

# 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

小泉 健

## 目次

1. はじめに
  - (1) 白書で紹介された地下水位制御システム技術
  - (2) 定義
  - (3) 紹介する目的
2. 水を制すれば水田農業は自由自在
  - (1) 水田の生産性向上を阻害しているのは水
  - (2) 普及しなかった地下灌漑
  - (3) 排水しか考えなかったこれまでの土地改良
3. 水位の制御でガラリと変わる田んぼの利用
  - (1) 地下水位制御システム（フォアス）の仕組み
  - (2) 水位調節のイメージ
  - (3) 地下水位制御システム（フォアス）導入の効果
  - (4) 一般の暗渠排水なみの施工費用
4. 水田輪作への取り組みで農業所得 4 倍増
  - (1) 経営の試算
  - (2) 地下水位制御システム（フォアス）は暗渠・明渠・従来型地下灌漑施設と何が違うか
5. 地下水位制御システムの地球環境への貢献
  - (1) 節水効果
  - (2) 冷水による温暖化対策効果
  - (3) 灌漑用水量と質を管理する時代

## 要旨

水田農業における経営安定化には、稲・麦・大豆や野菜を組み合わせた水田輪作の導入が有効だといわれている。しかし、現実には、重粘土地帯や、湧水で湿地化して耕作放棄地が発生している谷地田地帯など、転換が困難な水田も少なくない。

そうした水田の湿害や干ばつに対応し、作物に最適な地下水位を維持できる地下水位制御システム「FOEAS（フォアス）」が開発され、今最も注目されている。耕作放棄地の問題もあるが、冬場に何も作付されない水田が全体の 90%もあるといわれている。水田が利用されていないのである。

そこで、全国的に普及が進んでいるこの地下水位制御システムの特徴を 2012 年 3 月に公表された「地下水位制御システム FOEAS 導入と活用のポイント」著者藤森新作及び小野寺

恒雄を主体で紹介するとともに、節水効果や水資源供給エネルギーの削減効果、温暖化対策効果なども含めて述べることとする。

なお、ここで紹介する技術は、(独)農研機構 農村工学研究所において水田整備、高度利用研究に携わってきた藤森新作氏、原口暢朗氏、北川巖氏、若杉晃介氏ら研究所関係者及び(株)バディ研究所小野寺恒雄氏の成果であり、現在もさらに高度化技術を開発中であるが、今回はこのホームページにこれまでの知見を再整理して分かりやすく説明する役割と広報を兼ねて筆者が担当したものである。また、この技術にはいくつかの特許権があり、実際の利用や問合せについては研究所の技術移転センターに行われたい。

<http://www.naro.affrc.go.jp/nkk/introduction/chart/domain02/index.html>

#### キーワード

地下水位制御システム、FOEAS、水田用水量、排水量、水位管理器、水位制御器  
田畑輪換、地下灌漑、省力化、増収効果、水管理、節水、温暖化対策

## はじめに

### (1) 白書で紹介された地下水位制御システム技術

農林水産省が公表した平成 21 年度の食料・農業・農村白書に地下灌漑制御システムの技術が紹介されていることをご承知でしょうか。国内農業生産の動向の大豆について以下のような記述がある(p109~111)。

大豆については、昭和 55 年（1980 年）以降、食品用の需要は増加傾向にあり現在 100 万 t 程度、油糧用等加工用の需要は減少傾向にあり現在 249 万 t となっています。国内生産は昭和 62 年（1987 年）ごろをピークに減少していましたが、平成 7 年（1995 年）ごろから再び増加傾向となり、平成 20 年産（2008 年産）では作付面積は 15 万 ha、生産量は 26 万 t となっています。

なお、平成 21 年産（2009 年産）については、北海道における長雨・日照不足、九州における大雨等により生育が遅れ、収穫量は豊作だった前年産に比べ 1 割減少し、23 万 t となりました。一方、輸入については、米国、ブラジル等から多く行われています（輸入量は 371 万 t（平成 20 年度（2008 年度））。うち 7 割が油糧用、3 割が食品用に仕向け）。この結果、平成 20 年度（2008 年度）の自給率は全体で 6%、豆腐、納豆、みそ・しょうゆ等の食品用で 25%となっています。国産大豆については、食品用としては品質が良いとされ、煮豆、豆腐・油揚げ用で多く使用されているものの、は種時期が梅雨時期と重なり湿害が出やすいため、作柄が不安定になっています。

また、国産大豆を使用した製品に対する消費者の志向は高まっているものの、作柄による価格変動が大きいこと、田作での 1 等比率が向上せず、1 等大豆の量が不安定で低位にとどまっていることから、実需者が使用しにくい状況にあるなどの課題があります。このため、国産大豆の特徴を引き出した製品開発等による需要の開拓や、契約栽培による安定的な取引関係の構築を図るとともに、豆腐用・煮豆用としての加工適性に優れた品種や多収性品種の開発・普及を一層進めることが重要です。また、水田の団地化や、気象・土壌条件に応じた低コスト省力安定生産技術（大豆 300A 技術 1、**地下水位制御システム**）等の新技術の普及等を図っていくことも重要です（図-1）。

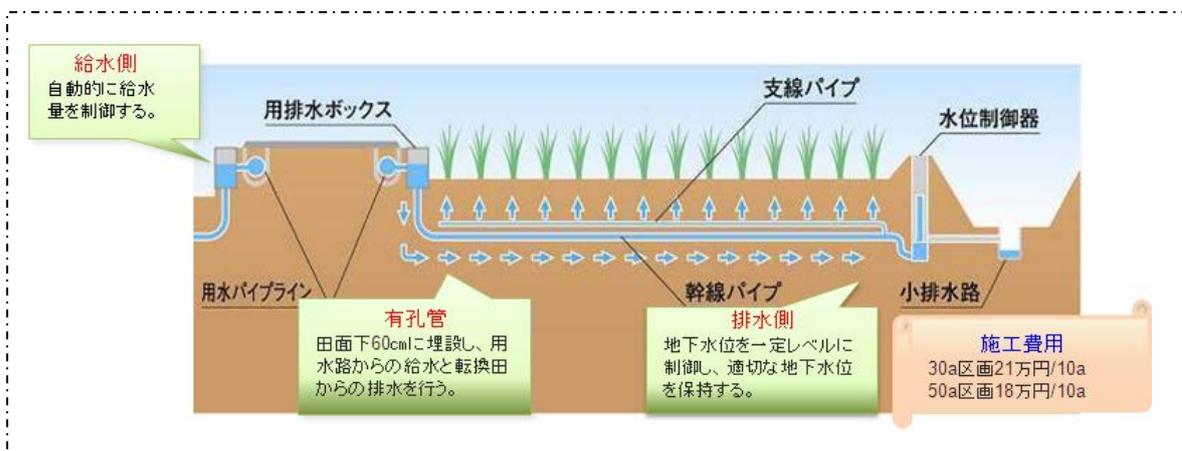


図-1 地下水位制御システムの概要

## (2) 定義

ここに示す地下水位制御システムとは、圃場に埋設した有孔管等への用水供給・田面排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である。本システムは、①圃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従来の圃場の形状を変更する必要がない などの特長を持っている。この地下水位制御システムを通称 **FOEAS**(フォアス)と呼んでいるが、**FOEAS**は、“**F**arm **O**riented **E**nhancing **A**quatic **S**ystem”の頭文字を取った略称である。

なお、ここでは以下地下水位制御システム (フォアス)として記載する。

## (3) 紹介する目的

地下水位制御システムは、わが国の農家が長い歴史をかけてつくりあげてきた水田という農業生産基盤を最大限活かす革新技術である。水を制御することにより、作物の生産性向上、品目選択の拡大、作業の省力などによる農業経営の改善、さらに農地や人などの地域のさまざまな地域資源の価値を最大限高めることが可能となる。さらに水が持つ位置エネルギー、つまり高い所から低いところに流れるという自然の圧力をパイプラインという水を流す管路を使うことで、農業用水の制御が可能となり、作物の省力・省エネルギーで効率的に行うことができる世界を実現できる技術といえる。

