

第3章

農業生産基盤分野における 気候変動適応にも活用可能な技術の 仕組みと活用

本章の各技術の解説構成

本章では、気候変動適応にも活用可能な技術を解説するに当たり、当該技術の本来の機能と気候変動適応への活用内容を明確にするために、下表に示すように各解説を記載しています。

節	解説内容の概要
3-0-1 技術等の本来の機能の概要	気候変動適応にも活用可能な技術として抽出された技術の農業生産基盤分野における本来の機能に関する解説。
3-0-2 気候変動に対する適応技術としての活用	上記の機能を活用した場合に、軽減・防止することのできる農業生産基盤分野における気候変動による影響を解説。
3-0-3 具体的な活用と効果	文献等による実績あるいは類似する事例により、活用した場合の具体的な効果等を解説。
3-0-4 適応条件、留意事項・課題	具体的な活用に当たっての適応条件や課題点を解説。

○：節番号（1：ICTを用いたほ場配水/用水管理システムの活用

2：地下かんがいシステムの活用

3：パイプライン等の活用

4：ダム貯水池等の選択取水設備の活用）

3-1. ICT を用いたほ場配水／用水管理システムの活用

【当該技術の機能】

ICT(Information and Communication Technology:情報通信技術)を活用し、遠方から水管理状況をモニタリングし、それに基づいてかんがいや排水を遠隔かつ自動で制御するほ場配水・用水管理システムで、現在実用化に向けた研究・実証が進められています。

【上記機能を用いた気候変動適応への活用】

本システムの活用により、用水供給量を必要最小限に抑えることができ、渇水の増加による用水不足の影響を回避、軽減できる可能性があります。

また、飽水・保水管理、夜間・早朝かんがい等、水稻の高温障害への適応技術として効果が確認されている用水管理の自動化が可能となります。

【解説】

3-1-1. 技術等の本来的機能の概要

(1)農林水産省における ICT 活用への取り組み

農林水産省は、平成29年4月に農業農村整備に関する技術開発計画を策定し、土地改良長期計画(平成28年8月24日閣議決定)で定められた政策課題の一つである「豊かで競争力ある農業」への対応として、生産コストの一層の削減に資するICTを活用した省力・省エネルギー型の農業水利施設整備及び営農・用排水管理技術等に関する技術の開発を促進することとしています。

また、ICTの発展に伴い、IoT、ビッグデータ、ロボット、人工知能(AI)等に関する新たな科学技術の進展が社会の課題解決と経済成長に大きな役割を果たすことが期待される中で、農業農村整備分野においてもICTを最大限に活用して技術開発を推進していく必要があります。

こうした観点から、内閣府の戦略的イノベーション創造プログラム、プロジェクト研究等を活用する等、技術開発を効果的に推進していくこととしています。

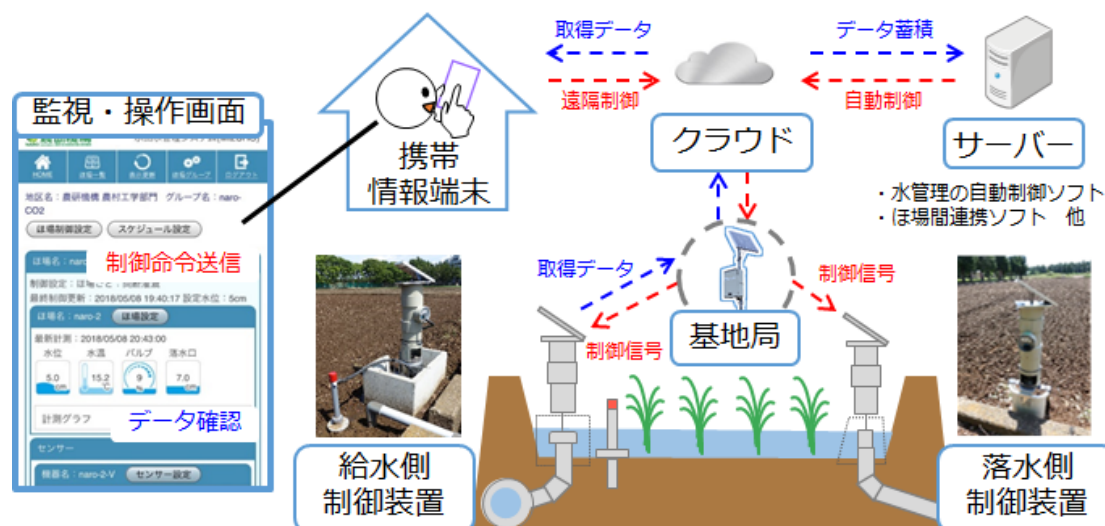
(2)ICT を用いたほ場配水／用水管理システムの開発

システムの一例として、内閣府の戦略的イノベーション創造プログラムを活用し、農研機構農村工学研究部門が開発したICTを用いたほ場配水／用水管理システム(以下、本システムという)の概要を以下に紹介します。

①ICT を活用し、遠隔で水管理状況をモニタリングし、それに基づいてかんがい・排水を遠隔かつ自動で制御するシステム。

- ②自動給水バルブ、自動落水口はソーラー電源と無線通信を備え、基地局は水位データ等を一定の時間間隔で携帯通信のインターネット回線等を通じて送信。
- ③水管理にかかる労働時間の大幅な削減に貢献。

