

次世代型水管理システム導入ガイド

平成 31 年 3 月

内閣府：SIP（戦略的イノベーション創造プログラム）
「次世代農林水産業創造技術」（2014～2018 年度）

圃場水管理の情報通信・制御技術を導入した
圃場一広域連携型の次世代水管理システムの開発

謝辞

本技術指針の基となった研究は、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 生物系特定産業技術研究支援センター)によって実施されたものです。

はじめに

農業用水は、農業生産の根幹を担う資源です。河川から取水された用水は、幹線用水路、支線用水路、末端用水路を経て、農地まで配水されます。この途中に、中央管理施設、分土工、揚水機場など様々な農業水利施設が整備されており、各施設では人手による配水の監視・管理が行われてきております。例えば、分土工や揚水機場の操作は、土地改良区と呼ばれる農業者組織によって行われ、末端に位置するほ場の給水口操作は、生産者によって行われています。このように、取水と配水の管理は、農業水利施設と人的な労力を介して、系統的でありつつも慣行的に実施されてきました。

しかしながら、高度経済成長期以来、農家戸数・農業従事者数は減少し続け、その一方で100haを超える広大な面積を耕作する大規模な経営体が急速に増加しています。その結果、配水を管理する土地改良区では、人手不足による水管理労力の増大が深刻な状況であり、広大な面積を耕作する大規模な経営体では、きわめて多数の末端ほ場の給水口の操作に多大な労力を要しています。

これらの課題を解決するため、平成26年度から30年度にかけて実施された内閣府「戦略的イノベーション創造プログラム（SIP プロジェクト）」において、情報通信技術を活用した二つの省力的な水管理システムを開発しました。一つは、スマホなどにより末端ほ場の給水栓を遠隔・自動で開閉するシステムであり、主として大規模な経営体（生産者）をターゲットとしたものです。もう一つは、スマホや屋内のパソコンにより、複数のほ場に配水する揚水機場（ポンプ場）の遠隔監視と自動制御を行うシステムであり、主として土地改良区（配水管理者）をターゲットとしたものです。

このガイドでは、開発まもないこれらのシステムの概要を全国の関係者に広く知っていただくため、SIPプロジェクトの成果としてまとめました。これらのシステムが、水管理の現場の課題解決の一助となることを願っております。

平成31年3月

研究代表者：農研機構 農村工学研究部門

水利工学研究領域 水利システムユニット長

樽屋 啓之

目 次

第1章 総論	1
1.1 導入ガイドの位置づけ	1
1.2 次世代型水管理システムの定義	6
1.3 次世代水管理システムの新たな運用主体	7
1.4 次世代型水管理システムの導入に当たっての検討事項	8
1.5 次世代型水管理システムの展開方向	10
第2章 圃場水管理システム	15
2.1 圃場水管理システムの定義	15
2.2 圃場水管理システムの構成	16
2.3 圃場水管理システムの機能	17
2.4 圃場水管理システムの導入の効果	19
2.5 圃場水管理システム導入にあたっての調査	22
2.6 圃場水管理システムの機能の拡張	22
第3章 支線レベルの水管理システム（配水管理システム）	25
3.1 配水管理システムの定義	25
3.2 配水管理システムの構成	27
3.3 配水管理システムの機能	30
3.4 配水管理システムの導入の効果	32
3.5 配水管理システム導入にあたっての調査	37
3.6 配水管理システムの適用箇所	37
3.7 配水管理システムの制御機能の適用	41
3.8 配水管理システムによる排水機場の管理水位の予測	47
第4章 次世代型水管理技術活用のための課題	50
4.1 次世代型水管理技術活用のための制度的課題	50
4.2 基幹水利システムの管理形態	53
4.3 次世代型水管理技術導入による基幹水利システムへの影響	61
(付録) 圃場水管理システムおよび配水管理システム導入効果の試算例	65

【執筆・編集担当者】

樽屋啓之 (農村工学研究部門 水利工学研究領域 水利システムユニット)
第1章, 第3章, 第4章

中矢哲郎 (農村工学研究部門 水利工学研究領域 水利システムユニット)
第1章, 第3章, 第4章

進藤惣治 (農村工学研究部門 農地基盤工学研究領域 用水管理ユニット
現在, 農林水産省関東農政局)
第1章, 第4章, 付録

宮本輝仁 (農村工学研究部門 農地基盤工学研究領域 畑整備ユニット)
第1章, 第2章, 付録

浪平 篤 (農村工学研究部門 水利工学研究領域 水利システムユニット)
第3章

木村延明 (農村工学研究部門 水利工学研究領域 沿岸域水利ユニット)
第3章

第1章 総論

1.1 導入ガイドの位置づけ

本導入ガイドは、現在開発されつつある ICT を活用した次世代型水管理システムを土地改良事業等において導入するに当たって必要となる基本的な事項と課題について示したものである。

[解説]

農村においては、増加する離農者の農地を集める形で、大規模経営体（担い手）への農地の集積が進んでいる。今後も農村の人口減少、高齢化や混住化は進展し、離農者も増えることが見込まれるため、経営体の規模拡大を中心とした農業構造の変化は今後も進展していくものと考えられる。こうした変化の中において、経営体の体質の強化を促進し、農業を産業として自立可能とするとともに、産地集積力の強化が求められている。特に、米の生産においては、高い労働生産性の追求や情報通信技術（ICT）等の省力化技術の活用による生産コストの大幅な削減が課題である。また、農業水利施設を維持管理する土地改良区等の負担の増加を改善するため、ICT 等を活用した維持管理の容易化とコスト削減も課題である。このため、2016年に閣議決定された土地改良長期計画において 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との方針が示された。

ICT を活用した新たな水管理システム（次世代型水管理システム）が開発されつつある。農研機構農村工学研究部門では、内閣府 戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）「次世代農林水産創造技術」（管理法人：農研機構 生物系特定産業技術支援センター）を活用して次世代水管理システムの構成要素である「圃場水管理システム」と「配水管理システム」を開発し、現地実証試験にも取り組んできた。そこで、本導入ガイドでは、「圃場水管理システム」と「配水管理システム」について、それぞれの特徴と導入の効果等について紹介する。また、開発された「圃場水管理システム」と「配水管理システム」を土地改良事業等で導入するに当たって必要となる基本的な事項を示す。なお、2014年から研究開発が始められた新しい技術であるため、現在においても技術的に解明しなければならない点も多く、また今後資料の一層の集積を図らなければならない部分もある。したがって、計画担当者は、開発段階の最新の情報も入手して、計画を策定するよう努めることも必要である。

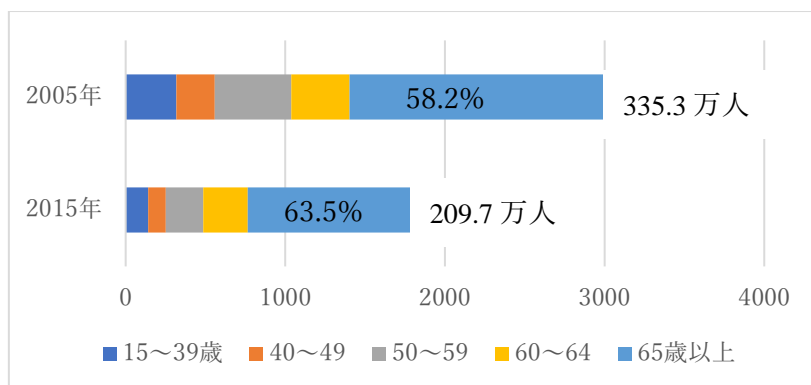
[参考]

1. 水管理改善の背景

(1) 農村の変化

高度成長期における農地整備の帰着として余剰労働力が生まれた結果、農村は都市への若い労働力の供給を通じてわが国経済の安定成長を下支えしたが、近年は人口減少・高齢化が進行し、農業者の減少や高齢化に歯止めがかからない状況になっている¹⁾。図 1.1-(1) は販売農家の年齢別の農業就業人口（自営農業に主として従事した者）の 2005 年から 2015 年にかけての推移を示す。農業就業人口は、この 10 年間で 335 万 3 千人から 209 万 7 千人に 37.5% 減少している一方、65 歳以上の割合は、58.2% から 63.5% に増加している²⁾。農業就業人口の減少と高齢化は今後も続くものと見込まれる。

また、農村での混住化も進行しており、土地・水利用の面では農地・農業用水といった農業生産要素が中心であるものの、居住する人の面では農業者中心という従来の特徴を喪失している¹⁾。このため、集落の賦役など農業水利施設維持への合意形成が難しくなっており、水利施設を管理する土地改良区の負担が増加している³⁾。



資料：農林水産省（2016）「2015 年農林業センサス結果の概要（確定値）」

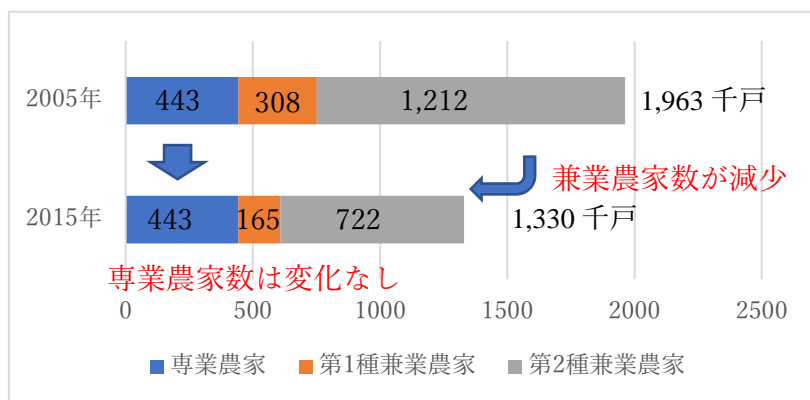
図 1.1-(1) 年齢別農業就業人口の構成（千人）

(2) 農業構造の変化

販売農家を専業別に見ると、2015 年の専業農家は 44 万 3 千戸で、10 年前（2005 年）と比べ横ばいであるが、第 1 種兼業農家数（30 万 8 千戸から 16 万 5 千戸に減少）、第 2 種兼業別農家数（121 万 2 千戸から 72 万 2 千戸に減少）とも大幅に減少しており、農家数全体で 32.2% 減少している²⁾（図 1.1-(2)）。

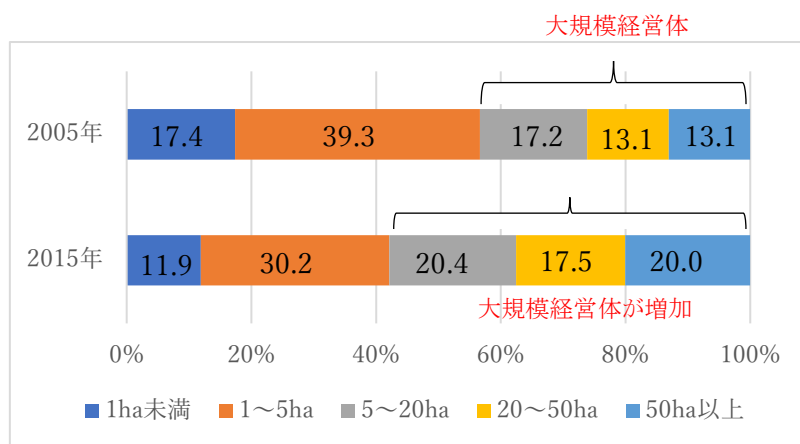
同期間、農業経営体の経営耕地面積規模別に経営耕地面積の集積割合を見ると、5ha 以上の農業経営体が 57.9% を占め、10 年前と比べ 14.5 ポイント上昇している²⁾（図 1.1-(3)）。

土地利用型農業にあっては、担い手への農地の集積が進展し、大規模経営体が増加している様子が見て取れる。一方で、小規模農家は減少するとともに、高齢化が進展している。



資料：農林水産省（2016）「2015年農林業センサス結果の概要（確定値）」²⁾

図 1.1-(2) 専兼業別農家数（販売農家，千戸）

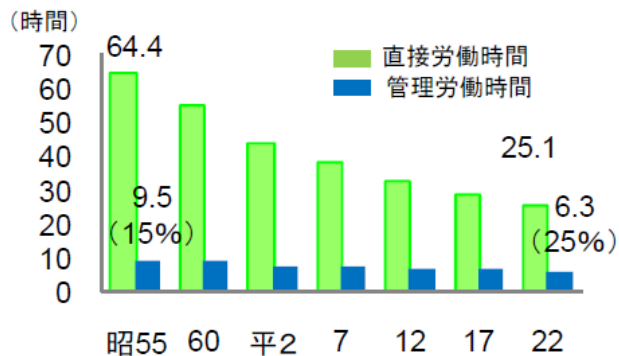


資料：農林水産省（2016）「2015年農林業センサス結果の概要（確定値）」²⁾

図 1.1-(3) 経営耕地面積規模別の経営耕地面積集積割合（％）

(3) 水管理の状況

稲作労働時間でみると、圃場整備や農業機械の大型化により、直接労働時間に大幅な減少が見られる。一方、管理労働時間は直接労働時間に比例せず、減少の幅もきわめて小さい。管理労働時間のうち、草刈り作業時間は、圃場整備による畦畔面積の減少や草刈り機の性能が向上していることを踏まえると、水管理作業の減少が課題であることが示唆される（図 1.1-(4)）。また、農家は圃場の湛水深を確認する見回りや水管理を負担に感じていることも報告されている⁴⁾。



資料：農林水産省「農業経営統計調査 米及び麦類の生産費」

注：管理労働とは、けい畔の草刈り、かん水、落水、作柄見回り等である。

図 1.1-(4) 稲作労働時間に占める管理労働時間の割合（10a 当たり）

水管理においては、農業構造の変化により以下の状況が見られる。

- 1) 担い手への農地集積，小規模農家の高齢化に伴い労働力が制限され，掛け流し灌漑が広く行われるなど，水管理が粗放化している。
- 2) 稲作においては，担い手への農地集積により大規模土地利用型営農が増加している。このため，労働力を分散させるため，早稲種や飼料用米の導入など栽培品種を多様化させ作業を分散させる傾向がみられる。これに伴い，水需要においても前倒しや後ろ倒しが行われるなど需要期が分散するとともに，用水需要がフラット化（ピーク用水量が減少）している。
- 3) 大区画圃場整備が進展するとともに，直播栽培や地下灌漑などの新技術も積極的に取り入れられている。今後，直播栽培の導入はさらに進展するものと見込まれるほか，高品質で安定的な生産には，生育状況や農作業に応じたきめ細かな水管理が重要である（例えば，生育初期は低水管理，高品質を確保するための間断灌漑や高温対策のための夜間灌漑，地下水位制御方式の導入など）。愛知県で行われているV溝乾田直播栽培では，図 1.1-(5)に示すように，冬季に代かきを行い，労働力を分散させている⁵⁾。これに伴い，用水需要時期も変わってきている⁶⁾。

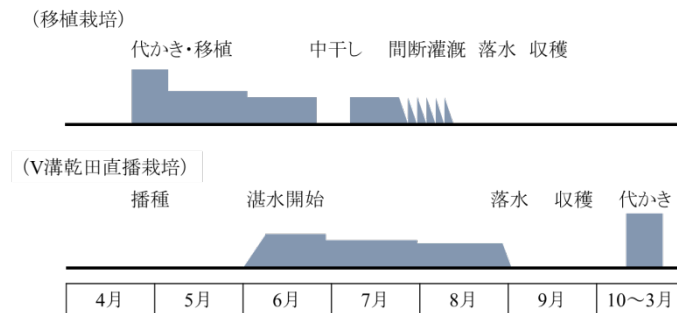


図 1.1-(5) 移植栽培とV溝乾田直播栽培の水需要パターン

(4) 土地改良区，担い手農家からのコスト縮減要請

農業水利施設の運転操作にかかる動力源は，主に電力を使用しているが，平成 23 年 3 月 11 日に発生した東日本大震災以降，電気料金が高騰したため配水費用や用排水機場の施設管理費用などが増加し，農業水利施設を維持管理する土地改良区などの運営に大きな影響を及ぼしている。また，電気料金の高騰は，農家の負担の増加につながるなど，営農上の支障になるおそれもあり，電力仕様に係る負担軽減が求められている。原田ら（2016）⁷⁾の調査では，平成 23 年度から平成 26 年度にかけ，電力使用量は大きく変わらないものの，電気料金が 1.70 倍になった事例（A(両総)土地改良区）を報告している。こうした事態を受け土地改良区は，節水の呼びかけや中干し後の週 1 回の通水停止など節水対策を強化しているが，電気料金高騰分はカバーできていない状況である。

また，末端部の用水機場など土地改良施設は，土地改良区から地域の水利組合等に管理が委託されていることが多いが，霞ヶ浦用水地区，両総地区などの調査結果からは，農業構造の変化が進展しており，それに伴って水利組合等の水管理委託者の高齢化・担い手不足がみられた。水利施設の施設維持管理における労力削減も喫緊の課題である。

(5) 兼業農家の粗放的な水管理

一方，兼業化が進んだ地域の水田地帯の調査から，多くの支線用水路（開水路）ではその操作が頻繁には行われていないことが報告されている⁸⁾。農家は自身が管理する水田の用水需要が満たされた場合，支線用水路上端の分水工ではなく，支線用水路から小用水路への分水工や各水田の水口を閉じることで取水量を調整している。関係する水田筆数と農家数が多いため，各農家が支線用水路の分水工の開閉を判断することは困難である。余水（無効放流）が発生したとしても，支線用水路上端まで移動し，分水工を閉じるという行動を選択しづらいことから，結果として無効放流は多く，用水需給が逼迫する中であって，改善の余地が大きいことを指摘している。

(6) 技術の発展

ICT 技術が普及し，機器のコストも低減してきた。農業分野においても新技術を活用し，豊かで競争力のある農業の実現が目標になる中，ICT 技術を活用した遠方監視や操作を可

能とすることや給水の自動化等による新たな農業水利システムの構築が具体的な政策目標として提示されている¹⁾。さらには、昭和の時代に実施された圃場整備事業（末端灌漑施設を含む）地区において、再整備や更新整備が必要となっており、更新時にあわせ新たな水利システム導入の機運が生じている。

折しも、大規模水利施設にあっては、更新が必要なものや、遠方監視施設（TC/TM）更新にあわせた水管理システムが改良時期にあるものが多数存在する。農業構造の変化が進展する中、10年後、あるいはさらに将来を見据えた整備の必要性を検証し、将来に向けた水管理システムを検討していく必要がある。

1.2 次世代型水管理システムの定義

次世代型水管理システムとは、次世代型農業水利システムを情報通信・制御技術で支えるものであり、ICTを活用して水管理を遠方および自動で制御するシステムである。水田の給水栓と排水口を遠方および自動で制御する「圃場水管理システム」と支線レベルの配水施設を遠方および自動で制御する「配水管理システム」、幹線レベルの送水施設を遠方監視制御する「基幹水管理システム（TC/TM）」から成る。

[解説]

次世代型農業水利システムとは、「少数の大規模経営の担い手が水利用の大宗を占める構造への転換を図る中で、水管理を土地改良区と担い手を中心となって担えるよう省力化・効率化し、農業経営戦略に基づく水の弾力的な利用を可能とするものとされている（印藤（2015））。目指すべき姿として、水源等の運用が的確に見直されるとともに、開水路の幹線水路は長寿命化が図られ、支線水路から圃場に至る水路はパイプライン化し、支線水路の移行地点には、取水地点と圃場間の送水タイムラグ、圃場レベルの時間単位の水利用変動、水源の無効放流等を吸収する調整池もしくは調整水槽が新設され、高度な需給調整が図られるものである。

次世代型水管理システムは、次世代型農業水利システムを情報通信・制御技術で支えるもので、①圃場水管理システム、②配水管理システム、③基幹水管理システムを合わせたものである。圃場水管理システムは、ICTを活用して、圃場レベルの湛水深等の遠方監視、給排水栓の遠方操作・自動化を可能とする。配水管理システムは、土地改良区等が管理するポンプ場などの配水施設の遠方監視・制御の導入、配水・分水の自動化、最適配水シミュレーションによる効率的な配水管理を実現する。農家が管理する水田の給水栓と配水施設をICTを活用して双方向で共有することで新たな水管理体制を整備する。

①、②の水管理システムの上位には、基幹水利施設による地域の水管理を行う③基幹水管理システムが位置し、さらに支線レベルで集約した情報を共有することで流域全体の水管理につなげることができる。



図 1.2-(1) 次世代型水管理システムの概要図

1.3 次世代型水管理システムの新たな運用主体

次世代型水管理システムを運用する主体は、担い手と土地改良区である。担い手は従来個別農家が持っていた水需要者の要望を集約し地域の水需要を代表する新たな役割と権限を持つ。一方、土地改良区は、これまでの用水供給者の役割に加えて、担い手との協調を通じてより高度な需給調整を実現する役割と権限を持つ。

[解説]

戦後の土地改良事業による水利システムの整備においては、用水の需要者は個別農家を意味し、用水の供給者は国や県から管理委託をされた土地改良区を意味してきた。この間の事業では、一貫して末端個別農家による水利用の省力化と自由度の向上が最重視され、末端圃場のパイプライン化などによる需要主導型水管理方式への移行が進められた。しかしながら、担い手の一方的自由に任せた需要主導型方式は、当然のことながら、末端用水管理の粗放化や無効放流の増加に繋がることから、用水供給者である土地改良区は、担い手に絶えず用水管理の適正化を呼びかけるなど、需給調整の苦労を重ねてきた。

次世代水管理システムが目指すのは、担い手の自由度（需要）と土地改良区の水事情

による制限（供給）の間のスムーズな需給調整の実現である。担い手と土地改良区の間で運用される水管理方式は、表 1.3-(1)のように大きく3つの方式に分類でき、以後の説明は、これらの分類に基づいて行うこととする。

