

水田輪作における 地下水位制御システム 活用マニュアル

増補改訂版



国立研究開発法人
農業・食品産業技術総合研究機構



水田輪作における地下水位制御システム活用マニュアル

発行 初版 2014年1月
増補改訂版 2016年3月
編集発行 国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構
中央農業総合研究センター
〒305-8666 茨城県つくば市観音台3-1-1
印刷所 谷田部印刷株式会社

我が国の水田は、水稲、麦類、大豆などの土地利用型作物の生産において中核的な役割を果たしている生産基盤である。現在、水田を活用した水田輪作体系では、水稲の低コスト化、麦類、大豆では高品質安定生産が喫緊の課題であり、さらに作業の競合回避や収益性向上のために水田への野菜作導入も期待されている。

これらの目標を達成するため、近年、地下水位制御システム（FOEAS）などの水田の灌排水機能を改善した基盤整備技術が開発された。そこで農林水産省では、これら新しい基盤整備技術を活用し、さらに最新の栽培技術と組み合わせることによって水田機能を発揮させるため、2つの農林水産省委託プロジェクト「水田の潜在能力発揮等による農地周年有効活用技術の開発ー土壤養水分制御技術を活用した水田高度化技術の開発ー」（2010～2012年度）および「国産農産物の革新的低コスト実現プロジェクトー耕地高度利用コンソーシアムー」（2013年度）の2つの農林水産省委託プロジェクト立ち上げた。このプロジェクトにおいて、農業・食品産業技術総合研究機構が中心となり、道県、全農などが参画したコンソーシアムを結成し、試験研究を推進してきた。

本マニュアルは、これら委託プロジェクトを中心に実施された試験研究において得られた成績や知見をもとに、これら新システムを活用した収益性の高い水田営農を行う際に有益な情報を提供するため、生産現場の農業者や普及および試験研究関係者を対象として取りまとめたものである。生産現場でのご利用を期待したい。

最後に、本研究の推進にあたり、ご指導賜った農林水産省関係部局に対して御礼申し上げますとともに、本研究を担当された各位の労に対し、深く感謝の意を表する。

2014年1月
独立行政法人
農業・食品産業技術総合研究機構
理事 寺島一男

近年開発された基盤整備による水田圃場の地下水位を制御する技術は、作物生産に好適な土壌水分環境を提供しうるシステムであると期待されている。本マニュアルは、全国で普及しつつあるこの地下水位制御技術を活用して、水稻、麦類、大豆、野菜類の生産技術の向上に資することを目的として作成した。なお、本マニュアルでは地下水位制御システム FOEAS (Farm-Oriented Enhanced Aquatic System) と集中管理孔 (北海道) による研究成果をもとに作成している。

今までの試験研究から、これらシステムの活用によって、生産性、品質や作業性等の向上が図られる事例は多いものの、その一方で、その効果は導入場所によって異なり、生産性の向上に直接的には結びつかない事例も存在した。今後、その導入効果の違いが生じる要因の解明と導入適地の目安の提示が重要であろう。また、水田輪作体系全体を通じた生産技術とその経済性評価は、今後、さらなる研究が必要である。

本マニュアルの現場での活用を期待するとともに、不十分な点については、是非、各研究機関にお伝えいただき、今後の生産技術の改善に繋げていきたい。

試験研究の機会を与えていただいた農林水産省、貴重な助言を賜った運営委員、外部評価委員の方々、そして実際に試験研究に邁進し、マニュアル作成にご協力いただいた関係各位に深く感謝申し上げます。

農林水産省委託プロジェクト

- ・水田の潜在能力発揮等による農地周年有効活用技術の開発－土壌養水分制御技術を活用した水田高度化技術の開発コンソーシアム 研究推進リーダー (2010-2012年)
- ・国産農産物の革新的低コスト実現プロジェクト－耕地高度利用コンソーシアム 輪作・生産チームリーダー (2013年)

2014年1月

独立行政法人

農業・食品産業技術総合研究機構

中央農業総合研究センター 生産体系研究領域長

島田信二

1 地下水制御システム(FOEAS)の特徴と利用	
1-1 FOEASの概要と機能	1
1-2 地下灌漑機能から見た導入条件	3
1-3 FOEASを使った栽培時の用水量	7
1-4 FOEASにおける機能低下と回復方法	9
1-5 FOEASにおける機能低下などの事例	13
1-6 大規模営農における水田復元初年目の処理方法	17
1-7 大規模営農における畑転換初年目の処理方法	19
1-8 FOEAS導入による碎土率の向上と耕耘作業時の所要動力の低減	21
1-9 畑作物栽培時の安価で簡易な地下水観測法	23
2 作物栽培への利用	
1) 水稲	
2-1-1 北海道地域の水稲乾田直播栽培における地下灌漑による苗立ち向上技術	25
2-1-2 東北地域の水稲乾田直播栽培における地下灌漑による苗立ち促進効果	27
2-1-3 関東地域の水稲乾田直播栽培における苗立ち促進と登熟促進の効果	29
2-1-4 瀬戸内沿岸地域の水稲乾田直播栽培におけるFOEASを利用した節水管理	31
2) 麦類	
2-2-1 関東地域におけるFOEASの排水機能を活用した小麦栽培技術と地下水制御効果が発現する条件	33
2-2-2 北陸・重粘土地帯の大麦栽培におけるFOEASの効果	35
2-2-3 関東地域のビール大麦栽培におけるFOEASの効果	37
2-2-4 瀬戸内沿岸の麦作におけるFOEASの効果	39
2-2-5 九州地域の小麦作におけるFOEASを利用した栽培法	41
2-2-6 九州北部地域におけるFOEASの大麦作への効果	45
3) 大豆	
2-3-1 北海道における地下灌漑を利用した大豆の増収技術	47
2-3-2 北陸重粘土地帯におけるFOEASの排水機能を活かした大豆生産技術	49
2-3-3 関東地域におけるFOEASと不耕起狭畦栽培の併用による大豆の高位安定生産技術	51
2-3-4 近畿地域におけるFOEASによる大豆の増収効果と圃場の窒素収支	53
2-3-5 瀬戸内沿岸少雨地域での梅雨明け後の出芽苗立ち安定化技術	55
2-3-6 九州北部地域におけるFOEASの大豆作への効果	57
4) 野菜	
2-4-1 FOEAS導入によるネギ・ブロッコリーの生産改善(重粘土圃場)	59
2-4-2 播種直後の高地下水制御によるニンジンの出芽改善	61
2-4-3 タマネギ、ブロッコリーにおける地下水制御による地下灌漑の有効な生育ステージ	63
2-4-4 FOEAS導入による野菜作の生産改善事例	65
2-4-5 北海道におけるハクサイに対する地下灌漑の効果	69
5) 雑草管理	
2-5-1 地下水制御と雑草管理	71
2-5-2 雑草の種類による違い	73
3 経済性の評価事例	
3-1 補助金によるFOEAS導入事例における経済性評価	75
3-2 自前によるFOEAS導入事例における経済性評価と導入条件	77
4 留意事項	
4-1 広域の排水条件の確保	81
4-2 FOEASの維持管理 — 暗渠管に溜まった土砂の排出 —	82
4-3 管内カメラによる暗渠管異常部の確認	83
4-4 FOEASで期待通りの効果が得られない事例 1	84
4-5 FOEASで期待通りの効果が得られない事例 2	86

1-1 FOEAS の概要と機能

1 地下排水と地下からの灌漑の両方の機能を備えたシステム

FOEAS は、水田の地下排水と地下灌漑の両方の機能を備えた施設です。豪雨時には地下排水、晴天が続いて土が乾燥した時には地下灌漑を行い、水田で栽培される畑作物の安定生産などに貢献します。

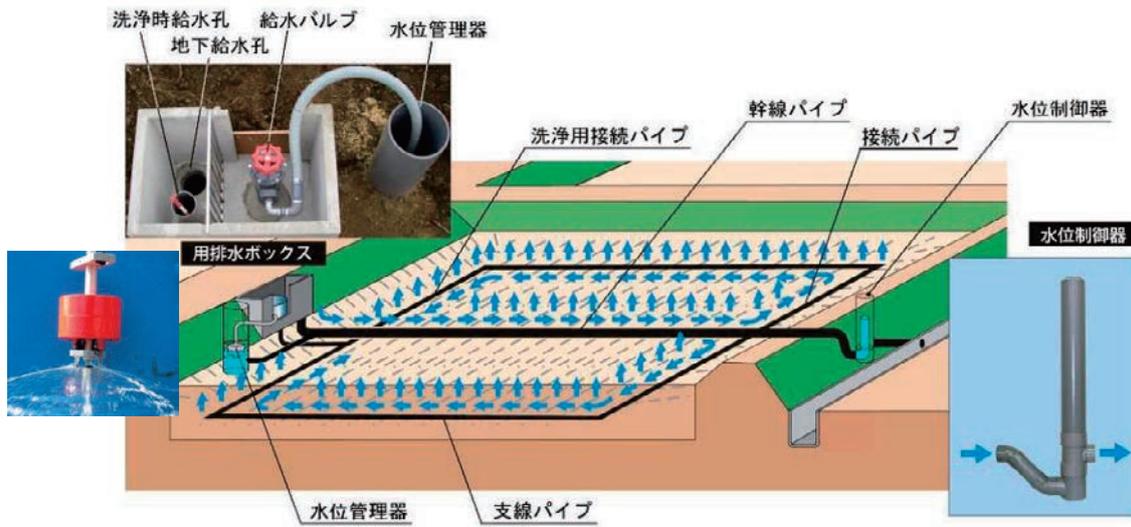


図 1 FOEAS の概要

2 システムの構造

深さ約 60cm に水平に埋められた地下パイプ（標準間隔 10m）、用排水ボックス、フロートの付いた給水器(水位管理者)、排水の高さを変えられる二重構造の塩ビ管(水位制御器)から構成されています。さらに、暗渠管と直交方向に、深さ 40cm の弾丸暗渠（補助孔）が 1m 間隔で設置されています。弾丸暗渠は、地下パイプを通じた用水を横方向に広げて、ほ場全体に水を行き渡らせる役割を果たします。

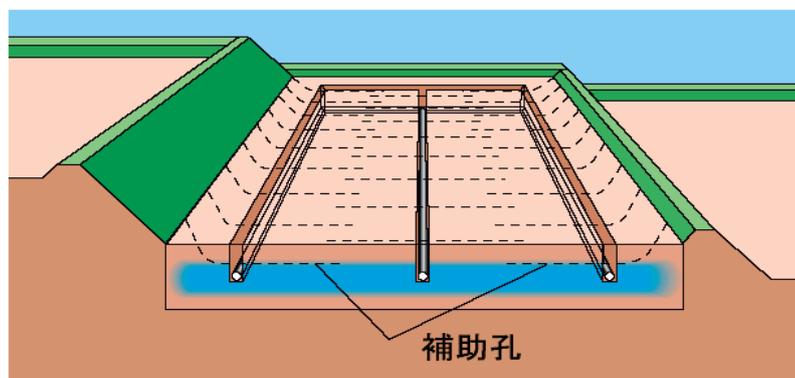


図 2 弾丸暗渠(補助孔)の役割

3 地下水位制御の仕組み

水田の地下水位は、用水路側の水位管理者の取り付け位置、排水路側の水位制御器の内筒の高さによって設定することができます。水田の地下水位が低い時は、水位管理者を通じて自動的に地下から給水され、設定水位に達するとフロートの作用により給水は自動停止します。また、降雨などにより水田の地下水位が設定水位を越えると、水位管理者の内筒から排水され、設定水位に戻れば排水は自動停止します。設定できる水位の範囲は、地表面上20cmから地表面下30cmで、作物の種類や生育の段階に応じた水位設定ができます。

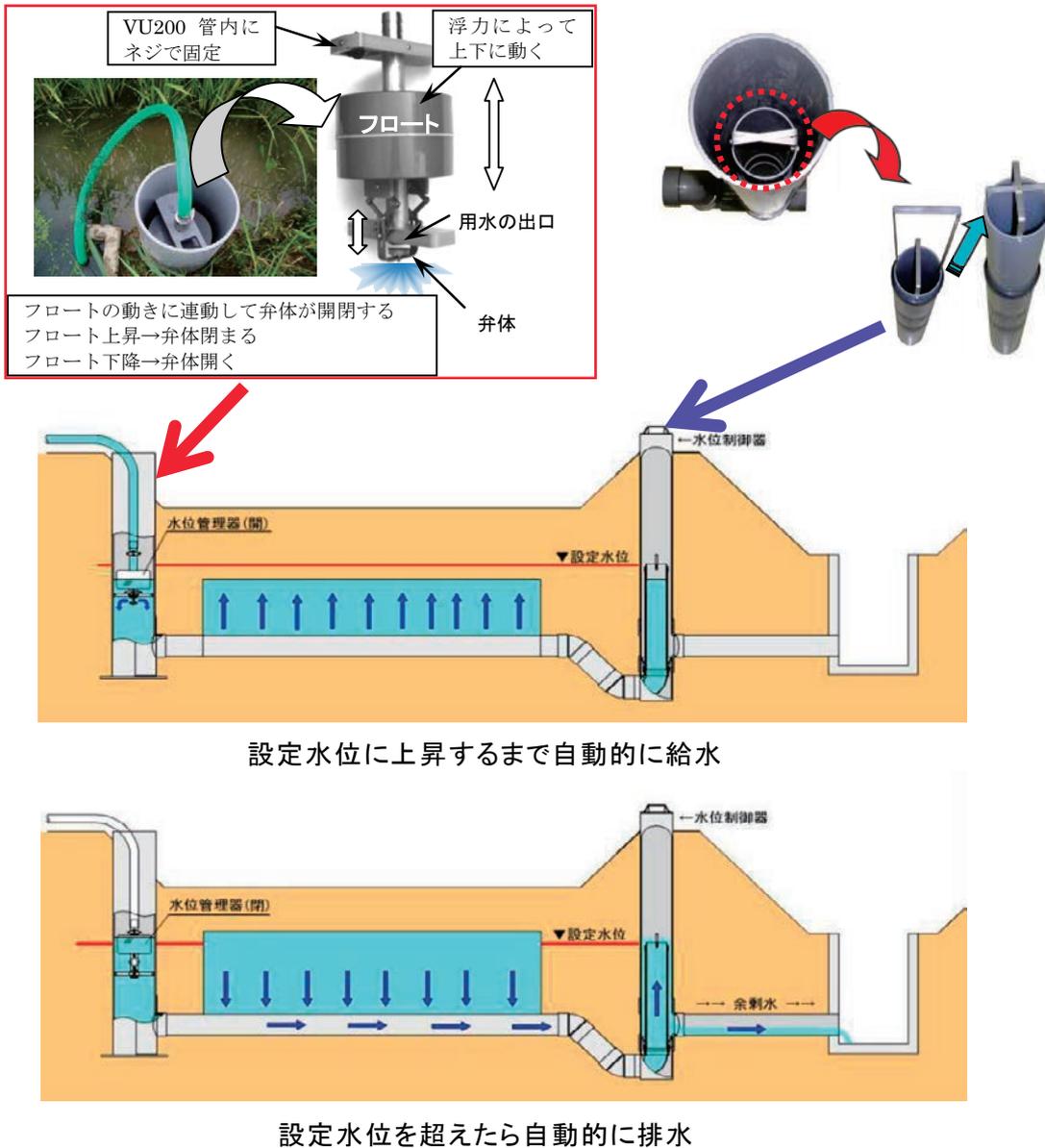


図3 地下水位制御の仕組み

< 関連資料 > 藤森新作・小野寺恒雄編著、地下水位制御システム FOEAS 導入と活用のポイント、農山漁村文化協会、2012年3月
(農研機構 農村工学研究所 若杉晃介、原口暢朗)

1-2 地下灌漑機能から見た導入条件

1 地下パイプからの漏水が大きいと地下灌漑が困難に

地下灌漑では、地下パイプから地表に向かって水位を上昇させる必要があります。従って、地下パイプから下への漏水が多い場合、地下灌漑が困難になります。地下パイプから下への漏水がごく小さいことが、システムの導入条件です。

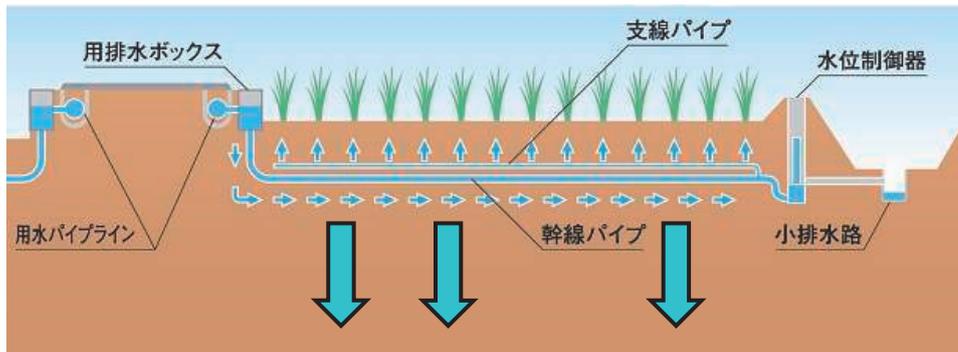


図1 地下灌漑時の漏水の模式図

2 導入条件(その1 高い地下水位)

地下パイプから下への漏水がごく小さい条件の一つは、地下パイプが埋設される 60cm 付近に水田の地下水位があることです。これを確認するためには、穴を掘って地下水位を直接観察します。さらに、地下水位が高い水田では、しばしば下層にグライ層と呼ばれる青い土が観察されますので、土の色で判断することもできます。



図2 地下水位の確認(左:直接確認、右:グライ層の確認)

3 導入条件(その2 低い土の通水性)

段丘上の水田などでは、地下水は地下パイプが埋設される 60cm より深い位置にあります。このような条件下で地下から灌漑する際、地下パイプが埋設される 60cm 付近での土の通水性が高いと地下パイプから下への漏水が大きくなります。土のタイプには粘土、壤土、火山灰土、砂質（レキ質）土などがあります。粘土は、土の通水性が低く、漏水のリスクは小さいです。一方、火山灰土や砂質土は、土の通水性が高い場合が多く、漏水のリスクは大きいです。



図 3 土のタイプ(左:粘土、右:レキ質)

4 導入条件に関わる調査方法および調査事例

図 2 および図 3 に、漏水から見た導入条件に係る典型的な写真を示しましたが、実際の水田の条件は多種多様です。例えば、粘土と砂質土の中間的な性質の土に対して、見た目では通水の良否を判断することは困難です。このケースのように、通水の良否を調査して判断の方が合理的です。