現在この技術は、平成 25.3 現在 38 道県、149 地区で実施されており、年度末には 5,600ha の普及が計画されている (図-2 図-3 参照)。

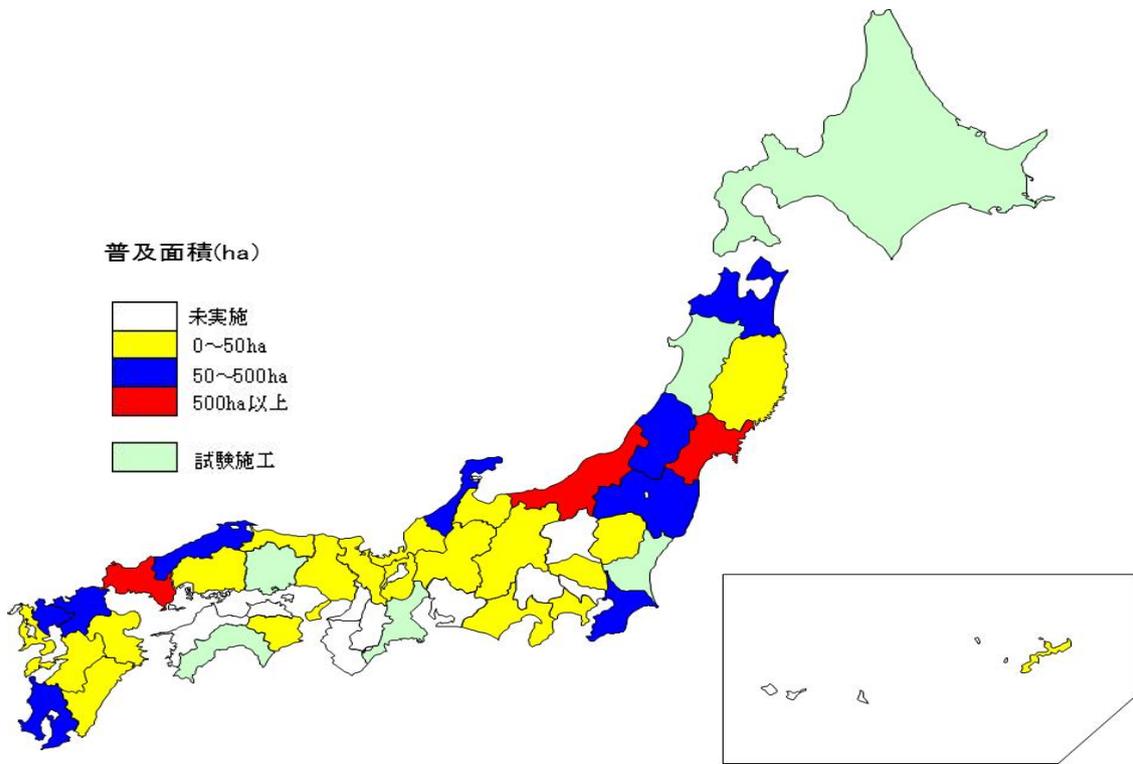


図-2 県別普及状況

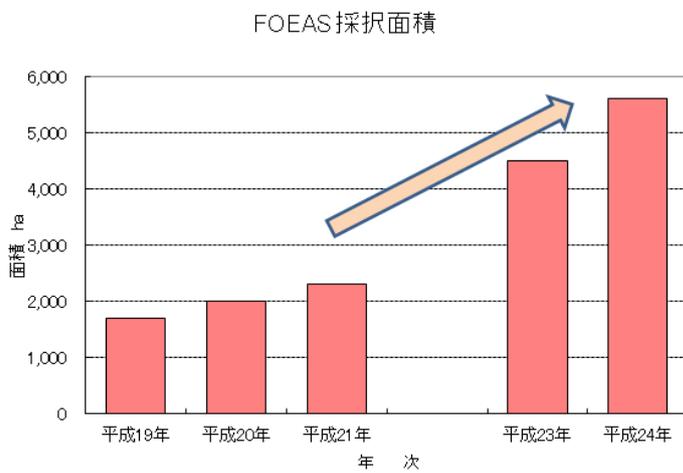


図-3 導入実績の推移

このような導入状況にある地下水位制御システムについて、その意義や効果を説明する。

## 1. 水を制すれば水田農業は自由自在

### (1) 水田の生産性向上を阻害しているのは水

1963年から始まった100m×30mを1つの区画とするほ場整備事業は、30a標準区画化と短辺に沿った農道整備による機械化農業の推進、用・排水路の分離による自由な水のかげ引きなど、近代農業の推進に大きな役割を果たしてきた。うねで区切られたほ場に、水を湛えて水稲を栽培してきた水田を畑としても利用する田畑輪換を進めるには、湿害に弱い畑作物のためにほ場からの排水を迅速に行えるかがカギを握る。そのため、排水路が深くなり、湛水被害が防止され、また、排水性の悪いほ場は地中に穴の開いた管を1m前後の深さに設置してほ場の水を効率的に排水する暗渠排水が施工された。しかし、水田でも畑でも使える汎用化が図られたにもかかわらず、いまだに田畑輪換が定着しているとは言い難い。

この原因には、栽培技術的な問題もあるが、排水性の改善だけでは畑作物の高品位安定多収が困難なことがある。つまり、転換畑では、灌漑用水を利用するという観念がなかったように思われる。畑作物も用水は必要であり、特に大豆栽培では7～8月の開花・子実肥大期の用水供給は重要である。多収を実現している農家は畦間灌漑によって品質と収量の安定化を図ってきた。

このように、畑作物の安定多収栽培を実現するためには、湿害対策が重要なことはもちろんであるが、作物の種類や生育時期に応じた適切な水分供給を行なうこともまた重要である。水田というほ場から、水を排除することにねらいを定めてきたことへの反省でもある。

1960年代後半からの減反政策にともない、転換畑における大豆や麦等の安定生産が課題となり、そして、1970年代後半からは土地利用型農業において、農業構造の改善による生産性の向上、コスト低減が課題となった。このため、低コスト水田農業の確立のためには水田の汎用化と併せて、ほ場の大区画化が不可欠との認識が高まった。



写真-1 畑作物は湿害に弱い



写真-2 干ばつに対応できない農地の課題

## (2) 普及しなかった地下灌漑

そこで、農水省では転作作物への灌漑や大区画水田における水稻栽培の新しい低コスト技術として地下灌漑に注目し、全国の農政局に一地区ずつ調査ほ場を設置し、その結果をもとに1990年に『地下灌漑の手引き』を発行した。ここでの「地下灌漑のねらい」と「地下灌漑の原理と特徴」を抜粋すれば次のとおりである。

### ① 地下灌漑のねらい

ほ場における灌水時の水分移動の難易を考えると、地表からの灌水のほうが地下からの灌水よりもはるかに容易である。そこで、地下灌漑が有効である場合は、以下に述べる特殊な場合に限られるが、最近これらの適用への要望が強まってきている。

### ② 汎用耕地における灌漑方式として

水田を汎用化して畑作物を導入する場合には、コストの面からみて畑利用時に特別な灌水施設を設置できないのが一般的であることから、水田が備えた用排水組織を利用して灌漑・排水を行なう必要がある。畦間灌漑の適用も考えられるが、その際に用水路から水田の取水と同様な方法で取水すると、流勢が強すぎて取水口近くのうねは崩れ、作物に被害を与えることがある。また、ほ場全体に一律に灌水するための工夫がなければ、部分的に冠水し、湿害を生ずることも考えられる。

一方、汎用化にあたっては畑作物を導入する場合には排水機能の強化、特に地下排水組織の強化が重要となるが、この強化された地下排水組織を利用して地下給水を行なえば、地下灌漑が容易になるものと考えられる。