表 1.3-(1) 次世代型水管理システムにおける水管理方式の分類

次世代型水利システムの水管理方式	
水管理方式の名称	内容
担い手 主導型	担い手が水管理の主導権を持つ方式
担い手・土地改良区 調整型	担い手と土地改良区が調整して水管理する方式
土地改良区 主導型	土地改良区が水管理の主導権を持つ方式

1.4 次世代型水管理システムの導入に当たっての検討事項

次世代型水管理システムの導入により、水田の水管理は担い手主導型になる。土地改良区主導型の基幹水利システムと調和をとりつつ、水の需要と供給を調節する仕組みを構築する。

[解説]

大規模経営体が新たな水管理システムを導入する場合（次世代型水管理技術の適用のほか、遠方操作の導入、ICT 技術等の導入による水管理の高度化など）、土地改良区が管理する幹線・支線レベルの水管理にも影響が及ぶことが想定される。しかし、大規模水管理システムの整備・更新はすぐにはできないので、既存システムの有効活用を前提とし対応を検討する必要がある。

農業水利システムにおける施設構成と水管理システムの構成を図 1.4-(1)に示す。

[参考]

(1) 幹線レベルの水管理システム（基幹水利システム、土地改良区が管理）

大規模システムは、国営・県営土地改良事業で整備された水利システムで、国営・県営土地改良事業で整備され土地改良区が管理している。ダム、頭首工、ポンプ場等の水源施設と幹・支線水路、大規模分木工等の配水施設から構成されている。これらの施設を監視・操作する水管理システムは、単独で運用するものから複雑なシステムを構築したものまで

多彩であるが、基本的には、用水計画に基づき、供給側（土地改良区）が水の供給量を調整する方式がとられている^{9),10)}。この中には、農家の需要を積み上げ、翌日の水供給量を調整する事例もみられる。需要が重なり、需要量が供給可能量を超過するときは、供給時間を調整する場合もある。

(2) 支線レベルの水管理システム（配水管理システム、土地改良区・水利組合が管理）

中規模システムは、大規模システムを引き継ぎ圃場に送水するためのシステムで、大規模土地改良区傘下の地域の土地改良区や水利組合に管理されている。ここでは、大規模システムから水の供給を受け、配水施設を中心とした水利システムを想定し（以下、「配水管理システム」とする）、地域の土地改良区や水利組合により管理されているものとする。大規模な担い手（数10ha以上を経営）が単独で管理する場合もある。TC/TMは整備されていないため、農家の水需要に合わせて手動で運転されている。早朝運転を開始し、夕方運転を止めることが多い。一方、吐出水槽を設置し、水位管理による自動運転や圧力タンクを設置し需要（圧力）に応じた自動運転機能が付加された施設もある。

(3) 圃場レベルの水管理システム（圃場水管理システム、担い手農家による水管理）

中規模システムから用水の供給を受け、圃場レベルでは、担い手農家（大規模経営体）による水管理が行われる。圃場整備の進展、農業機械の大型化等により水稻作の直接労働時間は減少してきているが、水管理を含む管理労働時間の削減は進んでいないため、担い手農家（大規模経営体）の水管理負担は相対的に重くなっている。

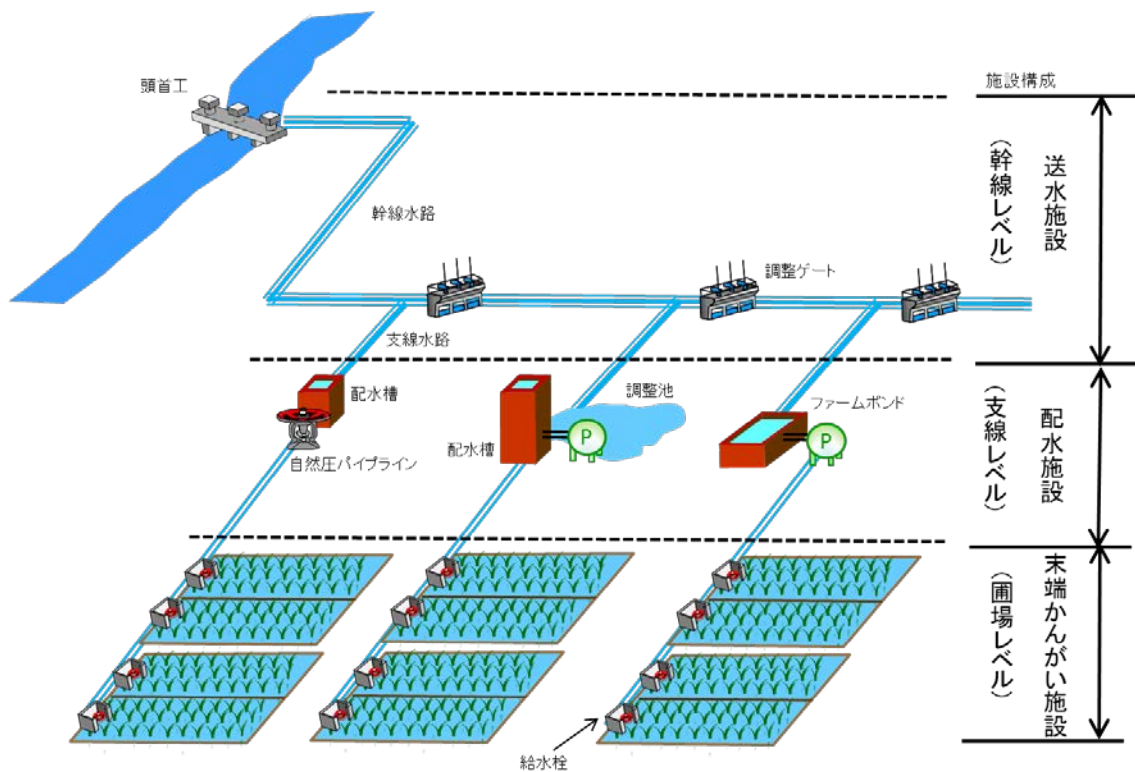


図 1.4-(1) 次世代型農業水利システムに対応する施設構成とシステム構成

1.5 次世代型水管理システムの展開方向

次世代型水管理システムの導入にあたっては、現状の水管理システムの構成と、それに対応した水管理の現状を把握する。その上で次世代型水管理システム導入に向けた、各技術ステージのレベルを把握し、展開方向を決定する。

[解説]

次世代型水管理システムの導入にあたっては、現状の水管理システムの構成と、それに対応した水管理の現状を把握する必要がある。その上で次世代型水管理システム導入に向けた、各技術ステージのレベルを把握し、展開方向を決定する必要がある¹¹⁾。そのためには、現状の水管理システムや次世代型水管理システムを導入した場合のレベルの類型化が必要である。次世代型水管理システムに対応する展開レベルの類型化はこれまで行われていないため、ここでは、開発された「圃場水管理システム」と「配水管理システム」を基に、展開レベルの類型化(案)を示す(表 1.5-(1))。この展開レベルの類型化(案)は、今後実際に土地改良事業等で整備を行う計画を立案する際には異なる可能性があることに留意する必要がある。

表 1.5-(1) 次世代型水管理システムに対応する展開レベル

	レベル0	レベル1	レベル2	レベル3	レベル4
概要	現状の TC/TM	圃場水管理システム整備	支線レベルの配水管理システム整備	圃場－支線間でデータ連携	圃場から幹線までデータ連携
幹線レベル (送水系)	○	○	○	○	◎
支線レベル (配水系)	×	×	○	◎	◎
圃場レベル (末端系)	×	○	○	◎	◎

○水管理システムが整備済み、×システム未整備、◎各レベルとのデータ連携も可能

[参考]

(1) 現状の水管理システム (レベル0)

水管理システムは様々な灌漑スケール、階層構造、灌漑形態に対応し、地域の水管理に対応したシステム構築がなされている。今回は、図 1.5-(1)に示すような、幹線、支線、末端で構成された広域灌漑地区を事例とする。

ここでは、土地改良区が管理する幹線レベルの TM/TC システムが整備されている状況をレベル0と位置づける。

(2) 圃場水管理システムの導入 (レベル1)

末端圃場において圃場水管理システムを導入し、給水栓の自動化、遠方・監視制御が可能になる状況。圃場レベル内においては湛水や生育状況の遠方監視、気象データ、生育データに応じたスケジュール管理など高度な水管理が可能。上位の水管理者との連携はないため、水源の状況の考慮、配水時間、量を調整することは難しい。

(3) 配水管理システムの導入 (レベル2)

現状においては、ほとんど手動で管理されており、水管理システムの整備が最も遅れている。支線レベルの調整施設において、圃場の水利用状況、幹線からの送水量に応じ、配水の自動、遠方・監視制御が可能である。幹線レベルの水管理システムとはデータ連携がないため、より広域レベルでの適正な水配分は難しい。

(4) 圃場－支線間でのデータ連携 (レベル3)

圃場と支線間でのデータ連携が可能になることで、末端の灌漑スケジュールや需要に応

じた、支線レベルでの適正な配水が実現する。また圃場側でも、支線レベルの調整池やファームポンドの配水スケジュールを確認し、必要に応じて配水の調整を行うことが可能となる。

(5) 圃場から幹線までのデータ連携 (レベル4)

圃場と支線、または支線と幹線ではデータ連携が可能になっている。よって、幹線システムから支線を通じ圃場の水管理まで把握することが可能であるため、圃場から水源まで一貫した水管理が実現する。次世代型水管理システムはこのレベルへの展開を目指す (図 1.5-(2))。

水源等の運用が的確に見直され、送水タイムラグの解消、無効放流の解消、効率的な送配水が実現する。圃場においては、作物の生育に応じた適切な給水を行えると同時に、渇水時や地域レベルの配水不均等の問題も解決され、安心した用水配分を受けることが可能になる。

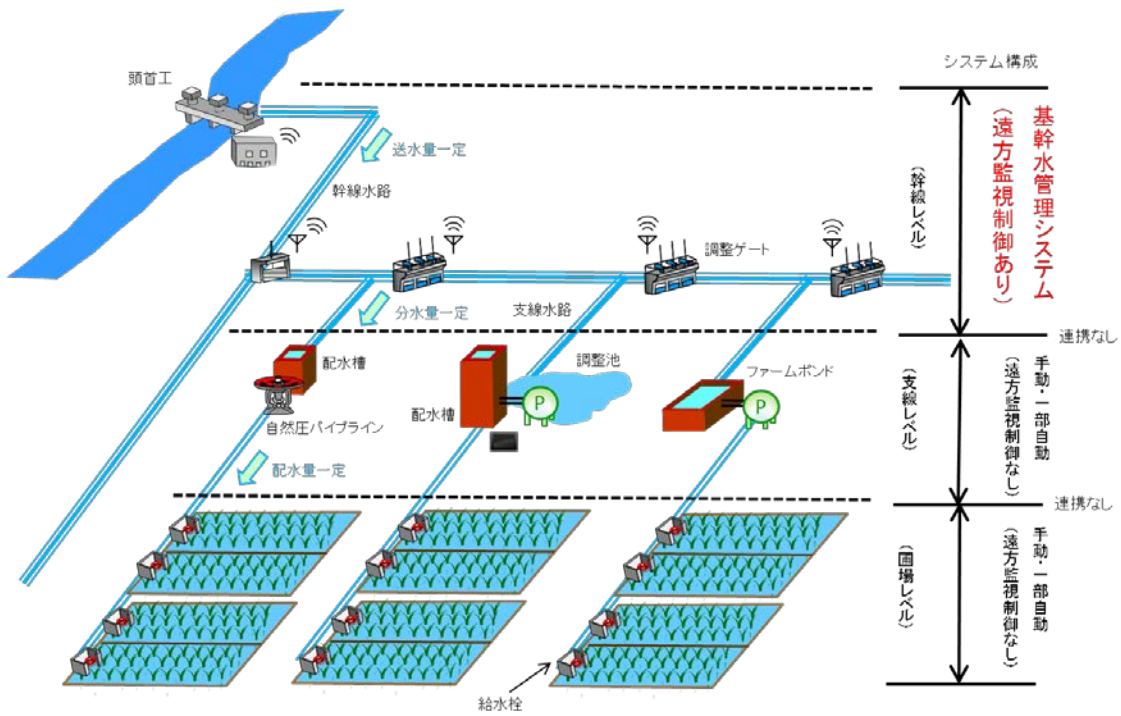


図 1.5-(1) 現状の水管理システムと対応する施設構成とシステム構成 (レベル 0)

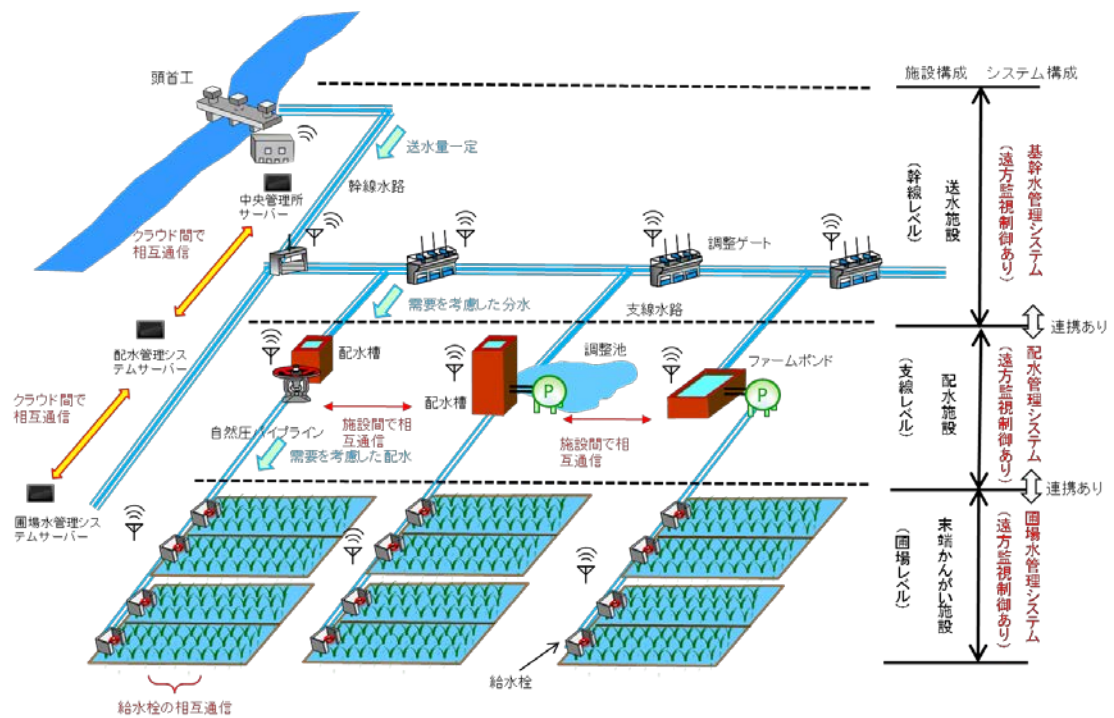


図 1.5-(2) 次世代型水管理システムに対応する施設構成とシステム構成 (レベル 4)

引用文献・参考文献

- 1) 農林水産省 (2016a) 土地改良長期計画,
<http://www.maff.go.jp/j/press/nousin/keityo/attach/pdf/160824-1.pdf>
- 2) 農林水産省 (2016b) 2015 年農林業センサス結果の概要 (確定値),
http://www.maff.go.jp/j/tokei/census/afc/2015/pdf/census_15k_20160427.pdf
- 3) 勝山達郎 (2004) 土地改良区が管理する農業水利施設の多面的機能の発揮と管理費用の負担に関する研究, 農業土木学会論文集, 229, 93-99.
- 4) 飯田俊彰, 木村匡臣, 溝口 勝, 竹下義晃, 樋口克宏 (2015) 水稲作向けの ICT を活用した農業水利情報サービスの提供, 水土の知 83(4), 23-26.
- 5) 友正達美, 谷本 岳, 内村 求 (2015) 代かき用水需要の平準化による春渇水への適応の可能性, 水土の知 83(9), 19-22.
- 6) 谷本 岳, 友正達美, 進藤惣治, 鬼丸竜治 (2017) 不耕起 V 溝直播栽培導入による用水需要時期の変化, 平成 29 年度農業農村工学会関東支部講演会要旨, 48-49.
- 7) 原田正人, 水上 徹, 林 春奈 (2016) 電気料金の変動を踏まえた農業農村整備事業での対応, 水土の知 84(10), 3-6.
- 8) 谷口智之 (2013) 兼業化稲作地域における用水配分と水田管理ー茨城県福岡堰土地改良区を事例としてー, 農業農村工学会論文集 283(81-1), 67-73.
- 9) 中 達雄, 樽屋啓之 (2015a) 農業水利のための水路システム工学, 農村工学研究叢書, p103.
- 10) 中 達雄, 樽屋啓之 (2015b) 次世代型農業水利システムへの計画設計の方向, 水土の知, 83(4), 259-262.
- 11) 印藤久喜 (2015) : 次世代型の農業水利システムの転換に向けて, 水土の知 83(4), 1-2.

第2章 圃場水管理システム

2.1 圃場水管理システムの定義

圃場水管理システムとは、水田の給水口または排水口にインターネット通信機能とセンシング機能を付加した制御装置を取り付けることで、給水口または排水口を遠方および自動で制御できるシステムである。

[解説]

1. 既存の水田用水の給・排水技術

水田の水管理作業を省力化するために、自動給水栓（オートバルブ）が開発・販売されてきているが、設定した水位を維持する機能しか有しておらず、水位調整や遠方（遠隔）制御、水位モニタリングが行えないものがほとんどである。これまでの自動給水栓はフロート部で水田の水位を検知し、吐出部と連絡している通水管を開閉することにより給水の制御を行う機構となっている¹⁾。また、過去には、遠方・自動制御を行える自動給水栓のシステムやバルブの改良・開発が、ウルグアイ・ラウンド対策研究開発事業²⁾（1995～2000年）で行われたが、出来上がった装置一式の価格が300万円程度と高額であったため、普及には至らなかった。そのため、給水の開始と停止、水位調節、水位確認等は基本的に各圃場まで出向いて作業する必要がある、離れた場所にある複数の水田の水回りを管理するだけでも多大な時間を要していた。

水田の排水を遠方制御または自動制御する従来技術は皆無である。整備された水田の排水口（落水口）はコンクリート柵に堰板を抜き差しして湛水と排水を行う場合が多い。未整備の水田では塩ビ管が備わっているだけの場合もある。そのため、排水作業および降雨時に適切な対応をとるためには、各排水口まで出向く必要がある。また、給水バルブとの連携がないため、場合によっては掛け流し灌漑が発生することもある。

2. 圃場水管理システムの基本定義

水田の水管理作業を大幅に削減するには、現地に行かずに給・排水操作を行い、水位を制御することが必要である。そこで、農工研では、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 生物系特定産業技術研究支援センター）」を活用して水田の給水口と排水口にインターネット通信機能とセンシング機能を付加した制御装置を追加することで、給水口と排水口の両方を遠方および自動で制御できるシステムを開発した³⁾。

手動で操作する給水栓は安価に普及しているため、開発装置の費用をできる限り抑える必要がある。また、手動の給水栓は多数設置されており完全に置き換えることは現実的では

ない。そのため、同一仕様で給排水を制御でき、既存の給水栓に取り付けられる装置を開発した。

2.2 圃場水管理システムの構成

圃場水管理システムは、給水口または排水口を操作できる通信機能を備えた制御装置、圃場の状態の記録と制御命令の発信が可能なサーバーおよび携帯情報端末で操作できるソフトウェアで構成される。

【解説】

本章でいう圃場水管理システムの構成要素は、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 生物系特定産業技術研究支援センター）によって開発された時点のものである。他に開発されている圃場水管理システムは、構成要素が一部異なるため注意が必要である。

1. 制御装置

開発した制御装置は給水側、排水側とも同一仕様であることが特徴である。太陽光パネルから供給された電源によりモーターが駆動し、給水栓の開閉と排水口の高さを連動して調整できる。また、給水側は水位・水温センサーを備え、水田内の状況監視または制御時の給水の開始や停止の判断基準となる。

2. 基地局

半径 500m の範囲にある最大 60 台の制御装置と省電力無線通信（Wi-SUN）による通信が可能である。

3. サーバー

水田圃場ごとに水位、水温、給水栓の開度、排水口の高さ等のデータを記録するとともに、水管理の自動制御ソフトや圃場間連携ソフトが格納されている。端末情報端末からの制御命令により制御装置の遠方操作のための命令を発信する。また、格納されたソフトを作動させて自動制御を行う。

4. 携帯情報端末（ユーザーインターフェース）

PC やスマートフォンなどを普段使わない耕作者でも直感的に操作できるよう、イラストでの状況表示や少ない回数で目的が達せられる工夫がなされている。

5. 制御ソフトウェア

圃場水管理システムを制御するソフトウェアは、水位・水温センサーが取得したデータおよび気象庁が発表している気象情報を確認できる。また、給水の開始や終了、強制落水などの指示に加えて、必要な湛水深制御に関する指示を送信できる。