以下では、その調査方法と判断の目安に関して、システムが実際に導入された全国各地の水田において、地下水位、土の通水性と地下灌漑の難易を調査した事例を記します。

<調査方法>

はじめに述べたように、地下パイプが埋設される 60cm 付近の土の通水性と地下水の位置が漏水の多寡に影響します。そこで、まず土を約 60cm の深さまで掘削します。その際、図 2 左の写真のように、掘削孔に地下水が観測されれば、漏水は少ないと判断できます。

地下水が観測されなければ、土の通水性を調査します。調査法は二通りあります。一つ

の方法は、深さ 60cm の土を容積 100cm³ の金属容器に採取し、室内に持ち帰って通水性を調べる方法です (図 4 左)。もう一つの方法は、現場で 60cm の深さに中空の金属円筒を打ち込み、内部に水を溜めてその減り具合から通水性を調べる方法です (図 4 右)。



図 4 通水性の調査器具(左:室内用、右:現場用)

< 調査事例 >

下の表に地下水位、土の通水性と地下灌漑の難易を調査した事例を示します。地下水位が十分に高い事例はなく、すべて深さ 60cm の土の通水性を調査しています。

表 1 調査事例

調査水田	土の分類	栽培作物	地下水位 (地表面から)	深さ60cmにおける 土の通水性 (mm/日)		地下かんがい時の 問題	判断
				室内	現場		
1	灰色台地土	移植水稻 転作大豆	深さ1m以上	11.2	—		○
2	灰色台地土	移植水稻	深さ1m以上	5962	—	地下かんがい時に水位 上昇が見られない	×
3	火山性土	転作大豆	深さ1m以上	302	—	大豆栽培で地下水位制 御時の用水量1,000mm	×
4	灰色低地土	乾田直播水稻	深さ1m以上	—	1.3	—	○
5	多湿黒ボク土	乾田直播水稻	深さ60cm	0.03	—	—	○
6	灰色低地土	転作大豆	深さ60cm	0.06	—	—	○
7	多湿黒ボク土	移植水稻 (代掻き あり・無代掻き) 転作麦	深さ1m以上	950	—	地下かんがい時に水位 上昇が見られない	×
8	灰色低地土	転作麦	深さ60cm	—	0.50	—	○
9	灰色低地土	転作大豆	深さ80cm	0.36	—	—	○
10	灰色低地土	移植水稻 乾田直播水稻	深さ1m以上	—	432 ~1296	大豆栽培で地下水位制 御時の用水量大	×
11	灰色低地土	転作大豆	深さ60cm	0.29	—	—	○
12	灰色低地土	転作大豆	深さ60cm	—	10.4	—	○
13	灰色低地土	移植水稻	深さ60cm	—	32.0	—	○

表から、同じ分類の土壌でも、深いところの土の通水性に差があり、地下灌漑の難易に差が見られます (例えば、1 と 2、5 と 7)。調査することの重要性がわかります。

< 調査に基づく地下灌漑の難易の目安 >

表の調査内容を整理すると、次ページの図 5 のようになります。図は通水性の大きさを茶色の横棒で表し、調査水田の番号とこれに対応した通水性の測定値を矢印で示し、判断

(○×) をその横に記しています。地下水位は二通りに区分し、白抜きまたは黒の塗り潰しで表しています。

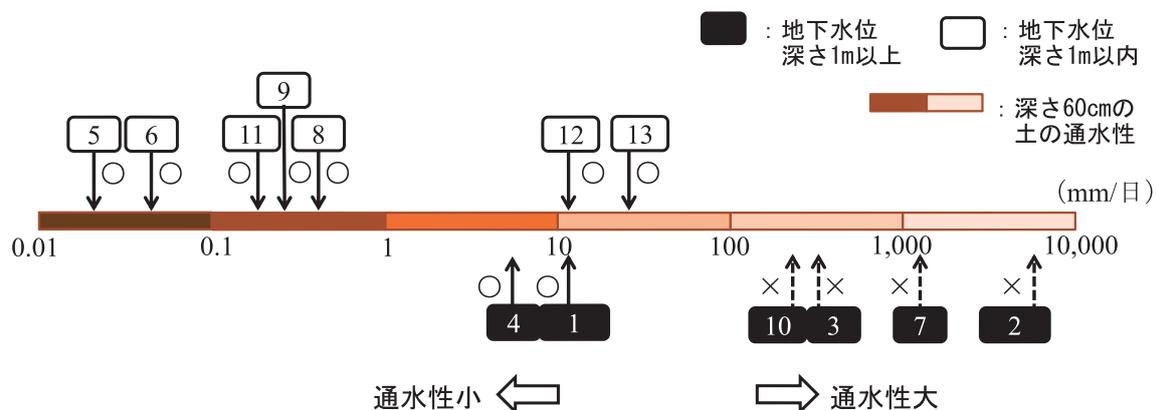


図 5 調査事例の整理

図から、地下灌漑時に問題が生じなかった事例(○)は図の左側、問題が生じた事例(×)は右側にはっきりと分かれており、土の通水性の大きさによって、地下灌漑の難易に一定の目安があることを示しています。図から、この目安は深さ 60cm の土の通水性が 10mm/日よりやや大きいところにあると見られます。

通水性 10mm/日は、水持ちの良い水田でイネを栽培したときの数値とほぼ同様です。上記の目安はこのようなイメージで捉えることができると思われます。

<留意事項>

ここで紹介した調査方法と目安は、システム導入の判断に関して、具体的な手段と情報を提供しています。合理的な判断のための一手法として活用されることが期待されます。

ただし、これは導入の可否を決めるものではありません。その理由は、例えば以下のようなものです。

- ・ 傾斜地で段差のある水田では、図 1 で示した下方向だけでなく、横方向の漏水が生じる可能性がある。
- ・ 地下水位を一定に制御せず、一時的に地下灌漑するような使い方をする場合がある（例えば、夏場の大豆への灌漑）。この場合、給水量が大きければ多少の漏水があっても、一時的に地下から水を上げることができる場合がある。

(農研機構 農村工学研究所 若杉晃介、原口暢朗
中央農業総合研究センター 大野智史)

1-3 FOEAS を使った栽培時の用水量

1 水稲栽培

水稲栽培では、水位管理器と水位制御器を地表面より数センチ上に設置して、用水の補給時期（代かき時期と中干し直後以外）に地下から給水すると、用水の節水と水管理労力の大幅な軽減が期待できます。用水の節水は、無効な入水・排水（掛け流し灌漑）が抑制されるためです。



図 1 水稲栽培時の水位設定の例

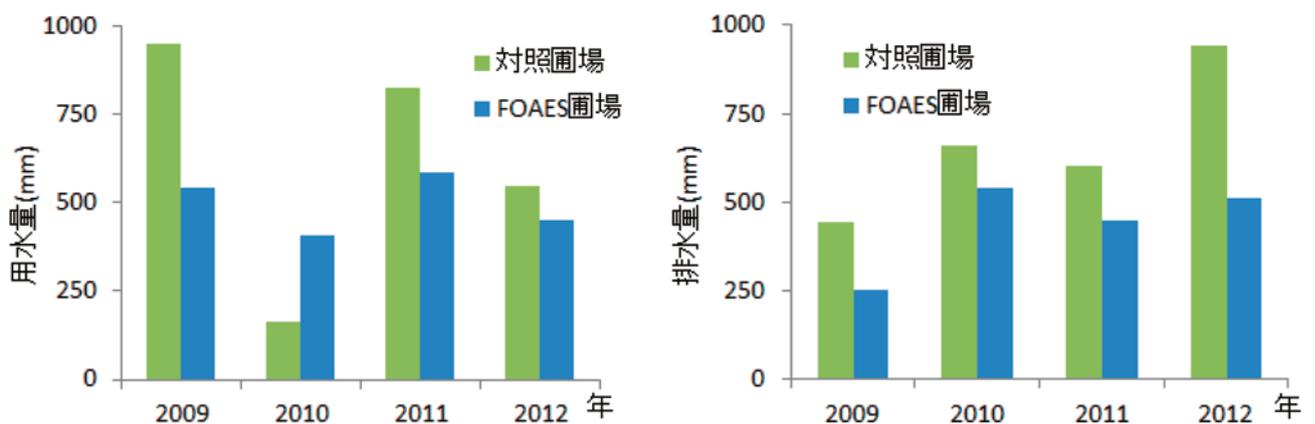


図 2 FOEAS による用水量節減(左)、排水量削減(右)効果の例
(※ 対照ほ場の用水量が極端に少なかった 2010 年は例外)

2 大豆(畑作物)栽培

現在、大豆栽培における灌漑は、畝間灌漑が主流でその実施面積はわずかです。このため、大豆栽培で地下から給水する場合の水量は未知でした。一例として、大豆栽培期間中に地下水位を-30cm に制御した際の用水量は 120~200mm となっています。この程度の水量であれば、同じ地区内の水稲への灌漑に与える影響は無く、地下灌漑による大豆の増収効果が期待できます。

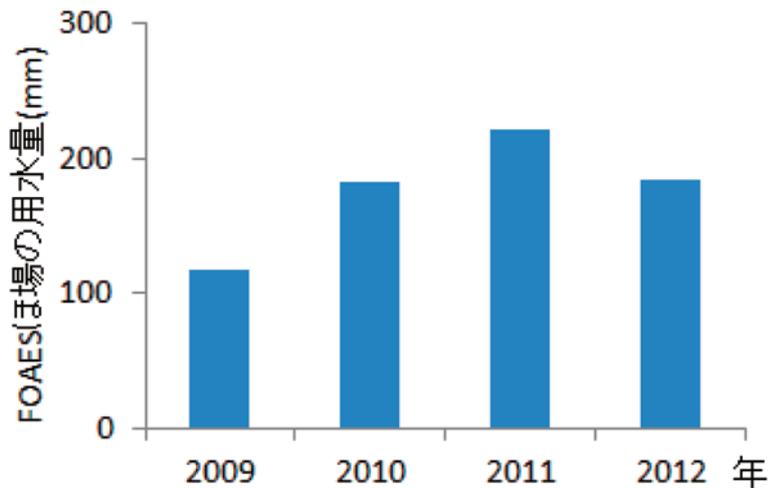
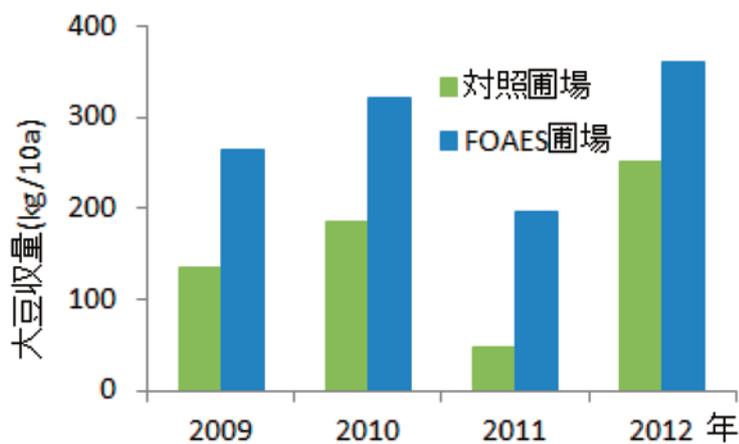


図3 FOEASによる大豆栽培時の地下灌漑用水量の例



※鹿児島県における灰色台地土水田転換畑圃場での成績。品種はすべてフクユタカ

図4 地下灌漑による大豆の増収効果の例

<関連資料> 藤森新作・小野寺恒雄編著、地下水水位制御システム FOEAS 導入と活用のポイント、農山漁村文化協会、2012年3月
(農研機構 農村工学研究所 若杉晃介、原口暢朗)

1-4 FOEAS における機能低下と回復方法

1 FOEAS の給水・排水機能の維持管理

FOEAS の給水・排水機能は、補助孔と補助孔上の隙間（以下、「スリット」）の状態に大きく依存します。FOEAS の本暗渠と補助孔は図 1（1-1 参照）のようになっていますが、補助孔は、①地下灌漑時に幹線・支線暗渠から供給された水を圃場全体に速やかに行き渡らせること、②作土層内の余剰水を幹線・支線暗渠に速やかに送り出すこと、に重要な役割を果たします。また、スリットは鋤床上の余剰水を補助孔に送り込むことに重要な役割を果たします。

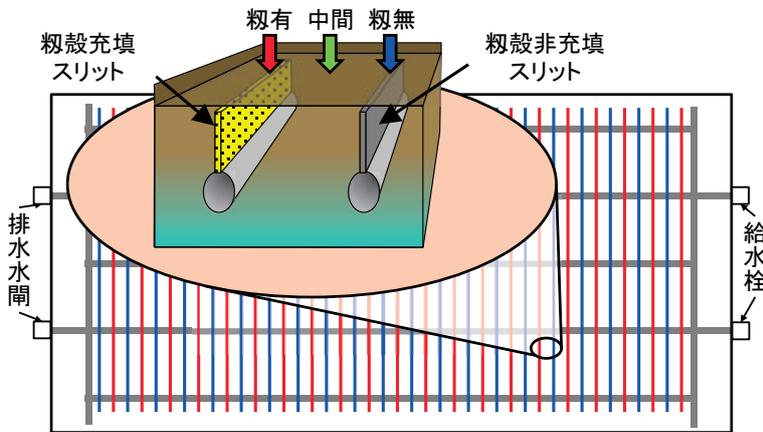


図1 FOEAS 圃場における暗渠・補助孔の配置

- 1) 上端-50cm 深の水平本暗渠(←)に直交した補助孔が1m おきに施工されている。
- 2) 補助孔は孔直上のスリットに糶殻が充填されているもの(← 糶有)と充填されていないもの(← 糶無)が交互に施工されている。但し、糶無のだけの場合もある。

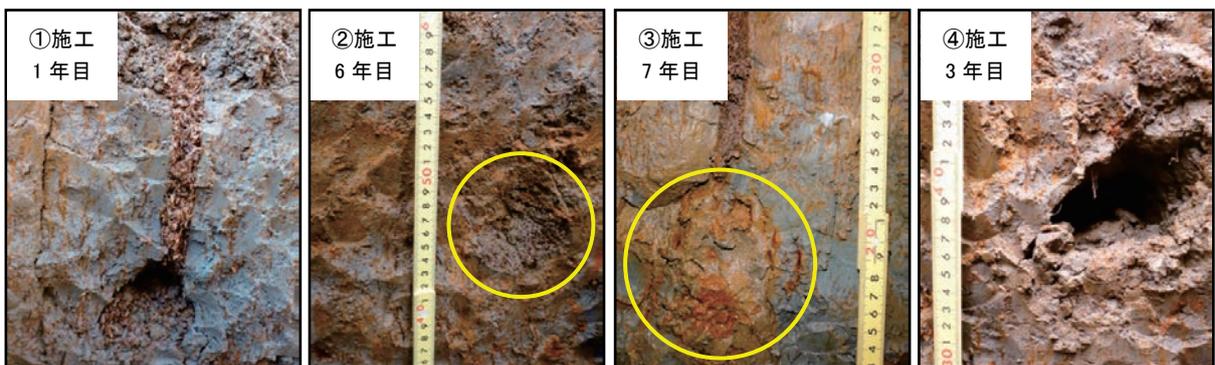


図 2 補助孔および糶殻スリットの状況

- ① 施工 1 年目の大豆後圃場: 新規補助孔施工の翌年。糶殻スリットの状況も良く透水性は良。
- ② 施工 6 年目の水稲後圃場: 補助孔内に糶殻と土壌が流入し、糶殻スリットも痕跡。
- ③ 施工 7 年目の大豆後圃場: スリットは残存しているが、補助孔には土壌が流入。透水性は見た目よりも良。
- ④ 施工 3 年目の水稲後圃場: 若干土壌が流入しているが補助孔は問題ないが、糶殻スリットは痕跡で透水性は不良。

補助孔とスリットは、時間の経過や水稲栽培の導入などにより、土壌流入、糶殻の腐敗や閉塞が生じて、機能を発揮できる形状ではなくなる場合があります（図 2）。特に冬季間に降雨・降雪が多い日本海側の地域で粘土質な土壌では、冬季間に土壌が乾

燥しにくいいため、これらの機能が低下しやすい状況にあります。そのため、日本海側の粘質な土壌地帯では、地下水位制御システム施工後の1作目はできるだけ畑転作をした方が給水・排水機能が維持できます。

2 給水・排水機能の回復技術

水稻栽培のための耕起・代かき作業は、補助孔とスリットを閉塞して、システムの給水・排水機能の低下を生じやすい傾向にあります（図3、図4の代かき水稻後）。その後、大豆等の畑転作を行うと浸透量が高くなり、給水・排水機能が回復する場合があります（図4の大豆後）、回復しない場合には、以前に比べて圃場内に水が溜まりやすくなります。これは、排水性が低下している兆候です。

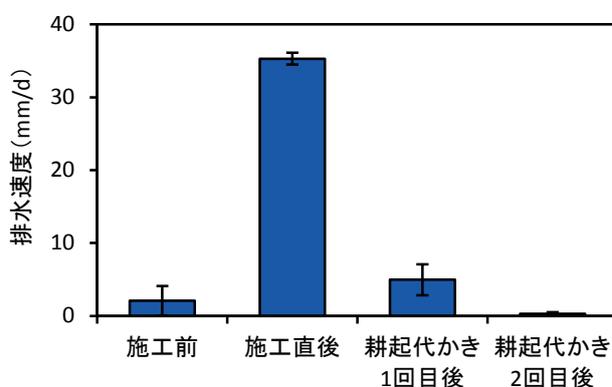


図3 耕起代かきによる排水機能の低下

- 1)100mm 湛水深からの24時間暗渠排水量
- 2)-40cm 深の水平暗渠に粃有、粃無の補助孔を1mおきに交互に施工した圃場での結果。
- 3)施工前は補助孔施工前の本暗渠のみの値。施工直後は2)の補助孔を施工した直後の値。耕起代かき1回目、2回目はそれぞれの作業後の値。
- 4)図中のバーは標準誤差で、2圃場の結果。

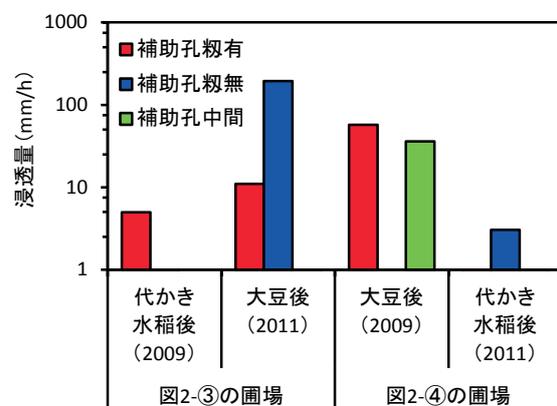


図4 作付履歴と浸透量の関係

- 1)図2の③および④圃場における鋤床上の浸透量（水の浸入速度）で、給水・排水機能の指標。
- 2)浸透量は、図1の補助孔への水の流れを測定したもので、給水・排水機能の指標となる。調査定は原則として作土を取り除き、「粃有」、「粃無」の補助孔直上と「中間」を測定。
- 3) 中間の浸透量は暗渠によらない地下排水性および均一な地下水位制御を行うための指標となる。