畑利用や水稻作での強度の中干し、間断灌漑を行なうと下層土の土壌構造の発達や透水性の増大が図られるため、地下灌漑における給水に有利な条件、すなわち速やかな重力水や毛管水の移動ができる条件が生じるともいえる。他方、畑作時に下層土が過乾になって、土壌亀裂が著しく発達すると、代かき時をはじめとして輪換畑の用水量増大に結びつく可能性があり、この意味からも畑作時の地下灌漑によって適度に土壌水分を制御しておくことは有利なことになる。このように、汎用農地における用排水操作は、水田または畑単作の場合より複雑である。そのため、地下灌漑方式を含めた合理的灌排水技術体系を確立することが求められている。

### ③ 地下灌漑の原理と特徴

地下灌漑は、灌漑水が適切な速度で土壌中を移動して作物の根や種子に到達し、適量が作物に利用される必要がある。過剰な供給は用水量を過大にするばかりでなく、湿害も引き起こすことになる。また、ほ場およびそれを構成する土壌の物理性は必ずしも均一でないが、ほ場の各部に均等に必要な水分を給水しなければならない。このため、技術的に地表からの灌漑に比べて難しい課題を多く含んでいる。

『地下灌漑の手引き』1990.農林水産省 より抜粋

上記のように、全国調査から得た知見をまとめた『地下灌漑の手引き』は、まさしく「地下水水位制御システム」のあるべき姿を示している。ではなぜ、地下灌漑が転換畑に有効な技術と認識されたにもかかわらず、20年間も普及しなかったのか。その答えは、下記に述べるように、暗渠排水の設計基準は湿害対策を重点としていたことにあると考えられる。

### (3) 排水しか考えなかったこれまでの土地改良

#### ① 従来の暗渠排水の設計基準

水田の排水に関する一般的な技術として、地表水対策では明渠（溝切り）、地下水対策としては暗渠排水が施工されてきた。

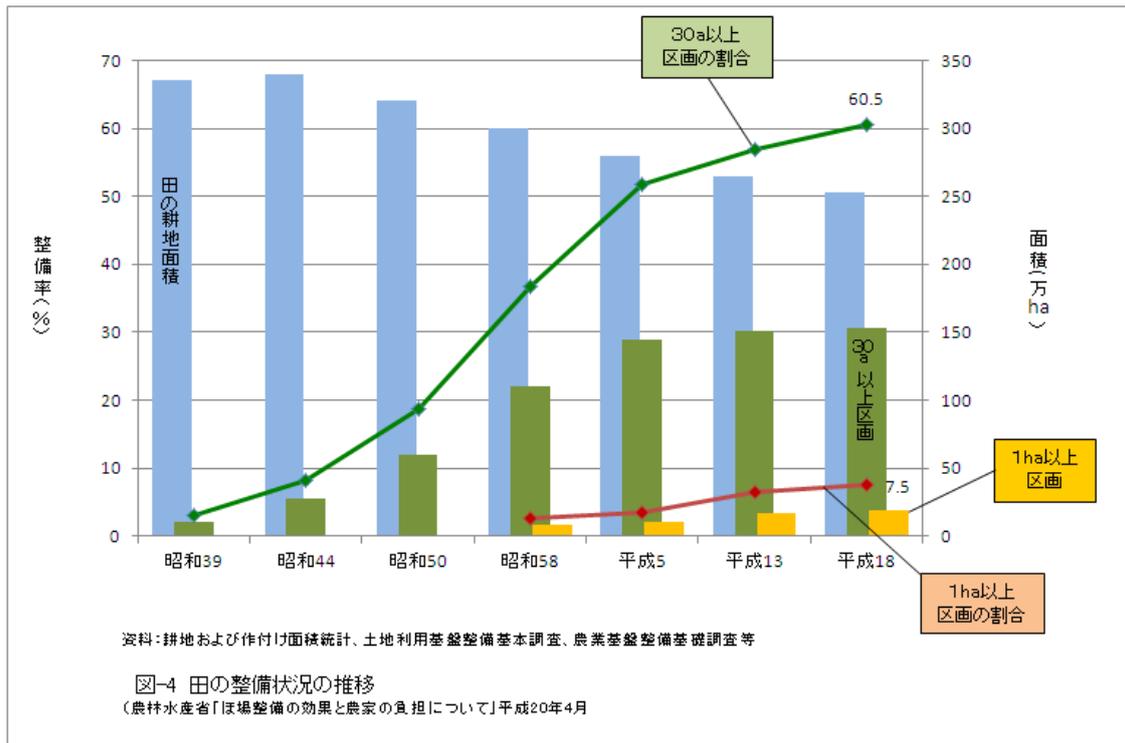
従来の暗渠は、設計基準によると、施工深さは有効土層が確保できる深さを得るために、田面下 60 cm～100 cm の範囲に規定している。施工間隔は土壌構造が発達して透水性が増大し、本暗渠だけで排水できる土壌構造における必要間隔とされており、統一した規定はないが、一般的には 10m 間隔前後が多い。また、施工勾配は吸水管への汚泥堆積を防止し、吸水管内の水を順調に流すために必要としており、用水側から排水側に向かって 1/100～1/600 の範囲としている。

従来の暗渠は地下水を暗渠部分に集め、それを暗渠の勾配にそって排水するシステムである。土壌中の過剰水を迅速に排除することを目的に施工されてきたため、暗渠からの排水を制御する手段は、暗渠の末端に備えられた水閘の開閉だけであった。水閘を開くことで暗渠埋設深まで地下水水位を低下させ、閉めれば田面まで地下水水位を上げるだけの「ON-OFF 制御」であり、任意の高さに地下水水位を設定することは不可能であった。

#### ② ほ場整備事業による汎用農地の確保

ほ場整備事業は、農業生産性の向上および農業構造の改善を実現することにより、食料供給力の確保に重要な役割を果たすことが期待されている。特に近年では、ほ場の大区画化や汎用化等の整備を推進することと併せ、担い手への農地利用集積や麦・大豆等の生産を促進する施策に重要な役割を果たしている。

全国の水田整備率は約 6 割に達しており、そのうち、1ha 以上の大区画化率は 7.5% 程度である。現実の麦・大豆の作付け率は整備前の 11.6% から 20.6% に増加しているものの、依然として低水準にある（図-4）。また、耕地利用率の全国平均は 93% であるのに対し、整備済み地区では 103%、特に関東以西の利用率が向上している。しかし、それにしても 113% にすぎない。麦栽培が普及している九州において 137% と高い値となっているのが目立つ程度である。



なお、山口県では、タマネギの自給率確保をめざして、ほ場整備の推進と地下水位制御システム（フォアス）の導入が進んでおり、また、乾田直播にも取り組みつつある。

このことからわかるように、行政の水田整備に対する意識が、汎用耕地を確保していくうえで重要なポイントであることを裏付けている。

全国でも大規模な穀倉地帯である、利根川、北上川、信濃川などの大河川下流域で畑利用が進んでいない大きな要因として、低平地域では地下水位、排水路水位が高く、排水路整備を行っても自然排水が不可能な地区が多いことがある。このような条件では設計基準に基づいて排水計画を立てることは不可能であり、この基準にかかわらず、深さ 50 cm 程度の浅層に無勾配で施工する技術として、ドレンレイヤー工法（有孔管と疎水材の同時埋設）やシートパイプ工法（引き込み暗渠）等が一部の地区で採用されてきた。また、地下水位制御システム（フォアス）においては、レーザー技術の利用とベストドレーン機の開発によって、管の埋設精度を±2.5 cm以内とする高精度な水平施工が可能となった。