実証調査の結果、対照水田（一般的な給・排水装置を設置）に対して、労働時間を約 80% 削減（図 3-1-2 の A 参照）。



（出典：「水田の水管理を遠隔・自動制御化する圃場水管理システム（水田整備）」

平成 30 年度 実用新技術成果選集、農研機構 HP)

<http://www.naro.affrc.go.jp/org/nkk/jituyo/all/index.html>

図 3-1-1 ICT を用いたほ場配水／用水管理システムの概要

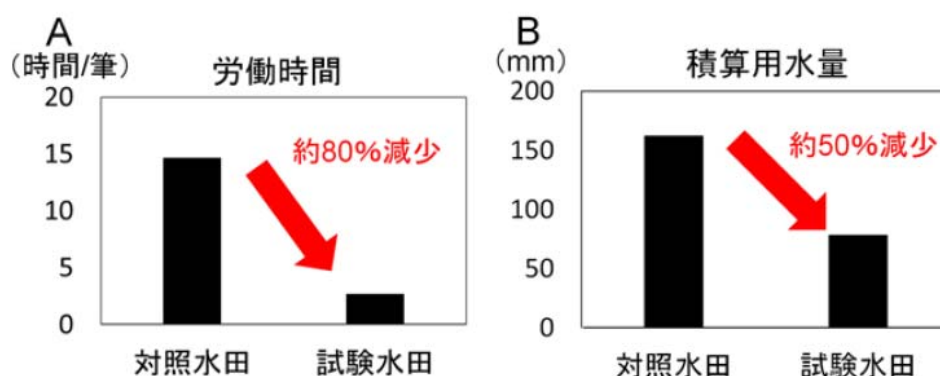


図 3 水管理にかかる労働時間と積算用水量の調査結果

調査は 2015 年、農研機構内の実証水田（各 20a 区画）において、A は労働時間（田植～収穫まで）、B は積算用水量 (mm)（出穂期～収穫まで）を示しています。

※積算用水量：日々の使用した用水量(m^3)を積算し、水田面積(m^2)で割ることで、雨量と同じように用水量を高さ(mm)で表記したもの。

（出典：「田んぼの水管理を ICT で遠隔操作・自動制御」2017 年 8 月 22 日、農研機構 HP)

図 3-1-2 水管理にかかる調査結果

3-1-2. 気候変動に対する適応技術としての活用

本システムは、水管理の自動化により、人手による水管理に比較して、用水の損失を低減し、効率的な用水供給により総量を減らすことが期待できます。

このため、平均気温の上昇や渇水の増加による用水供給量の低減、水需要の増加に対して、活用が可能です。

また、水稻の高温障害の低減に対して効果が確認されている夜間かんがいや飽水・保水管理といった「きめ細かな水管理」を自動で行うことが可能となります。

3-1-3. 具体的な活用と効果

本システムは、現在導入を進めるための実証検証中であるため、期待される活用効果については、実証ほ場等における類似事例により説明します。

(1) 気温の上昇、渇水の増加に伴う用水不足への適応

気候変動による渇水の増加により、用水不足が生じる頻度が増加したり、気温の上昇による高温障害対策として、必要となる用水量が増加したりすることが想定されます。

このような影響に対して、本システムの利用により、用水不足を回避、低減することが期待されます。

渇水時の用水が不足する状況においては、一定水位管理を自動で行うことで配水管理を最適化し、用水量のロスを削減することが可能となります。用水量は立地条件等により変動しますが、研究機関の実証水田において、出穂期から収穫までの期間の積算用水量※を調査した結果、ICTで水管理を行った水田は、従来の手法で水管理を行った対照水田の約50%に削減できました(図 3-1-2 の B 参照)。

また、渇水時でなくても気温の上昇に伴う高温障害対策として、作物への散水等に使用する用水量が増加することも考えられます。ICTによる水管理を行うことで用水量のロスを削減することにより、高温障害対策として用水を有効に活用できる可能性があります。

(2) 気温の上昇に伴う水稻の高温障害等への適応

気候変動による気温の上昇に伴い、水稻では白未熟粒の増加といった品質の低下や作物の生育不良などの高温障害が生じることが懸念されます。このような高温障害への適応として、水稻栽培における飽水管理や夜間・早朝かんがいの効果が報告されています。

① 飽水管理等への活用

飽水管理は、土が常に湿った状態を保つ水管理であり、常時湛水させずに用水を節約しながら水稻の栽培を行う水管理方法です(図 3-1-3 参照)。飽水管理で栽培された水田(コシヒカリ)においては、湛水区よりも乳白粒、基部未熟粒といった被害粒の発生が小さくなったと報告されています(図 3-1-4 参照)。