このように、大豆等の畑転作後においても排水性が悪くなっている場合には、補助孔やスリットの残存状況を確認して下さい。確認にあたっては、降雨後等の圃場に水が溜まっている時に、水口、水尻等の特殊な条件の箇所以外で、排水が悪い箇所と良い箇所を確認して、圃場が乾いてから掘削・調査をして下さい。補助孔は幹線・支線暗渠に直交して1m間隔で施工されています。但し、粃殻スリットは導入されていない場合があります。粃殻スリット施工の有無を確認したい場合は担当の土地改良事務所や施工業者にお問い合わせください。

図2-④のように補助孔は残存していますが、粃殻スリットは痕跡程度になってしまい、鋤床層が緻密化している様なケースでは、無材の弾丸暗渠を施工する方法で十分だと考えられます（図5左）。しかし、重粘な土壌で冬季間に乾燥しない地域では、通常の弾丸暗渠を秋に施工してもスリットが閉塞して効果が小さくなります。その様な場合にはスリットに粃殻を導入できる粃殻弾丸暗渠の施工が有効です（図5右）。

S社製SPF31K（図5右）の場合、30～45cm深で作業速度0.5～1.0km/hで粃殻弾丸



図5 機能回復技術としての弾丸暗渠の施工状況

左:2連の弾丸暗渠の施工作業 右:スリット部に籾殻を導入できる籾殻弾丸暗渠施工作業

暗渠の施工が行えます。弾丸暗渠施工時には本暗渠の埋設位置を把握して、本暗渠の疎水材と連結するようにして下さい(図6)。土壌が乾燥しやすい条件では当初施工時と同等の40cm深を目安にして下さい。冬季に土壌が乾燥しにくい日本海側の粘質な土壌地帯では作業性も考慮して30cm深を目安に行うのが良いでしょう。施工間隔は地下灌漑を重視する場合は、当初に施工された籾殻補助孔の間に2m間隔で施工して下さい。また、排水改善を主な目的とする場合は通常の弾丸暗渠の施工間隔(5m程度)と同様に行い、状況を見て間隔を狭めるようにして下さい。但し、FOEASの本暗渠の間隔は10m程度とやや広いため、斜めに施工せず、本暗渠に直交するように施工する方が良いと考えられます。

籾殻弾丸暗渠を再施工すると、排水性が回復します。排水性の回復は、土壌への浸透量の増加により確認することができます(図7)。

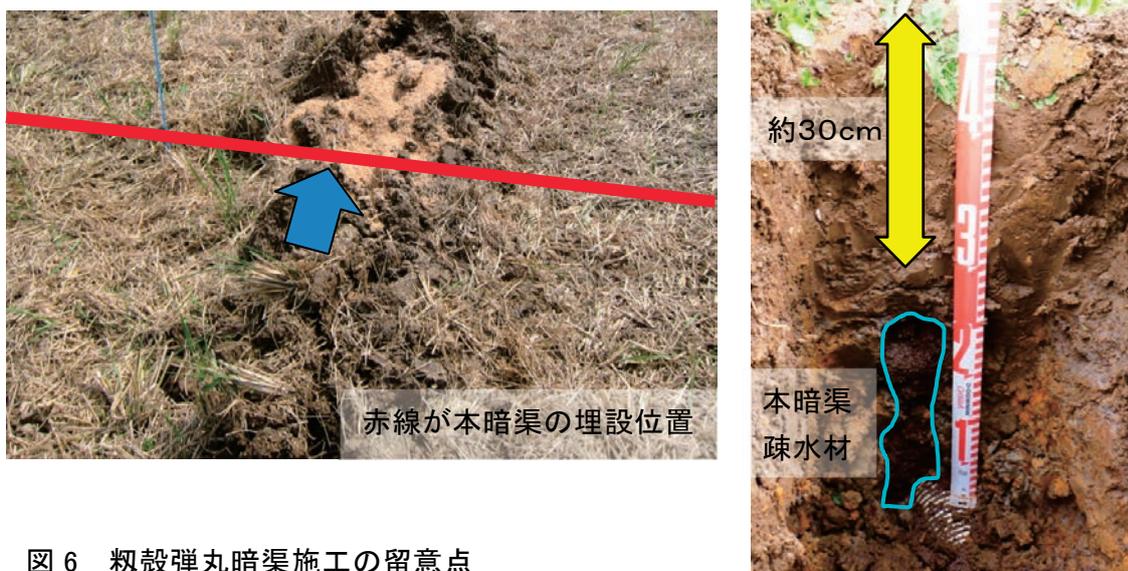


図6 籾殻弾丸暗渠施工の留意点

- 1) 弾丸暗渠は本暗渠の埋設位置を越えて本暗渠の疎水材と連結する。
- 2) 本暗渠と直交するように施工する。
- 3) 本暗渠の疎水材も劣化するので施工時には疎水材の深さも考慮する。右写真では30cm深で施工すると弾丸暗渠が本暗渠の疎水材と連結できない状態にあるため、深めにする。

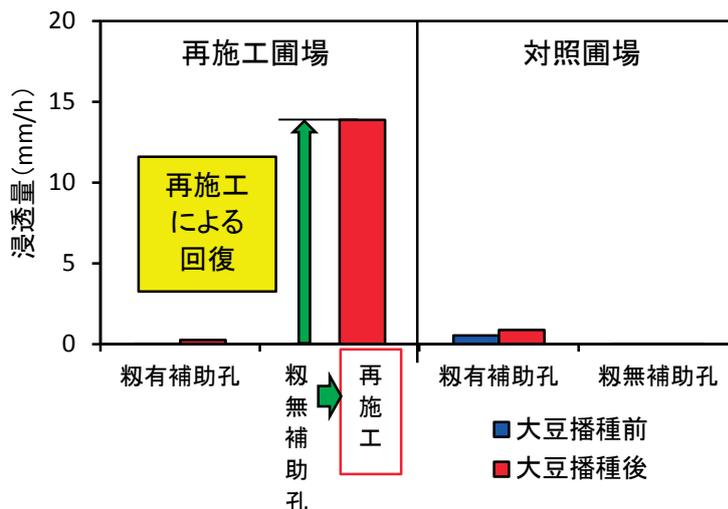


図7 籾殻弾丸暗渠の再施工による浸透量の増加

- 1) 図2の排水機能が低下した圃場において、再施工圃場(左)には、大豆播種前に当初の籾無補助孔部分に籾殻弾丸暗渠を再施工した。対照圃場(右)は当初に施工した籾有、籾無の補助孔のままの状態。
- 2) 浸透量は、再施工圃場で再施工の実施前後である大豆播種前と大豆播種後の結果を示した。

大豆栽培では籾殻弾丸暗渠を再施工することにより、梅雨明け頃の分枝節の発生を促して生育状況を改善し(表1)、最終的な収量も増加します(図8)。

表1 籾殻弾丸暗渠の再施工による大豆生育の改善効果

開花期	主茎長 (cm)	主茎節数 (節/本)	主茎節数 (節/m ²)	分枝節数 (節/m ²)	総節数 (節/m ²)
再施工区	44.08	12.78	153.3	148.0	306.7
対照区	39.86	11.72	140.7	76.0	223.3
分散分析	n.s.	n.s.	—	*	**

開花期(7/26)から4日後の生育状況。

分散分析結果は、*:5%水準、**:1%水準で有意。

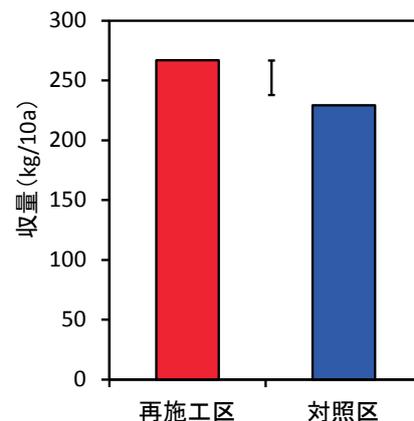


図8 籾殻弾丸暗渠の再施工による大豆収量の違い

- 1) 図中のバーはLSD 5%水準で有意であることを示す。

これらの様な方法で排水性に回復が認められない場合には、幹線・支線暗渠や水閘等の施設の不良・破損が考えられます。その場合は4-2~3を参照するか、担当の土地改良事務所や施工業者へお問い合わせ下さい。

参考資料

<参考資料>

- 1) 平成22年度新潟県農林水産業研究成果集「重粘土大区画ほ場における籾殻充填弾丸暗渠の大豆の湿害低減効果」

(<http://www.ari.pref.niigata.jp/nourinsui/seika10/index.html>)

(農研機構 中央農業総合研究センター 北陸研究センター
大野智史、谷本岳、鈴木克拓、関正裕)

1-5 FOEASにおける機能低下などの事例

1 補遺の趣旨

一般に、水田転換畑の地下排水促進のためには、事業で導入される暗渠管に補助暗渠（弾丸暗渠など）を組み合わせる“組み合わせ暗渠”が重要です。FOEASも組み合わせ暗渠と同じ構造を有し、地下排水の経路は「作土（浸透）→スキ床（横流れ）→弾丸暗渠（補助孔）→暗渠管」であり、地下かんがいも同じ経路で排水と逆方向「暗渠管→弾丸暗渠→スキ床（横流れ）→作土（上昇）」に水が流れます。この経路の中で、弾丸暗渠の耐久性が最も低く、容易に通路が閉塞してFOEASの給水・排水機能の低下に直結します。

この問題と対応方法は1-4で述べられていますが、営農現場で重要な問題であることから、事例を加えて1-4の内容を補足します。

2 FOEASの補助暗渠

FOEASの弾丸暗渠の間隔は1m、深さ（約10cm径の弾丸の底面）は40cmです。また、無材の弾丸暗渠とモミガラ入りの弾丸暗渠が交互に入っています。モミガラ入りの弾丸暗渠では給水・排水の通路にモミガラが充填されているため、無材の弾丸暗渠に比べて通路が閉塞しにくくなっています。

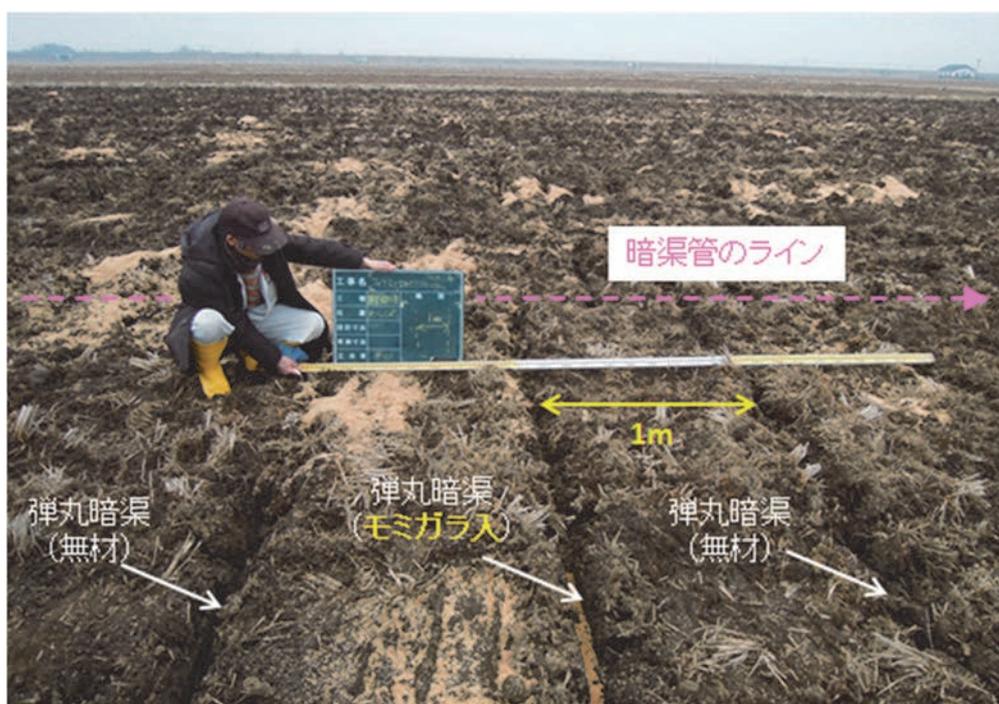


図1 FOEASの弾丸暗渠（施工直後）

3 代かき水稲栽培による弾丸暗渠への影響(事例)

水田輪作では、水稲と転作のローテーションが実施されます。水稲は代かき・移植により栽培されることが多く、1-4 に紹介されているように、水を入れて土を攪拌する代かき作業が、排水性や弾丸暗渠の通路へ与える影響が懸念されます。以下では、諸地区の事例を紹介します。

<A ほ場（西南地域：FOEAS 施工後に代かき水稲栽培、中干し省略）>

このほ場では、水稲栽培（青刈りして飼料用）の後、サツマイモの栽培を予定していましたが、水稲収穫時に排水が不良となりました。調査の結果、図2のように地表面付近に粘土の層が形成され、中干しを省略したため、この層が表面の水を遮断しておりました。この状況を回避する対策として、中干しを実施して粘土の層に亀裂（土のヒビ割れ）を形成する、浅めの代かきの実施する、などが考えられます。

さらに、このほ場の弾丸暗渠の保存状況を調査したところ、図3のように無材の弾丸暗渠は確認できませんでしたが、疎水材（ボラ：モミガラの代わり）を充填した弾丸暗渠は確認されました。無材の弾丸暗渠は、代かき作業時に土が流入するなどして閉塞したものと思われる。

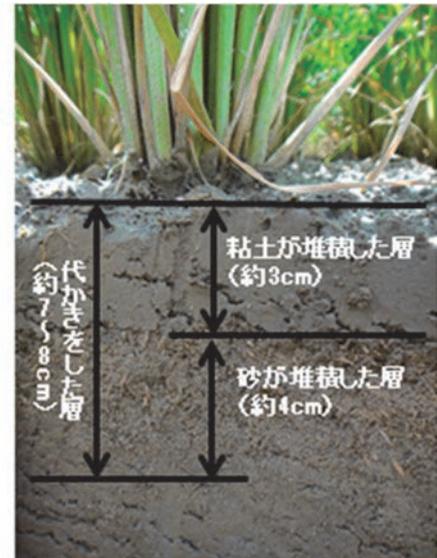


図2 代かき作業による粘土の集積層(A ほ場)

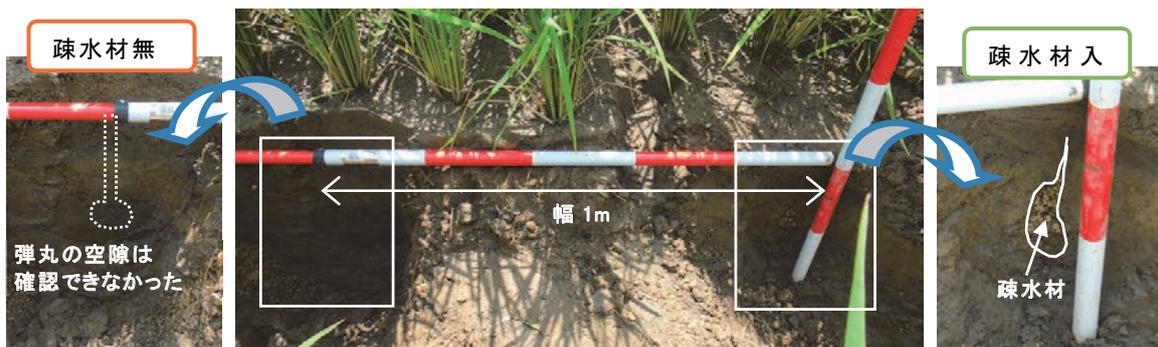


図3 FOEAS の弾丸暗渠の保存状況(A ほ場)

<B ほ場（西南地域：FOEAS 施工後5年（代かき水稲栽培3作+転作2作）>

FOEAS 施工後5年（代かき水稲栽培3作+転作2作）経過したほ場において、弾丸暗渠の保存状況と通水性を調査しました。次ページの図4のように、モミガラ入の弾丸暗渠は確認されましたが、無材の弾丸暗渠は確認できませんでした。また、モミガラ入および無材の弾丸暗渠の真上及び両者の中間において、1-2 に紹介した中空の金属円筒を使って通

水性を調べました。無材の弾丸暗渠の真上で通水性は 17mm/日であり、両者の中間（12mm/日）とほぼ同等でした。一方、モミガラ入の弾丸暗渠の真上で通水性は 250mm/日であり、上記の 10 倍以上でした。通常、水稻栽培時の減水深は 10mm/日程度ですので、無材の弾丸暗渠の通水機能はほとんど消滅しており、モミガラ入の弾丸暗渠の通水機能はある程度維持されていたと思われます。

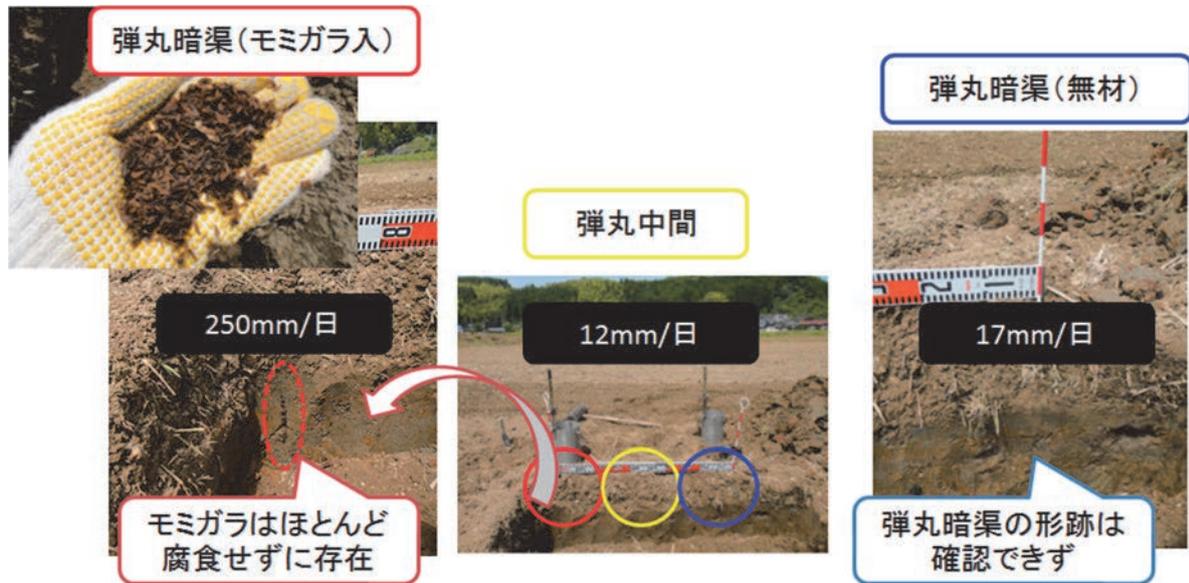


図 4 FOEAS の弾丸暗渠の保存状況と通水性 (B ほ場)