一方、暗渠排水が基準通り施工されても、土質的要因による透水性の悪化や隣接地からの浸透水による湿害が発生している場合が多い。これらについては、弾丸暗渠や溝切り、遮水シートの敷設、ブロック転作等で解決できる部分もあるが、ソフトの面での要因も大きく影響している。すなわち、農業者の高齢化や兼業化の深化もあり、畑作物栽培に必要なほ場の維持管理能力の欠乏、これに必要な農業機械への投資能力不足、地域の担い手集団自体の高齢化等が顕在化し、ハードな整備だけでは解決できない場面も多々存在する。

なお、排水性の良い水田は、大型農業機械の導入が容易であり、これによって大規模経営への展開が可能となる。さらに、畑作時の用水利用が加われば、高品位安定多収が期待できる。あとは地域農業の担い手が形成されることを願うのみである。

## 2. 水位の制御でガラリと変わる田んぼの利用

### (1) 地下水位制御システム（フォアス）の仕組み

水田畑作の最大の課題は湿害対策であるが、地下水位を低下させすぎると逆に干ばつが発生することもある。

水田の畑利用時に湿害を回避するだけでなく、大豆や麦、野菜などの栽培にあたっては、作物が水を必要とする時期には水分を供給することができる。また、安定多収、高品質化を図るために、土壌中の水分を常に作物に最適な状態に制御することを目的として開発されたシステムである。

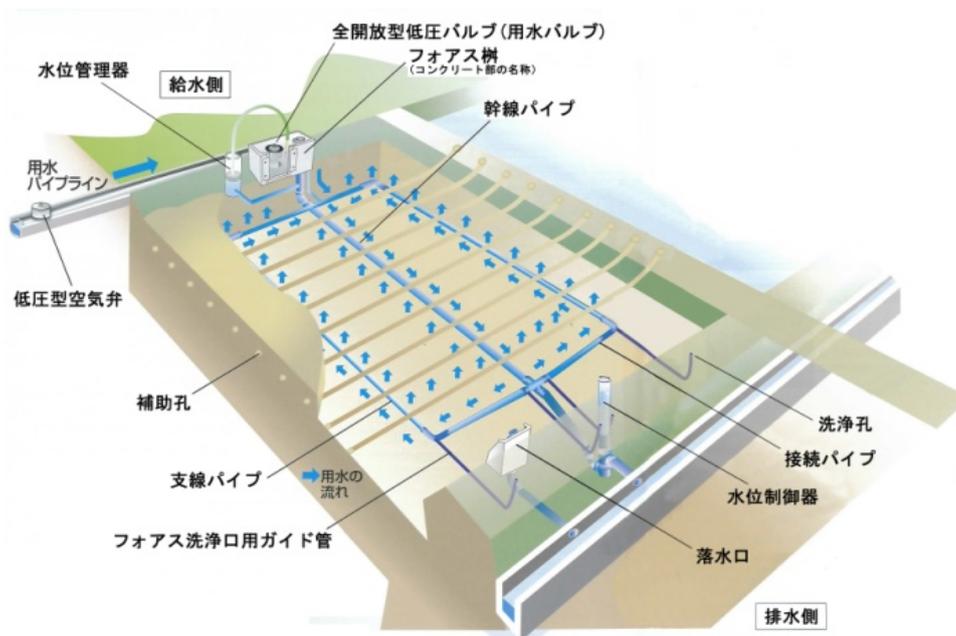


図-5 地下水位制御システム（フォアス）の標準的なレイアウト

### (2) 水位調節のイメージ

機能1：下図左の水位管理者（フロート）は、トイレのロータンクと同じ機能をするものであり、設定水位まで水位が上昇するとフロート弁が閉まり、水が流れなくなる仕組みとなっている。

機能2：下図右の水位制御器は、制御器内の水位調節用スライド管の上端が設定水位であり、その水位を超える水量はオーバーフロー水として溢れ出る構造になっており、水位がそれ以上には上昇しない機能をもつ。

### 1) アクション1

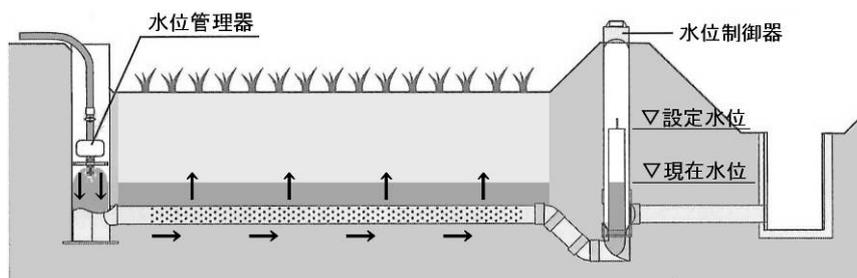


図-6 地下からの上向き用水の供給

水位制御器内にある設定水位調節用スライド管及び水位管理者（フロート）を任意の位置に移動させた後に水を流すと設定水位までの容器に水を注ぐイメージで水が幹線パイプ→支線パイプ→補助孔を介して水田（畑）に水が供給される。なお、パイプ配置位地より深いところの土壌の透水性が良い、砂質土などであると上向きの用水供給が困難となるため、適応可能な農地の土壌条件は見極めたり、事前に必要な難透水性基盤の造成などを検討する必要がある。

### 2) アクション2

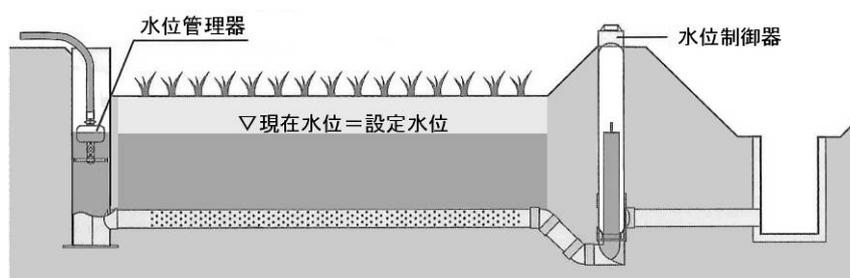


図-7 自動的に設定水位で止まる水供給

設定水位まで水が上昇すると、水位管理者のフロートが上昇し弁が閉まり、水の供給が止まる。

### 3) アクション3

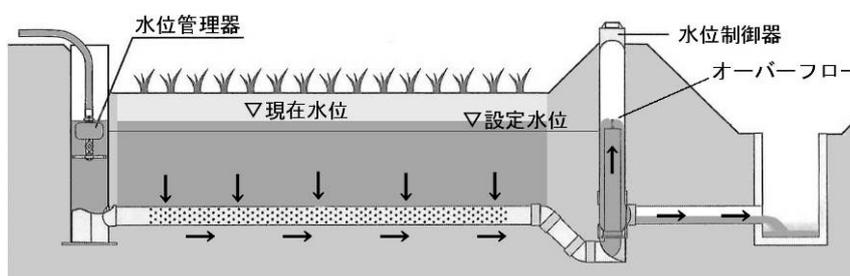


図-8 余分な水分は排除される構造

降雨など設定水位以上に水位が上昇した場合、制御器内の水位調節用スライド管の上端以上に水位が上昇し、水はオーバーフロー水として溢れ出て排水される構造になっており、水位が設定水位以上に上昇しない。

### (3) 地下水位制御システム（フォアス）導入の効果

地下水位制御システム（フォアス）は、水閘の「ON-OFF 制御」による従来の暗渠システムではなく、給水側には水位管理者、排水側には地下水位の高さを-30 cm～+20 cmの範囲で自由に設定できる水位制御器を備えている。したがって、水稻栽培においては田面から+20 cmまで湛水することができる。大豆や野菜を栽培する場合には地下水位を作物の成長に最も適した水位まで上げ下げすることができ、しかも、その水位を維持できる点が大きな特徴である。そのため、水稻-麦-大豆の2年3作といった田畑輪換や、水稻-ハクサイ-タマネギといった水田三毛作も生産が安定し、良質多収を実現できる（表-1）。