本システムを活用すれば、土壌水分のモニター等により、ほ場の飽水・保水管理を自動で行える可能性があります。

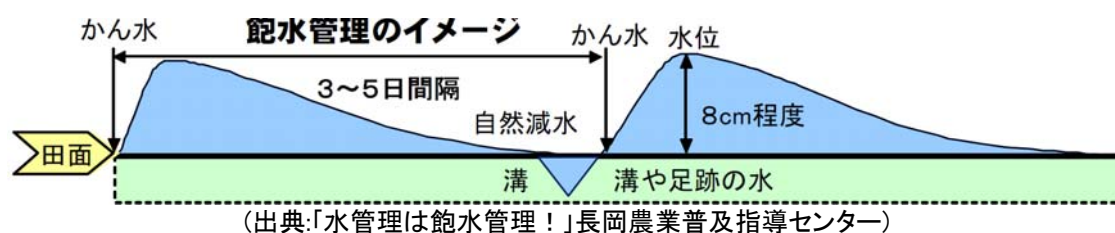
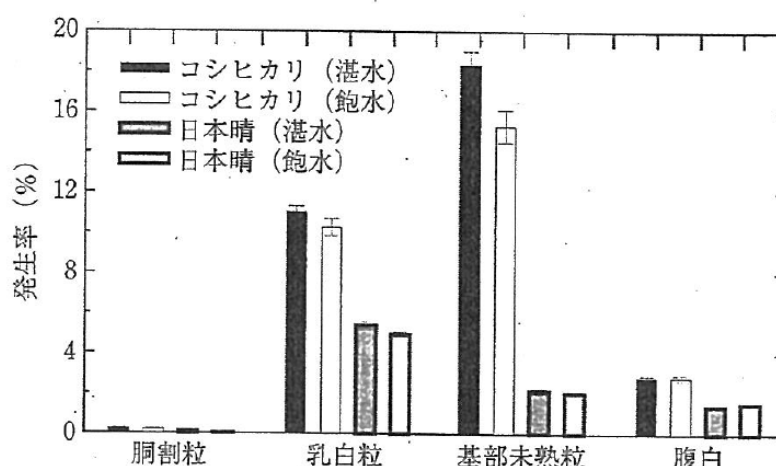


図 3-1-3 飽水管理のイメージ



（出典：藤原ら(2013)：夏期の飽水管理が土壌環境と玄米品質に及ぼす影響、農業農村工学会誌、No.81(4)）

図 3-1-4 湛水区と飽水区の玄米品質の比較

②水管理方法への活用

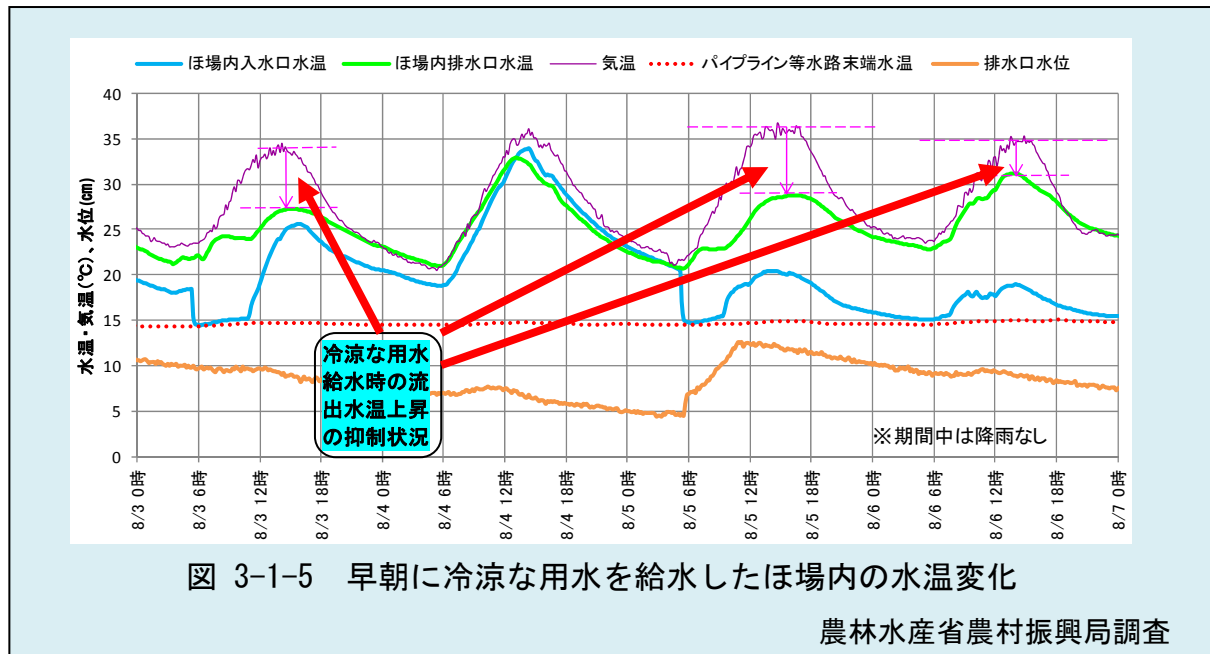
夜間・早朝かんがいは、気温の低下する夜間・早朝にほ場に用水供給し、高温による稲の品質低下を抑制することを期待する水管理方法です。夜間かんがいをを行ったほ場と夜間かんがいを未実施のほ場において、収量及び品質を比較したところ、夜間かんがいをを行ったほ場は、夜間かんがいを未実施のほ場より、全重、もみ重、精玄米重が多く、乳白米、白未熟粒及び被害米の発生比率が低くなったとの結果が報告されています¹⁾（表 3-1-1 参照）。