<C ほ場（北日本太平洋側：FOEAS 施工後に代かき水稻栽培）>

このほ場では、3 月中旬に FOEAS が施工され、5 月上旬に代かきして中旬に水稻の移植が行われました。施工直後にもかかわらず、水稻栽培時の減水深は約 5mm/日で、過剰な浸透はありませんでした。このほ場では、地表面から 40cm 程度まで粘土質であり、代かきによって十分に浸透が抑制されたと思われます。

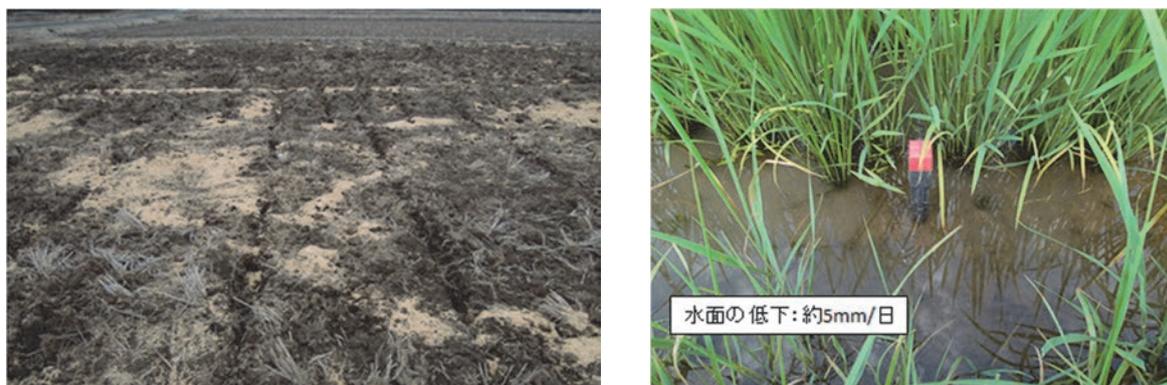


図 5 FOEAS の施工直後(左:3 月)と水稻栽培時(右:7 月)の状況 (C ほ場)

水稻収穫・耕耘後の 12 月に、弾丸暗渠の保存状況を調査しました。モミガラ入の弾丸

暗渠は確認されましたが、無材の弾丸暗渠は確認できませんでした。そこで、モミガラ入の弾丸暗渠の真上と弾丸の中間において、1-2 に紹介した中空の金属円筒を使って通水性を調べ、水稻栽培前の測定値と比較しました。下表のとおり、モミガラ入の弾丸暗渠の真上の通水性は、FOEAS 施工直後と概ね同等であり、通水機能は維持されておりました。なお、このほ場では翌年大豆が栽培されておりますが、排水の問題は生じていません。



図 6 FOEAS の弾丸暗渠の保存状況 (C ほ場)

表 1 水稻栽培前後の弾丸暗渠の通水性 (C ほ場)

2014.4.24	
測定場所	(mm/日)
弾丸直上	31161
弾丸中間	90
2014.12.16	
測定場所	(mm/日)
弾丸(モミ入)直上	23932
弾丸中間	151

4 転作の継続による弾丸暗渠の通水性への影響(事例)

<D ほ場 (東日本太平洋側 : FOEAS 施工後、畑作 (麦・大豆) を継続 >

このほ場では、FOEAS 施工後は畑作物 (麦・大豆) が栽培される体系です。畑作期間中の無材の弾丸暗渠直上の通水性を継続調査したところ、右表のように通水性は概ね維持されておりました。

表 2 畑作継続時の無材弾丸暗渠の通水性 (D ほ場)

※単位はmm/日		
2013年	2014年	
麦播種前	麦収穫後	大豆収穫後
弾丸暗渠直上	弾丸暗渠直上	弾丸暗渠直上
14714	9369	8063

5 事例から得られた傾向

これらの事例から、以下の傾向がうかがえます。

- ・代かき水稻栽培により、無材の弾丸暗渠は閉塞して、通水性の低下が懸念される。一方、モミガラ入の弾丸暗渠は概ね保存され、通水機能はある程度残る。
- ・畑作の継続期間内では、弾丸暗渠と通水性は一定程度維持されると思われる。

ここで記した事例は、B ほ場以外は FOEAS 施工後 2 ないし 3 年以内の調査に依っており、時間の経過に伴ってモミガラ入の弾丸暗渠の機能も低下することが想定されます。代かき水稻栽培後は要注意ですが、それ以外のタイミングでも排水が悪くなったと感じられたら、1-4 に紹介した方法などで弾丸暗渠の再施工をお勧めします。

(農研機構 農村工学研究所 若杉晃介、瑞慶村知佳、原口暢朗)

1-6 大規模営農における水田復元初年目の処理方法

1 水田復元初年目の水稲乾田直播の強鎮圧による漏水抑制効果

乾田直播は代かきを行わないことから土壌の碎土性が良く田畑輪換に適する一方で、代かきを行なう移植栽培や湛水直播に比べると漏水が多いため、基肥の損失や用水量が増大する課題があります。

畑作物栽培から水稲作に復田するときには圃場の高低差が大きいため、荒耕し後に圃場を均平化します。また、畑作時には畦畔が乾燥して亀裂が入り、漏水しやすくなっています。ある程度土壌水分が高い条件で、畦塗り機を用いて畦畔を成形し、畦塗りによって畦畔からの漏水を抑制します（図1）。

大型の鎮圧ローラ（質量2トン、作業幅約5mの機種）を用いて乾田直播の播種後に強鎮圧を行った圃場では、従来の弱鎮圧の圃場に比べて日給水量が大幅に減少して、代かきした湛水直播圃場をわずかに上回る程度の日給水量まで漏水を抑制できました（図2、表1）。

なお、乾燥した土壌では強鎮圧しても土壌が十分に締まらず、漏水を抑制できません。土壌がある程度湿った条件（ローラには土が付着しない程度）において鎮圧作業を行えば、土壌が圧密されて、効果的に漏水を抑えることができます。



図1 水田復元初年目の乾田直播圃場の作業工程例



図2 鎮圧作業の改善方法(千葉県横芝光町現地圃場、灰色低地土)

表1 水稻乾田直播圃場の給水量(千葉県横芝光町現地圃場、灰色低地土)

調査年	圃場条件	栽培方法	漏水防止方法	湛水開始～中干し				中干し～成熟			
				期間	降水量 mm	給水量 mm	日給水量 mm/日	期間	降水量 mm	給水量 mm	日給水量 mm/日
2013	乾直 2年目	乾田 直播	弱鎮圧	5/6～ 6/17	132	800	17.2	7/8～ 8/16	21	957	23.9
2014	復田 初年目	乾田 直播	強鎮圧	5/2～ 6/2	109	309	10.3	7/2～ 8/10	40	430	11.0
2015	復田 初年目	乾田 直播	強鎮圧	4/27 ～ 6/1	66	349	9.7	7/13～ 8/11	11	459	15.3
2013	前作 移植	湛水 直播	代かき	4/15 ～ 6/8	116	423	7.6	7/10～ 8/17	21	391	10.0
2014	湛直 2年目	湛水 直播	代かき	4/7～ 6/4	139	453	7.7	7/2～ 8/8	40	291	7.9

(農研機構 中央農業総合研究センター 大下泰生、小島誠
農村工学研究所 原口暢朗、吉村亜希子)

1-7 大規模営農における畑転換初年目の処理方法

1 畑転換初年目の排水促進技術

水稲作から小麦や大豆などの畑作物に転換する時は、弾丸暗渠を施工して圃場の排水を促進する必要があります。特に移植水稲後は代かきによって地表面から土中の暗渠管に水みちがつながっていないことが多く、降雨後に圃場表面に滞水しやすい条件にあります（図1）。

そこで、暗渠管と直角方向に弾丸暗渠を施工します（図2、施工深さは20～30 cm）。施工間隔を1～5 mの範囲で比較した結果、施工間隔の広い5 mでは圃場表面水の排水が遅く、多湿で畑作物の収量が低下しやすいことから、1 m程度の間隔で密に施工することが望ましいです（表1）。



図1 水稲作後の小麦作において表面水が排水されず湿害を生じた例
(千葉県横芝光町現地圃場、灰色低地土)



図2 弾丸暗渠の施工作業

表1 弾丸暗渠施工後の作物の全刈り収量
(kg/10a、千葉県横芝光町現地圃場)

弾丸暗渠の施工方法		弾丸暗渠施工方法	2014年 収穫 小麦	2014年 収穫 大豆	2015年 収穫 小麦
水稲	→ 畑作物	 5m間隔で施工	404	226	412
		 2.5m間隔で施工	420	232	429
		 1m間隔で施工	425	234	452

(農研機構 中央農業総合研究センター 大下泰生)

1-8 FOEAS 導入による碎土率の向上と耕耘作業時の所要動力の低減

1 排水性向上により、降雨後、より速やかに高い碎土率を得られる。

土壌は、水分量が多すぎると耕耘作業が困難になるとともに、碎土率が低下して播種後の出芽率低下を招きます。FOEAS では排水機能が向上することで、降雨後の土壌水分状態を適正化しやすくなり、耕耘作業に適する期間を拡大できます。

供試圃場（細粒質の褐色低地土）では、土壌含水比が 30%以上になると、碎土率が急激に低下して耕耘作業が困難な状態になりました。麦播種期で、2 日前に約 50mm の降雨があった場合（2009 年 11 月 16 日）、碎土率は、FOEAS 圃場（N2、N3、N4）で 70%程度、通常の本・弾丸暗渠施工圃場（S3）で 30%程度、暗渠無施工圃場（S4）で 5%程度となり、FOEAS の排水機能が降雨後の碎土率低下を低減できることを確認しました（図 1）。

このように、FOEAS の導入は、降雨後すみやかに土壌水分を低下させ、耕耘時の碎土率を高めうるので、梅雨などの降雨にしばしば見舞われる期間においても、耕耘作業可能日数を増大させることが可能となります。

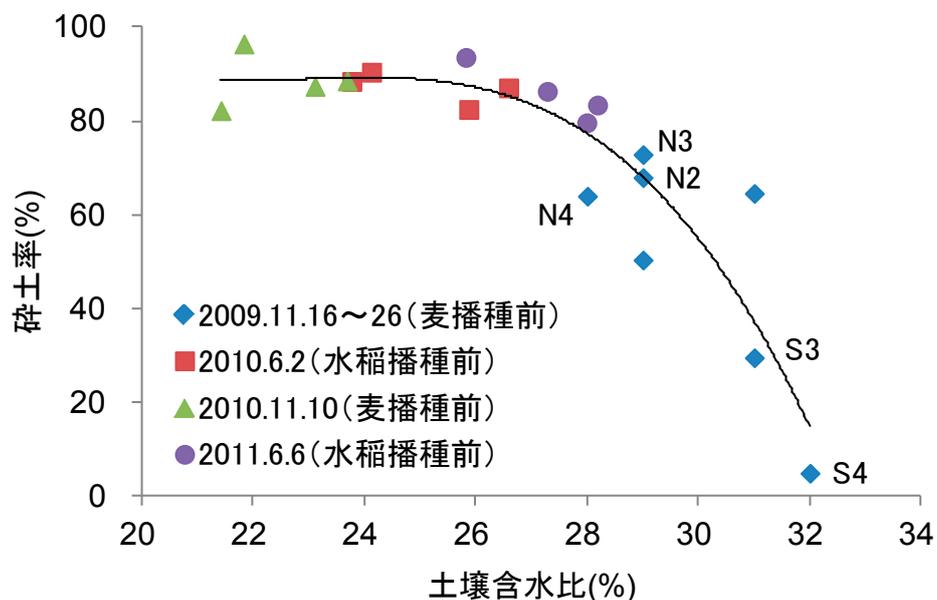


図 1 土壌含水比と碎土率の関係

N2、N3、N4: FOEAS 圃場、S3: 本・弾丸暗渠施工圃場（本暗渠と 5m 間隔の弾丸暗渠）、S4: 暗渠無施工圃場

2 地下水位を適度に上げて、耕耘に必要な動力を低下させる。

一方、乾燥しすぎると土壌が硬くなって耕耘作業時のトラクター動力の増大につながります。FOEAS では、地下からの給水機能を働かせることで、土壌水分状態が適正化しやすくなり、耕耘作業時の動力を低減することができます。

乾燥気象条件にある場合（2010年6月2日）、2011年の6月6日に比較して土壌の含水比が低下して貫入抵抗が高まり、耕耘作業に要する動力も高まりました。その際、地下水位を制御して高めると（N3）、常時排水区（N4）に比べて、所要動力が低くなることが確認されました。

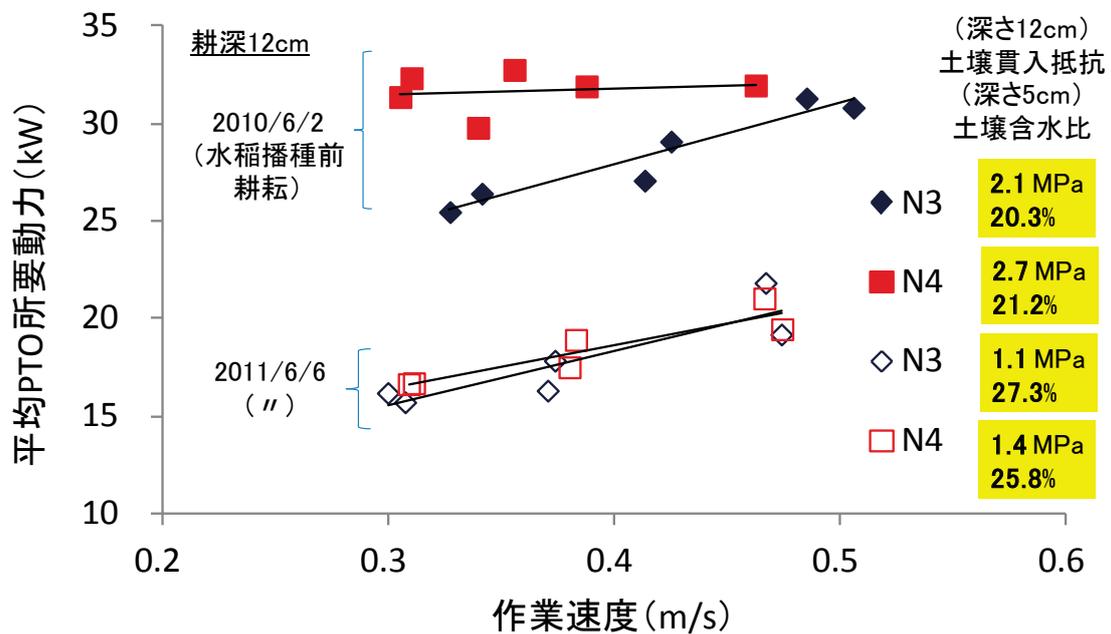


図2 耕耘所要動力に及ぼす地下水位制御の影響

N3: 地下水位制御区 (小麦播種期から出穂期まで常時排水、出穂期から収穫期まで地下水位を-30cm に設定)、N4: 常時排水区 (小麦播種期から収穫期まで常時排水)

(農研機構 九州沖縄農業研究センター 深見公一郎)

1-9 畑作物栽培時の安価で簡易な地下水位観測法

1 地下水位観測の目的

水田転換作物の安定生産のためには、地下水位制御の実態を、生産者自身が地上から確認できることが重要です。ここでは、生産者が取り組める、安価で簡易な地下水位観測方法を紹介します。

2 掘削器具の準備と観測孔の掘削

深さ 1m 程度の観測孔を掘るため、ホームセンターなどで市販されているラセン式の穴掘り機（直径約 7.5cm の穴掘り用）にガス管をつなぎ、延長します。

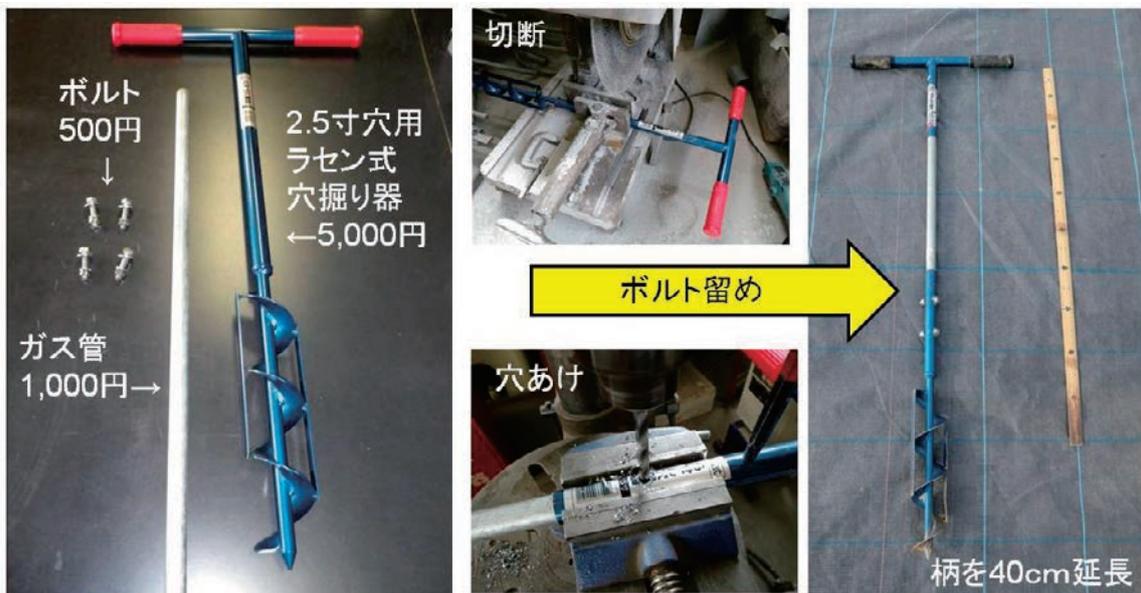


図1 掘削器具の作製

この器具を用いて、約 1m 程度の観測孔を掘削します。10cm 程度ずつ掘削しては、穴掘り機に詰まった土を取り除きます。掘削した穴は崩れやすいので、側面に多数の穴を開けた直径 6cm の塩ビ管を挿入して保護し、キャップをしておきます。