表-1 地下水位制御システム（フォアス）導入の効果

導入効果	
稲 作 時	① 適度な土壌水分を維持できることで、無代かき移植や乾田直播が可能となる。これにより代かきが不要となるため濁水による下流域での汚染が発生しない。また、代かきを行なわないと土壌が還元状態になりにくいことから中干しが不要となり、湛水の維持により冷害を回避できる
	② 中干し時に落水した場合、排水路側は過乾燥、用水路側は湿潤な状態となるが、地下水位-20 cm程度に保つことで水田全体が均一に乾く
	③ 中干し後に水を入れると過乾燥状態で急激に湛水するため、稲の根は酸素不足で根腐れを起こす。そこで間断灌漑が行なわれているが、これは多くの水と労力を必要とする。過乾燥状態になった水田は畦畔亀裂やネズミ・モグラ穴等が発生し、漏水も多くなり、極端に水の使用量が増加したり、肥料や農薬が流出し、その効果を損失するおそれがある。中干し後に田面下 10 cm程度で水位を維持すれば、田面には水がなくとも根に酸素を供給しながら、生育に必要な水を供給することが可能となる
	④ 上記の状態が稲刈りまで維持することで、コンバイン収穫に必要な地耐力も確保できる
	⑤ 水稻のカドミウム吸収抑制技術として、出穂前後の深水管理がある。中干しを行なわない水管理はこの効果を期待できる
	⑥ 給水側に設置する給水栓枡内の地下給水孔からも田面排水ができ、迅速な排水が行なえる
	⑦ 水田の湛水深をあらかじめ定めた水位で自動的に調整することができるため、掛け流しが防止できる
畑 作 時	① 湿害と干ばつを回避でき、作物の安定生産が図られる
	② 転作を続けると畦畔や下層土に亀裂が入り、水田に戻したときには水もちが悪くなるが、地下灌漑により下層土の乾燥が抑制され、水田としての機能が持続する
	③ 水田を過乾燥にすると地力は極端に低下するが、地下灌漑で適度な土壌水分を維持するため地力維持が可能となる
	④ 水田で畑作物を連作すると畑雑草や病気・害虫、連作障害等が発生するが、田畑輪換によって回避され理想的な畑作が可能に
	⑤ 給水側に設置する給水栓枡内の地下給水孔からも排水ができ、迅速な排水が行なえる
	⑥ 地表灌漑を行なうと、畑作に必要な土壌の団粒構造を壊すおそれがある。また、播種・定植時における種子や苗の流亡、スプリンクラー灌漑におこりがちな飛散水滴による幼苗の物理的被害、飛散土流子や菌の付着が発生するが、地下灌漑はこれらを回避できる

地下水位制御システム（フォアス）のメリットは表-1 にあげたように、水稻栽培時には無代かき移植や乾田直播など、コストダウンをより容易にする栽培法の導入も可能になり、代かき水や掛け流しによる肥料や農薬の河川への流出を抑制することができ、環境へのス

トレスを抑制できることがある。また、転換畑時には、湿害などによる生産の不安定さを解消し、水田期間を自由に組み入れることができることで、地力の維持や連作障害を回避することにもつながってくる。

湿田の乾田化は、長い時間をかけて水田に蓄積された有機物分解を進めることになり、水田の地力消耗を心配する声があがっていたことは事実であるが、地下水位制御システム（フォアス）は地下水位を必要以上に低下させないことから、こうした課題にも対応している。

新潟県の新潟市や燕市等、西蒲原地域は海拔ゼロメートル以下の低地であることから、排水改良が大規模な土地改良事業で行なわれてきた。しかし、重粘土壌地帯であることから、ひとたび雨が降るとぬかるみ、転作が困難であった。そこで、全国に先駆けて積極的に地下水位制御システム（フォアス）を導入されている。

新潟県の杉柳地区では、かつての強湿田に大豆やナス、キュウリなどが栽培され、水稲一辺倒からの脱却が始まっている。

#### （４） 一般の暗渠排水なみの施工費用

水田の水位を自動で維持管理するシステムは、これまでもさまざまなシステムが開発されてきている。加圧パイプライン地区を対象としたものでは、給水栓部の作動に関しては、水圧式やモーター式がある。水田水位の感知ではフロートや電極が一般的である。開水路用の自動管理装置も存在しているが、これらの入水・止水方法はモーターで行っており、電源はソーラーや乾電池である。また、水田の自動水管理装置が、東北農研でやませ対策の一環として開発されている。しかし、これらはいずれも湛水時の水位を一定に保つことを目的としており、地下水位をも管理するものではなく、電力など動力を必要とした。

一方、地下水位制御システム（フォアス）は、①従来のほ場の形などの所有界、権利関係を変えることなしに、ほ場の使い勝手を格段に向上させること、②誰でも使えるように、できる限り簡単な操作で管理できること、そして、③個人でもすすめられてきた従来一般的な暗渠排水の施工と変わらない金額でできることを念頭においている。つまり、耕作する人が自分の目や手で管理できるものはその人に任せることで、コストを引き上げていた自動化機構をシンプルにし、精密さを損なうことなくコストダウンしたのである。

現在、地下水位制御システム（フォアス）には施工方法と水位管理の装置の違いによって、下記の４つのタイプが設定されている。

タイプⅠ ベストドレーン施工・水位管理者あり

タイプⅡ ベストドレーン施工・水位管理者なし

タイプⅢ アーム式ベストドレーン施工・水位管理者あり（エコタイプ）

タイプⅣ アーム式ベストドレーン施工・水位管理者なし（エコタイプ）

なお、水位管理器とは用水側に備えられた給水を制御する装置で、これが装備されていなくとも、排水側の水位制御器によって、水位の制御は可能である。それぞれのタイプの10a当たりの施工経費は、タイプⅠで21万円、タイプⅡで19万円、エコタイプと呼んでいるタイプⅢで18万円、タイプⅣで16万円程度である。一般の暗渠施工経費が18万円程度だから、エコタイプのタイプⅣであれば、一般の暗渠施工経費以下で済むことになる。

また地下水位制御システム（フォアス）を実施することができる各種の制度もあり、それを活用することができれば、さらに安価で施工することが可能になっている。ただし、これら制度は年度ごとにその内容が変化したり、廃止されることがある。

いずれにしても、農家負担を軽減することによって、整備の進捗が図られるのは事実であり、行政やJA等は国や県等の農業施策を常に農家に伝達、指導することが求められる。

### 3. 水田輪作への取り組みで農業所得4倍増

#### (1) 経営の試算

前提条件として、北関東に位置し、40haの水田（湿田）を4名で運営する組織をイメージしている。この4名は専従者とし、240時間／旬の労働時間、つまり作業が集中する時期に、4人で合計240時間をあてることのできるとしてのシミュレーションである。試算に用いた作物別の算定基礎値は表-2のとおりである。