表 3-1-1 夜間かんがいの実施有無による品質の発生比率

夜間かんがい	圃場	乳白	背白	死米	腹白	白未熟	被害米
実施	1	1.2	0.0	5.0	1.0	1.2	1.2
	2	1.5	2.0	2.6	1.7	1.5	1.2
未実施	3	4.2	0.0	4.0	1.9	4.2	2.6

（出典：竹下ら(2013)：「山田錦」における高温障害抑制のための掛流し灌漑試験、農業農村工学会誌、No.81(4)）を参考に作成

また、早朝に給水を行った日と、給水を行わなかった日の水田の水温（流入口、排水口）の変化を測定した結果、早朝に冷涼な用水を給水した日は、日中のほ場内の水温上昇が抑制されていることが確認されました（図 3-1-5）。



こうした夜間・早朝の給水を、人力で行うには困難を伴うことも少なくないと思われますが、当技術によって水管理を自動で行うことにより、水稻の高温障害を省力的に回避、軽減することが可能となります。

③自動散水への活用

畑作については、高温対策としてトマトにおける細霧冷房の導入²⁾、白ねぎにおける高温期のかん水、イチゴにおける施設内散水³⁾などの取組が報告されています。気温センサと散水装置を組み合わせることで、これらの散水等を自動で行うことができます。

④栽培管理への活用

気温センサのデータを蓄積し、水稻の生育予測に利用し、高温障害が予測される場合に適切な栽培管理を行えるようにする研究が進められています⁴⁾。

1) 竹下伸一ら(2013):「山田錦」における高温障害抑制のための掛流し灌漑試験、農業農村工学会誌、No.81(4))

2) 農林水産省:平成 29 年地球温暖化影響調査レポート、平成 30 年 10 月

3) 農林水産省:平成 26 年地球温暖化影響調査レポート、平成 27 年 8 月

4) 千葉県: 気象情報及び作物生育モデルを利用した水稻高温障害を軽減する栽培管理技術の開発、水田センサ×技術普及組織による農業 ICT 導入実証プロジェクト(平成 28 年)

3-1-4. 適応条件、留意事項・課題

①用水供給区域における様々利用形態への対応

自動給水バルブ、自動落水口、水田センサ(水位・水温計)、圧力タンク内水位センサなど、普及可能な装置・設備が商品開発されており、水田ほ場、畑地など様々な場面で使用できるシステムの開発が急速に進んでいます。

農林水産省では、「スマート農業技術カタログ(平成 30 年 10 月更新)」を作成し、スマート農業技術の農業現場での活用を進めています(下記サイト参照)。

http://www.maff.go.jp/j/kanbo/kihyo03/gityo/smart_agri_technology/smartagri_catalog.html

②水管理方法の設定

夜間・早朝かんがいとした場合は日中の水使用量にも影響し、地域内での配水計画を見直す必要が生じる可能性があります。また、日取水量や取水時間が制限されている場合等は、夜間・早朝に取水できない可能性もあります。さらに、気温、水位、土壤水分等による自動給水とした場合は、需要が集中する可能性もあり、用水不足が生じることも懸念されます。

このため、各地域の水利使用規則を踏まえつつ、管理者等の知見・経験や取組・実践例に基づき、ICT を用いたほ場配水／用水管理システムに対応した水管理設定を行うことが必要となります。

③システム管理技術の習得

利用者にとっては、作業自体は自動化・省力化されますが、一方で、ICTを用いたほ場配水／用水管理システムは、集積した気象、水位等のデータを分析、活用して、収量、品質の向上・安定化につなげていくことが期待されています。このようなシステムの活用、発展について、システムの開発に関わった農研機構やメーカーによる講習等を受け、技術習得を行うことが望まれます。

(参考資料: 農林水産省「農業分野における IT 利活用ガイドブック(Ver1.0)」)

<http://www.maff.go.jp/j/kanbo/joho/it/attach/pdf/itkanren-7.pdf>

④システム活用上の留意事項

園芸作物等を対象に、散水を行う場合には、かん水により土壌が過湿とならないように注意する必要があります。この対策として、土壌水分計を併用して、散水停止機能を組み込むことが考えられます。また、施設内でのかん水は、湿度が高くなりやすくなることから、夜間や曇雨天の日中には、通風するなどして湿度を下げることに注意する必要があります⁵⁾。

5) 農林水産省: 平成 29 年地球温暖化影響調査レポート、平成 30 年 10 月、p60

3-2. 地下かんがいシステムの活用

【当該技術の機能】

地下かんがいシステムは、従来は排水にしか用いられなかった暗渠管をかんがいにも利用することで、湿害と干ばつ害を回避し、安定的な作物栽培が可能となるシステムです。

【上記機能を用いた気候変動適応への活用】

- ・大雨や短時間強雨の増加への適応：システム導入時に弾丸暗渠を施工することで排水性が向上し、大雨や短時間強雨の増加に対して、湿害発生を軽減できる可能性があります。
- ・水稻の高温障害への適応：根圏の温度を下げることで、水稻の生育促進が期待でき、高温障害を軽減できる可能性があります。
- ・渇水の増加に対する適応：もともと蒸発を抑えた節水型のシステムですが、ICTとの組み合わせでさらにきめ細かな水管理を行い、用水を有効に利用できる可能性があります。
- ・海面水位の上昇への適応：海面水位の上昇による塩害が懸念される地域では、地中かんがいにより、根圏の塩分を効率的に排除できる可能性があります。