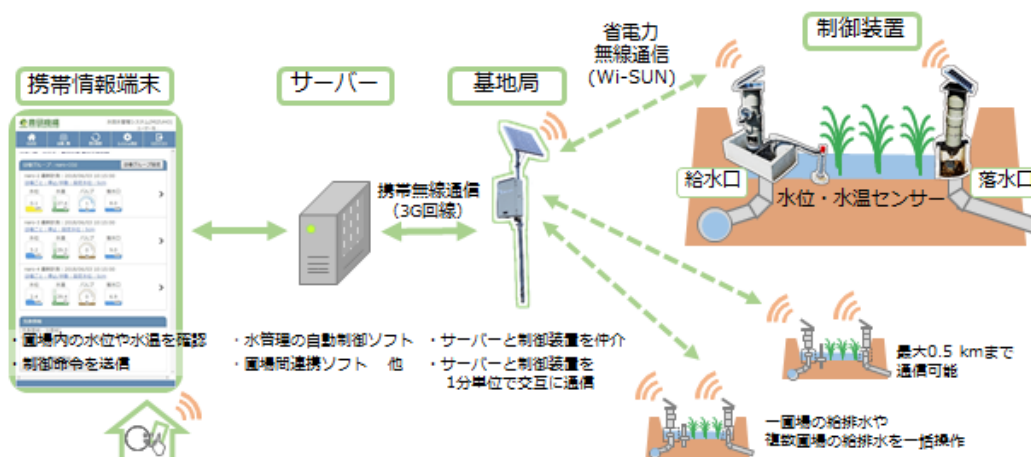


図 2.2-(1) 圃場水管理システムの概要

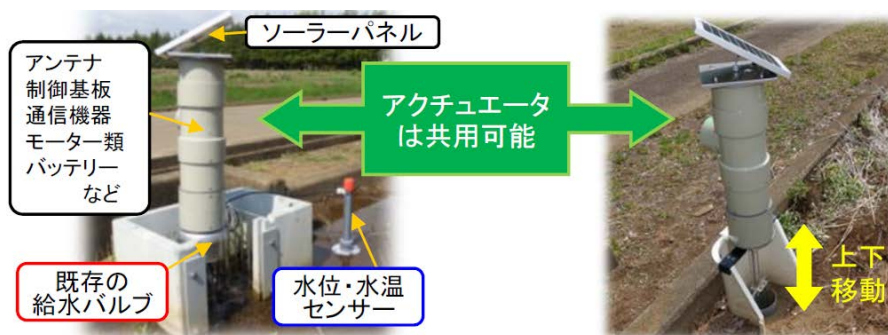


図 2.2-(2) 給水栓に取り付けた制御装置（左）と排水口に取り付けた制御装置（右）

2.3 圃場水管理システムの機能

圃場水管理システムは、農家の様々な水管理ニーズや現地の状況、不測の事態に応えるための多くの機能を有している。したがって、その機能を十分に把握して適切に活用する。

[解説]

本章では、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 生物系特定産業技術研究支援センター)によって開発された圃場水管理システムを例にシステムが有している機能を紹介する。各々の圃場水管理システムによって機能が異なるため、使用目的に応じた機能を有することの確認が必要である。

1. データ表示閲覧

水田に配置された複数のセンサーや給水栓の開閉状況などの制御情報のデータとグラフ

を表示する。

2. 遠方制御

給水栓と落水口をリアルタイムに遠方制御することができる。給水栓の開度と排水口の高さを設定することができる。

3. 自動制御

複数の水管理方法が選択でき、自動で制御することが可能である。主な水管理方法は以下の通りである。

(1)一定湛水

設定した任意の湛水深を維持するよう、給水の開始と停止を繰り返す機能である。わずかな水位変化により作動と停止を頻繁に繰り返すことを防ぐために、許容できる湛水深の減少幅を任意に設定できる。また、落水口からの越流を防ぐために設定湛水深より高い位置に落水口を設定することも可能である。こちらも高さを任意に設定できる。

(2)間断灌漑

水管理の一手法である間断灌漑は、湛水後数日間給水を停止し、湛水がなくなる頃に再び給水して湛水状態とする水管理手法である。圃場水管理システムは間断灌漑を再現する機能を有している。「設定水位」と「間断灌漑周期」を入力すると、給水が開始し設定した湛水深に達すれば間断灌漑周期で設定した日数が経過するまで給水を停止する。設定した日数が経過後に設定した湛水深を下回っていれば給水し、上回っていれば再び間断灌漑周期の日数だけ停止する。

(3)時間灌漑

圃場に給水される時間帯が限定されている地域や、冷害対策など収量や品質の低下を抑制するために給水する時間帯を任意に設定することが可能である。給水の開始時刻と終了時刻を入力することで、上記の一定湛水や間断灌漑などで給水される場合の時間帯を限定することができる。

4. 気象データおよび降水量予測の閲覧

近隣のアメダスポイントを予め設定することで、気象データを閲覧することができる。また、気象庁のホームページなどから公表されている降水量予測も閲覧することができる。

5. 警告通知

機器の異常や設定水位よりも実際の数値に差が生じた際に警告通知（メール）が送られてくる。また、想定される水温よりも高温または低温の場合についても同様である。さらに、気象予報との連携により、台風などの異常気象が予測される場合についても警告通知が送られてくる。

6. 圃場間連携

管理する筆数が非常に多い場合、筆ごとの設定に労力を要することから、同一の作付け体系の複数筆をグループ化することができ、グループ内では同一の水管理とすることができる。

7. 日報の作成

水位、水温データや水管理データ（給水栓の開度、落水口の高さ、設定水位、制御命令）の毎時データを日報として出力できる。

8. 減水深の測定

水位データと給排水状況から減水深を測定することが可能となる。

2.4 圃場水管理システムの導入の効果

圃場水管理システムの導入は、水管理時間の大幅な削減を可能とする。また、気象や現地の条件に対応した水管理を省力的に行いながら、水稻の収量品質の維持・向上が期待できる。

[解説]

1. 水管理労力の削減

圃場水管理システムを導入すると、給水栓と排水口を遠方および自動で制御可能となる。水田圃場に出向くことを最小限にすることができるため、水管理のための移動にかかる時間を減らすことが可能となり、大幅な水管理労力の削減に結び付く。

2. 収量品質への効果

圃場水管理システムの導入により、これまで以上に精緻な水管理ができるようになると収量が増加する事例がある。また、水稻栽培における水管理労力を大幅に削減しながら、これまでと収量を同等に維持できる事例もある。このように圃場水管理システムの導入は、水稻栽培における水管理労力を相対的に減らしながら、収量品質の維持・向上に資する効果がある。

[参考]

1. 圃場水管理システムの実証試験⁴⁾

現地圃場で圃場水管理システムの稼働に関する実証試験を実施している。2016年度および2017年度に8道県9地区において、65筆（合計35ha）の給水栓と落水口に114機の制御装置を設置した。実証試験は、区画面積が3.4haの大区画圃場や中山間地域に位置する小区画の圃場、開水路により用水が供給されている地区、iDASと連携して運用される地区など面積や地形が多様な条件で実施した。図2.4-(1)に実証試験を行った水田圃場の所在地を示す。また、実証試験を行った9地区ごとの試験区および対照区の圃場筆数とその総面積、試験区における給水口と排水口に設置した制御装置の数、農家の自宅から対象圃場をすべて回るのに必要な移動距離を表2.4-(1)に示した。

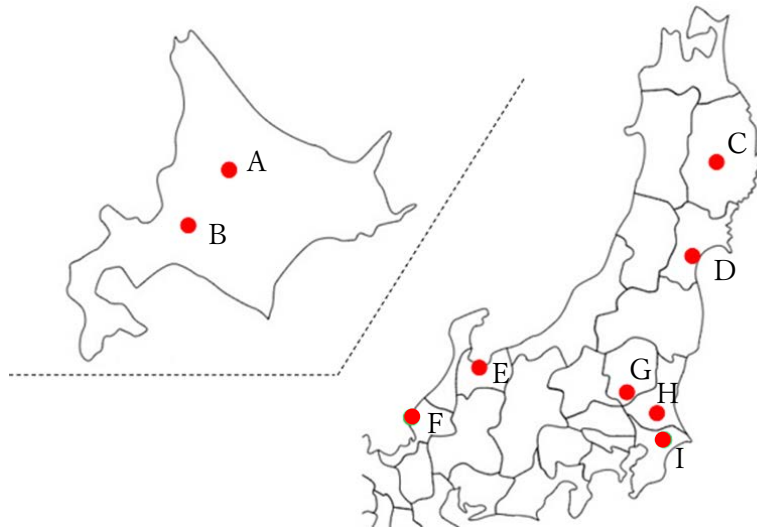


図 2.4-(1) 実証試験を行った水田圃場の所在地

表 2.4-(1) 実証圃場の概要

地区名		筆数 (筆)	総面積* (ha)	制御装置台数 (台)	移動距離 (km)
地区 A	試験区	1	3.4 (3.4)	給 5	—
	対照区	13	31.6 (2.4)		7.1
地区 B	試験区	3	2.3 (0.8)	給 3	—
	対照区	47	33.1 (0.7)		—
地区 C	試験区	1	1.0 (1.0)	給 3 排 3	—
	対照区	1	0.4 (0.4)		1.2
地区 D	試験区	14	12.0 (12.0)	給 14	—
	対照区	19	16.2 (16.2)		6
地区 E	試験区	3	0.8 (0.3)	給 3 排 3	—
	対照区	12	2.0 (0.2)		5
地区 F	試験区	27	6.5 (0.2)	給 27 排 27	—
	対照区	2	0.5 (0.3)		41
地区 G	試験区	2	3.0 (1.5)	給 3	—
	対照区	2	1.3 (0.7)		—
地区 H	試験区	11	5.0 (0.5)	給 15	—
	対照区	384	140.0 (0.4)		15
地区 I	試験区	3	0.8 (0.3)	給 3 排 3	—
	対照区	—	—		—

*総面積に加えて()内に一筆当たりの平均面積を示した。

2. 圃場水管理システムの導入による効果の評価例

上記の実証試験を行った地区のうち6地区で省力効果と収量品質を調査した。実証試験実施地区における省力効果と収量を表2.4-(2)に示す。また、収量品質にかかわる項目の比較を表2.4-(3)に示す。

表 2.4-(2) 実証試験実施地区における省力効果と収量

地区名 (計測日数)		水管理の労働時間 (分)			水管理時間の削減 率 (%)		精玄米重量* (kg/10a)	収量の増減 (%)
		合計	1筆当 たり	10a当 たり	1筆当 たり	10a当 たり		
地区 A (65日)	試験区	96	96	2.8	61	72	472	+2
	対照区	3,233	3,233	10.2			465	
地区 B (49日)	試験区	61.3	61.3	2.7	95	95	838	+4
	対照区	17,640	17,640	53.3			804	
地区 C (110日)	試験区	118	118	11.8	75	91	642	+12
	対照区	466	466	129.4			571	
地区 A (42日)	試験区	15	1.1	0.1	97	97	531	+12
	対照区	718	37.8	4.4			473	
地区 A (84日)	試験区	93	31.0	11.6	73	83	516	±0
	対照区	1,400	116.6	70			516	
地区 A (92日)	試験区	217	19.7	4.3	67	74	—	—
	対照区	23,220	60.5	16.6			—	

*精玄米重量の計測には1.9mm篩を用いた。

表 2.4-(3) 収量品質にかかわる項目の比較

地区名		登熟歩合 (%)	未熟粒割合 (%)	タンパク含有率 (%)
地区 B	試験区	78	—	7.6
	対照区	73	—	7.5
地区 E	試験区	71	17.6	7.3
	対照区	85	20.6	7.3

2.5 圃場水管理システム導入にあたっての調査

圃場水管理システムの導入にあたっては、基地局やサーバーの設置・使用状況を事前に把握するとともに通信環境の整備が必要である。また、制御ソフトウェアの使い方のサポート態勢についても検討が必要である。

[解説]

圃場水管理システムを利用するには、給水口と排水口を操作できる制御装置の他、基地局、サーバーおよび携帯情報端末が必要である。これらの間で良好な通信環境となるように導入計画を立てる必要がある。

まず、制御装置を設置する給水口と排水口の位置を決める。その後、複数の制御装置から通信が可能な位置に基地局を設置するように計画する。基地局の設置にあたってはできるだけ高い位置になるようにすることで、通信環境を向上できる。基地局を制御装置と同様の標高面に設置する場合、作物の草丈を考慮した高さを確保するようにする。

特に高齢者が携帯情報端末を使用して圃場水管理システムを利用する場合は、制御ソフトウェアの使い方のサポート態勢についても検討が必要になる。

2.6 圃場水管理システムの機能の拡張

圃場水管理システムは、外部のデータやプログラムと連携することにより最適な水管理を実現する機能等の開発が進んでいる。圃場水管理システムの導入にあたっては、開発段階の最新の情報も入手して検討する必要がある。

[解説]

圃場水管理システムの機能を 2.3 の解説で示したが、API (Application Programming Interface) による外部のデータやプログラムとの連携を図ることにより、気象状況や作物生育に応じた最適な水管理を実現する機能が開発され、実証試験が実施されている。また、圃場水管理システムで得られたセンシングデータや水管理データを外部のコンテンツに提供することにより、多圃場での営農管理を支援するシステムや圃場と広域が連携した水管理システムの一部にもなっている。さらに、土壌水分センシングデータと連携することにより FOEAS 圃場の転換畑利用時の水管理も行えるようになってきている。現在、開発や実証試験が行われている機能について以下に紹介する。そのため、圃場水管理システムの導入にあたっては、最新の情報を入手して検討する必要がある。

1. 気象対応型水管理ソフトの開発⁵⁾

メッシュ農業気象データと発育予測モデルを利用して圃場水管理を最適化・自動化する気象対応型水管理ソフトが開発されている。同ソフトは、地域や品種・作期に応じた水管理

スケジュールの簡便な自動作成，発育予測に基づいたスケジュールの適切な自動調整，さらに水温を上昇（または低下）させる最適灌漑時刻の自動計算が可能で，圃場水管理システムに導入することで，これまで手作業では困難だった圃場での高度な水管理を実現できる。

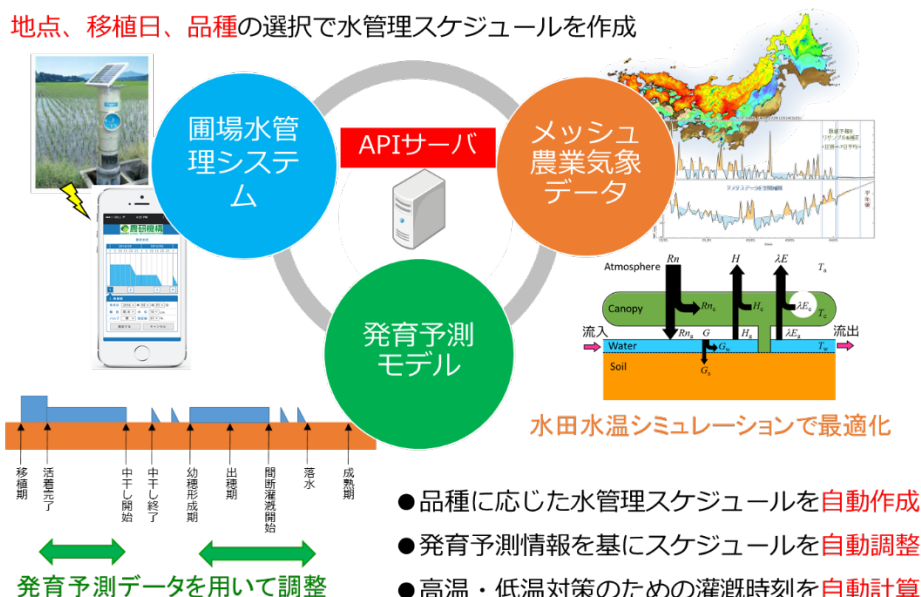


図 2.5-(1) 気象対応型水管理ソフトの概念図

[参考]

- (1) ソフトには地域ごとの典型的な水管理パターンのテンプレートが用意されており，地点，移植日，品種を選択することで生育期間を通じた水管理スケジュールを自動で作成できる。
- (2) 中干しなど水管理パターンの切り替えポイントは発育ステージに関連付けが可能で，発育予測情報に連動して自動的にスケジュールを調整できる。
- (3) 低温（または高温）対策のためにシミュレーションから水田水温を上昇（または低下）させる最適な灌漑時刻の計算が可能で，水管理スケジュールの毎日の灌漑時刻に反映できる。

2. FOEAS 圃場の転換畑利用時の水管理の遠方操作

FOEAS 圃場に圃場水管理システムを導入し，転換畑利用時の地下灌漑操作に活用する場合，灌漑操作の判断が重要となる。そのため，作土層の土壤水分状況を圃場水管理システムで監視し，遠方操作で灌漑を行う仕組みが構築されている。作土層の土壤水分状況の監視には，土壤水分センサーを設置して行う機能と降雨量と蒸発量を外部の気象データベース（作物気象データベースやメッシュ農業気象データ）から取得し，作土層の土壤水分量を演算す

る機能が圃場水管理システムに導入されている。

3. APIによる外部コンテンツとの連携

(1)配水管理システムとの連携

幹線水路やポンプ等を制御する圃場-水路連携システムと連携することで、水資源を効率的かつ安定的に供給する次世代型水管理システムの構築が進められている（詳細は次章を参照）。圃場水管理システムで測定される減水深や水管理スケジュール、メッシュ農業気象データによる降水量予測から、圃場レベルの水需要予測が可能となり、それらをもとに配水管理システムによって水利施設を制御することで、適正な配水および省エネルギー化が可能となる。

(2)営農支援システム（多圃場営農管理システム*⁶⁾）との連携

多圃場営農管理システムは圃場地図をもとに作付け状況や栽培管理状況等を管理するシステムである。圃場水管理システムと多圃場営農管理システムをAPIによって連携させる構想がある。圃場水管理システムで測定される水位や水温、水管理データを利用して圃場地図上で他の営農作業と一連の流れで視覚的に管理可能となる。また、多圃場営農管理システムで栽培計画を作成し、それに合わせた水管理を自動で行うことを目指している。

*内閣府 戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）「次世代農林水産創造技術」の中で開発された営農支援システム

引用文献・参考文献

- 1) 農林水産省農村振興局（2013）土地改良事業計画設計基準及び運用・解説 計画「ほ場整備（水田）」
- 2) 生物系特定産業技術研究支援センター（2001）ウルグアイラウンド対策研究開発成果，http://www.naro.affrc.go.jp/org/brain/shien/seika/gijutu/list_1.html
- 3) 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，水土の知 85(1)，11-14.
- 4) 鈴木 翔，若杉晃介（2018）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，水土の知 86(12)，17-20.
- 5) 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，水土の知 86(4)，15-18.
- 6) 吉田智一，高橋英博，寺本郁博（2009）圃場地図ベース作業計画管理ソフトの開発，農業情報研究 18(4)，187-198.

第3章 支線レベルの水管理システム（配水管理システム）

3.1 配水管理システムの定義

配水管理システムとは、支線レベルにおける水管理のうち、圃場における水利用に応じて、ポンプ場、配水槽、調整池、バルブ等の配水施設から圃場への配水を自動、および遠方より監視・制御することができるシステムである。

[解説]

1. 農業水利システムにおける配水管理システムの位置づけ¹⁾

図 3.1-(1)に圃場から広域まで連携した水管理システムの概要を示す。担い手を中心となり管理する圃場内水管理システム、支線以下の圃場ブロックレベルを管理する配水管理システムとさらに支線と情報通信を行う中央管理所における基幹水管理システムから構成されている。

現在、土地改良区や水利組合が管理する配水施設は、施設の老朽化、高齢化などの進展による管理費の増大や要員不足と人件費の節減が必要となっている。その対策として、巡視・点検の省力化、施設の運転操作の自動化や集中管理による省力化が必要となり、遠方監視制御、集中管理、データ収集のため水管理システムの導入の必要性が増大している。

また、次世代型の農業水利システムの必要な機能として、支線から圃場までの水路のパイプライン化、水利用変動、無効放流、送水タイムラグを調整するための支線バルブ、調整池及び調圧水槽など調整施設の整備による需要主導型の水供給の実現、遠方監視・制御の導入、配水の自動化、最適配水シミュレーションによる効率的な配水管理の実現があげられる。これらの実現のために配水管理システムの導入が不可欠となっている。しかし多くの配水施設は手動で管理されており、今後の老朽化や管理者の高齢化を考えると、配水管理システムの構築が必要とされている。

2. 支線レベルの配水管理システムの基本定義

水田圃場の大区画化や担い手への農地集積の進展を踏まえ、多様な営農が展開され、広域にわたるポンプ場や分土工等の土地改良施設の管理労力や維持管理費が増大している。また、需要主導型水管理への移行が進められるとともに、土地改良施設における供給管理との連携による適正な水配分が必要である。そこで、クラウド、低コスト無線通信規格 LPWA (Low Power Wide Area) 等の ICT を活用しポンプ場や分土工等を自動化することで、担い手農家、土地改良区双方の水管理労力、施設管理労力を大幅に軽減し、効率的な水管理や節水、節電を可能にするための、システムとして配水管理システムを定義する。

配水管理システムは、農家（担い手等）が管理する給水口から、土地改良区が管理する数

10～100ha 程度の面積をカバーするポンプ、バルブなど支線水路・配水施設までを一つのシステムとして捉え、軽装化した監視制御・情報収集システムを導入し、パソコンやタブレット、スマートフォンなどにより配水管理や施設管理の自動化・遠方操作化を行うものである。本システムは、土地改良区が管理する配水施設と農家が管理する圃場の末端給水栓などを同一システム上で連携して監視制御することを可能とし、農家の水管理労力を削減するばかりではなく、用水使用量の節減や土地改良施設管理の省力化にも寄与する。