表-2 作物別の算定基礎値

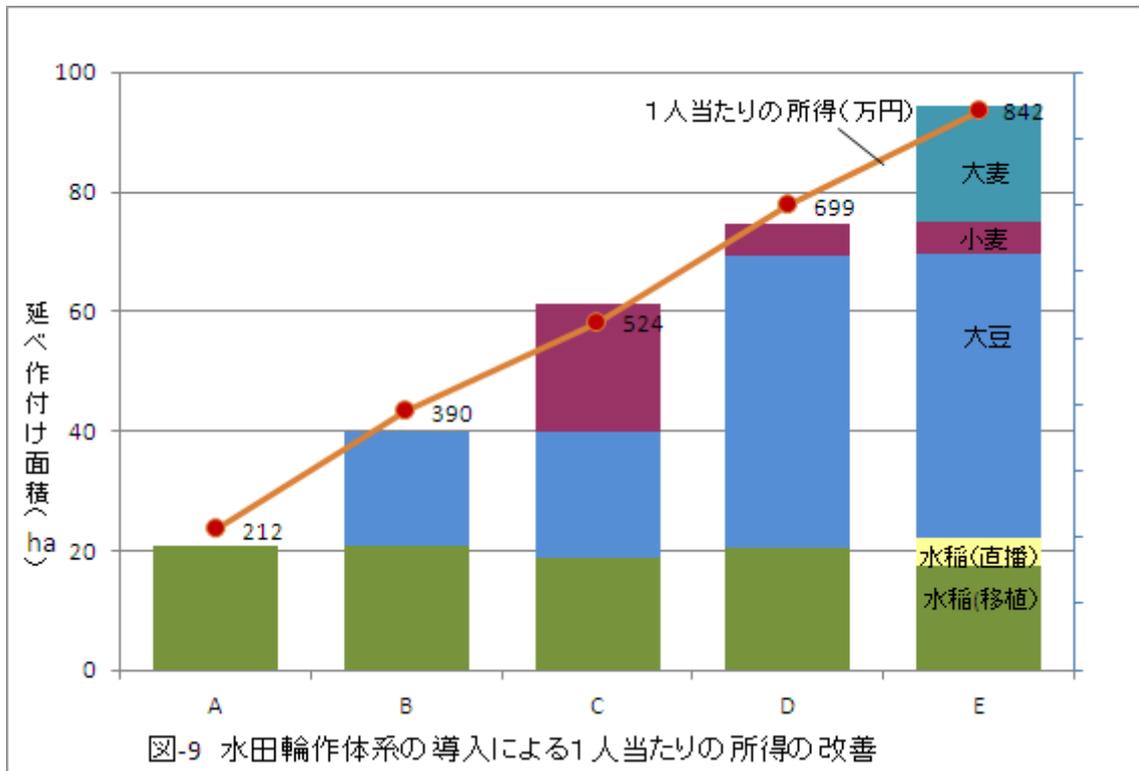
	水稻（移植）	水稻(直播き)	小麦	大麦	大豆
作 期	4月上～9月下	3月上～9月下	12月上～6月下	12月上～6月下	7月上～11月下
労働時間（時間／10a）	8.7	7.5	5.2	5.2	4.2
粗収入（円／10a）	116,100	116,110	44,520	39,150	53,290
地 代	0	0	0	0	0
変動費（円／10a）	34,462	34,631	14,803	14,089	15,824
産地づくり交付金	0	0	0	0	0
固定費合計（総額）	8,597,500				

湿田で行なわれている水田単作経営の場合、5月中旬の苗運搬・田植え・除草剤散布などの作業により、240時間しか労働に当てられないとしたら、水稻移植栽培では20.9haしか耕作することができない。その場合の農業所得は849万円、1人当たりの所得は212万円にとどまる。（表-3、図-9）。しかし、この湿田地帯に地下水位制御システム（フォアス）を設置して地下水位を制御し、水田輪作体系を導入したとしよう。そうすることでさまざまな発展を期待することができる。

表-3 最適農計画と1人当たりの所得

(単位：ha,万円)

輪作体系	単作			二毛作		経営面積	延べ作付け面積	水田利用率	農業所得	1人当たりの所得
	水稻(移植)	水稻(直播)	大豆	小麦 大豆	大麦 大豆					
A	20.9	0	0	0	0	20.9	20.9	5.2%	849	212
B	20.9	0	19.1	0	0	40.0	40.0	100%	1,562	390
C	18.7	0	0	21.3	0	40.0	61.3	153%	2,097	524
D	20.3	0	43.3	5.6	0	69.2	74.8	108%	2,794	699
E	17.6	4.6	22.9	5.3	19.3	69.7	94.3	135%	3,366	842



### ステップ1 大豆作を導入する（輪作体系B）

水稻移植栽培だけでは20.9haまでしか作付けできなかったが、作業時期がずれる大豆作を導入することが可能となり、農業所得は1,562万円まで向上する。したがって、1人当たりの農業所得は390万円となる。

**ステップ2** ステップ1に小麦・大豆の二毛作を導入する（輪作体系C） 水稻移植を18.7haとし、残りの21.3haを小麦・大豆の二毛作とする。延べ作付け面積は61.3haとなり、農業所得は2,097万円、1人当たり農業所得は524万円となる。

### **ステップ3 経営規模を拡大し、所得向上を図る（輪作体系D）**

新たに29.2haを借り受け、水稻移植20.3ha、大豆単作43.3ha、小麦・大豆の二毛作5.6haを組み合わせる。延べ作付け面積は74.8haとなり、農業所得2,794万円、1人当たり農業所得は699万円となる。

### **ステップ4 規模拡大に加え、乾田直播・大麦を導入し、水田利用効率を高める（輪作体系E）**

移植水稻17.6haに、作業時期をずらした乾田直播4.6haを加え、大豆単作は22.9ha、小麦・大豆の二毛作は5.3ha、さらに大麦・大豆の二毛作19.3haを組み合わせる。借り受け水田面積は29.7haでステップ3と大差はないが、延べ作付け面積は94.3haまで増加し、農業所得3,366万円、1人当たりの所得は842万円となる。

このシミュレーションには、地代や交付金については考慮していない。また、農業機械の固定費についても、新たな機械装備の投資はしないと、地下水位制御システム（フォアス）施工の経費は計上していない。ただ、地代は交付金で十分に補えると考えられるし、所有している機械装備を高度利用することが可能であり、今後の地域営農の維持・発展を考えたとき地下水位制御システム（フォアス）導入による経営発展の可能性は検討に値する。

## **(2) 地下水位制御システム（フォアス）は暗渠・明渠・従来型地下灌漑施設と何が違うか**

### **① -30 cmから+20 cmまで生育に合わせて水位を維持制御**

地下水位制御システム（フォアス）の最大の特徴は、地下-30 cmから、地上部は水稻栽培における深水管理の最高水位程度（+20 cm）まで、自由に水位を調節し、しかもその水位を維持できることにある。

給水の幹線パイプ（口径100 mmの有孔管）と支線パイプ（口径50 mmの有孔管）を田面からパイプの上端で-50 cmに水平に敷設し、さらに、補助孔として、田面から-40 cm（孔の下端）に幹線パイプと直角にクロスする方向に1m間隔で設置するようになっている。そして、給水側には水位管理者、排水側には水位制御器を備えており、水位の制御は排水側の水位制御器によって行なう。設定の範囲は、田面下-30 cmから田面上+20 cmとなっている。なお、水位管理者は設定水位に対応して、用水の給水・止水を自動で制御することができ、掛け流しを防止できる。

図-10 を見ていただきたい。これは、茨城県つくば市古来地区で、地下水位制御システム（フォアス）を施工したほ場と施工していないほ場での、大豆を栽培したときの地下水位の変化（下段）と、そのときの降水量（上段）を調べたものだ。地下水位は、田面下-30 cmに設定してある。

大豆の増収と高品質化に好適な地下水位の幅は極めて狭く、-20 cm以上まで水位が上がると湿害、-50 cm以下まで水位が下がってしまうと干ばつが発生するおそれがある。