【解説】

3-2-1. 技術等の本来の機能の概要

地下かんがいは、転作作物へのかんがいや大区画水田における水稻乾田直播種栽培の低コスト技術として着目されました。しかし、昔の地下かんがい技術は畑転作時の湿害対策を重点とした排水設計であり、任意の水位に地下水位を設定できないという課題がありました。

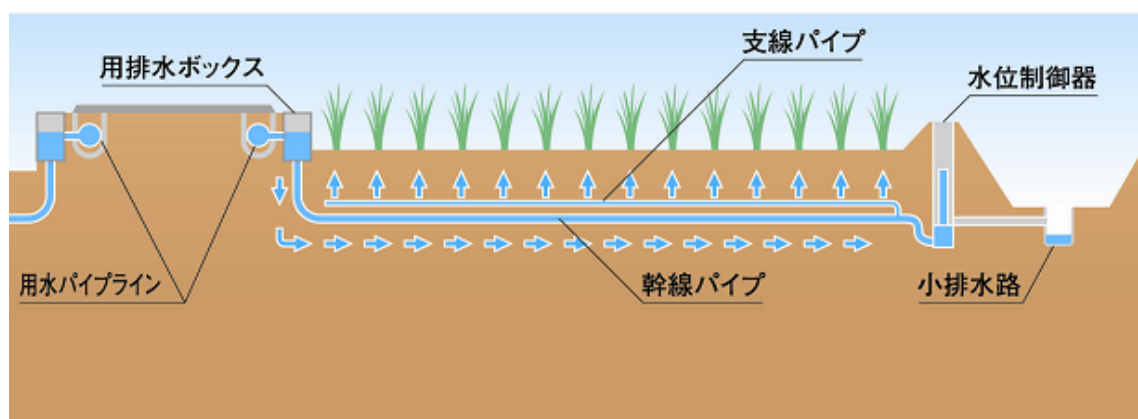
この課題を解決したシステムとして、ほ場に埋設した有孔管等への用水供給・田面配水機能を兼ね備えた用排水ボックスと、地下水位を調節する水位制御器を組み合わせた水田の水管理システム(地下水位制御システム)が開発されています。

このシステムの一つとして FOEAS(フォアス)があり、以下の特長があります。

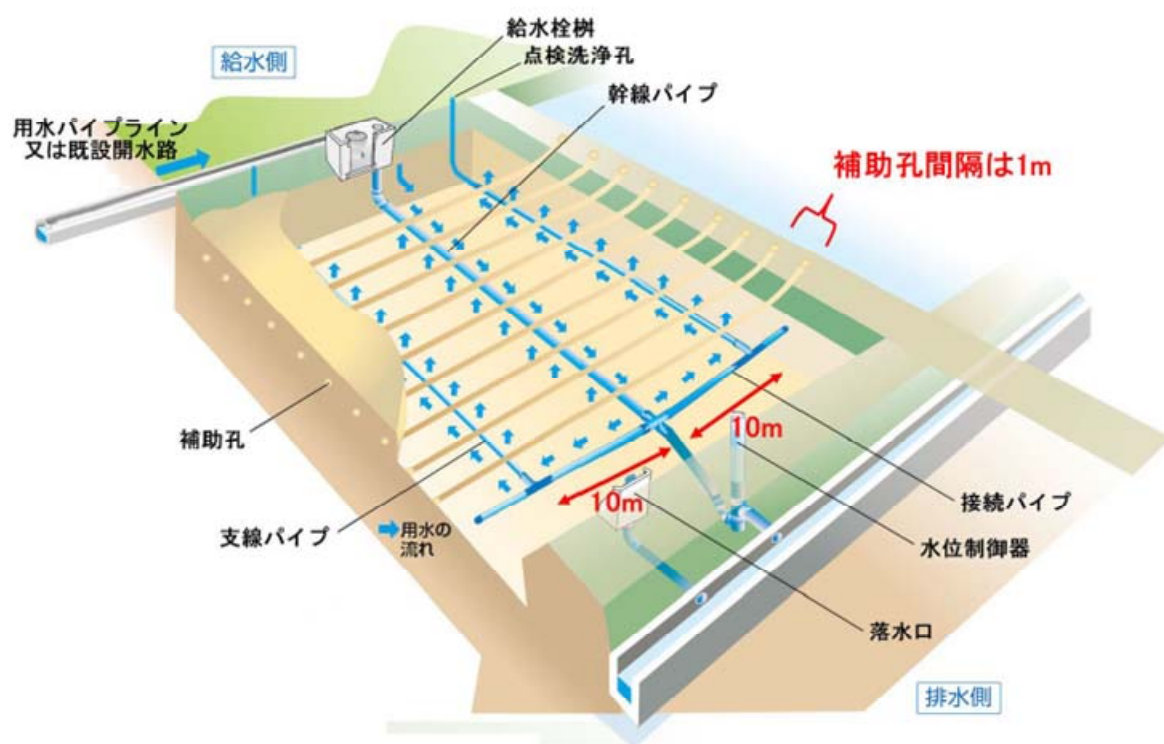
- ①ほ場全面の均一な地下水位維持が可能。
- ②管内の堆積物の除去が容易。
- ③従来のほ場の形状を変更する必要がない。