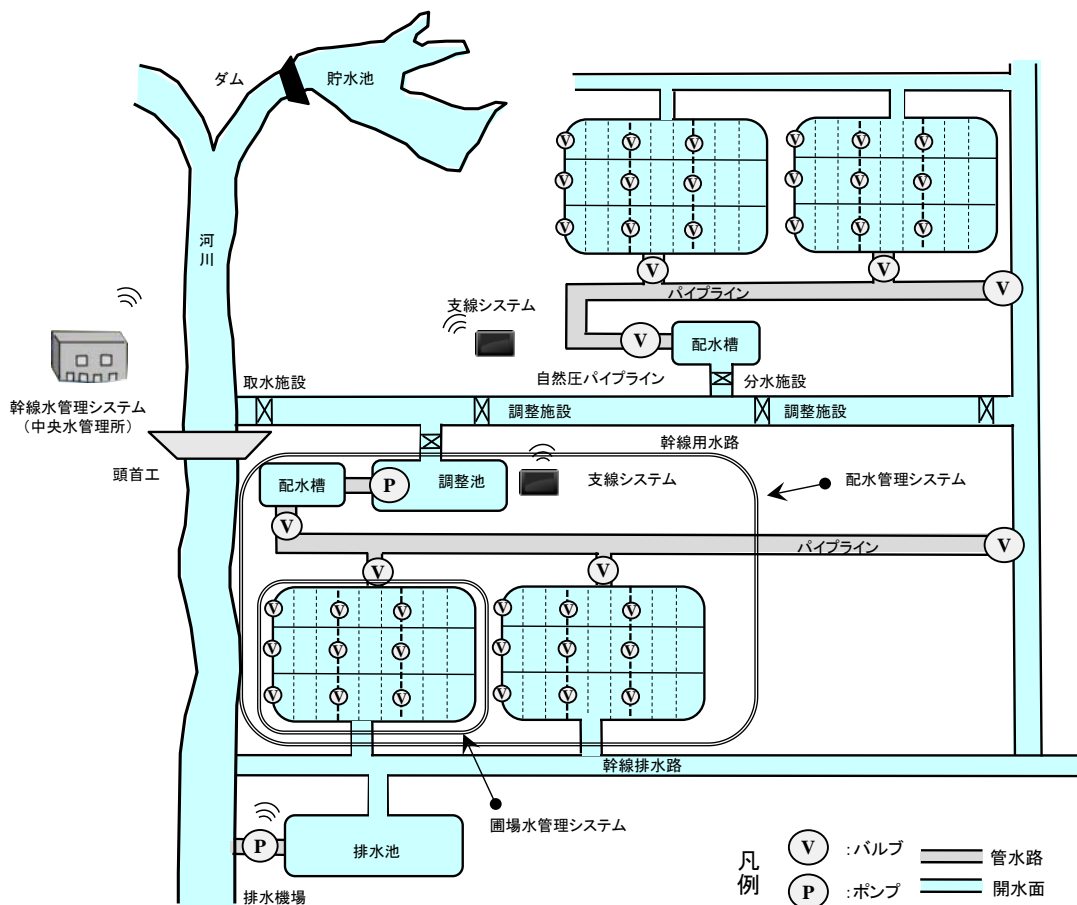


図 3.1-(1)

圃場からダムまで連携した水管理システムにおける配水管理システムの位置づけ

3.2 配水管理システムの構成

配水管理システムは、監視制御システム (SCADA)、遠方監視制御機器を制御する汎用コントローラー (PLC)、通信基盤 (携帯電話網, 低コスト無線通信 (LPWA)) がパッケージになったもので、圃場における水利用状況を考慮した適正な配水制御を行う。サーバーはクラウド管理をベースとして WEB ブラウザ管理, および事務所におけるオンプレミス管理の両方に対応している。

[解説]

本章でいう配水管理システムの構成要素は、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 生物系特定産業技術研究支援センター) によって開発された時点のものである。

1. 監視制御機器

既存のポンプから新規に設置する自動バルブまで遠方制御を行うことが可能である。また、水位計、流量計、圧力計等のセンサーも遠方監視することが可能である。

2. コントローラー

現地に設置されている制御機器は汎用コントローラーである PLC による制御を行う。

3. サーバー

図 3.2-(1)に示すように、クラウドサーバー管理をベースとし、農家や施設運転手を対象とした WEB ブラウザによる運用と、土地改良区を対象とした事務所サーバーをおき運用するオンプレミス管理の、両方を活用したハイブリッド型運用が可能である。

4. 監視端末 (ユーザーインターフェース)

事務所用のパソコン管理と WEB ブラウザベースのスマートフォンのどちらも利用可能。両者ともに耕作者でも直感的に操作できるよう、グラフィックでの状況表示や少ない回数で目的が達せられる工夫がなされている。

5. 通信基盤

用水機場単位に設置された IoT ルーターから携帯通信網における VPN によりクラウドに接続する。機場周辺の調整施設のモニタリング機器等の分散配置された監視制御機器は低消費電力無線通信規格 LPWA (Low Power Wide Area) により IoT ルーターの一箇所に集約することで通信コストを低減させている。

5. 制御ソフトウェア

FA やプラントの監視制御に標準的に採用されており信頼性と安定的な監視制御が可能な SCADA (監視制御・データ収集システム) を採用する。また WEB ブラウザベースでの SCADA とほぼ同じ機能を有するソフトウェアも併用する。

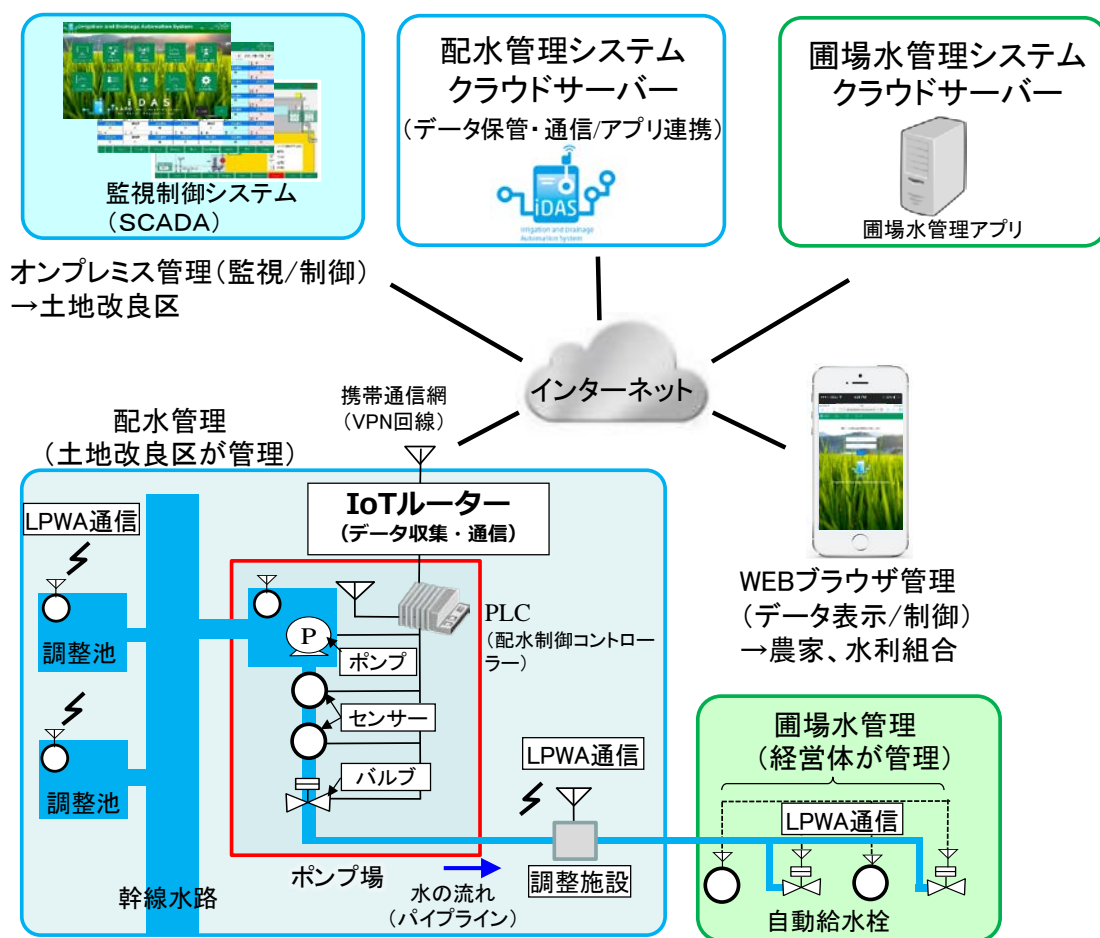


図 3.2-(1) 配水管理システムの構成



図 3.2-(2) 監視・制御対象 (左, ファームポンドとポンプ場, 右, 配水槽の水位監視)

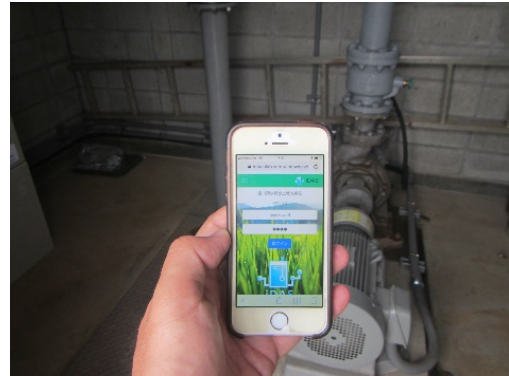


図 3.2-(3) 監視端末（左，事務所用パソコン，右農家，施設管理者用スマートフォン）



図 3.2-(4) 通信制御機器（左，PLC と IoT ルーター，右 LPWA 無線子機）

3.3 配水管理システムの機能

土地改良区等が管理するポンプ場などの配水施設から、農家が管理する水田の給水栓までを ICT を活用して連携し、遠方監視制御することで、農業用水の最適な配水、水管理の省力化、節水・節電を行う。

[解説]

1. データ収集・表示・閲覧

配水施設を監視する複数のセンサーや配水施設の運転状況などの制御情報のデータを収集しグラフ表示する。

2. 遠方制御

配水施設の ON/OFF 制御、や自動制御のモード設定などを遠方から行うことができる。

3. 配水制御機能

複数の配水制御方法が選択でき、自動で制御することが可能である。主な水管理方法は以下の通りである。

(1)最大損失圧力一定制御機能

直送方式のポンプ場において、予め行った配水系パイプラインの水理解析に基づき、全ての給水栓の開閉状況に拘わらず、損失圧力が最大となる地点の圧力が一定になるように、インバーターによってポンプを制御する。

(2)配水槽水位一定段階制御

調整容量が小さい配水槽において、水位の減少速度から流量を換算し、使用流量に応じてポンプからの配水をインバーターで制御する。

(3)時間制御

圃場管理システムからの情報と、施設管理者の給水スケジュール・広域の施設管理情報をクラウドサーバーに集積し、これをもとに配水施設（ポンプ場）の運転開始時間を制御する。

(4)最適バルブ開度シミュレーション機能

農地集約が進み、大規模経営体が非常に多くの圃場を営農するようになったとき、経営体が配水施設から圃場の給水栓までを一括して管理することが想定される。この場合に経営体が営農する全ての圃場への給水量を所定の値に設定するための各給水栓のバルブ開度を、配水系パイプラインの水理解析から提案する。

4. 警報システム

監視画面において、配水施設の異常や各種設定値よりも実際の数値に差が生じた際に警報圃湯時を行う。また指定した管理者へ警告通知（メール）が送る。

5. 圃場水管理システムとの連携

配水を行う圃場の給水栓を遠方監視制御が可能な自動給水栓とすることで、無線により

配水施設まで情報を集約することができる。

6. 日報・月報・年報の作成

各種の水管理データ（配水槽水位，ポンプ運転状況，設定値，制御命令）の毎時データを日報として出力できる。日毎に集約した月報，月毎に集約した年報も出力できる。

7. 各種外部アプリとの連携

圃場管理システムや気象予報データなどの外部アプリケーションやデータベースとリアルタイムで連携することができる。

8. 排水機場への適用

排水機場には，吸込水槽もしくは遊水池の水位に応じた自動制御によってポンプ運転が行われているものもあるが，自治体や土地改良区の職員によって手動でポンプ運転が行われているものも少なくない。このような機場では，配水管理システムの機能のうち 1，2，4，6，7 を活用することで，管理労力が大幅に軽減される。

土地改良施設管理基準及び運用・解説 一排水機場偏一で定められているように，洪水排除のためのポンプ運転の開始の判断や関係機関への通知等のため，洪水警戒時における管理水位の上昇の予測が必要である。予測プログラムを別途作成するとともに，上記機能のうち 1，7 を活用すれば，これにも対応可能である。

3.4 配水管理システムの導入の効果

配水管理システムの導入は、水管理労力の大幅な削減を可能とする。また、水利用状況に対応した配水制御を行うことで、節水や節電を可能にする。

[解説]

1. 施設管理の省力効果

配水管理システムを導入すると、ポンプ場などの配水施設の遠方および自動制御が可能となる。複数管理する配水施設に出向くことを最小限にすることができるため、水管理のための移動にかかる時間を減らすことが可能となり、大幅な水管理労力の削減に結び付く。

2. 節水・節電効果²⁾

ICTにより末端水需要の的確な把握により適時適量の水を給水することで、水源の節水や揚水機場の節電効果が期待できる。ここで用水機場においては、配水期間の見直しや、無効送水の削減、調整池やファームポンド設定水位の見直しなどのソフト対策への反映のみでなく、インバーターの設置などのハード対策も考えられる。

3. 施設保全効果

最適な配水制御により余剰な圧力や、老朽化にともなう劣化箇所への負荷が減少することが期待できる。また、土地改良施設に各種の警報機能を導入することにより、日常管理で見落としがちな不具合の発生や、事故を未然に防ぐことが可能になる。

4. 施設更新・改修のためのデータ蓄積

これから新しい地域のニーズや、営農に適合するために、水利用実態を記録し、現状の把握を行うことが必要であるが、配水施設などは手動管理が主であり、実態は管理者の経験によるものが多い。よって ICTによりデータを蓄積しビッグデータ化することで、管理実態の把握とともに、現状の問題点の抽出なども期待できる。

5. 圃場水管理の合理化

農地集約が進み、大規模圃場を経営体が管理するようになったときには配水施設から一括して圃場に配水のみでなく給水も行うことで、一圃場全てに自動給水栓を設置する必要がなくなり低コストで自動水管理を行うことが可能になる。また、流し込み施肥を配水施設から一括して行うことなども可能になる。

[参考]

1. 配水管理システムの実証試験³⁾

開発した配水管理システムを、全国4箇所について現地実証試験を行った。茨城県における水田灌漑地区の小規模ポンプ・パイプライン灌漑地区への実証試験では、ポンプ管理、圃場管理双方の省力効果および土地改良施設の節水・節電効果の検証を行い、2017年4月25日から灌漑終了となる8月15日までの灌漑期間において、約4割の節電効果、圧力減少

効果は計算上圧力（120kPa）の 6 割となった。水田灌漑地区の中規模ポンプパイプライン灌漑地区において圃場水管理システムと配水管理システムをクラウド間で API 連携させ実証試験を行ったところ約 4 割の節電効果、水管理の省力効果が確認できた。愛知県における中山間水田灌漑地区へは、機場および圃場の水管理の省力化、ポンプ配水の効率化の検証のための実証試験を行った。国営規模の水田灌漑地区においては、土地改良区が管理する分水工の流量のテレメータと圃場システムをクラウド間で API 連携させて現地実装を行い土地改良区により運用してもらい、圃場、土地改良施設双方の管理に係る省力効果を検証した。なお、ここでいう節電効果は、ポンプの電力(W)との相関の高いポンプ回転周波数を指標として、制御後のポンプの回転周波数を制御前の周波数(50Hz)で除した回転速度比として整理した。

2. 配水管理システムの導入による効果の評価例

1) 実証試験の概要

図 3.4-(1)の水田パイプライン灌漑地区の事例を中心に、実装内容と効果の検証について紹介する。本試験地の管内に設置されている揚水機場のほとんどが管理者を配置し、手動で運転管理が行われている。また、揚水機場から水田へはパイプラインが整備されているが、水需要の変動による過剰圧の発生やパイプライン自体の老朽化により、破損事故が毎年発生している状況にある。配水管理システムによりポンプ運転に必要な電気料金やポンプ管理のための人件費の削減に加え、適正なパイプライン内の圧力を保つことで施設の安全確保にも寄与することが期待されている。

実証地区は、図 3.4-(1)に示すように揚水機場からパイプラインにより水田に灌漑を行っており、圃場 11 枚からなる 7.9ha が対象である。この図中で、揚水機場（P5）に配水管理システムを実装しポンプ運転の監視制御、パイプラインの流量、圧力の監視のほか、水田の給水栓 15 カ所に自動給水バルブを設置し、水田の水管理も自動で行った。また、同一水系から取水する揚水機場 6 カ所の河川水位を遠方監視し、取水状況が確認できるようにした。

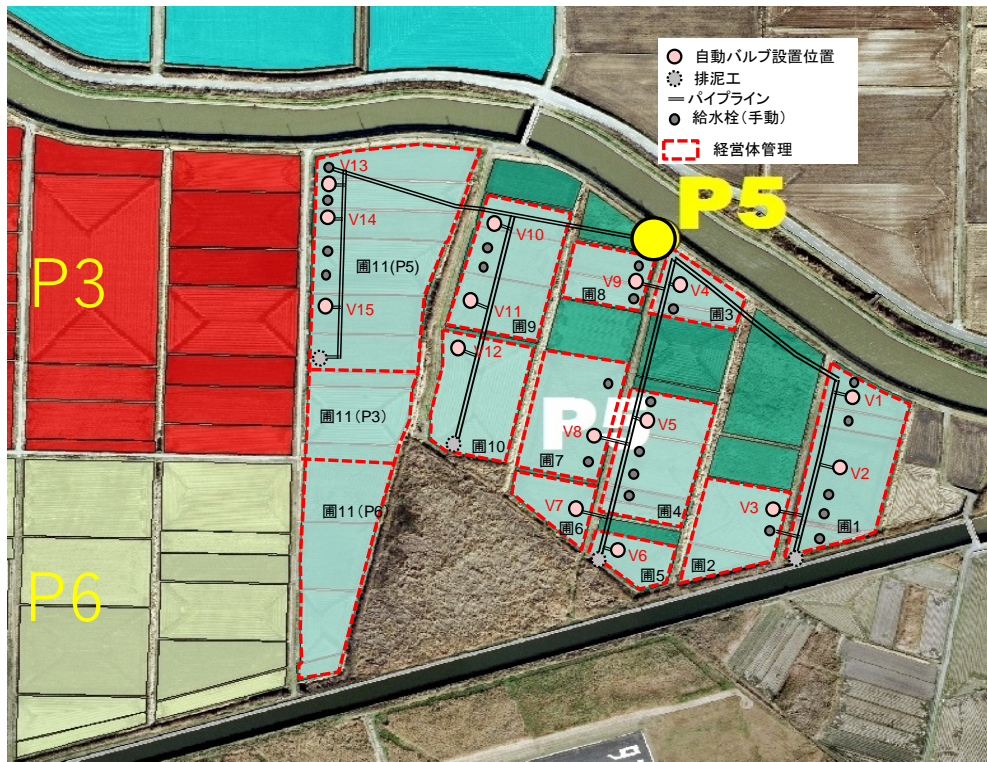


図 3.4-(1) 実証地区の概要



図 3.4-(2) 現地への自動給水栓設置状況 (左) とタブレット端末による監視状況(右)

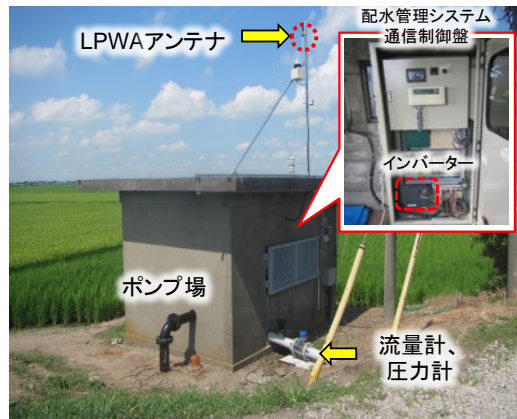


図 3.4-(3) ポンプ場への監視機器と通信制御盤の設置状況

2) 試験内容

実証試験は、2017年7月22日から8月25日に行われた。現地への設置状況を図3.4-(3),(4)に示す。稼働期間を通じて安定的に通信、制御が行えることが実証された。

また、図3.4-(5)はシステムの監視画面の事例である。ポンプ稼働状況の遠方監視・制御、予約管理、圃場に設置した自動給水バルブとの連携通信も安定的に行えることが確認された。

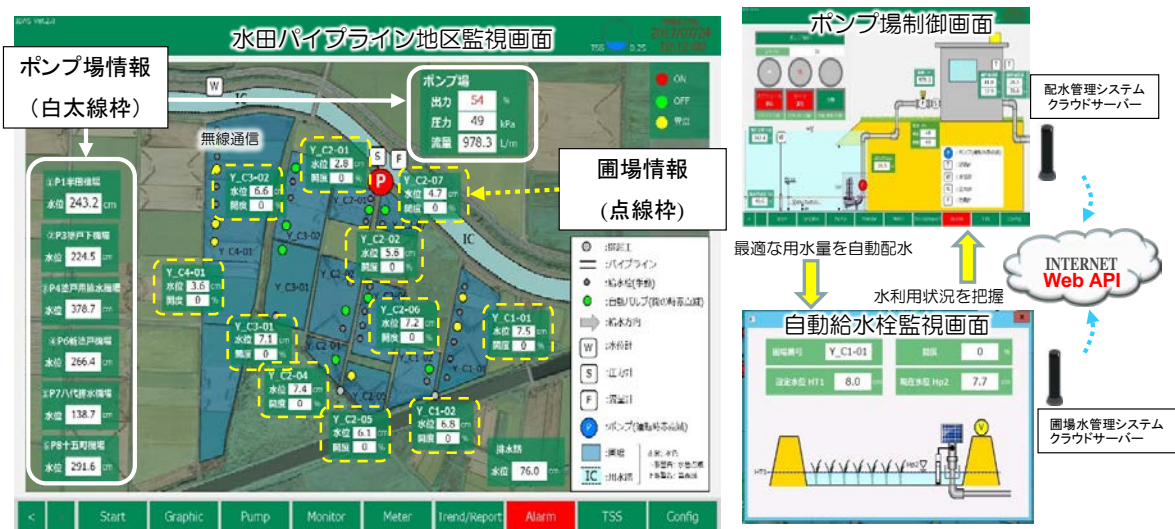


図 3.4-(4) 監視画面における稼働状況

3) 効果

表 3.4-(1)実証期間 (7月20日から8月15日) におけるポンプの稼働状況を示す。節電効果は、ポンプの電力(W)との相関の高いポンプ回転周波数を指標として、制御後のポン