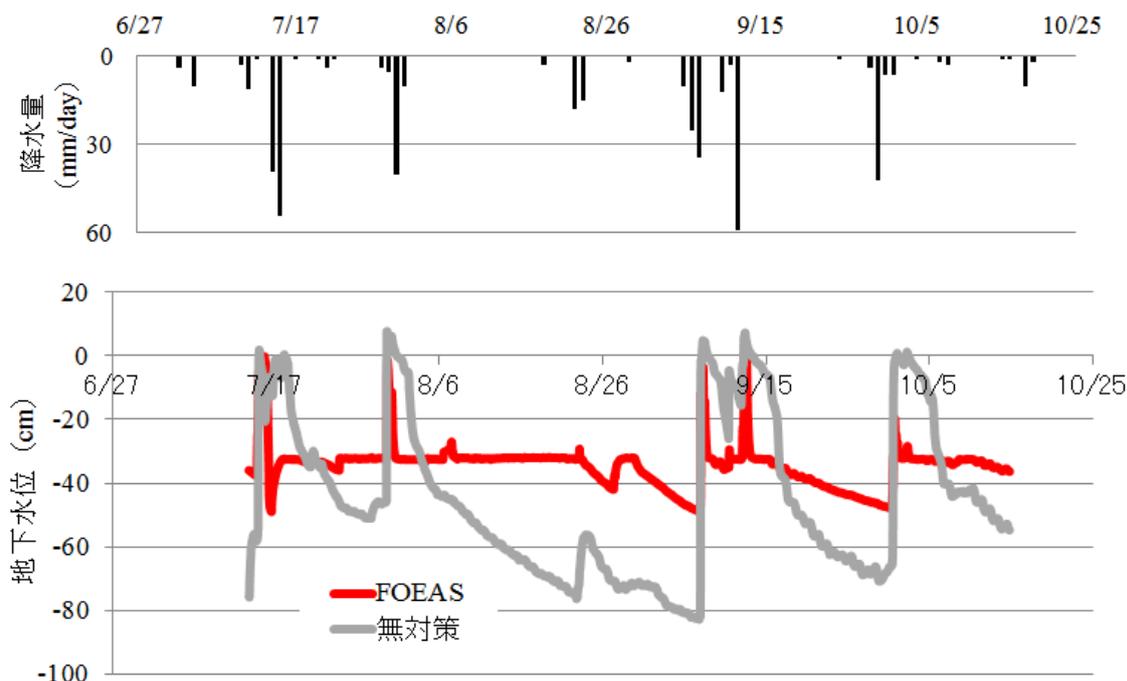


図-10 地下水位制御システム（フォアス）による大豆栽培時の地下水位管理状況事例（つくば市古来地区）

地下水位制御システム（フォアス）を施工していないほ場は降水の影響で地下水位は大きく変動し（図-10 の黒線）、大雨の後は地下水位が 0 cm 以上、すなわち湛水状態となっている。また、10 日間以上雨が降らないと、地下水位は-50 cm 以下に低下していることがわかる。

一方、-30 cm に水位を設定した地下水位制御システム（フォアス）ほ場では、降雨時には田面近くまで水位上昇が見られるが、湛水することはない、速やかに設定水位に戻り、ほぼ-30 cm で推移している（図-10 の赤線）。また、雨が 10 日間以上降らない時期でも、地下水位は干ばつの危険が高まる-50 cm を下回ることなく、大豆に好適な-20 cm から-50 cm の水位を保つことが可能であった。

このように、作物の好適水位に合わせて水位を設定することができ、かつその水位を維持することができるのが地下水位制御システム（フォアス）の最大の特徴である。

なお、当地区では8月末で灌漑用水の供給は停止されるが、水位制御器の水位設定を-30 cmで維持することで、これ以降の地下水位は-50 cmを下回ることなく推移した。

もちろん、田面下に水位を下げで設定するだけでなく、水稲栽培の場合は湛水状態を維持することも可能であるし、水稲乾田直播栽培の場合は、発芽時から1週間ほど地下水位を田面下-10 cmに設定して、種籾の発芽を促進して苗立ちの安定を図り、その後は湛水することによって、水で苗を保温してやるなど、栽培の生育ステージに合わせて地下水位を変化させることも可能である。

## ② ほ場全体を均一な水分に

もうひとつ、地下水位制御システム（フォアス）の大きな特徴に、ほ場の水分を均一に維持できる点がある。

例えば、水稲栽培の中干し時期のことを考えてみよう。中干しに入るとき、これまではまず水尻の落水口を開いて表面の水を排出し、同時に土の中の水を抜くために、暗渠の水閘を開いて排水することになる。しかし、この方法では排水路側は乾燥のしすぎとなる一方、用水路側は湿ったままというほ場が多く、中干しの効果にバラツキが出てしまいやすい。そのため、全面を均一に中干ししようとする、用水側が乾燥状態になるまで行なう必要があるため、排水側は過乾燥状態となっていた。

その点、地下水位制御システム（フォアス）を施工したほ場では、落水口を開けて表面の水を排出するのは同様だが、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ない。また、中干し後に水を入れる場合にも、違いが現われる。

従来の暗渠は1/500程度の勾配をつけ、田面から平均で-70 cmの深さに施工されており、強い中干しを実施した場合には土中深い位置まで土は乾燥してしまい、中干し後に急激に水を入れて湛水すると、稲の根は酸素不足となって根腐れを起こす例も多く見られる。そこで間断灌漑が指導されるわけだが、水管理の手間と同時に、水を出し入れすることによって多量の水が必要となっていた。

地下水位制御システム（フォアス）を施工したほ場では、こうした場合には水位制御器の設定を中干し時の田面下-20 cmから少し上げて、-10 cmに設定すればよい。この状態で、田面には水は見られないが、根には酸素を供給しながら、生育に必要な水は供給されている状態を実現することができる。

余談だが、中干し時の過乾燥は、畦畔に亀裂ができたり、ネズミやモグラによる穴が発達して、その後の水管理に支障をきたす例も多い。それだけでなく水の使用量が増加したり、ほ場からの肥料や農薬が流出することにもなり、その効果が低下するとともに、河川への環境負荷も高めていることにも留意しておきたい。

## 4. 地下水位制御システムの地球環境への貢献

### (1) 節水効果

田畑輪換においては、地域の水利用実態を把握し適切な用水計画を策定する必要がある。地下水位制御システム（フォアス）は地下水位調節により田畑輪換を容易にするとともに、地下灌漑機能により、直播水稲や転作作物の安定多収を実現する技術として注目されている。一方で、地下水位制御システム（フォアス）が一筆水田の用水量に与える影響は明確になっていなかったため、現地圃場を用いて、水稲栽培時の用・排水量などを観測・分析した。その結果次のようなことがわかった。

- ① 地下水位制御システム（フォアス）は暗渠排水と地下灌漑の機能を併せ持ち、湿害と干ばつを回避し各作物に最適な地下水位の維持を可能とする。水位コントロールは水口側に設置された水位管理者と排水路側に設置された水位制御器によって、電力などの動力を使わずにできる。
- ② 鹿児島県蒲生町の圃場整備済み水田において、30aの地下水位制御システム（フォアス）施工圃場と近接した調査地区での一般的な水管理を行う20aの対照圃場を調査地に選定し、用・排水量及び減水深、降水量を計測する。
- ③ 中干し後の8月7～8日の日当たりの一筆減水深は地下水位制御システム（フォアス）圃場が49.1mm、対照圃場が47.9mm、N型減水深測定器による日浸透量は33.9mmと33.5mmでほぼ近似している。
- ④ 総用水量は地下水位制御システム（フォアス）圃場が460.0mm、対照圃場が765.7mmで地下水位制御システム（フォアス）圃場は対照圃場よりも約40%削減する(図4)。期別に見ると水位管理者による自動取水を行わない代かき期は同程度であるが、普通期は対照圃場において掛け流しが発生する。また、7月下旬～8月上旬に中干しを実施するため、圃場全体の地下水位が低下するが、地下水位制御システム（フォアス）圃場は中干しを省略する栽培体系のため、その間の用水量は増加する。
- ⑤ 総排水量は地下水位制御システム（フォアス）圃場が171.9mm(表面排水量61.1mm、暗渠排水量110.8mm)、対照圃場が548.9mmで、地下水位制御システム（フォアス）圃場は表面排水量が大幅に減少する(図-11)。