具体的には、給水側には水位管理者、排水側には地下水位の高さを $-30\sim+20\text{cm}$ の範囲に自由に設定できる水位制御器を備えています。したがって、水稻栽培においては田面から $+20\text{cm}$ まで湛水することができます。大豆や野菜を栽培する場合には地下水を作物の

生長に最も適した水位まで上げ下げすることができる点が大きな特徴です⁶⁾。



(出典: http://www.maff.go.jp/j/seisan/ryutu/daizu/d_kyogikai/18/pdf/data09.pdf)



(出典：農研機構 HP)

図 3-2-1 地下かんがいシステムの概要(FOEAS)

3-2-2. 気候変動に対する適応技術としての活用

地下かんがいシステムは、大雨等の増加に対しては、排水暗渠に補助孔(弾丸暗渠)が設置されることから、高い排水性を有し、農地湿潤化を低減します。

6)小泉健(2013): 地下水位制御システム(フォアス)の魅力と地球環境への貢献、Seneca 21st、平成 25 年 7 月 8 日

水稻の高温障害に対しては、パイプラインで供給された冷涼な用水を地下を通して供給できることから、水温を上昇させずに供給することが可能です。

渇水の増加に対しては、土壌へ直接かんがいすることから、蒸発により失われる用水量を減らせると考えられ、用水不足を軽減できる可能性があります。

海面水位の上昇による塩分濃度の増加に対しては、根圏に直接、淡水を供給することで塩害を回避できる可能性があります。

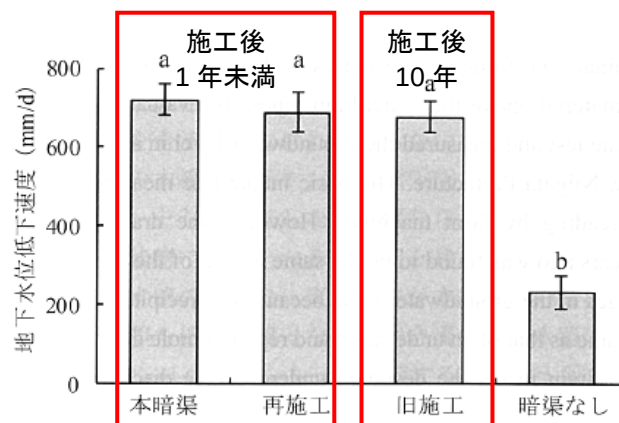
3-2-3. 具体的な活用と効果

(1)大雨や短時間強雨の増加に伴う農地湿潤化への適応

地下かんがいシステムは排水不良で転作が困難な地域や転作での野菜栽培には効果が顕著です⁶⁾。

地下かんがいシステムとともに設置された弾丸暗渠は、施工から10年経過した状態でも、高い排水性を維持しているとの報告もあります(図 3-2-2 参照)。

このように、地下かんがいシステムを導入することで、大雨後の土壌の湿害の発生を回避できます。



注：棒グラフは平均値を示し、棒グラフ上端の縦線は標準誤差を示す。また、図中の異なる英文字は Tukey の多重検定により有意水準 1% で統計的な差があることを示す。

Fig. 5 観測地点ごとの地下水位低下速度

(出典：坂田賢ら(2017):重粘土転換畑における地下水位制御システム整備で施工された弾丸暗渠の排水性、農業農村工学会論文集(No.304(85-1))に加筆

図 3-2-2 地下かんがいシステム施工後の地下水位低下速度

(2)気温の上昇に伴う高温障害への適応

地下かんがいシステムは、パイプラインとの併用により水源から水田まで冷水を供給できれば温暖化によるコメの高温障害も防ぐことができる⁶⁾とされています。

地下かんがいシステムが導入された試験区の水田の土壌温度は、対照区の水田の土壌温度より出穂期及び台風通過時で1℃以上低くなっていました。(図 3-2-3 左)。土壌温度が低い試験区は対照区より水稻収量が多く、格付けは 1 等級高い結果が得られています(図 3-2-3 右)。以上より、地下かんがいは根圏における温度や土壌水分などの水稻生育環境を健全化させ、水田の周辺環境の恒常化や高温登熟対策として活用できると考えられます。

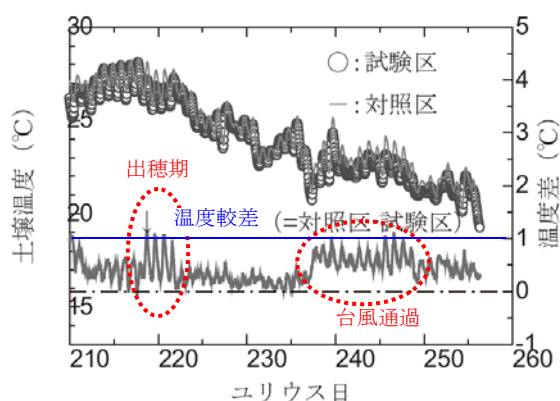


図-2 試験区と対照区における土壌温度と較差
(2015 年)

表 試験区(地下灌漑)、対照区(通常地表灌漑)の水稻収量と格付け(2015 年、籾水分14.8%)