プの回転周波数を制御前の周波数(50Hz)で除したポンプ回転速度比として整理した。ポンプ回転速度比は、64.7% (7月, 8月の平均) で稼働しており, 従来は ON/OFF のみの運転で 100% だったことから, 約 4 割の節電効果が得られているといえる。また, 圧力は, 従来の計画運転圧力 160kPa と比較し, 約 6 割低減していた。図 3.4-(5)には実証期間中のポンプの回転速度比, 流量の日毎の推移を示す。タイマー機能とポンプ制御により, ポンプ稼働中は利用状況に応じた用水のみ供給していることがわかる。本システムには予約制御機能があるため, ポンプ停止日を入力することで, 日毎のみではなく, 月毎でも自動制御が可能になっている。

表 3.4-(1) 実証期間におけるポンプ稼働状況

	ポンプ回転速度比 平均(%)	圧力 平均(kPa)	流量 平均(L/min)	用水量 mm/day
実施期間	64.7	70.1	1205.3	22.0
7/22~7/31	73.77	85.62	1478.83	27.0
8/1~8/15	55.54	54.49	931.77	17.0

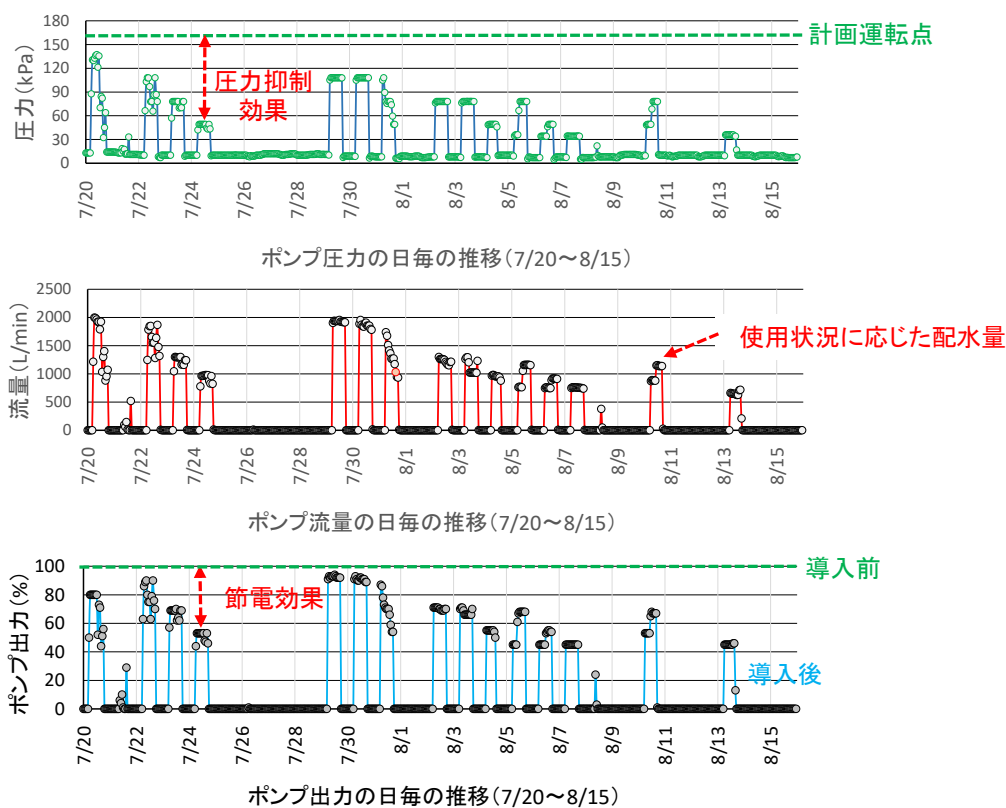


図 3.4-(5) 実証期間におけるポンプ稼働状況

3.5 配水管理システム導入にあたっての留意点

配水管理システム導入にあたっては、施設の管理形態、システム導入にあたっての効果、導入後の管理体制を農家、水利組合、土地改良区を交えて十分に検討する必要がある

【解説】

配水管理システムにあたっては、管理を担ってきた管理者の管理方法や問題点に関する十分に聞き取りを行い、いたずらに高度なシステムを導入するのではなく、当該土地改良施設に最適な制御設備の整備水準をどこにおくかについて、ライフサイクルコストなど経済性の観点や将来の管理体制、地元の意向などを十分踏まえた十分な配慮が必要である。また基幹施設から末端施設までの施設系全体として調和のとれた施設機能が発揮されるために、以下の点に配慮する。

- ①基幹施設の管理水準と末端施設の管理水準の調和
- ②末端圃場の水需要、配水状況を時間的、量的に把握しうる情報伝送系統の一元化
- ③具体的な時間的、定量的管理目標の設定
- ④重点的に管理すべき施設とそのほか施設の優先順位の設定
- ⑤管理の実務とそのチェック方法
- ⑥水管理のための人的構成および費用などを考慮して計画を立てる。

3.6 配水管理システムの適用箇所

配水施設の水管理形式は様々なものがあるため、最も効果的な制御方式、制御箇所、監視箇所を選定する必要がある

【解説】

配水施設は様々な形態がありその施設の機能を最大限に発揮できるように、また既存の施設が機能低下を生じている場合はシステムによりその低下箇所を補うことを考慮する必要がある。主な配水施設の形態は図 3.6-(1)のとおりである。

①CASE 1 配水槽式 –ON/OFF 制御 or 台数制御–

例) 開水路～調整池～ポンプ場（配水槽）～パイプライン

ポンプ場による配水方式としては最も一般的であり、以下の特徴がある。

- ・供給主導型が多い
- ・高架水槽の設備費、建設費が高い。
- ・場所に制約がある
- ・大規模の水田パイプラインが対象

- ・調整容量が十分な場合は需要主導型

配水槽に十分な調整容量を確保できれば、配水槽水位一定制御により、需要主導型の運転が可能になる。高架水槽から水路最末端における必要水頭を設定するため、配水槽直下付近の配水には減圧バルブ等により圧力を低減する必要がある。

配水管理システムを導入することで、配水槽の調整容量が十分でない余水方式の配水槽でも、配水槽水位のリアルタイム監視とポンプ場のインバーター制御により、末端使用水量に応じた運転が可能になる。

②CASE2 ポンプ直送式（圧力水槽なし）－ON/OFF 制御 or 台数制御－

例) 反復利用水路～ポンプ場(直送)～パイプライン

小～中規模の水田パイプラインに多い形式であり、以下の特徴がある。

- ・付帯施設が不要
- ・建設費用が安い
- ・供給主導の場合は電気代が高い
- ・小～中規模の水田パイプライン

直送方式であるため、ON/OFF 運転の場合は末端利用状況が変化しても使用電力が変わらないため電気代が高くなる。

配水管理システムの導入により、自動給水栓の状況のリアルタイム監視とインバーターの導入による推定末端圧一定制御により、水利用に応じた配水が可能になり、節水・節電効果を得ることができる。

③CASE3 ポンプ直送式（圧力水槽あり）－ON/OFF 制御 or 台数制御－

例) 開水路～調整池～ポンプ場（圧力タンク）～パイプライン

平坦地の比較的小容量のポンプ場において使用され、以下の特徴がある。

- ・畑かん施設に多い
- ・需要主導型になる
- ・平坦地の比較的小容量の灌漑施設

水田と畑地が混在する場合はピーク水使用時に頻繁にポンプの ON/OFF が稼動し、ポンプに大きな負荷がかかる欠点がある。ピーク使用時はインバーター運転に切り替えることなどの工夫が必要である。

配水管理システムの導入により、ポンプ場における稼動状況、ファームポンドの状況の遠方監視と各種警報の送信、不具合時の停止または復帰の遠方制御が可能になる。

④CASE4 自然圧式

例) 幹線開水路～配水槽～パイプライン

ポンプを使用せず水路の落差を利用した完全に自然圧で配水する形式である。配水槽

にフロートや流量を検知するセンサーを使用することで需要主型の配水が可能になる。幹線水路のチェックゲートによる制御と連動する必要がある。

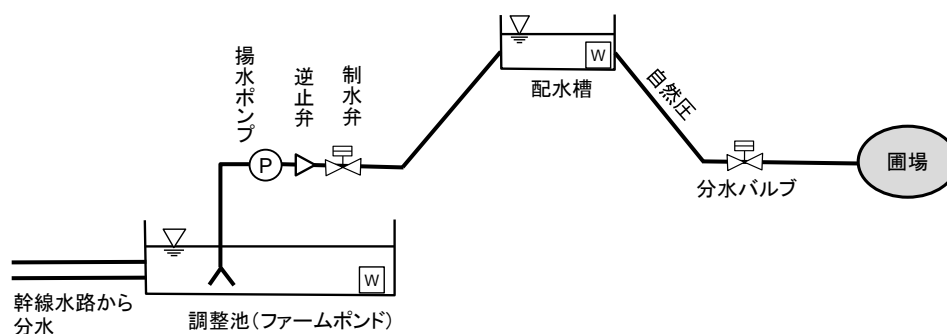
⑤CASE5 ポンプ直送式（圧力水槽なし）－ON/OFF制御 or 台数制御－

例) ため池～開水路～ポンプ場（直送）～パイプライン

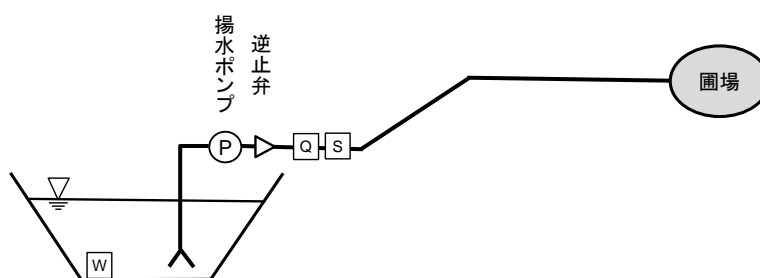
- ・小規模水源としてため池を利用
- ・ため池の管理も配水管理と連動
- ・渇水時にため池からの取水調整が必要

ため池からポンプ場まで開水路によって導水し、配水を行う方式である。水源となるため池の取水管理も必要となる。ポンプ場は直送方式となることが多い。

配水管理システムを導入することで、圃場の給水栓と配水を行う機場、取水源となるため池の施設を連携することが可能となるため、ため池の節水、省力管理化、使用水量の節水、節電が可能になる。

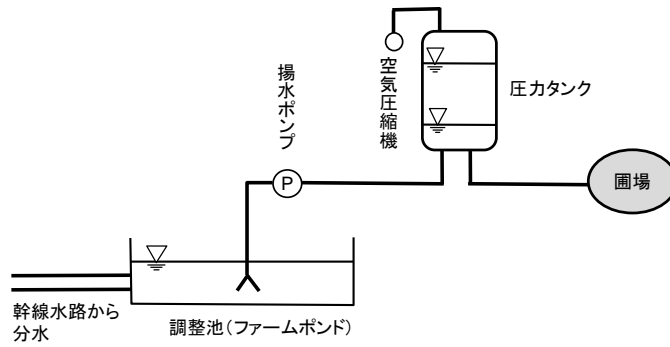


CASE 1 配水槽式 －ON/OFF制御 or 台数制御－
例) 開水路～調整池～ポンプ場（配水槽）～パイプライン

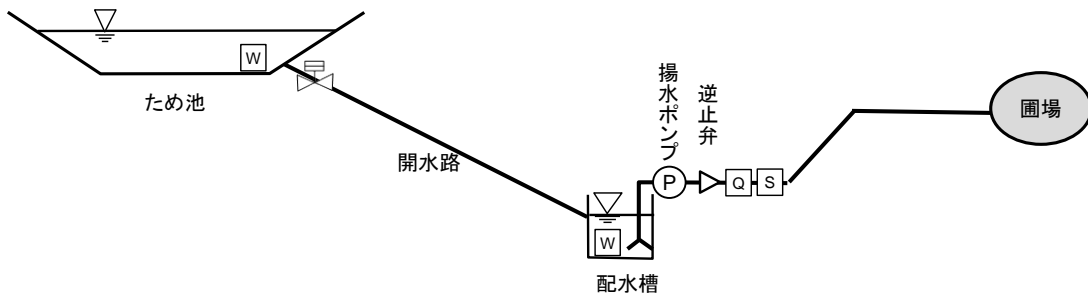


反復水路(用排兼用水路)、調整池

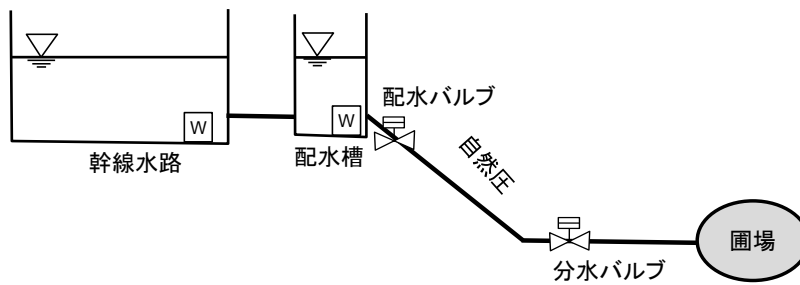
CASE2 ポンプ直送式（圧力水槽なし） －ON/OFF制御 or 台数制御－
例) 反復利用水路～ポンプ場(直送)～パイプライン



CASE3 ポンプ直送式（圧力水槽あり）－ON/OFF制御 or 台数制御－
例）開水路～調整池～ポンプ場（圧力タンク）～パイプライン



CASE4 自然圧式
例）幹線開水路～配水槽～パイプライン



CASE5 ポンプ直送式（圧力水槽なし）－ON/OFF制御 or 台数制御－
例）ため池～開水路～ポンプ場（直送）～パイプライン

図 3.6-(1) 配水施設の形態

3.7 配水管理システムの制御機能の適用

配水管理システムの機能のうち、ポンプの省エネ運転のための最大損失圧力一定制御機能、最適バルブ開度シミュレーション機能を適用する場合は、配水管理システムを設計する際に水理解析等を行っておく必要がある。

[解説]

配水管理システムの機能を3.3の解説で示したが、これらのうち配水制御機能に含まれる最大損失圧力一定制御機能および最適バルブ開度シミュレーション機能については、本システムを設計する際に、導入先の地区を対象とした配水系パイプラインの水理解析を実施してデータセットを作成しておく、もしくは同解析のための汎用プログラムを作成しておく必要がある。言い換えれば、これらを予め行っておけば、本システムではあらゆる配水制御が可能となる。

1. 最大損失圧力一定制御機能

本機能を選択する場合、導入先の地区を対象とした配水系パイプラインの水理解析を実施してインバーター制御のためのデータセットを作成しておく必要がある。その手順は以下のとおりである。

(1)各種資料の収集

ポンプを含めた配水系パイプラインの配管図面、各配管の長さ・口径・埋設深・材質等の諸元、給水栓の各種諸元、ポンプの特性曲線を収集する。

(2)解析モデルの作成

上記(1)で収集したデータから、ポンプを含めた配水系パイプラインの水理解析のための解析モデルを作成する。水理解析のための具体的な方法は、定常流況解析手法の一つである節点水頭法(節点エネルギー法とも呼ばれる)であり、解析モデルの作成も含めたその詳細は、土地改良事業計画設計基準及び運用・解説 設計「パイプライン」に記載されているので、参照されたい。

(3)配管の流速係数の調整

上記(2)で作成した解析モデルを用いて水理解析を行い、配水系パイプラインの設計時の流況を再現できるよう、各配管の流速係数を材質によって定まる値から調整する。設計時の流況として、全ての給水栓が全開状態であり、ポンプは計画運転点で稼働している状態が考えられるが、可能な限り当時の設計資料に基づくことが重要である。

(4)最大損失圧力点の選定

上記(3)で調整された流速係数が反映された上記(2)の解析モデルを用いて、全ての給水栓が全開状態であるときの水理解析を行い、損失圧力が最大となる地点(以下、最大損失圧力点とする)を選定する。この地点は樹枝状配管の場合は給水栓となるが、管網配管の場合は分岐点となる可能性があり、この場合は最も近い給水栓を最大損失圧力点として扱う。また、このときの当該地点の圧力水頭を記録しておく。

(5)配水系パイプラインの抵抗曲線の推定

上記(4)で使用した解析モデルに対し、ポンプの扱いを特性曲線に基づく境界条件から次のように修正する。圧力水頭については、値指定（固定値）とし、流量については節点の連続式を満足するように定まるものとする。

このように修正された解析モデルを用いて、最大損失圧力点となる給水栓は全開状態とし、その他の全ての給水栓（以下、その他給水栓）はランダムに全開もしくは全閉としたときの水理解析を行う。このとき、最大損失圧力点の圧力水頭が上記(4)の値とほぼ同一となるよう、ポンプ地点の圧力水頭については試行錯誤で定める。その結果として得られるポンプ地点の流量と圧力水頭のデータセットを記録しておく。

その他給水栓の開閉状態の組合せを様々に変えて、同様の水理解析を行い、ポンプ地点の流量と圧力水頭のデータセットを蓄積する。水理解析を実施するケース数としては、多ければ多いほどよい。

ポンプ地点の流量と圧力水頭のデータセットが十分に蓄積されれば、これを横軸が流量、縦軸が圧力水頭となるグラフにプロットし、近似曲線を求める。この近似曲線が、最大損失圧力一定制御のための配水系パイプラインの抵抗曲線となる。

(6)インバーターの設定

上記(5)で求めた配水系パイプラインの抵抗曲線に基づいてポンプの回転速度が制御されるように、インバーターの設定を行う。この設定は、配水管理システムを構成する制御ソフトウェアである SCADA によって行う。ポンプの回転速度の制御についての詳細は、水道施設設計指針 2012⁴⁾ や水道用ポンプマニュアル 2015⁵⁾ 等における回転速度制御に関するページを参照されたい。

2. 最適バルブ開度シミュレーション機能⁶⁾

本機能を選択する場合、導入先の地区を対象とした配水系パイプラインの水理解析のための汎用プログラムを作成しておく必要がある。その手順は以下のとおりである。なお、本機能はポンプ直送方式によって配水されている地区のみでなく、配水量の調整のためのバルブから圃場までの範囲に導入することも可能である。

(1)各種資料の収集

最大損失圧力一定制御機能の場合と基本的には同様である。バルブによる配水地区を対象とする場合、配管図面としてバルブが含まれたもの、および、バルブの開度、圧力水頭、流量の関係についての設計もしくは管理データや特性曲線を収集する。

その他に、最大損失圧力一定制御機能の場合と異なり、作付けや生育時期に応じた各圃場における必要給水量の算定根拠となる資料を収集する。入手できる資料が減水深のみの場合、圃場の面積を乗じるとともに流量の単位（ m^3/s ）に換算する。

(2)解析モデルの作成

最大損失圧力一定制御機能の場合と同様である。

(3)配管の流速係数の調整

最大損失圧力一定制御機能の場合と同様である。バルブによる配水地区を対象とする場合、設計時の流況として、全ての給水栓が全開状態であり、バルブは代かき期の流量した開度に設定されている状態が考えられるが、可能な限り当時の設計資料に基づくことが重要である。

(4)プログラムの汎用化と実行ファイルの作成

上記(3)で調整された流速係数が反映された上記(2)の解析モデルを用いた水理解析のプログラムの汎用化を行う。具体的には、上記(1)で収集した各圃場における必要水量を任意に設定できるようにするとともに、各圃場において設定された必要水量と同程度の給水量が給水栓から得られるように、全ての給水栓のバルブの開度を同時に調整できるようにする。

そして、汎用化されたプログラムから EXE ファイル（実行ファイル）を作成する。配水管理システムを構成する制御ソフトウェアである SCADA は、各種データの読込、画面表示、送信に加えて、EXE ファイルを実行させることが可能である。SCADA を設計する際にこの EXE ファイルとの関連付けを行っておく。

[参考]

1. 最大損失圧力一定制御機能のための水理解析の事例

3.4 で紹介した配水管理システムの実証試験では、最大損失圧力一定制御機能が適用されている。実証試験地区は図 3.7-(1)のようにモデル化された。最大損失圧力点はこの図上で最も右側の手動給水栓に設定されている。給水栓は全てで 29 個であり、最大損失圧力点とは異なる給水栓の全てをランダムに開閉させた 132 ケースについて水理解析が行われ、図 3.7-(2)の配水系パイプラインの抵抗曲線が得られている。

2. 最適バルブ開度シミュレーション機能のための水理解析の事例

上記地区の他にも配水管理システムは実証試験が実施されており、千葉県内の幹線パイプラインに設置の分水バルブの受益地区を対象とした本システムには、最適バルブ開度シミュレーション機能が適用されている。実証試験地区は図 3.7-(3)のようにモデル化されている。事前に行った水理解析による給水栓のバルブ開度の調整の効果は図 3.7-(4)のとおりであり、この結果は配水管理システム上で図 3.7-(5)のように表示することが可能である。