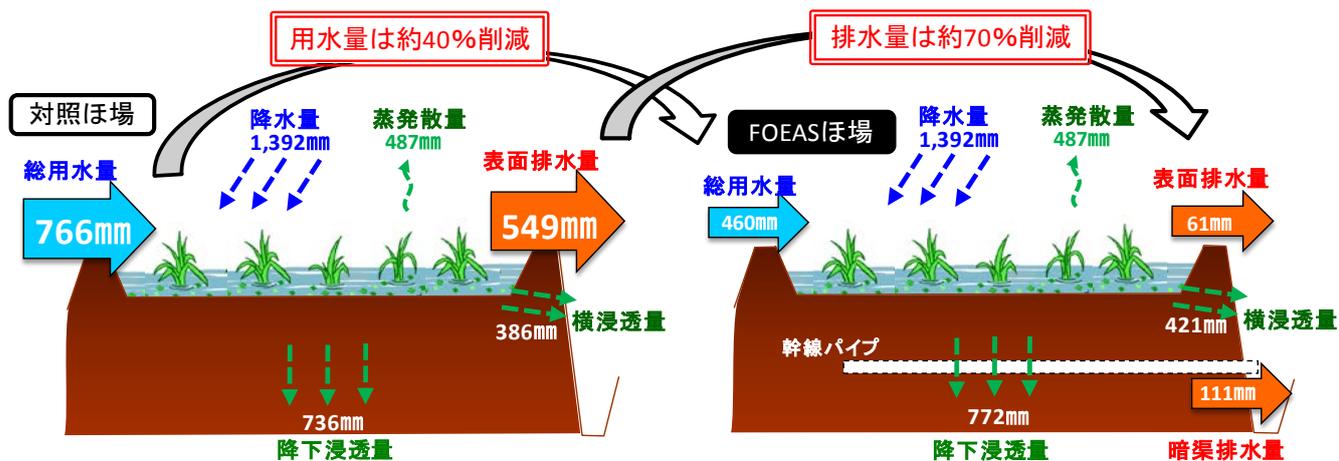


図-11 水管理の適正化効果

このようなことから、地下水位制御システム（フォアス）を用いると用水量では約 40% 削減でき、排水量は約 70%の削減が行えた。

つまり、水資源の有効利用、水資源を供給するためのエネルギーの削減など地球環境への貢献も高いことがわかる。

## （２） 冷水による温暖化対策効果

福井県は平成 24 年度に、九頭竜川地区の農業・農村の目指すべき方向とその実現のための具体的方策を示した「九頭竜川地域 農と水の振興ビジョン」を策定した。

この中で、本地区内の約 10,000ha に及ぶ広大な水田地域の基本方針として、米の食味試験で特 A 評価（日本穀物検定協会）の獲得が掲げられている。福井県では、田植え時期を 5 月半ば以降にする適期田植えによる登熟期の高温回避や、米の栽培履歴の確認などによる米の品質向上の取組を実施している。

これに加えて、九頭竜川中流域で取水されたパイプラインの良質で冷たい水を利用して夜間かんがいを行うことにより、イネの登熟期である夏場の温度上昇を抑制し、胴割粒や乳白粒などの発生防止と米の品質・食味の向上が期待されている。

地下水位制御システムは、まさにパイプラインによる農業用水の供給であり、水源から水田までパイプラインによる供給が可能となれば、温暖化によるお米の高温障害も防止出来ることになる。

これまで地下水位制御システムを施工した地区で高温障害の効果を把握したところはないが、間接的に九頭竜川地区の事例から容易に想定できる効果と考えられる。

## （３） 灌漑用水量と質を管理する時代

農業用水の節水、温暖化対策に限らず農業は自然の循環機能を生かしているが、気候変動という危機に瀕している。暖冬・酷暑・ゲリラ豪雨など水循環を巡る課題は毎年顕著に

なっている。水資源の供給が不安定、これまでの経験がいかせない状況が進んでいるといえる。

その一方で、農業も水の利用の仕方が変化しつつある。これまでの銘柄米に加えて早場米、えさ米、飼料米など多様化して水の利用期間、管理方法が異なっている。作付け方法も乾田・湿田直播なども増えている。

畑地灌漑では、土壌に与える水分を満腹状態から腹八分目方式に変更しようとする対策や強風の頻繁化による土壌浸食防止対策などに活用されつつある。また灌漑用水が窒素等の地下水汚染を引き起こさない技術、つまり自己浄化や水田との組合せによる地形連鎖の活用など質の管理技術も問われている。

ハウスを活用した施設農業では、これまでの化石燃料依存の空調制御から、霧冷却、地熱や水熱を活用したヒートポンプの活用、水耕栽培用水の循環利用など環境に配慮した形が生まれつつある。

このようなことから、地下水位制御システムに限らず、今後は灌漑用水量と質を管理する時代になってきているといえる。

以上から地下水位制御システムは地球環境にとっても貢献する技術であるといえるが、1区画が5ha以上（短辺が200m以上）の大区画汎用化水田の地下水位制御システムの在り方、その他上記に示した灌漑用水量と質の管理技術など今後もさらに開発すべき課題は多い。それを農村工学研究所の研究者は鋭意取り組んでいるところである。

参考・引用文献

1. 地下水位制御システム FOEAS 導入と活用のポイント (2012.3)  
藤森新作 小野寺恒雄 出版 農山漁村文化協会
2. 地下水位制御システム 調査・設計・施工マニュアル (案) 2009.9  
農研機構 農村工学研究所小前隆美ほか
3. 藤森新作、谷本 岳、若杉晃介、小野寺恒雄: 暗渠排水と地下灌漑機能を併せ持つ低コストな地下水位制御システム、平成 15 年度農村工学研究所研究成果情報、p.51-52、(2004)
4. 小野寺恒雄・藤森新作・谷本 岳・若杉晃介: 地下灌漑システム「FOEAS」の開発、農業土木学会東北支部講演要旨集、p.33-36、(2003)
5. 藤森新作・若杉晃介: 低平地排水不良地区における低コスト地下灌漑システム及び自然圧パイプラインの実証試験、第 58 回農業農村工学会関東支部大会講演要旨、(2007)
6. 藤森新作・若杉晃介・小倉力、島田信二、国立卓生、濱口秀生: 地下水位調節システムと畦畔漏水防止対策による転作作物の安定栽培、平成 19 年度農村工学研究所研究成果情報、p.13-14、(2008)
7. 小野寺恒雄・藤森新作: 本暗渠及び弾丸暗渠の低コストで容易な施工技術の開発、H15 農土学会東北支部大会講演要旨集、p.230-233、(2004)
8. 特許 3699986 (2005.07.22)暗渠排水装置  
暗渠排水装置: 特許番号 3699986、地下灌漑システム: 特許番号 3671373、地下灌漑システムにおける用水供給装置: 特許番号 3702329、地下灌漑用暗渠装置及びその形成方法: 特許番号 3756157、弾丸暗渠形成装置: 特許番号 3785486、溝形成装置: 公開番号 2005-194828、弾丸暗渠形成装置及び方法並びに弾丸暗渠: 公開番号 2005-325554、排水暗渠の形成方法及び装置: 公開番号 2006-2400
9. 藤森 新作・若杉 晃介・小野寺 恒雄: 地下灌漑時及び普通期の田面水位を自動管理する低コストな水位管理者、H19 農土学会大会講演要旨、p. 832-833、(2007)
10. 藤森新作・若杉晃介・小倉力: 水田のかんがい水位を自動管理する低コストな水位管理者、平成 19 年度農村工学研究所研究成果情報、p.11-12、(2008)
11. 藤森新作・小野寺恒雄・伊藤重幸・山里健: 自然圧パイプラインシステムの有用性について、農業土木学会関東支部大会講演要旨集、p.63-64、(2001)
12. 谷本 岳・井村英樹・藤森新作・北川巖: 自然圧パイプラインシステムによる地下灌漑試験、農業工学研究所技報、200 号、p.43-52、(2002)
13. 平成 21 年度食料・農業・農村白書 国内農業生産の動向 p109~111(2010.6)
14. 大塚直輝・坂田賢、パイプラインを利用した夜間灌漑実証試験、農業農村工学会誌、Vol81-No4、pp35-38 (2013)