圃場	収量 (Kg/10a)	格付け
試験区	488	2等
対照区	405	3等

※出典より作成

(出典：粟生田忠雄(2017):地下灌漑稲作の農村環境恒常化、日本環境学会第 43 回研究発表会)に加筆

図 3-2-3 地下かんがいシステム試験区と対照区における土壌温度と水稻収量、格付け

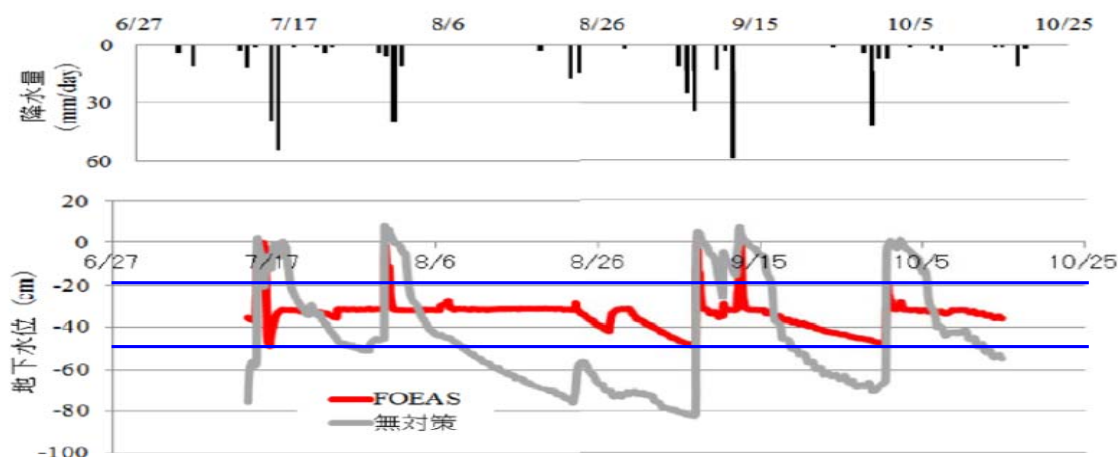
このように、地下かんがいシステムの導入により、パイプラインで供給された冷水をそのまま根圏に供給することで、土壌の温度を低下させ、水稻の高温障害の発生を低減できる可能性があります。

(3)気温の上昇に伴う乾燥化への適応

地下かんがいシステムの導入により、常に作物の好適水位を一定に維持でき、かつ、ほ場の水分を均一にできるため、過乾燥による生育不良を軽減できます⁵⁾。

地下水位制御システムを施工したほ場では、排水側に設置した水位制御器を田面下 20 cm 程度に設定することで、ほ場全体が均一な水分を維持することができ、従来の暗渠のような水分のバラツキが発生しません⁶⁾。

大豆を対象とし、地下水位を-30 cmと設定した FOEAS 施工ほ場における地下水位の調査事例をみると、図 3-2-4 に示すように大豆の干ばつ発生の危険が高まる-50 cm以下、あるいは湿害発生の危険が高まる-20 cm以上となる期間が、施工していないほ場よりも短くなっています。



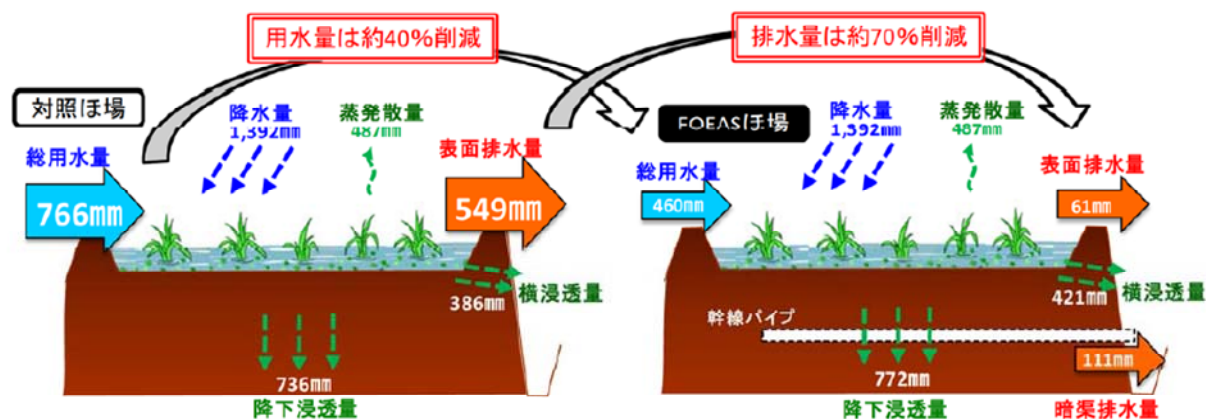
(出典：小泉健(2013):地下水水位制御システム(フォアス)の魅力と地球環境への貢献、Seneca 21st、H25.7.8)

図 3-2-4 地下水水位制御システムによる大豆栽培時の地下水水位

(4)気温の上昇、渇水の増加に伴う用水不足への適応

地下かんがいシステムの導入による用水量の削減効果の事例としては、下記に示すようなものがあります。

- ①減水深がほぼ等しい 30a の地下水水位制御システム施工ほ場と近接する一般的な水管理を行う 20a の対照ほ場において、用排水量を計測した結果、総用水量は地下水水位制御システムほ場が 460.0mm、対照ほ場が 765.7mm で、普通期に掛け流しが行われない地下水水位制御システムほ場は対照圃場よりも約 40%削減しました。総排水量は地下水水位制御システムほ場が 171.9mm(表面排水量 61.1mm、暗渠排水量 110.8mm)、対照ほ場が 548.9mm で、地下水水位制御システムほ場は対照ほ場よりも約 30%減少しました。