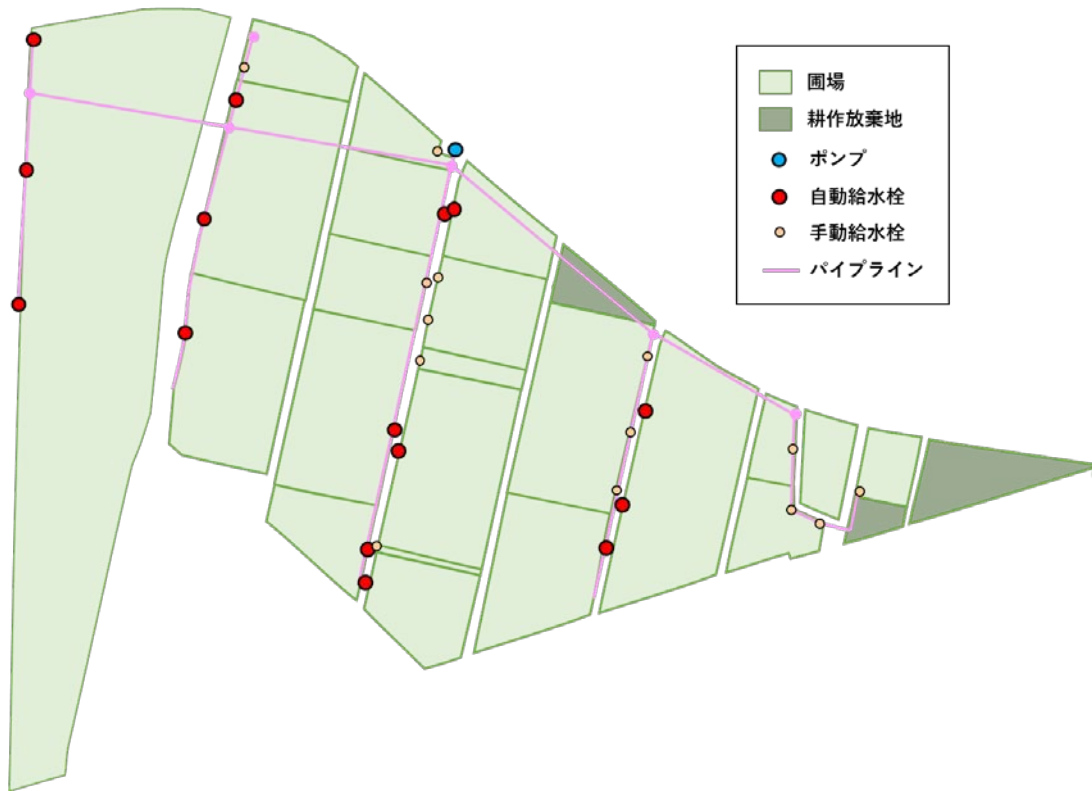


図 3.7-(1) 最大損失圧力一定制御機能の実証試験地区のモデル化

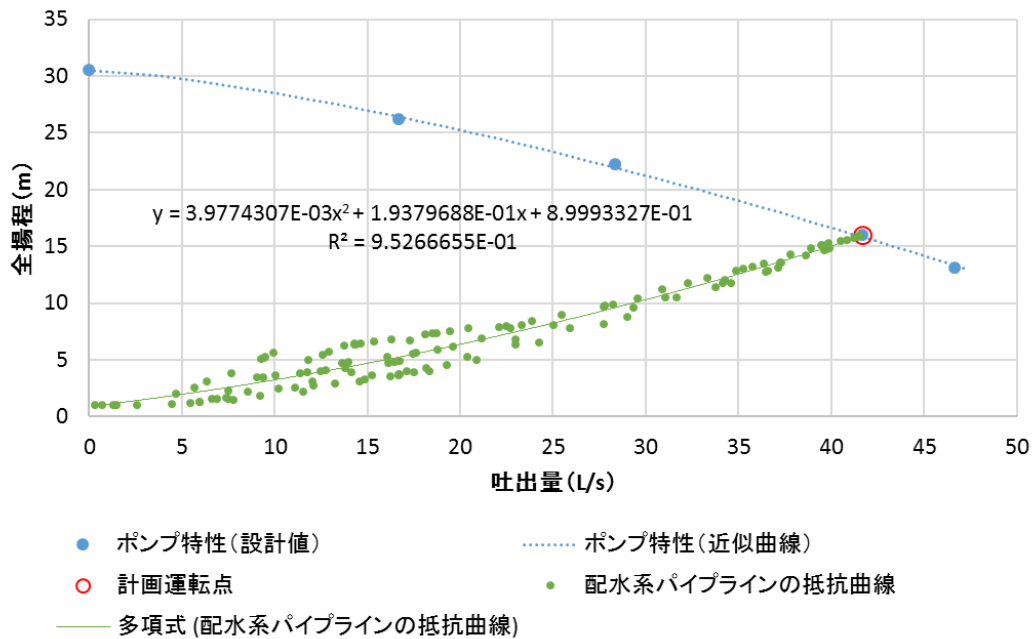


図 3.7-(2) 実証試験地区における最大損失圧力一定制御のための配水系パイプラインの抵抗曲線の推定

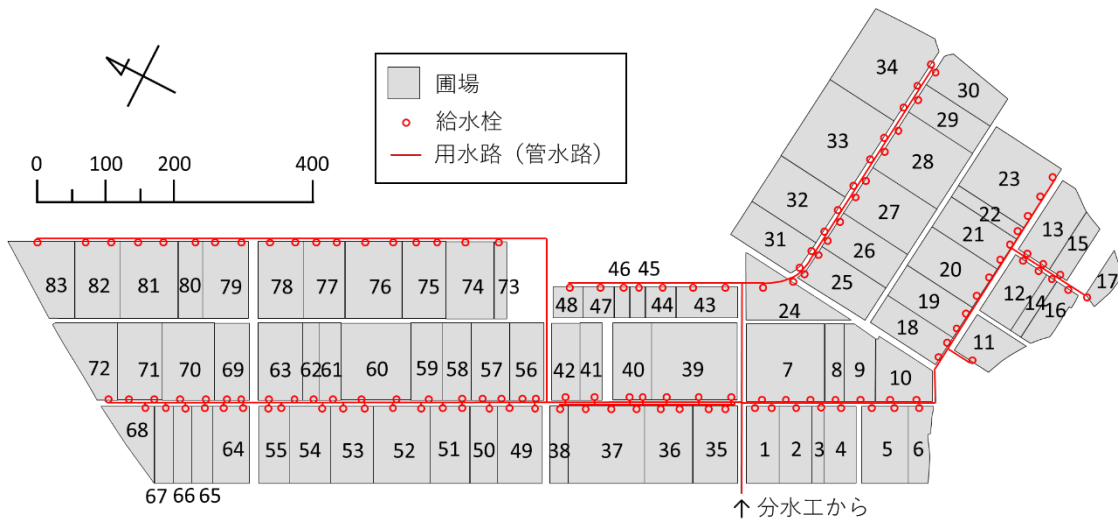


図 3.7-(3) 最適バルブシミュレーション機能の実証試験地区のモデル化

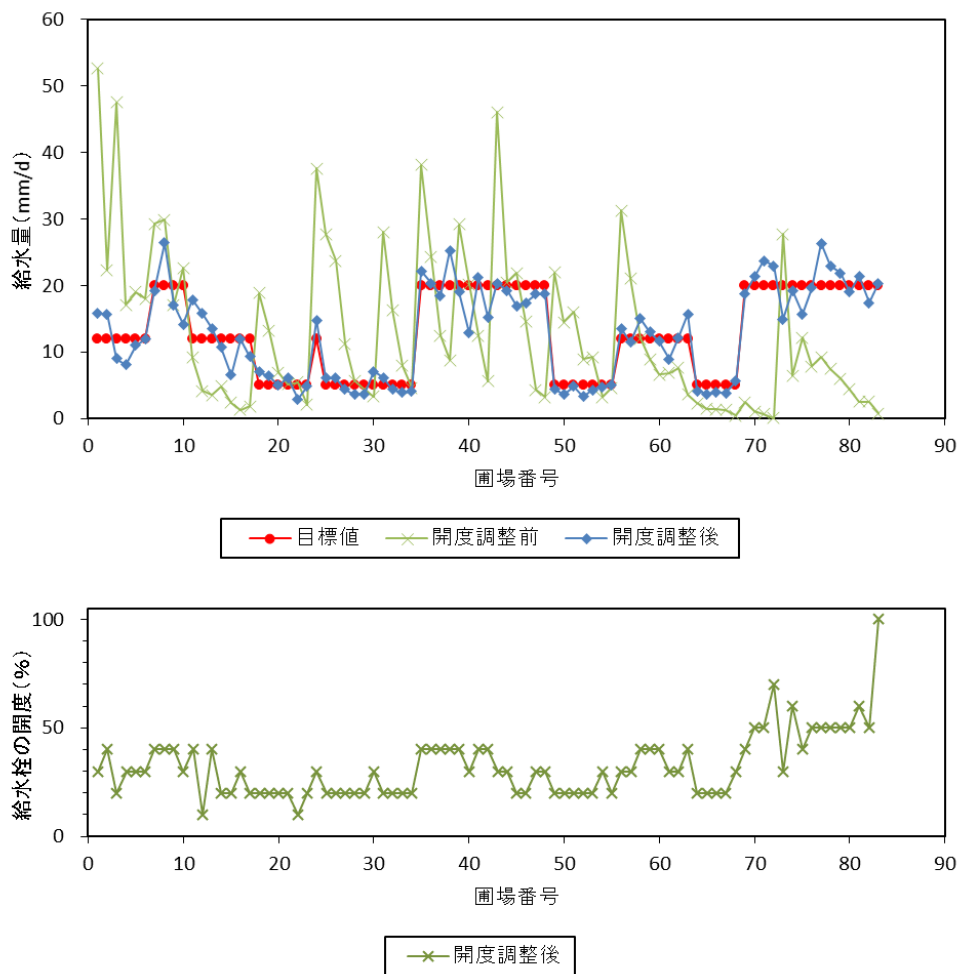


図 3.7-(4) 給水栓のバルブ開度の調整の効果

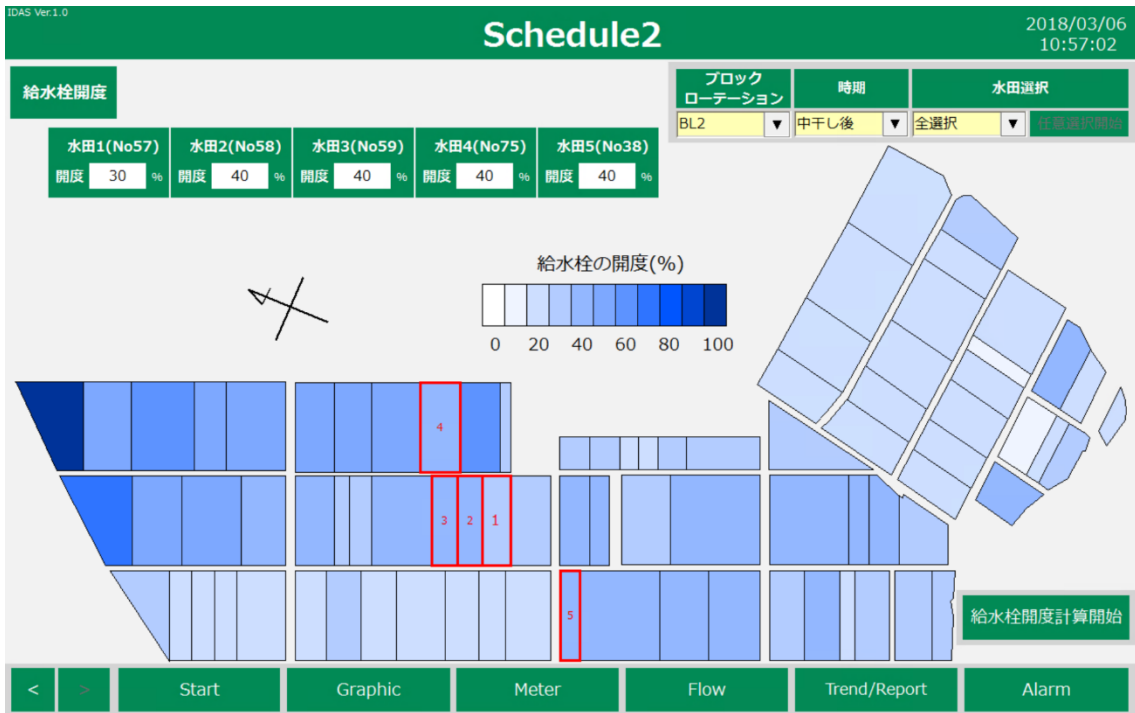


図 3.7-(5) 配水管理システムにおける最適バルブシミュレーション機能の表示

3.8 配水管理システムによる排水機場の管理水位の予測

配水管理システムの各機能を活用することで、排水機場の管理水位の予測を行うことも可能である。

[解説]

配水管理システムの排水機場への適用については 3.3 の解説で示したが、管理水位の上昇の予測を行うためには、本システムを設計する際に、導入先の地区を対象とした水位予測プログラムを作成しておく必要がある。

排水機場の吸込水槽もしくは遊水池の水位を予測するための解析としては、排水解析のうち流出解析と不定流解析を組み合わせた方法が一般的である。しかし、そのプログラムは実行時にハードウェアに大きな負荷がかかる。それに対し、3層のパーセプトロンをもつ人工ニューラルネットワークモデルを利用した方法⁷⁾は、予測精度が非常に高く、大量のデータで機械学習する場合にはプログラムの負荷がかかるものの、機械学習の後の予測のみを行う場合には負荷が非常に小さく、土地改良区などの事務所で使用される一般的なパソコンでも実行が可能である。

このため、水位予測プログラムとしては、人工ニューラルネットワークモデルを利用した方法を採用する。プログラム作成の手順は以下のとおりである。ただし、本モデルを機械学習するための観測データが不足している場合に、人工的にデータを生成する場合を対象にしている。

(1)各種資料の収集

洪水時におけるデータとして、排水機場の近傍のアメダスによる降雨量、排水機場の吸込水槽もしくは遊水池の水位、排水機場から河川への排水量を収集する。これら洪水時のデータの数は多ければ多いほどよい。

(2)プログラムの作成と係数の最適化

人工ニューラルネットワークモデルの基本計算は、流出解析、不定流解析、パイプラインの水理解析などと比較すると非常にシンプルであるものの、本モデルに数多く含まれる係数の最適化のための解析は容易ではない。これらについては、関連書籍を参照されたい。

(3)プログラムの EXE ファイルの作成

上記(2)の係数の最適化のための解析は、上記(1)で収集したデータ、すなわち、連続した複数ステップ(時系列)に対して実施される。一方で、排水機場の管理水位の予測は、リアルタイムで行う必要がある。このため、プログラムを単一ステップに対して実施されるものに改良する。

そして、そのプログラムの EXE ファイルを作成する。配水管理システムを構成する制御ソフトウェアである SCADA は、各種データの読込、画面表示、送信に加えて、EXE ファイルを実行させることが可能である。SCADA を設計する際にこの EXE ファイルと

の関連付けを行っておく。

[参考]

1. 人工ニューラルネットワークモデルによる管理水位の予測の事例

3層のパーセプトロンをもつ人工ニューラルネットワークモデル（以下、ANNモデル）を利用して管理水位の予測を行った事例⁷⁾では、新たに整備された機場を対象としている。一般的にANNモデルは、大量の機械学習のためのデータが必要になるものの、この事例の場合には、洪水時における排水機場の遊水池の水位および排水機場から河川への排水量の観測データが不足している。そこで、モンテカルロ法に基づき模擬発生させた洪水をもたらし降雨に対し、流出解析と不定流解析を組み合わせた一般的な排水解析を行い、この解析結果を観測データの代わりに利用してANNモデルの機械学習を行った。その後、管理水位の予測が実施されている。このような方法は、排水機場を新設する場合に大いに参考になると考えられる。

排水解析結果を対象としたANNモデルによる管理水位の予測結果の一例は図3.8-(1)のとおりである。この事例では、降雨の模擬発生が十分に行われたこと、および、模擬降雨に基づき算出された排水機場の水位・流量データで適切にANNモデルの機械学習ができたことから、30分後、2時間後水位の予測結果は、水位の最大変化に対する相対誤差10%以下の非常に高い予測精度が確認されている。

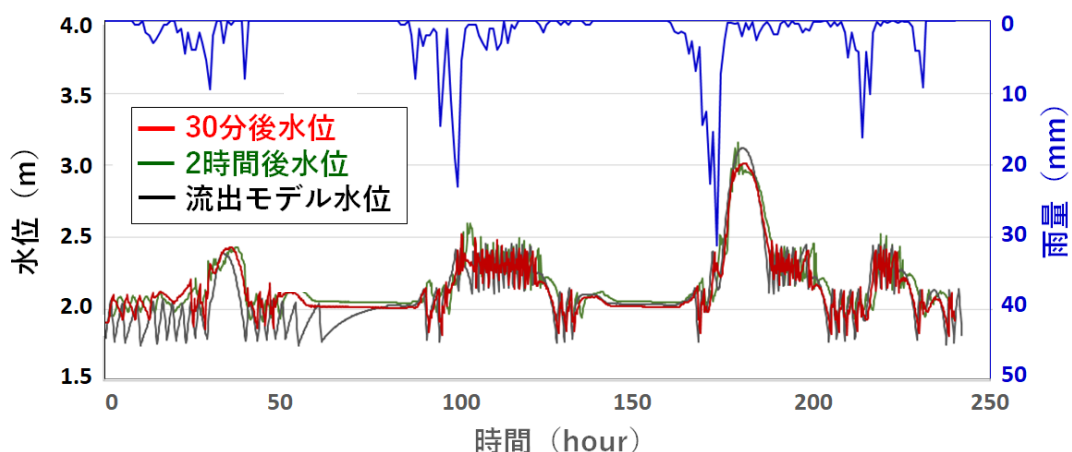


図 3.8-(1) 人工ニューラルネットワークモデルによる管理水位の予測結果（黒線：排水解析の解析値，赤線：30分後のANNモデル予測値，緑線：2時間後のANNモデル予測値，青色：降雨量）

引用文献・参考文献

- 1) 印藤久喜 (2015) : 次世代型の農業水利システムの転換に向けて, 水土の知 83(4), 1-2.
- 2) 佐藤政良 (2016) : パイプライン灌漑における電気の使用と農家の費用負担 (2017) : 農業農村工学会誌, 水土の知, 84(10), 1-2.
- 3) 中矢哲郎, 樽屋啓之, 浪平 篤, 中田 達, 中 達雄 (2016) : 節水・節電のための圃場と用水機場が連携した灌漑配水システムの試作, 農業農村工学会誌, 水土の知, 84(10), 19-22.
- 4) 日本水道協会 (2012) : 水道施設設計指針, pp.550-552, 554-557, 566-568, 東京.
- 5) 日本水道協会 (2015) : 水道ポンプマニュアル, pp.107-131, 東京.
- 6) 浪平 篤, 中矢哲郎, 樽屋啓之 (2017) : 大規模営農地区における給水栓の開度調整の効果についての水理解析, 平成 29 年度農業農村工学会大会講演会講演要旨集, 682-683.
- 7) 木村延明, 中田 達, 安瀬地一作, 桐 博英, 馬場大地 (2019) : 人工ニューラルネットワークモデルを利用した排水機場遊水池の水位予測に関する研究, 農研機構研究報告 農村工学研究部門, 3, 71-80.

第4章 次世代型水管理技術活用のための課題

4.1 次世代型水管理技術活用のための制度的課題

次世代型水管理技術活用のため土地改良制度と関連した課題として、①多様な水管理を可能にする用水の確保、②水需給の調整のあり方と事業計画のあり方、③経営農地の連担化、④施設維持管理に対する賦課方法があげられる。これらは、農業構造の変化の状況、地域の慣習や慣行、農地の条件とも関連するので、十分な議論と調整が求められる。

[解説]

次世代型水管理技術（圃場水管理自動化システム及び配水管理システム）は、大規模経営体への導入が想定されている。次世代水管理技術の導入は、需要に応じて自動で灌漑用水を供給するシステムであるため、需要主導型水管理が採用されることになる。農業構造の変化とあいまって、進藤ら¹⁾は以下の課題を提起している。

(1) 多様な水管理を可能にする用水の確保

圃場の大区画化や次世代型水管理技術導入により経営体の労力削減が可能となれば、経営体への農地集積は一層進展するものと見込まれる。大規模経営体への集積が進んだ地区では、作業を分散させるため、早稲から晩稲まで複数の品種の組み合わせがみられるほか、栽培においても、通常に移植栽培に加え、直播栽培を導入する事例がみられる。V溝乾田直播栽培が普及しているA地区では、経営体の作業分散を目的に、冬季に代かきを行い田面の均平作業を行っているため、水需要が大きく変化している²⁾。移植栽培とV溝乾田直播栽培の水需要パターンを図4.1-(1)に示す。本地区では、冬季用水があることから、これを有効活用し、経営体間の需要を調整した上で冬季代かきを実施している。

移植栽培が中心のB経営体は、多様な品種を組み合わせ、2ヵ月間かけ田植えを行っており、水需要は4月半ばから9月半ばまでである。幸い、利用可能な水資源が存在していたため、水利権を変更して取水期間を延長している。その結果、少ない農業機械で100haを超える営農が可能となっている。B経営体では、更なる経営合理化を目指し、次世代型水管理技術の導入を試行している。

一方、C地区では、4月から5月のピーク取水量を減らし、その分を本来9月15日までの取水期間を、水田は9月末まで、畑は10月末まで、後ろ倒しとする水利権の変更を、発電事業者と調整を行うことで実現した。農業用水の後ろ倒しにより、発電ダムの夏季貯水量を確保することができ、夏季（9月まで）の電力需要に対応可能となる発電側と利害が一致したことから調整が可能となった。

しかし、一般に水利権の変更は難しく、関東地方の D 経営体は用水が手当てできないため、晩生の飼料用米の作付けを断念している。水利権が営農の障害になっている事例といえる。

大規模経営体への農地集積による作業分散によって、水需要が分散されれば、ピーク流量時にあわせた水路断面には余裕が生じる。ダム等による新たな水源開発や調整池等貯留施設新設による供給量の調整が難しい場合、土地改良事業は、地区内ため池等既存水源の有効活用のほか、システム内部の貯留と制御の変更により無効放流を減らす³⁾などの柔軟な思考のもと、施設の整備を検討する必要がある。