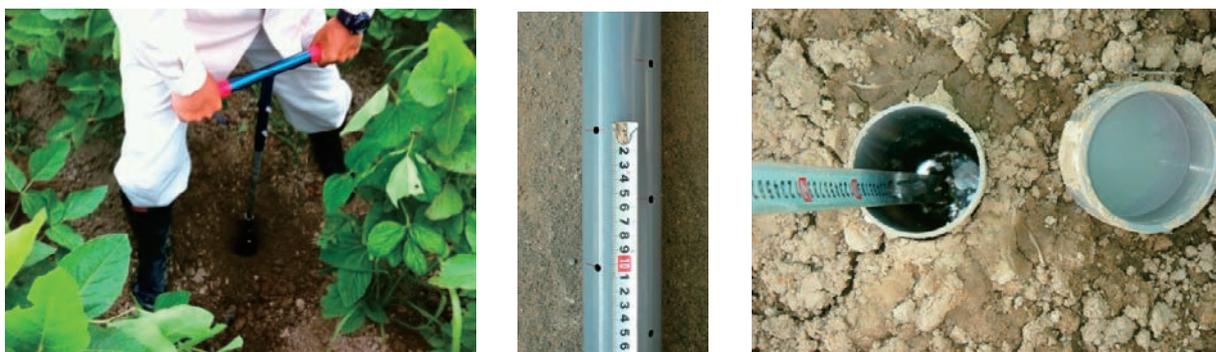


図2 観測孔の掘削と塩ビ管挿入の状況

3 地上から判断できる地下水位の観測法

地下水位は観測孔に物差しを挿入して調べることもできますが、目盛を記した発泡スチロールを挿入しておくことで、一目で地下水位を確認することができます。



図3 発泡スチロールを用いた地下水位観測の様子

この方法によって、降雨やかんがいによる地下水位の上昇や暗渠管のすぐ上とやや離れたところの地下水位の違いなどを容易に見ることができます。

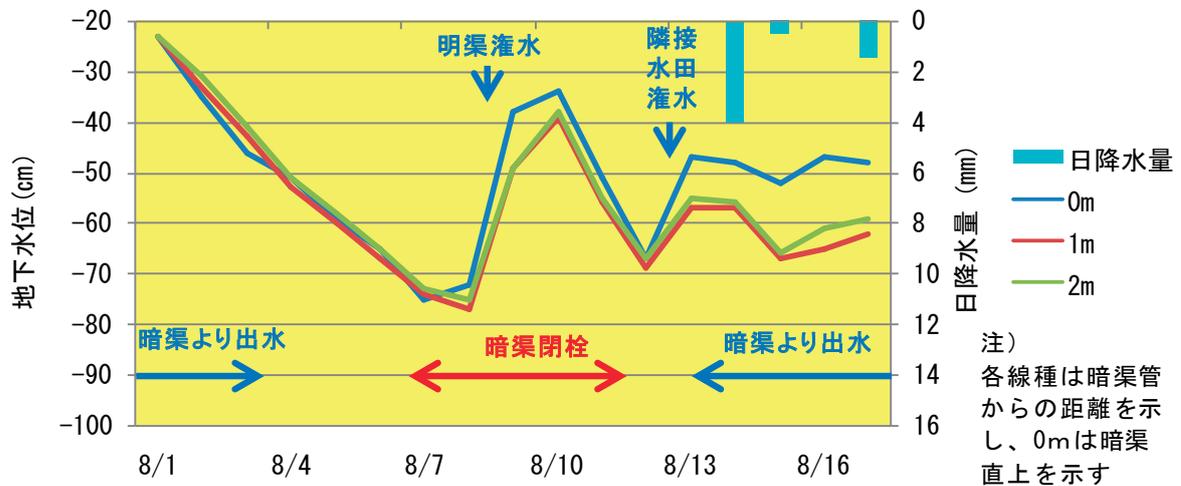


図4 地下水位観測の例

<関連資料> 服部誠、藤田与一、樋口泰浩、南雲芳文、高橋能彦 ダイズ圃場における地下水位の簡易測定法. 北陸作物学会報, 第47号 (2012).
(新潟県農業総合研究所 藤田与一、服部誠、樋口泰浩、川上修、南雲芳文)

2-1-1 北海道地域の水稲乾田直播における地下灌漑による苗立ち向上技術

1 地下灌漑による苗立ち安定化

播種後、日平均気温が 12℃以上になったら、地下灌漑を使って、地下水位を地表面が湿る程度まで上昇させることにより、苗立ちを安定化させることができます。集中管理孔では、徐々に地下水位が下がってくるため、地表面が乾燥してきたら再度地表面が湿る程度まで入水を行います。地下灌漑を行うのは出芽始期までで、出芽が始まったら湛水状態とします。

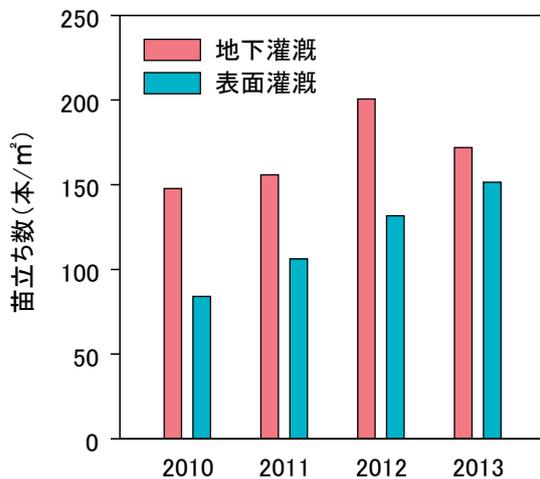


図1 地下灌漑圃場と表面灌漑圃場における苗立ち数。試験場所：北海道農業研究センター（札幌市）播種機：浅耕ロータリシーダ（播種量設定 400 粒/m²）品種：「ほしまる」



図2 地下灌漑圃場の水管理の様子。目標土壌水分は地表面付近で pF2.5 以下（飽水状態にならないよう注意）



図3 地下灌漑圃場（左）と表面灌漑圃場（右）の苗立ちの様子（2011年6月15日撮影）

2 乾籾播種の可能性

「ほしまる」を乾籾播種した場合、播種から出穂までに必要な簡易有効積算気温は約1100℃です。出穂後40日間の積算気温が750℃以上確保される最も遅い日を出穂晩限とし、北海道農業研究センター(札幌市、出穂晩限8月13日)の過去20年(1994~2013)の気象データと照らし合わせると、播種から出穂晩限までに簡易有効積算気温1100℃を確保できる確率は、5月14日までに播種をした場合は80%以上です。また、空知地方の4地点において、冷害年5か年において出穂晩限までに簡易有効積算気温1100℃を確保できる播種日を求めたところ、深川では、5月初めに播種できた場合、5か年のうち3か年で1100℃が得られました。美唄、岩見沢では、それぞれ5月前半、5月上旬までに播種すれば、1993年以外の年には1100℃が得られました。長沼では、5月前半までに播種をすれば5か年中2か年で1100℃が得られましたが、3か年では1100℃に至らず、美唄や岩見沢より乾籾播種の危険性は高いと考えられます。

表1. 北海道農業研究センター(札幌市)内試験における播種日、出穂日と播種から出穂までの簡易有効積算気温

	播種日	出穂日	簡易有効積算気温(℃)
2010	4月27日	8月2日 ~ 8月4日	1142 ~ 1182
2011	5月12日	8月3日 ~ 8月5日	1038 ~ 1082
2012	5月1日	8月3日 ~ 8月4日	1043 ~ 1060
2013	4月30日	8月3日 ~ 8月6日	1089 ~ 1153

簡易有効積算気温は、下式による簡易有効気温の積算値。

簡易有効気温 = $(55.89942 - (-4.165141)) / (1 + \text{最高最低平均気温} / 21.84576) ^{-(-4.165141) + 0.9107297}$

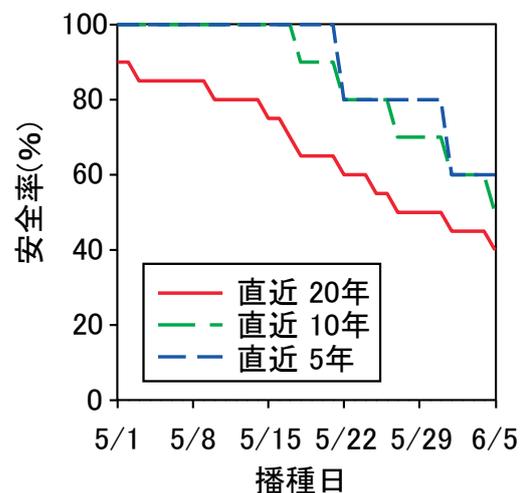


図4 播種日と安全率(出穂晩限までに簡易有効積算気温1100℃が得られる確率)。直近20年、10年、5年の値を示す。試験場所: 北海道農業研究センター(札幌市)

表2 アメダス値を元に、冷害年5年において出穂晩限までに簡易有効積算気温1100℃が得られる最も遅い播種日

アメダス地点	出穂晩限	1992	1993	2002	2003	2009
深川	8月9日	—	—	5月16日	5月2日	5月16日
美唄	8月14日	5月28日	—	6月1日	5月17日	6月8日
岩見沢	8月15日	5月25日	—	5月28日	5月10日	6月5日
長沼	8月14日	—	—	5月15日	—	5月20日

出穂晩限は、1981年から2010年までの30年間の平均値(平年値)による。

—は簡易有効積算気温が1100℃を越える播種日がないことを示す。

<関連資料> 北海道指導参考事項 (平成25年度)

(農研機構 北海道農業研究センター 林 怜史、君和田健二、澁谷幸憲、牛木 純、村上則幸)

2-1-2 東北地域の水稲乾田直播栽培における地下灌漑による苗立ち促進効果

1 播種後の地下灌漑による苗立ち促進

水稲乾田直播では、播種後の鎮圧が出芽・苗立ちの安定化に効果があります。東北農業研究センターで開発されたプラウ耕鎮圧体系の乾田直播では、硬い播種床に麦用のグレーンドリルで播種し、播種後にケンブリッジローラやカルチパッカによるなどで鎮圧します。鎮圧は、播種深さを浅く安定化させるとともに、種子と土壌を密着させ苗立ち向上効果があります。播種後に降雨が少ない条件で、圃場にキレツが入るくらい過乾燥になるような場合には、フラッシング（走り水）をします。FOEAS 圃場の場合には、降雨が少ない条件でも地下水位を上げることで過乾燥が防げます。

1) 地下水位制御による乾田直播の出芽促進効果は、出芽時期に降雨がある年には効果はありませんが、降雨の比較的少ない年次では効果が認められます。プラウ耕鎮圧体系のような高鎮圧では、地下水位を上げる効果は少ないですが、鎮圧程度が低い場合に苗立ち向上効果があります（図1）。

2) 地下水位制御時期に降雨の少なかった2012年の初期生育は、高水位条件が低水位条件より生育が良く、高水位・プラウ耕鎮圧条件が最も生育が進んでいます（表1）。

（農研機構 東北農業研究センター 大谷隆二、関矢博幸、冠秀昭、齋藤秀文、片山勝之）

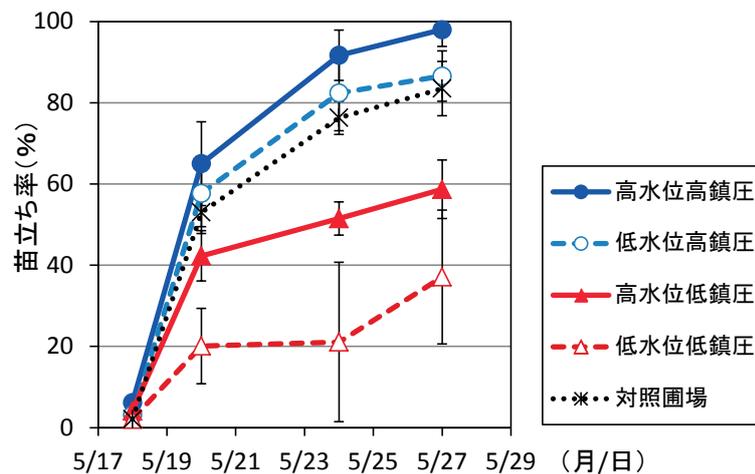


図1 乾田直播水稲の苗立ち率の推移(2010年)

エラーバーは標準偏差

表1 地下水位制御乾田直播圃場の苗生育
(2012年, 播種後50~51日目)

試験区	苗長 (cm)	葉齢	分けつ (本/株)	乾物重 (mg/株)
高水位・プラウ耕鎮圧	30.1	7.7	1.9	262
高水位・アップカットロータリ	22.4	7.5	1.7	148
低水位・プラウ耕鎮圧	29.3	7.2	0.6	147
低水位・アップカットロータリ	17.5	5.7	0.2	41
	27.4	6.9	0.6	136

2-1-3 関東地域の水稲乾田直播栽培における苗立ち促進と登熟促進の効果

1 播種後の地下灌漑による苗立ち促進

播種期を広く設定できる乾田直播では、移植栽培の作業繁忙期を避けて播種作業を行うことにより作業競合を回避できる利点があり、関東地域では3月下旬から4月中旬に播種できます。種子の発芽・生育に有効な温度の得られる4月下旬頃からFOEASを用いて地表面下10cm程度に地下水位を設定し、地下灌漑を行います。地下水位が高いと表層が灌漑水で飽和して湿害を生じやすいことから、適正な水位設定で毛管水により種子への水分供給を行い、好氣的条件の確保との両立を図ります(図1)。早期の地下灌漑により、従来の出芽・苗立ち後に入水する従来の水管理法に比べて、苗立ちが早く推移し、苗立ち率も高くなりました(図2)。



図1 地下灌漑中のFOEAS圃場と土中で出芽した水稲種子(2012年、中央農研・谷和原圃場)

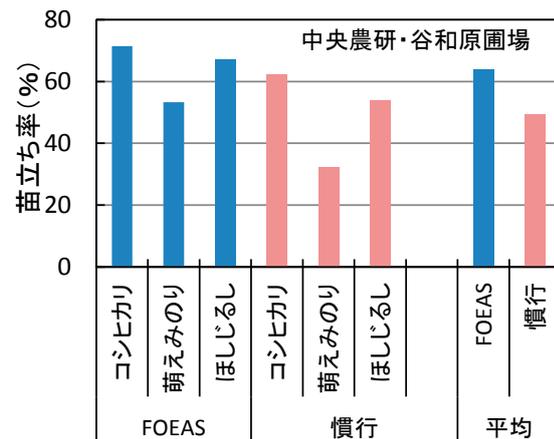


図2 乾田直播水稲の苗立ち率の比較(2012年、中央農研・谷和原圃場)

2 登熟期間の地下灌漑による登熟促進

FOEASによる播種後の早期給水により苗立ち数が増える効果が得られますが、収量が必ず向上するという効果は限定的で、偏穂重形の水稲(コシヒカリ、ほしじるし等)では苗立ち数が少なくても穂重で補うことにより、収量を高める効果は小さくなります。FOEASを用いた播種後の地下灌漑は、苗立ちを安定させて極端な苗立ち不足を回避するのが主な効果です。また、登熟後期には、地耐力の確保と水分供給による根の活力維持を両立できるよう、地下水位を-10cm程度に維持して、収量と登熟歩合の向上に努めます(図3)。

3 乾田直播のまとめ

乾田直播における FOEAS の効果をまとめると以下のようになります。

- 1) 苗立ちの向上が期待できます。
- 2) 収量向上の効果は限定的です。
- 3) 播種期から苗立ち揃いまでの期間の地下水位は-10 cm程度が適します。-3~5 cm の設定は、降雨頻度が高く降水量の多い場合に対して過湿による苗立ち低下のリスクがあるので注意します。
- 4) 晩播・晩植、成熟期の遅い晩生品種では登熟促進のため給水期間の拡大が必要です。
- 5) FOEAS 圃場の乾田直播は落水後の圃場乾燥が早く、地耐力があることから、作業機の走行性が向上することが期待できます。

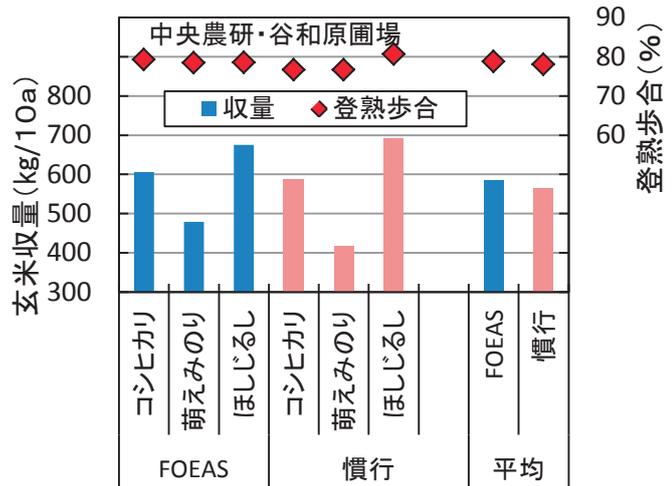


図3 乾田直播水稻の収量と登熟歩合 (2012年、中央農研・谷和原圃場)

関東で標準的な栽培管理と水管理を図4に示します。

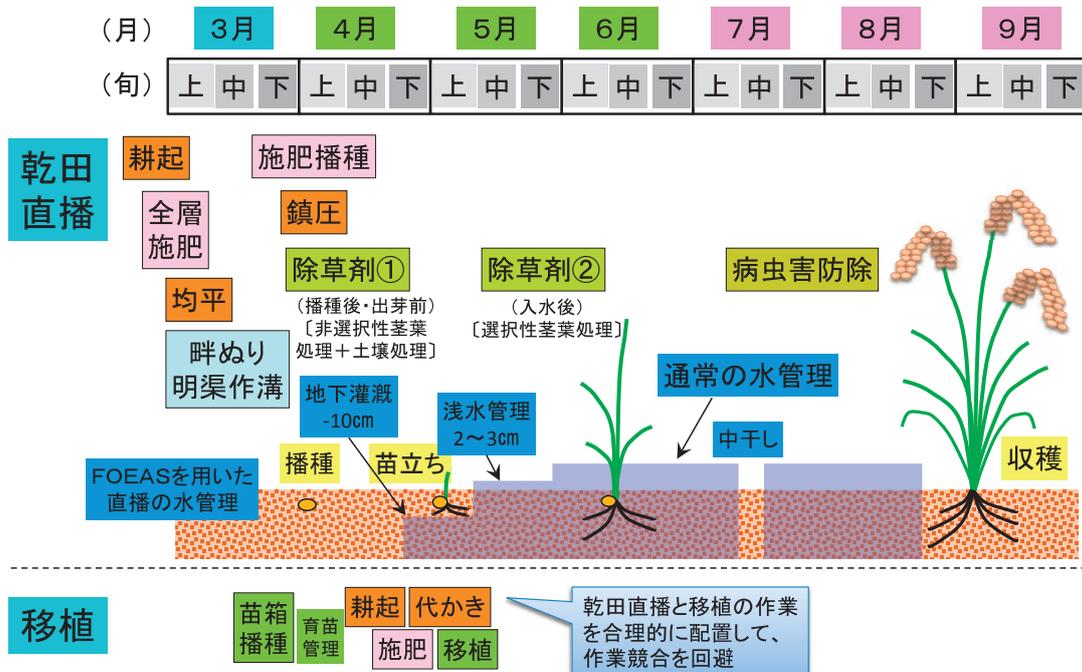


図4 関東における水稻乾田直播の標準的な栽培管理と水管理体

(農研機構 中央農業総合研究センター 大下泰生、小島誠)