(出典：小泉健(2013):地下水水位制御システム(フォアス)の魅力と地球環境への貢献、Seneca 21st、H25.7.8)

図 3-2-5 水管理の適正効果

- ②不耕起 V 溝直播栽培は、春にピークを迎える代かき用水の需要を他の時期に幅広く分散することを可能にします⁷⁾。代かき用水の需要による春渇水への中長期的な適応策と

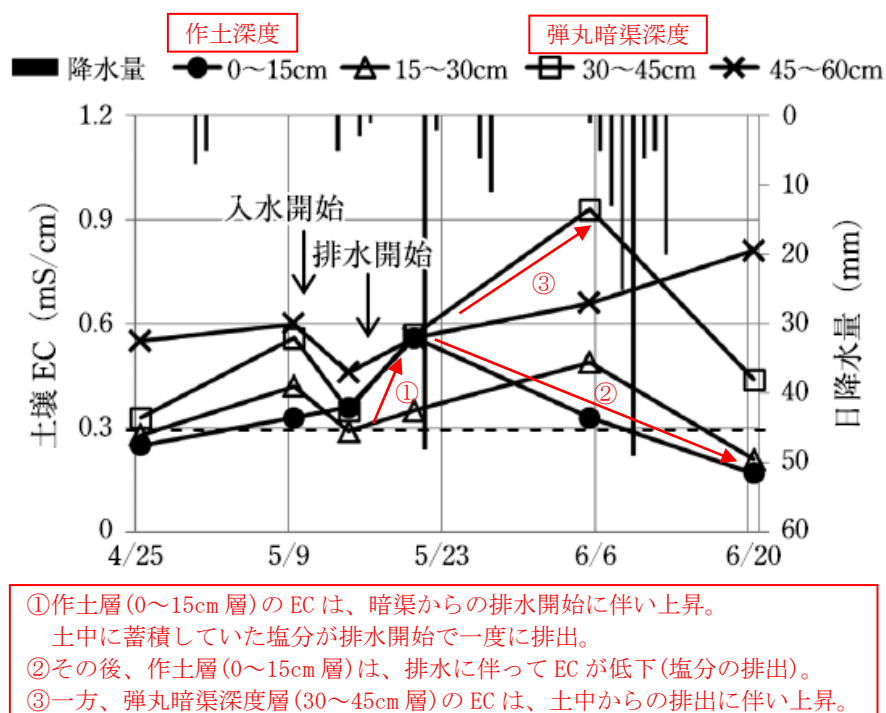
して有効な不耕起 V 溝直播栽培における初期灌水に対して、地下かんがいによってほ場全体に均一にかんがいできることが示されています⁸⁾。

このように、地下かんがいシステムの導入により、用水総量を削減したり、代かき期の用水量を削減したりすることが可能となります。この結果、気温の上昇に伴う用水需要量の増加や渇水による供給可能量の減少の影響を軽減できます。

(5) 海面水位上昇に伴う塩害への適応

地下かんがいシステムの導入による塩害の抑制効果の事例として津波に被災した水田における大豆栽培の事例を示します。

額縁明渠と弾丸暗渠を接続させた簡易な地下かんがいにより、田面－20cm 程度まで貯水したところ、下層塩分が排除されました。また、暗渠排水吸水管の給水側末端に立上り管を設けて、立上り管と水口を接続し、直接暗渠に入水させる暗渠直接入水を実施したところ、EC(電気伝導度)が低下し、塩素イオンが排出されました。



(出典：平直人(2015):津波被災水田における大豆塩害抑制技術、水土の知(Vol83、No.12))に加筆

図 3-2-6 地下かんがい前後の土壌 EC の変化

7)友正達美ら(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、農業農村工学会誌第83巻第9号

8)坂田賢ら(2017):地下水位制御システムを利用した地下灌漑時における浸潤域・地下水位の経時変化と水収支、農業農村工学会論文集 No.304(85-1))

3-2-4. 適応条件、留意事項・課題

- ①高温障害への適応については、パイプラインなどにより冷涼な用水が供給されると効果が高いと考えられます。
- ②地下かんがいを円滑に行うための条件の一つとして、ほ場の透水性が適正であることが重要です。透水性が高すぎると、地下から供給した用水の大部分が降下浸透となり、透水性が低すぎると暗渠を経由した配水に支障をきたします。地下かんがいシステムが導入されているほ場の透水係数の値は 10^{-5} cm/s 以下です⁹⁾。
- ③不耕起V溝直播栽培は代かきの時期を冬期などにずらし、春期の水需要を他の時期に幅広く分散することを可能としますが、その場合、当該時期に水利権が確保されていること、確保されていない場合は新たに水利権を取得する必要があることに留意が必要です。

9) 原口暢朗、若杉晃介(2016):水田における暗渠管を利用した地下灌漑に及ぼす下層土の透水性の影響、農業農村工学会誌、84(3)、27-30