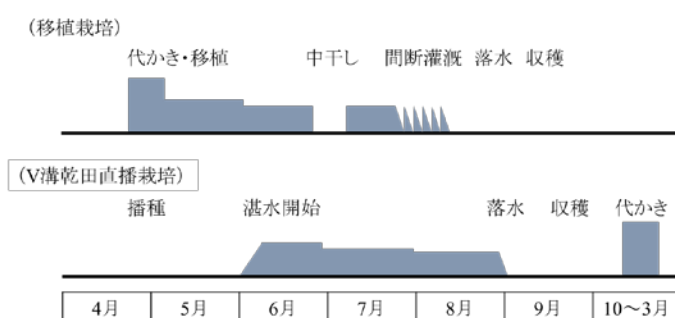


図 4.1-(1) 移植栽培と V 溝乾田直播栽培の水需要パターン (再掲)

(2) 水需給の調整のあり方と事業計画のあり方

水田の用水計画は、10 年に一回程度発生する渇水年の各圃場における用水需要を積み上げる形でなされる「完全計画」が一般的である⁴⁾。そして通常、集落ごとに水掛りに属する水田群(圃場ブロック)からなる末端の用水管理システムが存在しており、一定の供給量を前提とし、圃場ブロックへの供給量を調整(通常は間断灌溉)する供給主導システムとなっている。

一般に、農業用水管理システムは、水源から末端まで、土地改良区、支線ごとに組織される地域の水路組織、農家により重層的に管理されており、地域の水路組織が実質的に需給の調整を行っている。しかし近年、大規模経営体に農地が集積され、経営体は、複数集落にまたがり多様な営農を展開する傾向にある。次世代型農業水利システムの柱として調整施設の活用があげられているように⁵⁾、需給を行う施設の選択は重要である。一般に、需要主導システムは、ファームポンド以降の水管理として行われ⁶⁾、水源の供給可能な範囲及び給水施設の能力の範囲内でのみ実現するものである⁷⁾。実際に需要主導システムを導入する場合は、土地改良事業で導入している供給主導システムで管理される幹線区間との連結部において需給調整を行う機能が必要で、大型のファームポンドや調整池を設置することが多いが、将来的には、用地や事業費の制約で困難になりつつある。

需要と供給の合致が困難な例として、異常渇水がある。従来、異常渇水時は、土地改良区

と農家の間の地域の水路組織が（番水等で）水需要を調整し対応してきたが、今後、経営体が大規模化した場合、地域の水路組織は、大規模経営体に吸収され、土地改良区と直接調整する場面も想定される。実際、土地改良区が水源情報をメールで配信し、水利用者が自主的に利用調整する事例が報告されている^{8),9)}。

さらに、今後、需要主導システムの導入を推進するために、ICTを活用し、土地改良区が持つ水利情報を経営体間で共有しながら、需要自体を直接調整する手法の導入が想定される。

一方、現在の土地改良事業の用水計画が完全計画を採用しているのは、水不足時、多数の農家間の調整コストが膨大であることもその理由の一つと考えている。他方、乾燥地等水源が絶対的に不足している地域では、限りある用水を広く薄く配分するか、ある特定の個所に集中的に配分するかを選択を迫られるが、この場合、用水配分計画は当該地域の農業生産量を最大化するように策定される（これは、一般的に「不完全計画」と呼ばれる⁴⁾）。不完全計画では、渇水年の被害額を上回る用水対策は行わず、費用対便益が最大になる供給量で成立する。ICTを活用して需給調整ができるのであれば、不完全計画の投資効果が高くなる場合もあると考えられ、土地改良事業計画のあり方にも影響してくると考えている。

(3) 経営農地の連担化

大規模経営体は、離農者の農地を集める形で農地を集積している。しかし、集積された農地は集約・連担化されているとは言えず、分散された多くの農地を管理しているのが実態である。例えば、圃場水管理自動化システムを導入した経営体 E は約 20km 離れた農地を管理しており、この間の移動だけで 30～40 分を要している。水管理の自動化により水管理労力は軽減されているが、その他農作業の移動時間は無視できない。

また、圃場ブロック配水管理の自動化は、農地が経営体に集約・連担化され、ポンプと圃場を一体的に管理することができれば、連担化された圃場自体が、巨大区画（5ha 程度以上の水田区画で石井¹⁰⁾による）と見なすことができ、農作業労力の削減に一層の効果を発揮するものと思われる。

宮城県では、津波被災地で、土地改良事業の換地制度を活用して非農用地を含む用地を集積・再配置し、まちづくりと農業振興を一挙に実現する「土地利用の整序化」を実施した¹¹⁾。非農用地を含めたのは、圃場の大区画化計画に支障になるためだったが、非農用地の編入は土地改良事業施行地域の 3 割未満に制限されていることや、土地権利者の 100% の同意取得が必要であることにより困難を極めた。この問題に対しては、農業以外の部局と連携して非農用地の活用を組織的に検討したほか、優遇策を用意しての企業誘致、さらには畑地への転換利用も含め検討がなされている。こうした課題を克服した担当者の努力に敬意を払うとともに、得られた教訓は非農用地を含めた土地利用を調整し農地を集約・連担化する上で共通の課題とみられることから、今後の土地改良事業制度を考える上で参考になる。より簡易に短期間で、農地を集約・連担化する仕組みの早急な議論を期待したい。

(4) 施設維持管理における賦課の課題

土地改良施設が土地改良区組合員の財産であるとともに、多面的機能の発揮を通じ、地域の貴重な財産であることに異論を挟むものではない。しかし、経営体への農地集積が急速に進む中、だれがその財産を支えるべきかについて検討する必要がある。F 土地改良区は、2017 年度から、土地改良区の組合員を、経営体を含む耕作者から土地所有者に変更・統一した。数十年の耐用年数を持つ水利施設の減価償却分を事業に要す費用として会計に計上するためには、短期で土地の貸借を契約している担い手を組合員とするのは不適當と判断したものである。農業経営が少数の大規模経営体に集積した中、地域共有の財産である土地改良施設を、地域の住民（土地所有者）に担っていただきたいという思いのほか、土地改良施設の維持管理を賦役に頼っている現実から、少数の経営体では担いきれないという事情もあるようだ。

他方、G 土地改良区は、経営体への農地集積を踏まえ、維持管理費や運営費等に当たる經常賦課金は耕作者に、事業の償還金等資産に対する賦課金は土地所有者に、賦課金を分けて徴収している。

土地改良事業における ICT を活用した次世代型水管理技術の導入は、筆者らは、経済効果が十分に高い場合は可能と考えている。しかも、次世代型水管理施設の受益者は、水を直接管理する土地改良区と大規模経営体になる。次世代型水管理技術を含む ICT 関連施設は、10 年程度と耐用年数が短い一方、水利施設の多くは数十年という長い耐用年数をもっている。これまでも、土地改良事業で導入したコンピュータを組み込んだ水管理システムの保証期限や部品の供給が切れ、耐用年数に至っても、適時適切に更新できないといった事例は多くの土地改良区から寄せられている。こうした多様な耐用年数をもった施設を適正に管理するためには、土地改良事業への参加資格者の定義など事業のあり方について議論と合意形成が必要である。

4.2 基幹水利システムの管理実態

国営土地改良事業で建設された水利システムの多くは、土地改良区を中心とした重層的な水管理組織により管理されている。

[解説]

1. 基幹水利システムの設計

水田かんがいにおける必要な用水量は、土地改良事業計画設計基準 計画「農業用水（水田）」によると、次の通りである。まず農業用水の基本単位である粗用水量は、圃場単位の用水量（栽培管理用水量を含む）を積み上げ、有効雨量を差し引いた「純用水量」に、施設管理用水量を加えて算出される。これから、地区内で利用可能な用水量を差し引きくことで、

水田かんがい用水量が決定される。農業用水量は、水田かんがい量にその他用水量（地域用水等）を加え決定される（図 4.2-(1)）。

一方、水源計画は取水地点の利用可能量と用水計画上必要となる用水量を比較した上で、利用可能量が不足する場合は、用水量の平準化や貯水池・調整池などの新たな水源について検討することになっている。

以上から、主要施設計画は、用水需要に対して、水源計画の範囲内で策定されている。水源が制限要因となる場合は需要を調整し、あるいは調整施設を設置して水利システムを構築している。ほとんどの地区が河川を水源としていることもあり、水利権によって最大取水量や年間総取水量が制限されており、限られた水を配分することに重点をおいた水管理方式による調整がなされている。

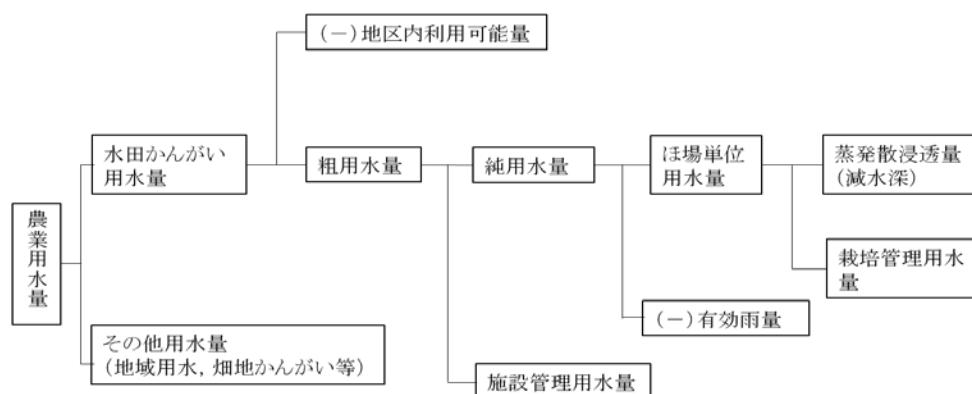


図 4.2-(1) 農業用水量の構成要素の概念図¹²⁾

2. 重層的な管理組織

受益面積 3,000 ヘクタールを超える国営土地改良事業実施地区の水管理は、土地改良区を中心とした重層的に組織された管理組織により管理が行われている。

事例（幹線：開水路，末端：開水路）

重層的な管理組織の事例として、秋田県仙北平野地区の水管理組織と役割分担の事例を表 4.2-(1)に示す。

国営事業で造成された水源施設、幹線用水路及びその付帯施設の用水管理は、国営事業に合わせ組織された大規模土地改良区（秋田県仙北平野土地改良区）が行っている。県営事業等で造成された支線用水路は、土地改良区と水利組合が管理を分担しているが、水管理に関しては地域ごとに組織された小規模土地改良区または水利組合が管理している。さらに圃場整備等面整備に伴い造成された小用水路は圃場整備等の受益地で組織された管理組合が管理している。

なお、支線水路の施設管理は、整備補修等を土地改良区が担当し、日常の草刈り等は地域の水利組合が担当している。

表 4.2-(1) 重層的な水管理組織と役割分担（仙北平野地区の事例）

施設	造成事業	水管理責任者
水源施設（頭首工）	国営かんがい排水事業	仙北平野土地改良区
幹線水路	国営かんがい排水事業	仙北平野土地改良区
支線水路	県営かんがい排水事業	傘下の小規模土地改良区、水利組合
小用水路	県営ほ場整備事業	管理組合

3. 水利調整の実態

事例（幹線：開水路・パイプライン，末端：開水路）¹³⁾

秋田県の仙北平野地区は、雄物川水系玉川流域に広がる受益面積 9,322ha に及ぶ地域である。玉川頭首工から取水した水は幹線水路に設置された 2 カ所の調整池で需要と供給のバランスを調整しながら、土地改良区で集中管理を行っている。

幹線水路から分岐する支線水路には、支線毎に 34 の水利組合を組織し管理責任者を配置して支線内の需給を調整している。用水需要は前日に 70% というように支線毎に申し込みを受け分水工等进行操作している。分水された用水は、各水利組合が責任を持って支線水路内の調整を行っている。

水利用の調整は、水源・幹線水路を管理する土地改良区を中心に重層的に組織された水管理組織間で行われている。この場合、農家の水需要の要望を基礎としつつも、小用水路、支線水路で組織された水管理組織内で利用量が調整され、それでも不十分な場合、土地改良区へ要望という形で用水供給量の増量が要求される。土地改良区は、要望を踏まえつつ、改良区内他地域の水利用の状況も踏まえ全体の水利用を調整している。参考まで、秋田県仙北平野土地改良区の水利用調整の模式図を図 4.3-(2) に示す。同土地改良区は、需要を調整するばかりではなく、各水利組合から不要な水量の報告を求めている。この報告をもとに供給量を調整し、河川からの取水量を抑制することで、水利使用規則に規定された総取水量を遵守すべく努力している。

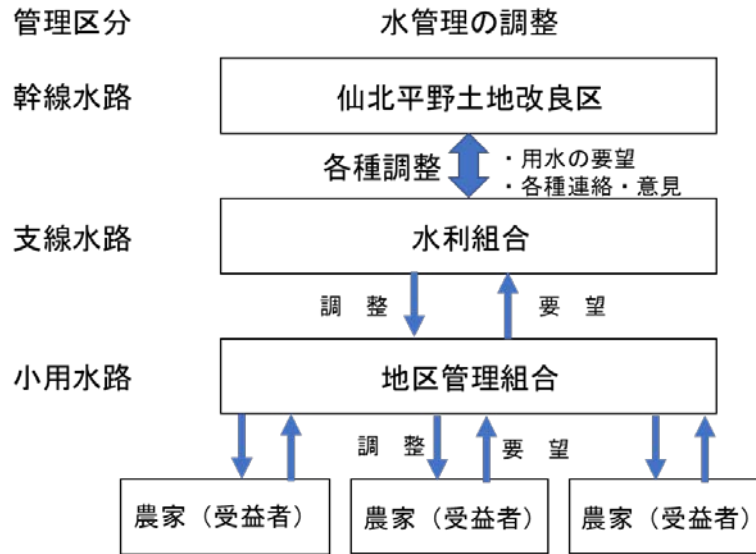


図 4.2-(2) 秋田県仙北平野土地改良区における重層的水利調整組織（仙北平野事業誌）

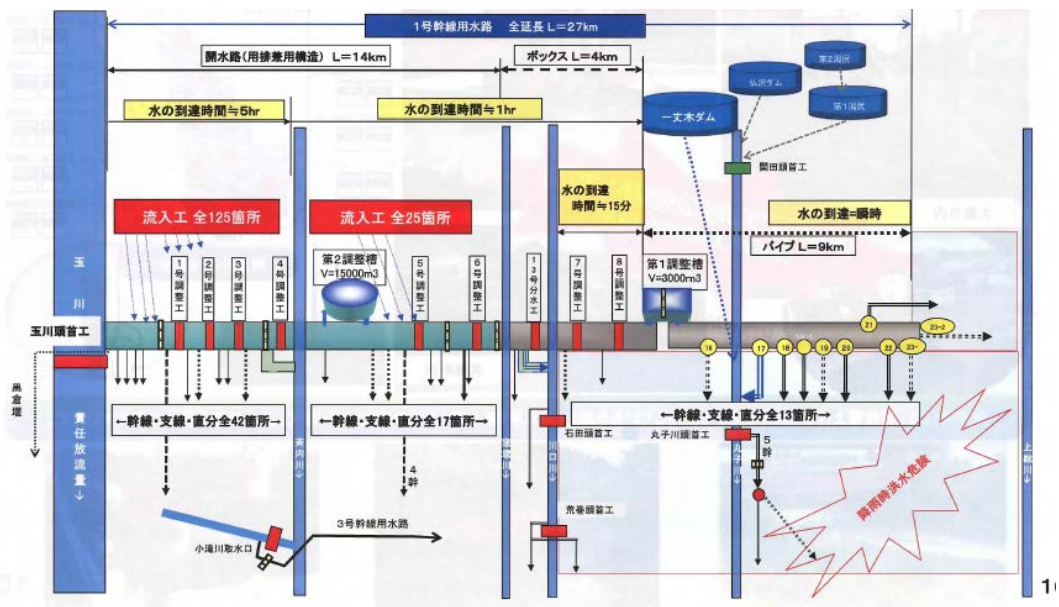


図 4.2-(3) 仙北平野地区の幹線水路システム（仙北平野事業誌）

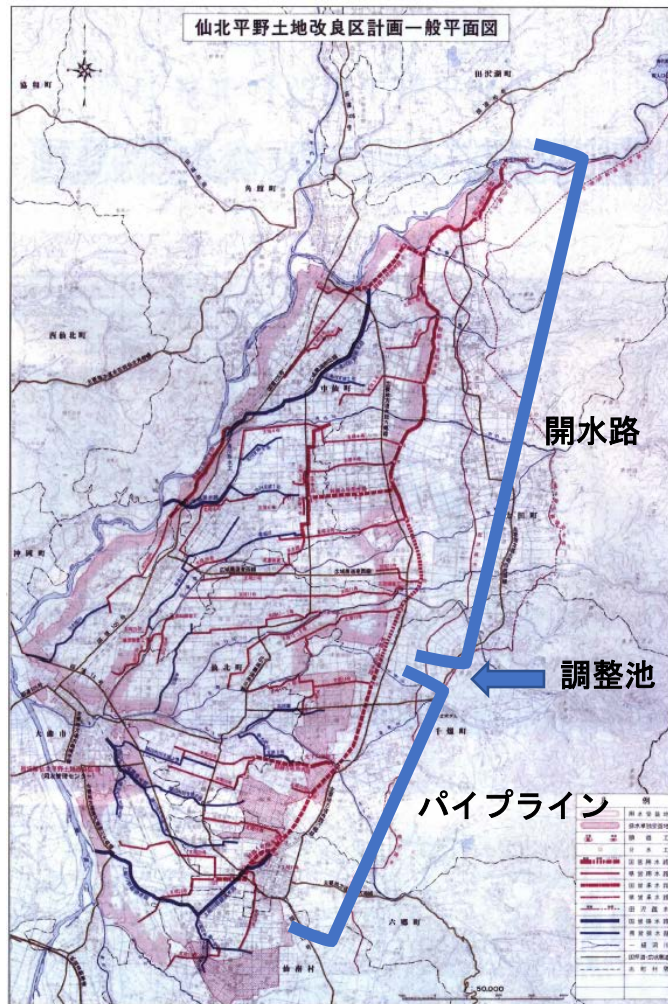


図 4.2-(4) 仙北平野計画平面図（仙北平野事業誌の図をもとに作成）

事例（幹線水路：パイプライン，支線水路以下：開水路）

一方，千葉県両総地区（受益地約 17,000 ヘクタール）は，利根川を水源とする揚水機場からの水路網を通じ地区内の不足水を補給している。幹線水路は国営事業によりパイプラインに改修されているが，圃場整備事業が行われた篠本新井地区等を除き，支線水路以降の水路は多くが開水路である。

本地区では，地区内末端用水ブロックごとに組織された地区水利組合等から支線ごとに組織された支部管理委員会を通じ基幹施設を管理する両総土地改良区が翌日の需要量を取りまとめ，揚水機場等の基幹水利施設の運転を決定している。その流れを図 5-3 に示す。土地改良区と水利組合の協調によって需給調整するがなされている。

両総地区（両総用水）は，第二次大戦中に建設が開始され，昭和 40 年に完成している。このとき幹線水路は開水路だった。更新事業（平成 5 年～26 年度）により幹線をパイプラ

イン化したことで送水の時間差がなくなり、結果的に節水と管理労力の削減を達成している。一方で、本来は地域の用水の補給水であった両総用水が使いやすいことから先使いされる傾向に有り、末端部では水不足が依然として続いている。

また、当初計画では、支線部分もパイプライン化することで、末端部に多数存在するポンプ場を削減し、用水の無駄水も削減する計画だったが、支線以下の整備が遅れているため、本来の目的を達成していない状況にある。

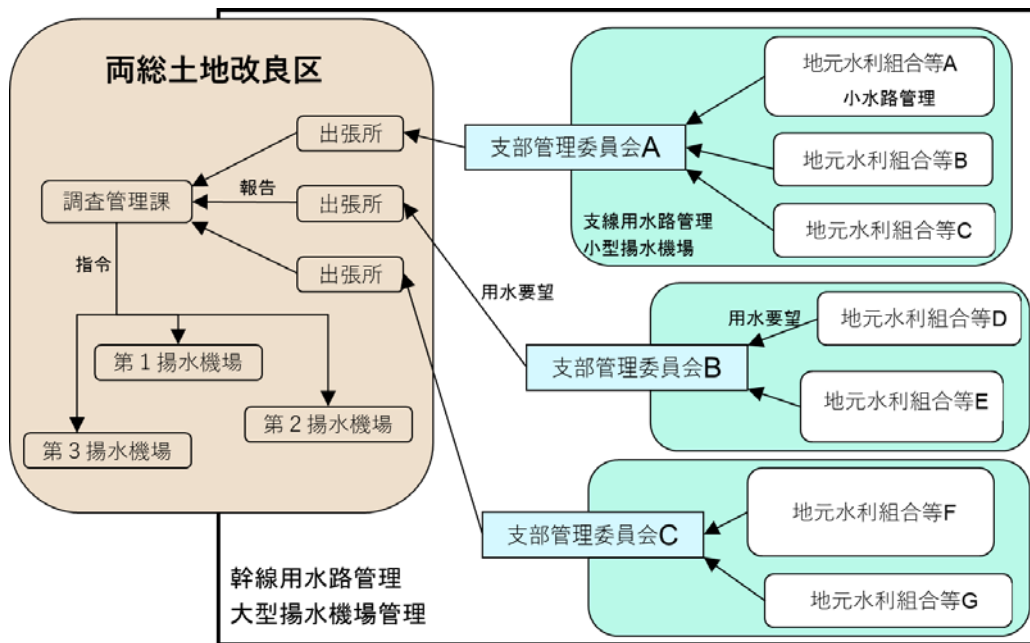


図 4.2-(5) 両総地区における用水需要のとりまとめ体制（両総土地改良区資料）

神流川沿岸地区は、埼玉県北部（本庄市ほか5町）及び群馬県藤岡市に広がる地域で受益面積4,019ha（水田2,097ha、畑1,922ha）である。

埼玉北部土地改良区連合が旧来の6つの堰を合口して設置した神流川頭首工と基幹施設部分を管理し、それ以降は九郷阿保領用水土地改良区、神流川用水土地改良区、神川町土地改良区、上郷幹線土地改良区、金屋土地改良区、美兒沢用水土地改良区がそれぞれの地区の水路を管理している（他に群馬県側の牛田用水にも分水している）。土地改良区連合が管理する寄島・青柳分水工から分岐した後の水利調整は、各路線を管理する各改良区内にゆだねられている。