2-1-4 瀬戸内沿岸地域の水稲乾田直播栽培におけるFOEASを利用した節水管理

水田輪作体系では、水稲以外の作物は畑状態での作付けとなるため、湿害の回避が重要です。FOEASは、暗渠管と直交方向に弾丸暗渠とスリットを細かく施工してあるので透排水性に優れます。しかし、水稲を移植で栽培する場合、代かきによって補助孔とスリットが目詰まりし、透排水性が大幅に低下することがあります。乾田直播では代かきを行わないので透排水性の悪化を緩和できます。さらに一歩進めて、湛水せず、イネに乾燥ストレスを与えない程度の地下水位に維持する節水管理を行えば、作土層、特に表層は畑作時に近い状態を保つことができると考えられます。一般圃場で地下水位を一定に保つことは困難ですが、FOEASでは可能です。そこで、瀬戸内沿岸地域の2年4作水田輪作体系において、裸麦後の水稲乾田直播節水管理栽培に取り組みました。一般に、麦後の水稲作では作期的に遅く、また梅雨時期にさしかかるため、乾田直播栽培は困難です。しかし、部分耕播種機を用いて、裸麦収穫直後に不耕起状態の圃場に乾田直播することにより、問題なく輪作体系に組み込むことができました。



図1 裸麦収穫後、不耕起圃場における乾田直播の様子。近中四農研試験圃場、2015年5月28日播種

1 水稲乾田直播節水管理栽培の方法

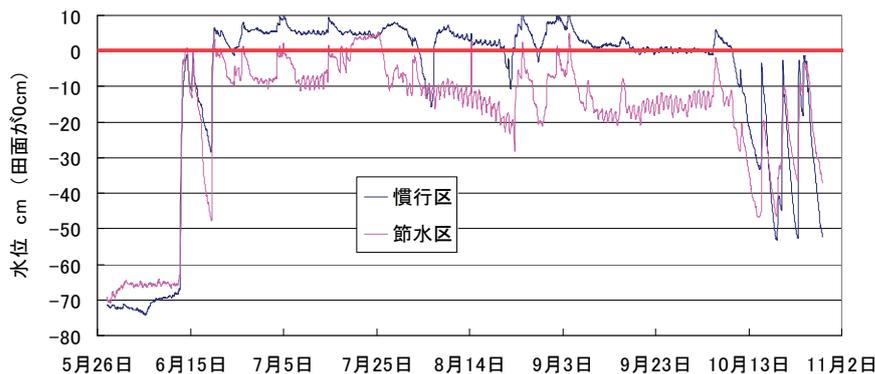


図2 FOEAS 圃場における-10cm に地下水位を設定した節水区と湛水管理とした慣行区の水稲作付け期間における水位変化 (2013年)

1) 播種前後の作業

瀬戸内沿岸地域での裸麦収穫は5月下旬頃です。麦収穫直後から不耕起播種または部分耕播種による乾田直播が実施できます。田面の麦稈が覆土の邪魔をすることがありますが、播種深をやや深くすることで対処できます。条間は不耕起状態なので、施肥は播種溝施肥

が適します。この場合、肥料ヤケを避けるため緩効性肥料を用います。

播種数日後から種籾を数粒程度掘り出して、発芽状況を観察してください。種籾が乾いている場合は、大豆の項(2-3-5)に記載の播種後の高水位処理を行ってください。種籾が吸水して膨張している、あるいは、発芽発根が始まっている場合は、その状態から出芽日を予測し、除草剤散布に備えましょう。

2) 節水管理における雑草防除

節水管理では湛水しないので入水後一発剤が使えません。そこで、乾田期間の茎葉処理剤散布を慣行よりも1回多くすることで対処します。これ以外は、基本的に慣行の乾田直播栽培と同じです。イネの出芽直前に非選択性除草剤(グリホサート)を散布し、その後は選択性除草剤(シハロホップブチル、シハロホップブチル・ベンタゾン、ビスピリバクナトリウム塩、ペノキススラム等)を雑草種類に応じて使い分け、適切なノズルを用いて適切な時期に均一に散布します。

3) 節水管理における地下水位設定

2011年度は-15cmに設定し、水ストレスが若干かかっていました。2012年度以降は、-10cmの設定で試験したところ、収量的に湛水区に劣らないため適切と考えています。

表1. 収量および収量構成要素

年次	処理	苗立数	草丈	稈長	穂数	籾数	籾数	精玄米千粒重	登熟歩合	精玄米収量	粗玄米収量
品種		本/m ²	cm	cm	本/m ²	千粒/m ²	粒/穂	g	%	g/m ²	g/m ²
2015年	節水区	63.5	120	86	406	37.2	93	24.5	84.5	769	788
	慣行区	56.7	126	90	391	43.9	112	24.1	82.2	867	897
		ns	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns
2014年	節水区	57.4	126	92	363	37.7	104	24.4	84.7	779	814
	慣行区	65.6	124	85	326	34.2	105	23.8	73.8	601	651
		ns	ns	*	ns	ns	ns	**	*	**	*
2013年	節水区	49.4	123	88	431	43.4	101	23.4	61.9	627	671
	慣行区	35.9	121	80	444	42.0	95	22.4	36.2	339	426
2012年	節水区	60.4	120	84	331	46.8	142	21.8	68.7	701	842
	慣行区	40.7	127	88	261	51.2	196	22.3	73.1	834	945
2011年	北陸193号 慣行区	40.3	127	83	253	44.0	175	22.7	71.0	710	801

1) 収量および収量構成要素は坪刈り調査(各区1.2m²×3地点)による。

2) 千粒重、収量は水分15%換算値。登熟歩合は粒厚選(1.8mm)による。

3) ns、*、**は各々節水区と慣行区(n=3)の平均値に有意差なし、5%水準、1%水準で有意差有りを示す(t検定)。

4) 2014年慣行区は倒伏により減収。2013年慣行区はウンカ被害により減収。2011年は慣行区のみ。

5) 節水区の設定水位は2015、2014、2013年-10cm、2012年-15cm。

2 節水管理の効果

湛水管理にはない節水管理の効果をもとめると、①湛水しないことにより作土表層の透水性を維持できる、②水位が低いことから水圧が低く、縦浸透および畦畔漏水が少ない。このため、隣接圃場で大豆等畑作物を作付けている場合でも影響が小さい、③地耐力があり、水稻収穫時の踏み荒らしを軽減できる、④乾田直播栽培では入水時期に十分な水量が確保できず、入水後一発剤の効果期待できない条件下にも対処できる、等です。

(農研機構 近畿中国四国農業研究センター 藤本寛)

2-2-1 関東地域におけるFOEASの排水機能を活用した小麦栽培技術と地下水位制御効果が発現する条件

1 麦作におけるFOEAS適用の効果

多湿になりやすい水田作における小麦栽培では、まとまった降雨の後、圃場がしばらくの期間滞水したり作土層が高水分状態で継続すると、発芽不良や生育の抑制を受け、個体数の不足や分けつの抑制による穂数の減少で収量が低下します。一方、気温が上昇する登熟期間に降雨が少なく、土壌が過度に乾燥すると、成熟期が極端に早まり、子実の充実不足による収量の低下を生じます。関東においては、小麦の播種期である11月は低温で土壌が乾きにくく、収穫期の6月中旬からは梅雨期と重なることから、土壌が多湿になりやすい条件にあります。また、登熟期間の5月中旬から6月上旬は高温・少雨で過乾燥になることがあります。良好な小麦の生育を確保するために、過湿や過乾燥にならないよう、適度な土壌水分状態にすることが必要です。

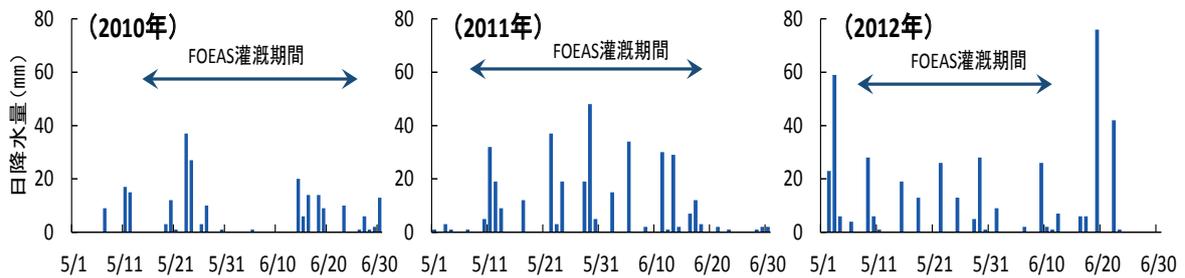


図1 登熟期間の降水量(矢印は地下水位制御期間を示す)

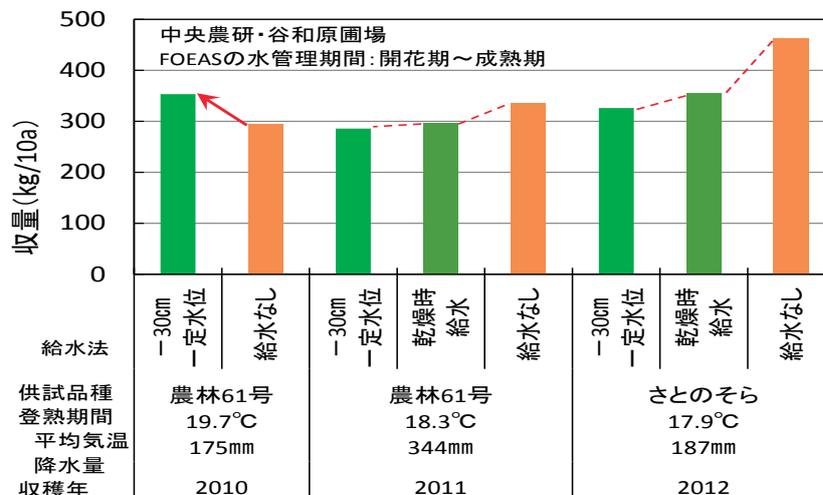


図2 小麦の登熟期間の水管理方法と収量
(中央農研・谷和原圃場)

関東において、開花期の5月10日頃から成熟期の6月10日頃まで地下水位を-30 cmに制御した FOEAS 区と、暗渠排水のある対照区で収量を比較しました。開花期から成熟期にかけて高温で降水量が少なかった2010年は、給水なしの対照区に比べて、FOEAS 区で収量が高くなりました。収量の増加には、主に穂数および1穂粒数の増加が寄与しました。2011・2012年は開花期以降定期的に降水があったため、対照区でも乾燥ストレスはほとんどなく、水位を-30 cmに制御した FOEAS 区では常に湿潤状態になり、表層が乾燥した時のみ一時的に給水する FOEAS-C 区でも対照区より生育が劣り、収量も少なくなりました(図1・2)。関東地域において FOEAS を用いた小麦栽培では、地下水位制御は小麦の登熟期間に無降水日が続くような高温で乾燥した条件で収量を高める効果が得られますが、通常年では-30 cmの水位一定制御は土壌が過湿となり、登熟期間の生育を抑制して収量が低下すると考えられます。したがって、麦類の栽培においては、FOEAS の排水機能を中心に活用して、強い乾燥がない限り、通常年では地下灌漑は行わなくて良いといえます(図1)。

2 水稲作後の麦作では補助暗渠の再施工で FOEAS の機能回復

水田輪作体系では水稲作後は圃場の排水性が低下して、次作の麦作は湿害を受けやすくなります。とりわけ代かきを行う移植栽培や湛水直播後では透水性が顕著に低下しやすいので対策が必要です。水稲作後に籾殻暗渠や弾丸暗渠を再施工することにより、FOEAS 圃場の排水機能を回復させることができます。補助暗渠を再施工した圃場は、未施工圃場に比べて土壌含水率が低く維持され、降雨があってもすぐに地下水位が低下し、籾殻暗渠の方が高い排水効果が得られました(図3)。籾殻暗渠や弾丸暗渠の再施工により排水機能が回復し、湿害を受けにくいことから、小麦の収量は向上し、特に排水性の高い籾殻補助暗渠で高い効果が得られます。さらには次作の大豆においても収量の改善効果がみられます(図4)。

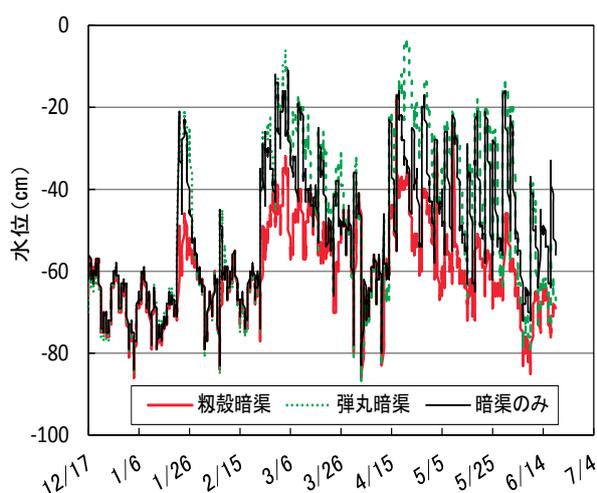


図3 圃場排水対策の異なる小麦栽培圃場の地下水位の推移(つくば市古来現地圃場)

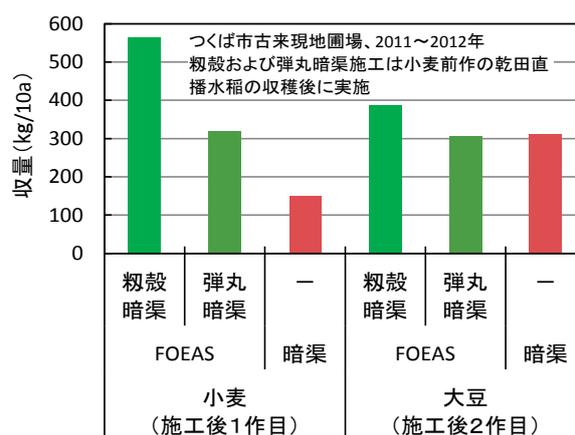


図4 水稲作後の補助暗渠の再施工が後作の小麦と大豆の収量に及ぼす影響(つくば市古来現地圃場)

(農研機構 中央農業総合研究センター 渡邊和洋、大下泰生)

2-2-2 北陸・重粘土地帯の大麦栽培におけるFOEASの効果

1 大麦の播種作業に対する効果

無代かきV溝乾田直播水稻栽培（以下、V溝乾直水稻）の落水から大麦播種までの期間における降水量、地耐力（目安として矩形版沈下量を示します）、土壌含水比の変化について図1に示しました。この圃場はFOEASを導入後、初年目は大豆栽培、2年目はV溝乾直水稻の栽培を行った圃場で、暗渠を開放して排水促進に努めた圃場（以下、開放区）、1作目の大豆作と2年目のV溝乾直水稻の乾田期間の間、-25cm深で水位制御を行ってきた圃場（以下、制御区）、そして本暗渠と周囲明渠が施工された対照圃場（以下、対照区）の3処理を設けて実施した試験の結果です。

制御区では圃場の排水性が悪化したため、落水直後の土壌含水比は高く、地耐力も低くなりました（図1）。しかし、この試験の水稻作は無代かきのV溝乾直水稻のため、代かきをした場合よりも排水性が良いので、水稻収穫時にはどの区も同程度の含水比、地耐力となりました（図1）。一方で、開放区は落水直後から周囲明渠がある対照区と同等以上に土壌含水比は低く、地耐力も高いことから、冬季間に乾燥しない積雪地帯では水稻収穫から大麦播種作業までの作業性を考慮すると、FOEAS導入後は排水促進に努めた方が望ましいです。

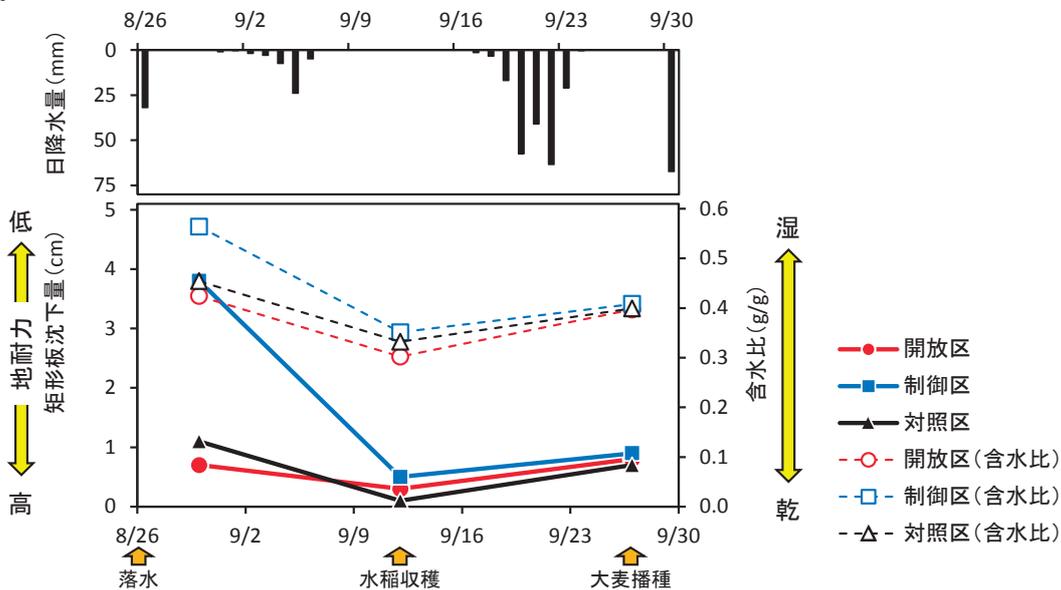


図1 矩形板沈下量と土壌含水比の推移

上: 降水量の推移、下: 矩形板沈下量と含水比の推移

1) 開放区: FOEAS圃場で暗渠開放、制御区: FOEAS圃場で-25cm深に地下水水位制御した圃場(制御期間:

5/8~大豆作の8/30まで)、対照区: 本暗渠+周囲明渠施工の圃場

2) V溝乾直水稻の落水から大麦播種時までを示した。落水は8/26、水稻収穫9/12、大麦播種は9/28。

2 大麦の生育状況および収量への影響

V溝乾直水稻後の大麦の苗立数は、制御区がやや少なかったものの、おおむね適正範囲内に収まりました。しかし、融雪後は制御区のみが他区と比べて生育が悪く、特に畝の両端にある条は雪腐病により生育が著しく劣りました（図2）。



図2 大麦栽培時の融雪後の状況(4/23 左:開放区、右:制御区)

このため成熟期においても、制御区は穂数が少なく、収量は開放区に比べて少なくなりました（図3）。この原因として、大麦栽培期間における制御区の鋤床上の水位が開放区より全般に高く、また、畝立て時の含水比が高い制御区では畝の成畦作業が悪くなるため、開放区の畝に比べて、肩部と中央部の高さの差が大きかったためと考えられます。積雪・重粘土地帯の大麦は融雪後の生育の影響が大きいため、圃場排水性の差が顕著に現れます。システムの排水機能が低下してきた場合には、機能回復技術を導入したり、周囲明渠を施工したりするなどの排水対策が重要となります。

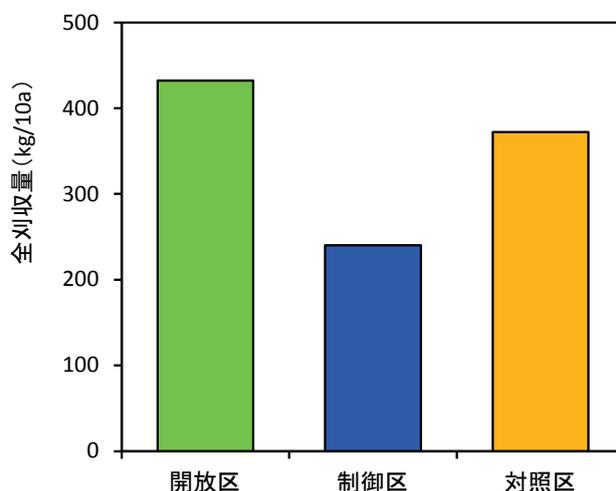


図3 大麦の全刈収量

<参考資料>

1)各処理区は図1 脚注を参照。

1) 2011 年度中央農研成果情報「耕うん同時畝立て播種はオオムギの越冬後の湿害を軽減する」<http://www.naro.affrc.go.jp/project/results/laboratory/narc/2011/index.html>

(農研機構 中央農業総合研究センター北陸研究センター
大野智史、関正裕、谷本岳、鈴木克拓)

2-2-3 関東地域のビール大麦栽培におけるFOEASの効果

1 システムの導入にあたって

ビール大麦は特に湿害に弱い作物で、湿害により収量が低下するだけでなく粗タンパク質含有率の変動（生育初期の湿害：低タンパク化、登熟期の湿害：高タンパク化）により、ビール大麦として販売ができなくなるなど、大きな被害が発生します。

近年、国内ビール大麦の約 5 割の作付けを占める関東地域においても、湿害の発生が多くなっていることから、FOEAS の導入により、収量や粗タンパク質含有率の安定化が期待できます（図 1）。



図1 地下水位制御システム圃場(左)と一般慣行圃場(右)の生育状況(栃木県小山市)

2 FOEAS を活用した管理方法

(1) 栽培期間中、水位制御装置を解放

ビール大麦を栽培する予定の圃場では、前作の終了後、水位制御装置を解放し地下水位を下げ、土壌改良資材・肥料の施用、耕起、播種などの作業が順調に行えるようにします。

播種後も、栽培期間中を通じて、水位制御装置を解放し地下水位を下げておきます。

ビール大麦栽培において、FOEAS の効果を最大限に引き出すためには、栽培期間中を通じて水位制御装置を解放することがポイントです。

(2) 明きよの設置

近年では、降水日数は少ないものの一度に降る量が多くなる傾向があり（表 1）、FOEAS による浸透排水だけでは対処できない場合も想定されます（図 2）。

FOEAS により水位は下がりますが、麦類栽培の基本技術である“排水溝に接続した明きよの設置”も併せて行い（図 3）、安定した麦の生育を確保します。

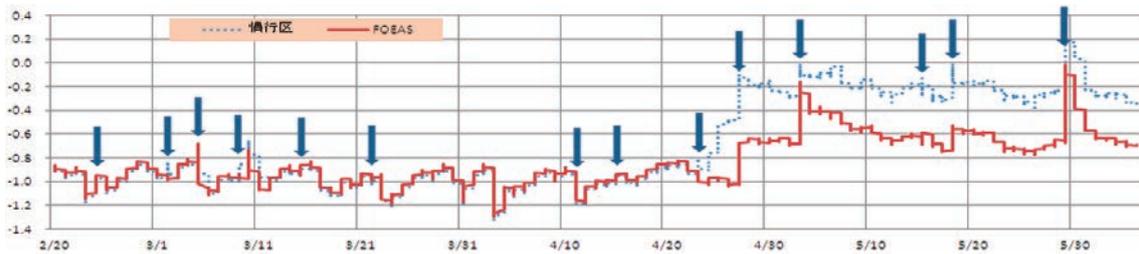


図2 FOEAS圃場（赤）と一般慣行圃場（青）の地下水位の違い（単位:m）

注）矢印は10mm/日以上降雨。平成24年度データ。降雨により一時的に水位が上昇。



図3 明渠設置の様子

表1 栽培期間中（11月～5月）の日平均降水量の比較

播種年度	降水量 (mm)	降水日数 (日)	日平均 (mm/日)
昭和63	695	100	6.95
平成元	538	111	4.85
平成2	606	105	5.77
平成3	423	107	3.95
平成4	423	107	3.95
平均	537	106	5.09
平成20	640	96	6.67
平成21	763	115	6.63
平成22	591	102	5.79
平成23	766	99	7.74
平成24	508	101	5.03
平均	654	103	6.37

3 FOEASの効果

FOEAS圃場では、湿害症状が軽減され、多収になる傾向が見られ、また子実の粗タンパク質含有量の変動も小さく適正值に収まりました。千粒重や容積重についても重くなる傾向が見られました（図4）。

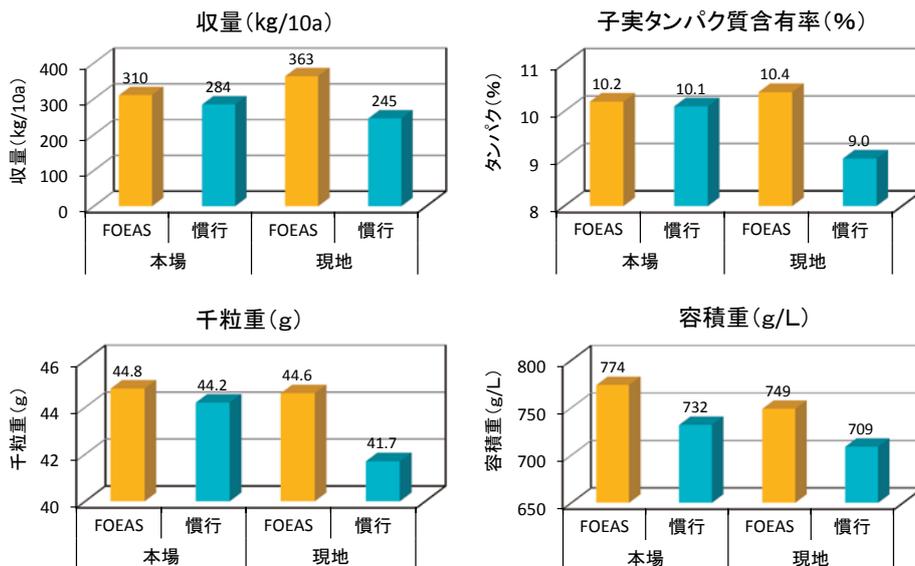


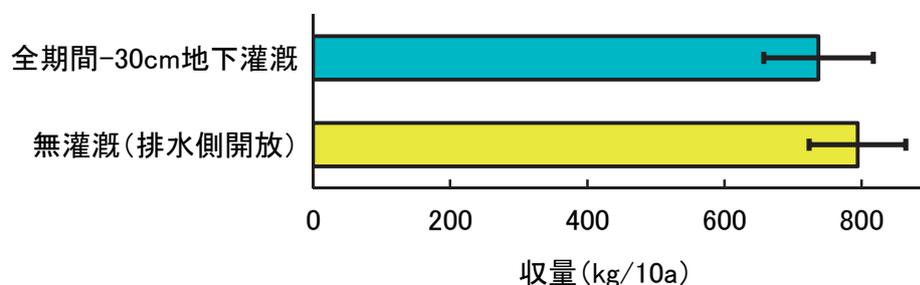
図4 地下水位制御システム圃場（黄）と一般慣行圃場（青）の、整粒重、千粒重、子実タンパク質含有率、容積重の違い（平成23～24年データ。品種「スカイゴールデン」）

（栃木県農業試験場 星一好）

2-2-4 瀬戸内沿岸の麦作におけるFOEASの効果

瀬戸内沿岸では麦作期間中の降水量は400mm程度と少ないものの、地下水位が高いため水が不足することは少なく、むしろ湿害が麦の生育阻害要因になっています。FOEASは従来の暗渠より排水性能が高いため、FOEASを導入すると排水性が良くなって湿害が減り、多収が期待できます。麦の全生育期間を通した一定水位(-30cm)の地下灌漑には増収効果が認められず(図1)、どちらかと言えば収量が低下する恐れがあります。したがって地下灌漑は不要な場合が多いですが、排水が良好で地下水位の低い圃場で降水量が少ない年には、登熟期前半のみ地下灌漑すると収量が増加(またはタンパク質含有率が向上)する場合があります(図2)。

小麦(パン用品種「せときらら」)



大麦(裸麦品種「トヨノカゼ」)

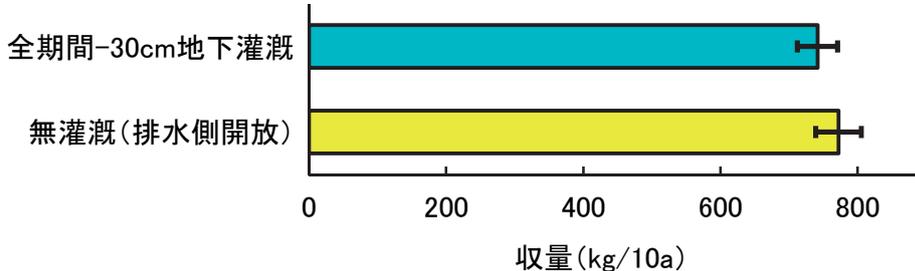


図1 麦類の収量に及ぼす地下灌漑の影響

近中四農研(広島県福山市)の灰色低地土FOEAS水田(前作は水稲)における2012年産成績。この年の降水量は、播種～出穂:266mm(平年は264mm)、出穂～成熟:72mm(平年は151mm)。図中の横線は標準偏差(小麦は4反復、裸麦は2反復)。

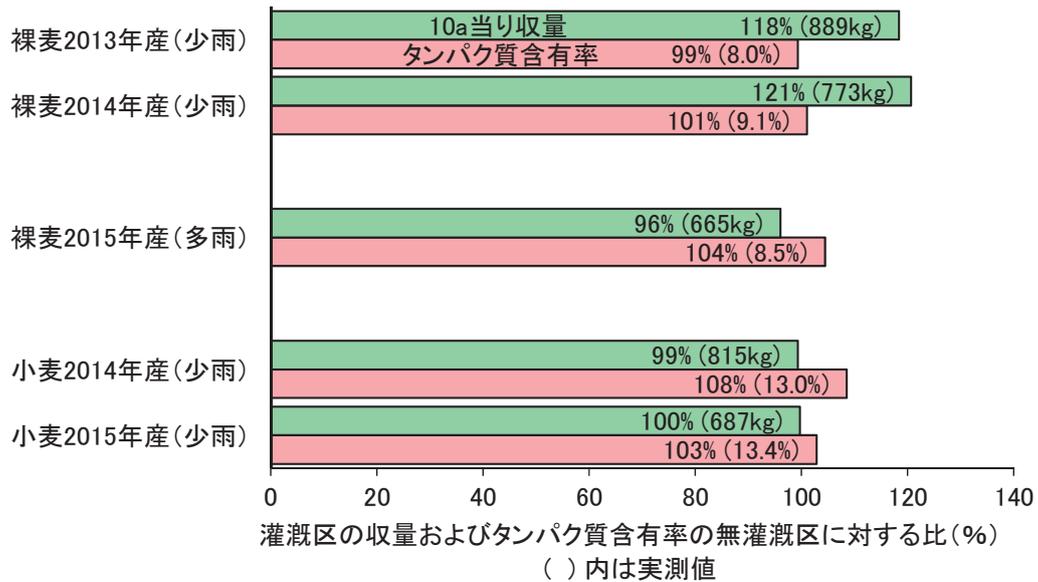


図2 登熟期前半の地下灌漑が麦類の収量とタンパク質含有率に及ぼす影響

近中四農研(広島県福山市)の灰色低地土FOEAS水田(無灌漑区の地下水位は約-70cm)における試験成績。裸麦は品種「ハルヒメボシ」、小麦はパン用品種「せときらら」。

地下灌漑の水位を-20cmに設定し、出穂始から約3週間地下灌漑した(漏水により、実際の地下水位は-25~-30cmになった)。

出穂1週間前から出穂3週間後までの降水量が、平年は84mm前後であるのに対し、(少雨)は45~61mm、(多雨)は117mm。2015年産の裸麦と小麦の降水量が異なるのは、出穂期が2週間異なるため。

<関連資料> 石川直幸・石岡巖・窪田潤・竹田博之 2013. ポット栽培コムギ消費水量の季節推移と瀬戸内干拓地コムギ圃場における灌漑の要否. 日作紀 82:215-222.

(農研機構 近畿中国四国農業研究センター 石川直幸)

2-2-5 九州地域の小麦作におけるFOEASを利用した栽培法

1 FOEASの効果

水稲の乾田直播はスクミリンゴガイの被害を回避できるため、九州北部地域では水稲の乾田直播と麦作を組み合わせた水田輪作体系の導入が期待されます。FOEASの排水と地下水位制御機能を活用することで、水稲跡の小麦作では、適期播種を可能とする土壌水分の迅速な低下、播種後の降雨による過湿害の回避、生育の安定、成熟期の湿害回避による品質向上が達成されます。2010年、2011年の福岡県筑後市圃場では、地下水位が常時-30cmの場合に麵用小麦、パン用小麦ともに発芽数が低下する傾向が認められました。麵用小麦、パン用小麦の収量はFOEASの地下水位設定を常時排水とした方が高まりました。麵用小麦、パン用小麦のタンパク質含有率は開花期追肥を行うことで高まり、目標とするタンパク質含有率である麵用小麦10%、パン用小麦13%に到達しました(図1・2)。

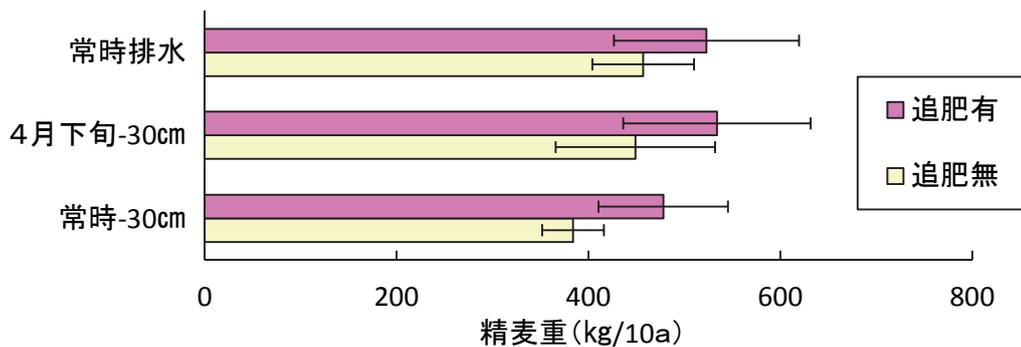


図1 FOEASの地下水位と麵用小麦の収量

(麵用小麦「チクゴイズミ」精麦重、2010~2011年度の平均。横線は標準偏差。)

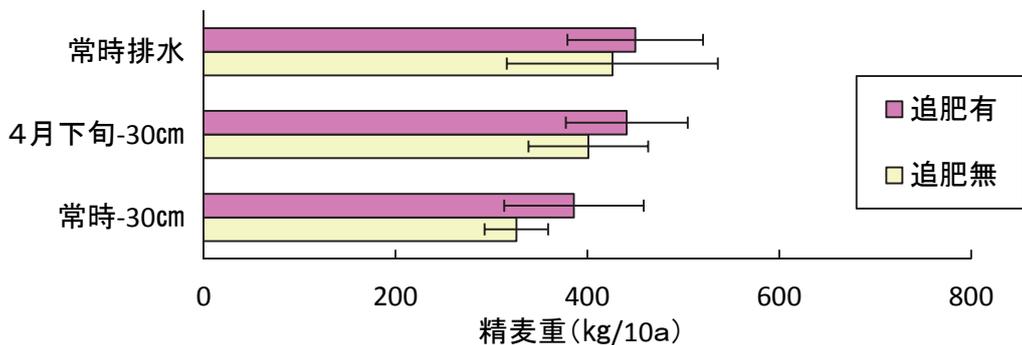


図2 FOEASの地下水位と麵用小麦の収量

(パン用小麦「ミナミノカオリ」精麦重、2010~2011年度の平均。横線は標準偏差。)

2 乾燥条件における影響

2012年の佐賀県上峰町圃場では小麦の収量が低くなりました。小麦が登熟する4月から6月の佐賀市の降水量を見ると、2012年は降雨日が少なく、5月の日降水量は10mm以下と少ない条件でした（図3）。

