賜った。また、本研究は、内閣府 戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）「次世代農林水産業創造技術」（管理法人：農研機構 生研支援センター）によって実施された。

## 引用文献

旭有機材工業株式会社（1993a）自動給水装置。特開平 6-280243。  
 旭有機材工業株式会社（1993b）水位センサ。特開平 7-12265。  
 堀江 武、中川博視（1990）イネの発育過程のモデル化と予測に関する研究：第 1 報モデルの基本構造とパラメータの推定法および出穂予測への適用。日本作物学会紀事, 59 (4): 687-695。  
 井上君夫（1993）エキスパートシステムによる水田の水管理。農業気象, 49 (3): 169-175。  
 井上君夫（1994）水田の診断型水管理装置の開発。農業気象, 50 (1): 1-7。

株式会社アヤマエンジニアリング（1994）給水栓自動開閉装置及び給水堰自動開閉装置。特開平 8-70716。  
 丸山篤志（2018）職務作成プログラム「気象情報を利用した圃場水管理スケジュール作成プログラム」。機構-X02。  
 Maruyama A, Nemoto M, Hamasaki T, Ishida S and Kuwagata T（2017）A water temperature simulation model for rice paddies with variable water depths. Water Resources Research, 53: 10065-10084。  
 内閣府政策統括官（科学技術・イノベーション担当）（2014）SIP（戦略的イノベーション創造プログラム）「次世代農林業創造技術（アグリイノベーション創出）」研究開発計画。https://www8.cao.go.jp/cstp/gaiyo/sip/iinkai/nougyou\_1/1\_nougyou\_shiryuu\_3.pdf, 2019 年 1 月 22 日参照。  
 中矢哲郎（2018）土地改良施設の管理における ICT の活用—圃場と土地改良施設が連携した水管理制御システムの開発—。材料と施工, 56: 33-41。  
 農研機構（2016）圃場用給排水システム。特開 2017-192366。  
 農研機構（2017）水田水位測定方法。特開 2018-194510。  
 農研機構・株式会社クボタケミックス（2014）排水装置。特許第 6245699 号。  
 農林水産省（2016）土地改良長期計画。http://www.maff.go.jp/j/press/nousin/keityo/attach/pdf/160824-1.pdf, 2016 年 8 月 24 日参照。  
 農林水産省大臣官房統計部（2018）農業経営統計調査 平成 29 年産米生産費（個別経営）。http://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/noukei/seisanhi\_nousan/attach/pdf/index-39.pdf, 2019 年 2 月 7 日参照。  
 首相官邸（2018）未来投資戦略 2018。https://www.kantei.go.jp/jp/singi/keizaisaisei/pdf/miraitousi2018\_zentai.pdf, 2018 年 11 月 21 日参照。  
 農林水産省東北農業試験場長（1994）水田の自動水管理装置。特開平 7-87856。  
 坂田 賢、野坂浩司、建石邦夫、加藤 仁（2017）農地集約の違いが水管理の移動距離と時間に及ぼす影響。農業農村工学会誌, 85 (6): 23-26。  
 鈴木 翔、若杉晃介（2018a）遠隔制御・自動制御が可能な圃場水管理システムが水稻栽培にかかる用水量と水管理労力に与える影響の把握。農業農村工学会論文集, 307: I\_235-I\_241。  
 鈴木 翔、若杉晃介（2018b）圃場水管理システムによる現地圃場の稲作水管理への効果。農業農村工学会誌, 86 (12): 17-20。  
 鳥山國士、井上君夫（1984）イネの低温による障害型不稔に及ぼす微気象要因のシミュレーションによる解析。日本作物学会記事, 53 (4): 387-395。  
 若杉晃介、鈴木 翔（2017）ICT を用いて省力・最適化を実現する圃場水管理システムの開発。農業農村工学会誌, 85 (1): 11-14。  
 若杉晃介、鈴木 翔、丸山篤志（2018）圃場水管理システムを用いた ICT のフル活用による高機能水田地帯の構築。農業農村工学会誌, 86 (4): 15-18。