最も延長が長い上郷幹線の場合、水路上流部は開水路で、調整池流入後はパイプラインで下流部に送水されている。幹線水路は、途中の分水工で分水しながら、畑地灌漑始点部に設置された調圧水槽に流入する。調圧水槽では圧力を調整され、さらに下流へ灌漑用水として送水される。調整池と調圧水槽間は落差が35.50mあるため、調圧水槽手前で小水力発電を行っている。しかし、小水力発電所では、キャビテーションが発生しているほか（騒音がひ

どい), 調圧水槽からの無効放流が相当程度ある。パイプライン内の流量が安定していないことから, 需給調整ができていない。土地改良区連合によると (2016年の聞き取り調査), 以前は農家もきめ細かく水管理をしていたが, 最近は (労働力不足から) 掛け流し灌漑が多く, 水不足が発生しているという (苦情の電話は連合にかかってくるが, 各土地改良区の責任としている)。

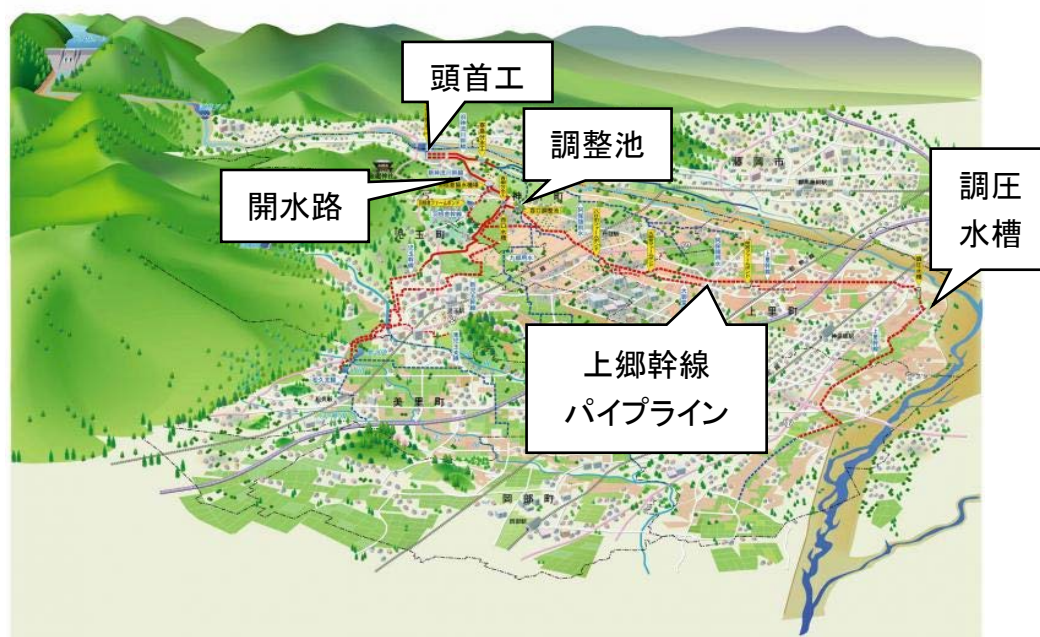


図 4.2-(6) 神流川沿岸地区上郷幹線水路の調整池と調圧水槽
(埼玉北部土地改良区連合資料に加筆)

○九頭竜川下流地区の水管理システム概要

九頭竜川下流地区は, 福井県福井・坂井平野に広がる地域で, 受益面積 11,600ha である。頭首工で取水した後, 取水地点の標高を有効に活用したパイプラインシステムにより配水している。各配水ユニット中間地点には, 調圧水槽を設置し, 需要変動により生じる水撃圧を吸収しパイプラインシステム全体の流況を安定させている。

パイプラインシステムについては, 当初, 取水地点と下流の配水ユニットとの標高差を最大限利用できるクローズド形式が計画された。しかし, 末端圃場の整備が進展してパイプライン掛り地区面積が増大したことに伴い, パイプラインを新設する幹線水路の安全性は確保できるが, 既設の管材を使用する末端パイプラインへの水撃圧対策等を勘案して, 調圧水槽を幹線の末端に設けるセミクローズド形式に変更した¹⁴⁾。調圧水槽は幹線水理ユニットと支線水理ユニットを分割・統合するとともに, 各配水ユニットで自由水面 (調圧水槽水位) を新たに設定する機能をもっている。具体的には, 取水地点と標高差がある支線水路に生じ

る耐圧負担を軽減させ保護する「減圧」の役目と、需要変動によって幹線水路に正実水撃圧を吸収する「調圧」の役割がある。

平岩ら¹⁵⁾は、調圧水槽により水理ユニットを分割・統合したことによる利点として、管理上の利便性の確保が容易になったことをあげている。管理者（土地改良区）においては、従来の開水路方式で行われていた供給主導型水管理方式が踏襲できるため、クローズド形式と比較して用水管理を簡素化でき（調圧水槽の水位が管理目標、水利権上の取水量の遵守も達成された。

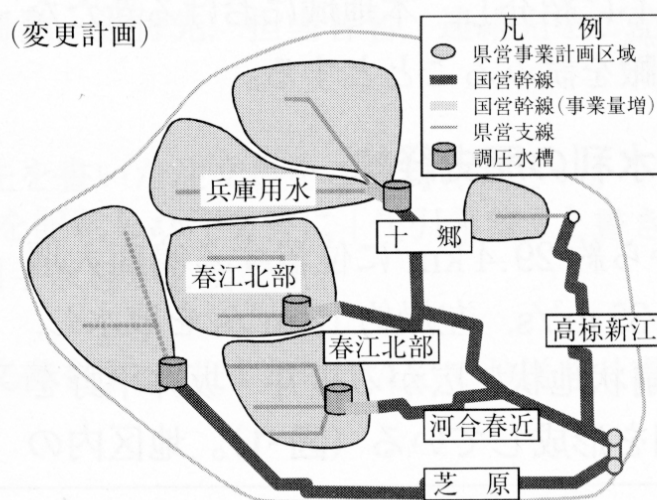


図 4.2-(7) 九頭竜川地区の水利システム概念図（平岩ら，2016）

調圧水槽への水の流入に際しては、調圧水槽の上流側に減圧機能をもつ低キャピタシオン用電動バタフライバルブを流入制御弁として設置し、危険分散や維持管理性の観点から複数台の並列は位置とした。これら複数台の流入制御弁を TM/TC に加えて、各調圧水槽の規模・特性や下流部の需要パターンに応じて最適な制御方式を個別に選定している。

調圧水槽の中でも最大で、約 11m³/s の計画流量を有する十郷調圧水槽では、水槽水位を一定に保つため、口径の異なる流入制御バルブ 5 台を並列に配置し、バルブの操作に PID 制御を導入している。5 台のバルブ（800～2,200mm）のうち、小口径 3 台を PID 制御、大口径 2 台を ON/OFF 制御としている（図 4.2-(8)参照）。

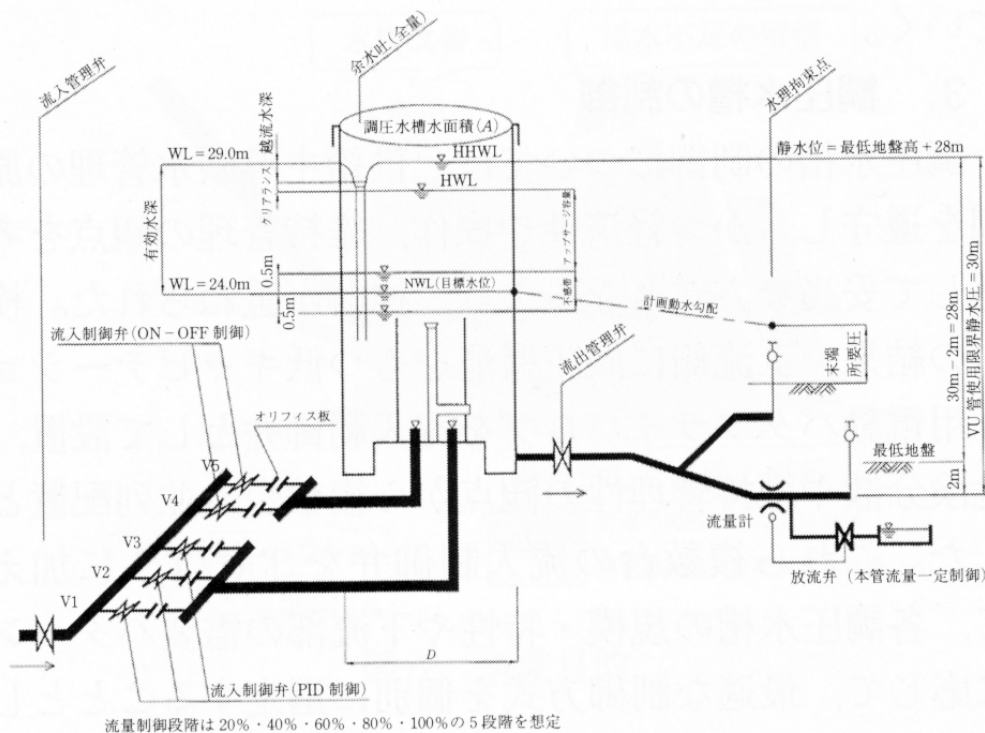


図 4.2-(8) 十郷調圧水槽の制御方式模式図 (平岩ら, 2016)

4.3 次世代型水管理技術導入による基幹水利システムへの影響

次世代水管理技術導入によって、基幹水利システムには、従来にも増して、水管理システムによる需給調整能力の増強が必要になる。基幹水利システムは、支線レベル以下の水利用に支障をきたすことのないように、水源から支線レベルまでの用水供給を満足させる役割を担うとともに、支線レベル以下の需要変動に対応する調整能力、災害や渇水リスクに対する冗長性等を備えることが基本であり、そのインフラとしての役割や重要性は今後も変わらない。

[解説]

1. 基幹水利システムの水管理システムとの関係

「基幹水利システム」は、国営土地改良事業で設置された水利施設（受益面積 3,000 ヘクタール以上、末端支配面積は水田 500ha 以上）で、土地改良区が管理しているものを想定する。この水利システムを構成する一般的な姿は、頭首工（または揚水機場）、幹線水路及び主要な分土工等の施設から構成され、主要な分土工には TC/TM が設置されている（TM のみ設置されている場合もある）。それ以外の小規模な施設は施設管理人を配置し、現地に

て手動で操作を行う場合が多い。この水利システムでは、水源（河川）から取水する水利権を基本とした供給主導型水管理方式が採用されている。

土地改良区が管理する国営事業規模の大規模な水利システムには遠隔操作／監視装置（TC/TM）を備えた水管理システムが整備されている。水管理システムの構成は、水管理施設の管理レベル、システムの重要度区分、システム構成や監視制御方式などシステム設計について検討し決定されている。施設管理に対する TC/TM 設置の必要性等については、施設の重要度だけではなく、経済性も考慮されている（例えば仙北平野地区では、施設への TC/TM 設置費と管理労力との比較が行われている¹³⁾。総じて、TC/TM は主要な水利施設（頭首工や例えば、分水量が 1.0m³/s 以上の大規模な分水工）のみに設置されており、その他の施設は現場で操作されている。各支線水路に水管理の責任者を配置して管理しており、支線毎の水管理は、責任者の技術と経験に依存している。

農業構造が大きく変化する中、土地改良区においても施設管理に農家の労力の提供等が期待できなくなることから、対応が求められている。水管理においては、支線水路毎に配置している水管理の責任者（水利組合の長）の確保が難しくなっている。ICT 技術は情報の共有を容易にすることから、水管理の情報をデータ化して共有することで見回り回数を減らすほか、TC/TM の設置箇所を増やす、ゲートを自動化するなど、水管理システムの高度化を進めるとともに、水路を暗渠化・パイプライン化する等の施設システム自体の高度化にも取り組み、土地改良区の管理労力削減に繋げる必要がある。

最近の事業地区では、両総地区や九頭竜川沿岸地区¹⁵⁾に見られるように、幹線水路をパイプライン化し、調整池・調圧水槽を設置して需給の時間差を克服しようとする事例が見られるものの、基本的には、開水路による一定水量の供給を基本としたシステムで設計されている（幹線水路のパイプライン化は事業費が増大し、財政的な負担が大きいことに留意する必要がある）。

2. 基幹水利システムの整備のあり方

支線レベル以下への次世代水管理技術の導入によって、基幹水利システムの水管理システムに求められる新たな整備の要望には今後とも十分配慮しなければならない。一方で、従来から基幹水利システムに求められてきた再編整備の方針が変更されるわけではないことを、改めて強調し確認する必要がある。

(1) 上下流間の調整能力の確保

基幹水利システムが開水路によって運用されている場合には、上下流間における用水配分の不公平、不均等、無効放流などがしばしば問題になる。これらの問題を解決するための手段としては、1) 幹線調整池、2) 幹線チェックゲート、3) パイプライン化、4) T/C、T/M の活用 などがある。

(2) 支線レベルとの調整能力の確保

末端圃場水利システムの水需要が大きく変わろうとしている現状では、幹線－支線システム間の需給調整能力の確保の課題が今後ますます重要になる。これらの課題に対処するための手段としては、1) ファームポンドの設置, 2) ポンプの再編, 3) パイプライン化, 4) T/C, T/M の活用 などがある。

(3) インフラとしての冗長性の確保¹⁶⁾

基幹水利システムは地域の用水供給の要であって、インフラであることから、災害などによっていったんその機能が停止すると、地域全体に甚大な被害を及ぼすリスクがあるため、整備する施設には一定の冗長性確保が課題になる。この課題に対処するための手段としては、1) バイパス水路, 2) 水路の二連化, 3) 用排兼用水路, 4) 用水の反復利用, 5) 既存調整池やダム の運用, 6) T/C, T/M の活用 などが考えられる。

(4) 支線レベルの独立性の確保

新たな農業の担い手によって発生する末端水需要に基づく、支線レベルの水利用の自由度と独立性を保証することが、従来にも増して重要である。

(5) 地域インフラのアセットマネジメント

基幹水利システムは地域の資産（社会的共通資本）である。更新事業等の機を捉えて、地域ガバナンスに基づく粘り強い持続的な更新管理（アセットマネジメント）を進める必要がある。

引用文献・参考文献

- 1) 進藤惣治, 樽屋啓之, 中矢哲郎, 若杉晃介 (2017) 次世代型水管理技術を導入するための土地改良事業のあり方, 水土の知, 85(9), 13-16.
- 2) 友正達美, 谷本 岳, 内村 求 (2015) 代かき用水需要の平準化による春渇水への適応の可能性, 水土の知 83(9), 19-22.
- 3) 樽屋啓之, 松田亮二, 中 達雄 (2016) 開水路幹線系用水ネットワークにおける水路内貯留の回収と再分配に関する研究, 土木学会論文集 B1 (水工学) 72 (4), 11201-11206.
- 4) 黒田正治 (2000) 農業土木学会編, 農業水利システムの管理, 11-14.
- 5) 印藤久喜 (2015) 次世代型の農業水利システムの転換に向けて, 水土の知 83(4), 1-2.
- 6) 中 達雄, 樽屋啓之 (2015) 農業水利のための水路システム工学, 農研機構 農村工学研究所, 103-107.
- 7) 緒方博之編 (1979) 水と日本農業, 東大出版会, 109.

- 8) 荘林幹太郎, 竹田麻里 (2017) 水田経営規模の急拡大のもとの土地改良長期計画の推進に係る原理的な課題に関する論考, 水土の知 85(1), 7-10.
- 9) 東 崇史, 高野雅弘, 長尾貴司, 北林英一郎 (2017) 農業用水について (その3) ~ 農村協働力は水利組合の機能を代替できるか~, 水と土 180, 52-59.
- 10) 石井 敦 (2015) 担い手水田農業展開後の灌漑管理システムへの提言, 水土の知 83(4), 7-10.
- 11) 菅原喜久男, 林 貴峰, 原野三男, 大内孝喜, 大里有巨 (2015) 農地整備事業による「土地利用の整序化」の取り組み, 水土の知 83(2), 31-34.
- 12) 農林水産省農村振興局 (2010) 土地改良事業計画設計基準 計画「農業用水 (水田)」, 52-73.
- 13) 東北農政局仙北平野農業水利事業所 (1986) 仙北平野事業誌, 東北農政局仙北平野農業水利事業所, 360-364.
- 14) 中 達雄 (2010) 九頭竜川下流地区のパイプラインシステムの設計について, 平成 22 年度農業農村工学会大会講演会講演要旨集, 54-55.
- 15) 平岩昌彦, 中山圭主, 西岡 伸, 財津卓弥 (2016) 国営九頭竜川下流地区における新たな水利システムの構築, 水土の知, 84(12), 25-28.
- 16) 樽屋啓之・渡部大輔 (2015) : 社会インフラネットワークとしての水利システムの再編方向, 水土の知 83(4), 16-18.

(付録) 圃場水管理システムおよび配水管理システム導入効果の試算例

内閣府 戦略的イノベーション創造プログラム (SIP)「次世代農林水産創造技術」(管理法人:農研機構 生物系特定産業技術支援センター)で開発された圃場水管理システムと配水管理システムについては、2か月間の短期の実測データではあるが、その実証試験をもとに導入効果の試算を行っている¹⁾。なお、この試算例は、現段階における暫定的なものであることに留意する必要がある。

(1) 対象とした次世代型水管理システムの整備概要

対象地区は、ポンプ灌漑地区で水田 11 枚からなる 7.9ha である。水田へはポンプ (1 カ所) からパイプラインで直接圧送給水されている。圃場水管理システムとして「WATARAS, (株)クボタケミックスより商品化」、配水管理システムとして「iDAS, (株)ソフテックスと共同開発」を導入すると仮定して分析を行うこととする。実証試験は当該地区の用水機場場に iDAS を設置するとともに、水田の給水栓 15 カ所に WATARAS を設置し、2017 年 7 月から 8 月にかけて実施した。次世代型水管理技術の整備概要を図 A-(1)に示す。



図 A-(1) 次世代型水管理技術整備概要

(2) 導入効果試算の結果

1) 実証試験の結果

圃場水管理システムの導入圃場では、作期に応じた管理水位をあらかじめ設定してお

くことで、水管理労力はほとんどかからなかった。

配水管理システムの実証試験期間中におけるポンプの出力の結果を図 5.2-(2)に示す。同システムを導入し、流量変動にあわせてポンプの出力を制御することで、通常時に比べてポンプ出力を平均 6 割程度に抑制可能であった。この結果、出力抑制分の電気料金が節約できた。また、本システムには予約制御機能があるため、ポンプ停止日をあらかじめ入力しておくことで、日毎の自動制御が可能になる。この機能を使うことにより、実証期間中のポンプ管理労力はほぼゼロであった。

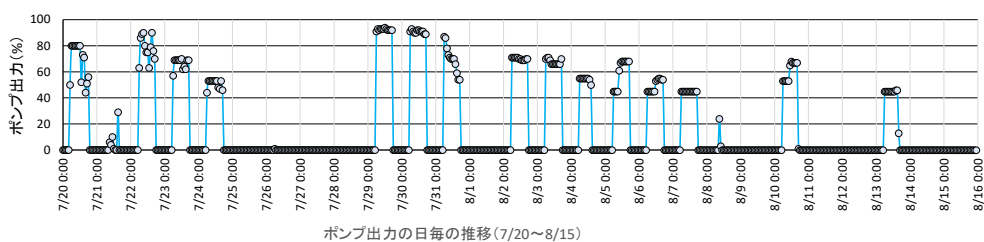


図 A-(2) 実証試験期間中のポンプ出力の推移

2) イニシャルコストやランニングコストの試算

イニシャルコストやランニングコストの試算については、初期投資による費用（イニシャルコスト）のほか評価期間を工事期間 1 年間とその後 40 年間（合計 40 年間）とし、ランニングコストとして、その間の関連事業費、再整備費と最終年度の資産価額（-）を加算した。設備の耐用年数は 10 年とし、10 年ごとに全ての設備を更新することとした。また、基準年度は平成 29 年度で、30 年度に計画、31 年度に最初の工事を行うこととした。後年度のランニングコストについては、社会的割引率 4%を用いて現在価値化した。

イニシャルコストやランニングコストの試算例を表 A-(1)に示す。なお、圃場水管理システムと配水管理システムのイニシャルコストは、実証試験のための工事費をもとにしている。

表 A-(1) イニシャルコストやランニングコストの試算例

区分	試算額 (千円)
イニシャルコスト	5,326
ランニングコスト	5,360

3) 導入効果の試算

導入効果は、実証試験の結果をもとに現実的に算定が容易な効果項目のみを算定した。圃場水管理システムに関しては、営農経費節減効果（圃場水管理の走行経費・労働時間の

節減額)を、配水管理システムについては、維持管理費節減効果(走行経費・労働時間・電気料金の節減額, 通信費の増額)を評価した。また、走行時間節減効果も試算した。導入効果の試算結果を表 A-(2)に示す。なお、圃場水管理システムの実証試験結果から、効果の一つとして米の増収(作物生産効果)も見込まれるが、データが不十分であることから、ここでは試算していない。

表 A-(2) 導入効果の試算例

項目	年効果試算額(千円)		
	iDAS 導入効果	WATARAS 導入効果	合計
営農経費節減効果		154	154
維持管理費節減効果	375		375
走行時間節減効果	14	11	25

引用文献・参考文献

- 1) 進藤惣治, 中矢哲郎, 四元泰晴, 荒川 覚(2018) 次世代型水管理技術導入における経済効果分析, 平成 30 年度農業農村工学会大会講演会要旨集, 721-722.