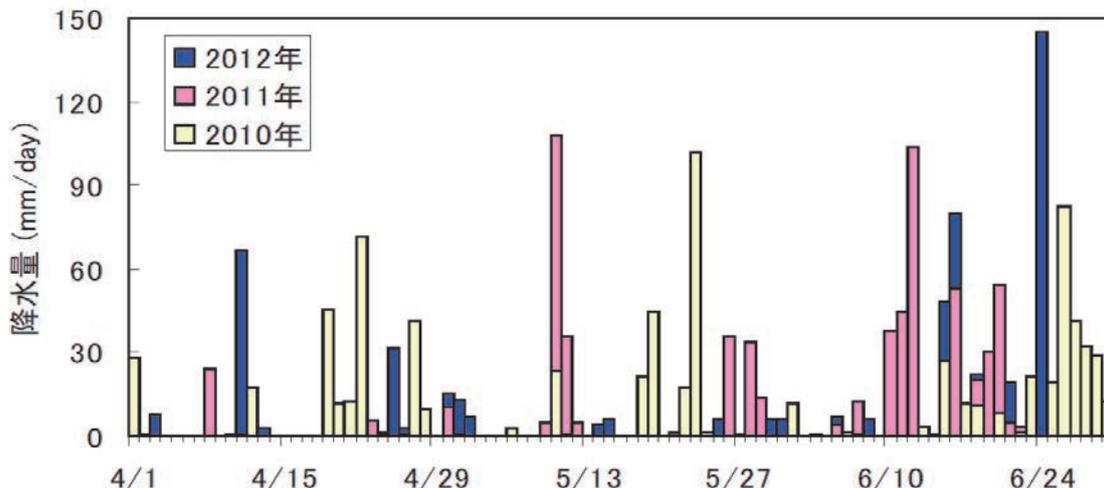


図3 出穂期以降の降水量の比較(佐賀市アメダスの日降水量データ)

3 受動的地下水位制御の効果

2013年、2014年に佐賀県上峰町圃場で、水位制御器を地表下-40cmに設定して降雨時には地表下-40cmまで水を溜める受動的地下水位制御を行って、めん用小麦(シロガネコムギ)の収量について検討しました。小麦の生育と収量は、受動的地下水位制御を行っても常時排水とほぼ同等でした（図4）。水位制御器（排水側）の水位は降雨時に地表下-40cmまで上昇していました（図5）。また、各圃場の下層土（深さ40cm）の酸化還元電位（土壌Eh）は、受動的地下水位制御によって籾殻の腐朽が止まると考えられる還元状態になっていました（図6）。

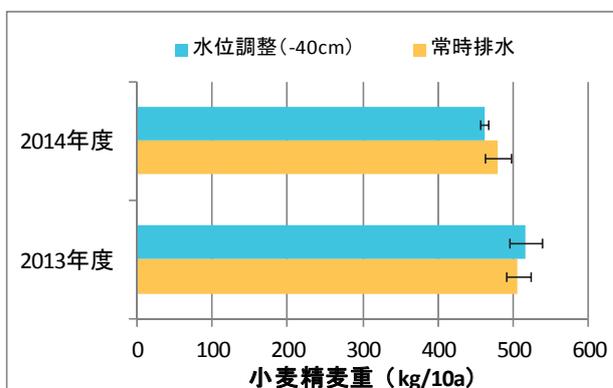


図4. 小麦収量

注) 各年度2圃場の平均。横線は標準偏差。

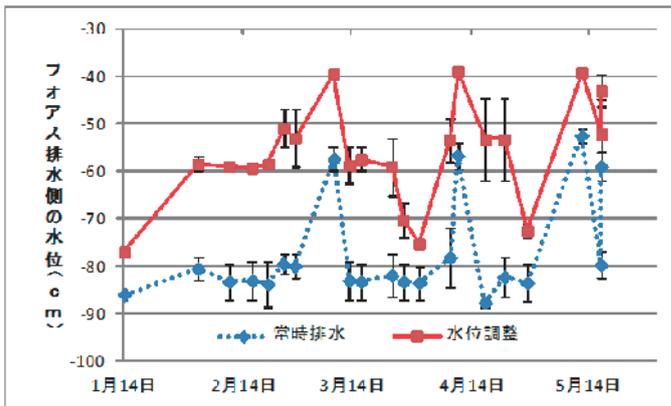


図5. 水位制御器（排水側）の水位
(2014年度、2圃場の平均、縦線は標準偏差。)

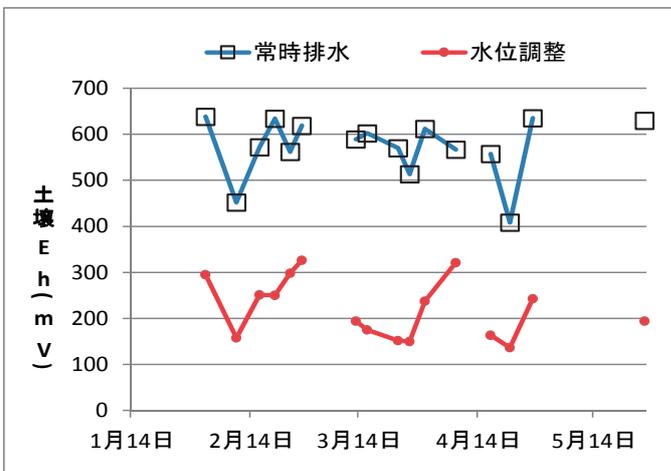


図6. 地表下40cmの土壌の酸化還元電位
(2014年度、2圃場の平均 Eh (mV))

4 小麦作におけるFOEASの活用法

平年の気象条件の2010年、2011年の結果から、FOEASの地下水位設定を常時排水とすることで麺用小麦、パン用小麦ともに収量が高まり、開花期に追肥を行うことで麺用小麦、パン用小麦ともタンパク質含有率を高めることができると考えられます。FOEASの補助孔の籾殻の腐朽を防ぐために地下水位を -30cm 程度に維持する場合は、小麦は減収しますが、開花期に窒素を 10a 当たり 4kg 追肥することで減収を小さくでき、目標とするタンパク質含有率に高めることができます。2012年の上峰町圃場の事例のように登熟期の降雨が少なく乾燥する気象では、FOEASを常時排水で管理すると干ばつ害が起きて収量が低下する場合があります。2013年、2014年の結果から、FOEASに降雨時に地表下 -40cm まで水を溜める受動的な地下水位制御を行うことで、小麦の収量を低下させることなく、補助孔の籾殻の腐朽を遅らせてFOEASの灌漑排水機能を長期に維持できると考えられます。

(農研機構 九州沖縄農業研究センター 増田欣也)

2-2-6 九州北部地域におけるFOEASの大麦作への効果

1 裸麦作における出芽促進効果

東九州（大分県）における水田輪作体系では、転換畑の排水性の低さに起因する麦・大豆の湿害対策が課題となっています。近年、降水量が増加する傾向にあり、排水能力の更なる向上が必要とされていることから、給排水能力と精微な水位調節機能を併せ持つ地下水水位制御システム（FOEAS）は有効な技術と期待されます。

大豆跡作の麦播種は12月中旬から下旬頃に行われ、この時期は近年、低温で少雨傾向にあります。播種後、FOEAS区では地下水位を-10cmを目安に14日と22日の2回にわたり地下水位制御を行いました。その結果、FOEAS区では出芽期が慣行区と比較して4日早く、出芽数も有意に向上しました。出芽後はFOEASの水栓を抜き、両区とも放任としましたが、慣行区ではその後の降雨により中間管理が行えなかったのに対し、FOEAS区では中耕培土と踏圧を1回ずつ行うことができました。FOEAS区の子実収量は慣行区を有意に上回りました（表1）。

表1 裸麦作実証試験(大豆跡)の生育、収量および品質

試験区 (圃場設備)	出芽日 月/日	出芽数 本/m ²	出穂期 月/日	成熟期 月/日	稈長 cm	穂長 cm	穂数 本/m ²	子実重 kg/10a	千粒重 g	検査 等級
FOEAS	2/13	165	4/21	6/1	66	4.8	383	441	33.6	3.3
慣行	2/17	113	4/22	6/1	69	4.9	300	345	33.6	3.3

注1)収量結果は水分12.5%換算値で表す。

2)検査等級は1等上・中・下、2等、規格外を1~5の5段階で表す。

2 裸麦作におけるFOEASの水管理法

FOEASを活用した地下水位制御による水分補給が裸麦の出芽安定に効果的です。一方、長崎県においては、最適な地下水位は小麦では30~40cm以下、二条大麦では40cm以下であることが報告されています。本試験においても出芽後はFOEAS施工圃場では排水性の高さから中間管理が順調に行え、収量の向上につながったものと推察されることから、生育期間中は水栓を開放し、排水機能を活かすことが望ましいと考えられます（図1）。

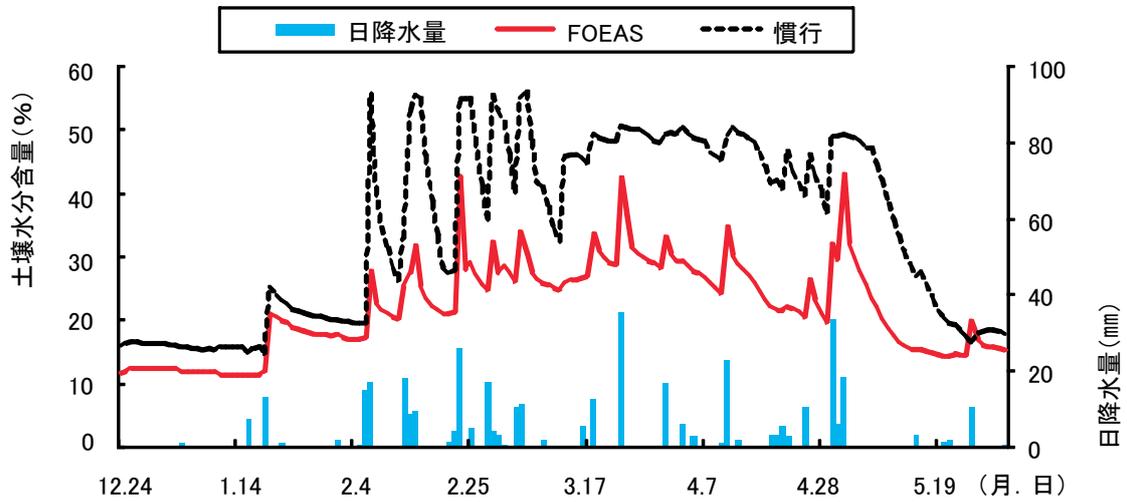


図1 麦作期間中の土壌水分含量の経過(大豆跡)
 (土壌水分含量は体積含水比を表す)

(大分県農林水産研究指導センター 菊屋良幸、近乗偉夫、田中啓二郎、白石真貴夫)

2-3-1 北海道における地下灌漑を利用した大豆の増収技術

1 7月から8月の土壌乾燥時の灌漑で収量は安定

大豆は開花から子実肥大期の間には生育量が最大になります。特に花芽分化期から莢形成期およびその後の生育量の増加が著しい子実肥大期には、土壌水分の影響を強く受けます。北海道では、7月（花芽分化頃）から8月（子実肥大期頃）の土壌が乾燥した場合に、地下灌漑を実施することで増収効果が得られます。

地下灌漑による大豆の増収は、土壌乾燥時以外でも認められています。しかし、地下灌漑直後の降雨あるいは長期間連続して地下灌漑を実施すると、土壌水分は過多となり窒素吸収が抑制され、粒重が低下するなどして減収する場合があります。したがって、大豆に対する地下灌漑は、増収効果の期待される時期に、土壌乾燥程度と天気予報等から給水の必要性を判断し、適切に実施します。

なお、給水は生育量を増大させるため、倒伏するおそれが生じます。倒伏防止のために培土することが望まれます。

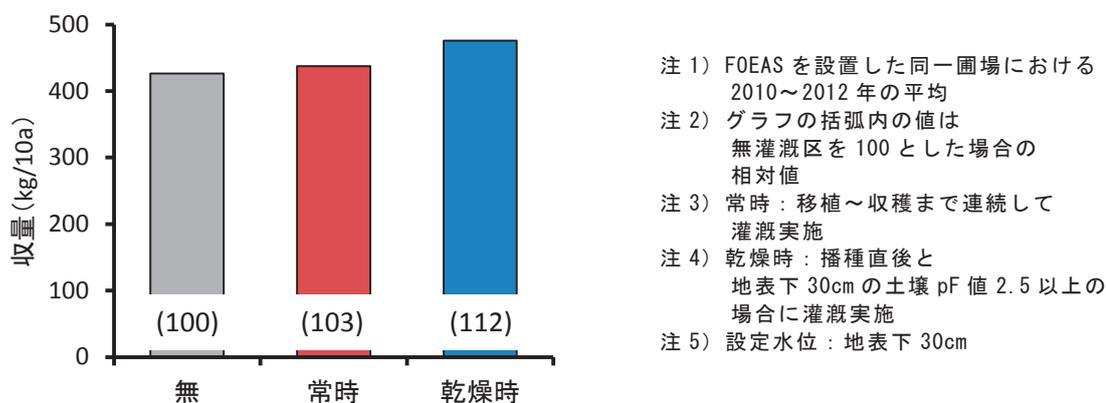


図 大豆の収量に及ぼす地下灌漑の影響

2 灌漑方法

大豆に対する地下灌漑では、次に示す 3 項目を考慮して実施します。まず給水に適する時期を確認します（水分管理）。次いで土壌の乾燥程度や前後の天気から給水の可否を判断し（給水判断）、適切な水位や水量（給水操作）で行います。

1) 水分管理

「重点給水期間」は、土壌の乾燥による生育停滞の危険性が非常に高く、水分不足に対し地下灌漑を要する時期です。本期間には、降水量の少ない 6 月と、7 月の花芽分化頃から 8 月の子実肥大期頃までの間が該当します。子実が登熟に向かう 9 月以降は

大豆の水分要求が低下するため、灌漑は不要です。なお、水田用水の利用可能な期間は、多くの地域において遅くても8月末までです。

2) 給水判断

pFメーターを用いる場合には、地表下30cmのpF値が2.5以上に達した条件で、かつその後の降水量が少ないと予想された場合に給水を実施します。

一方、pFメーターがない場合には、給水の要否は連続降水の有無と給水間隔から判断します。すなわち、給水の実施条件は、前回の給水から1週間以上間隔があいていること、そして給水前10日間に20mm以上の連続降水がなく、かつ今後1週間の予想降水量が少ない場合です。もし20mm以上のまとまった降雨があった場合、次の給水判断はその日から10日後を目安に行います。

3) 給水操作

給水時の設定水位は地表下30cmとし、1回の給水時間は24時間とします。なお、pFメーターがある場合は地表下30cmのpF値が1.0未満へ到達したことを確認してください。

表 北海道における大豆に対する地下灌漑方法

月		5		6		7		8		9		10			
旬		中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上		
作業		播種											収穫		
生育期		出芽				花芽 分化	開花	着莢	子実 肥大		成熟 始	成熟			
水分管理		-	-	重点給水期間								-	-	-	-
給 水 判 断	pF あり	-	-	地表下30cmのpF値2.5以上 ・判断日の直後の降水量が少ない場合に給水実施								-	-	-	-
	pF なし	-	-	<ul style="list-style-type: none"> ●土壌乾燥時において ・給水前10日間に20mm以上の連続降水がない かつ ・今後1週間の降水量が少ない（週間天気予報等で確認） 両方を満たす場合に給水実施 <ul style="list-style-type: none"> ●20mm以上の連続降水が生じた場合：10日後に再判断 ●給水を実施した場合：次回の給水まで1週間以上あける 								-	-	-	-
給水操作		-	-	<ul style="list-style-type: none"> ●設定水位：地表下30cm ●1回の給水期間：24時間 （pFメーター使用時はpF値1.0未満への到達を確認） ・排水側からの出水確認後に水勢を抑制 ・給水期間終了後に排水 								-	-	-	-

転作作物に対する集中管理孔を活用した地下灌漑技術（北海道立総合研究機構中央農業試験場・上川農業試験場、2013）を一部改変

注1) pFあり：pFメーターを使用する場合、pFなし：pFメーターを使用しない場合

注2) -：原則不要

注3) 播種直後については検討が十分でないため重点給水期間に含んでいない

このように、北海道は本州に比べ、大豆の播種から子実肥大期（5～7月）における降水量が少なく、水田用水施設（集中管理孔やFOEASなど）を活用した地下灌漑による増収が期待できます。

しかし、安定生産のためには、土壌が過湿にならないよう土壌水分を適切に管理することが重要です。

（北海道立総合研究機構 農業研究本部 上川農業試験場 唐 星児）

2-3-2 北陸重粘土地帯におけるFOEASの排水機能を活かした大豆生産技術

1 FOEASの導入による鋤床上帯水の軽減

日本海側の気候では冬季間に降雨・降雪が多いため、冬季間に土壌が乾燥しにくい特徴があります。特に粘土含量が高い土壌ではその傾向が強くなります。そのため、大豆作で良好な作業性や高い生産性を得るには、特に排水対策が重要となります。FOEASは他での説明のように多くの機能を有していますが、北陸地域の排水不良な重粘土においては、それらの機能のうち、排水機能を重視した栽培を行うことが有効です。

FOEASを導入した直後の大豆作では、梅雨期間において、通常の暗渠のみが施工された対照区（以下、対照区）では常時、鋤床上に帯水していたのに対し、FOEASが導入された圃場では、暗渠を開放して排水促進に努めた開放区（以下、開放区）、地下水位を制御（-25cm深：7/1～9/13）をしていた制御区（以下、制御区）ともに鋤床上の帯水は、降雨があった直後に一時的にみられるだけでした（図1）。この鋤床上の帯水期間の減少により、培土作業適期と考えられる24日間のうち、対照区で作業が可能であったのは2日間のみであったのに対し、開放区、制御区はともに14日間も作業が可能となり、作業性の大幅な向上効果が認められました（図1）。

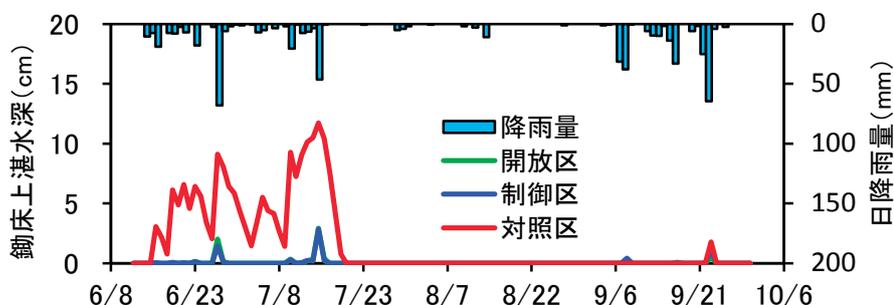


図1 FOEAS圃場における鋤床上の湛水深の推移（導入1年目）

- 1) 開放区：FOEAS圃場で暗渠開放、制御区：FOEAS圃場で-25cm深に地下水位制御した圃場（制御期間：5/8～大豆作の8/30まで）、対照区：本暗渠+周囲明渠施工の圃場
- 2) 培土作業可能日数は鋤床上湛水深が2cm未満であることと降雨状況により求めた。

2 FOEASの排水機能の活用による生育改善

FOEASは鋤床上の帯水が少ないため、梅雨明けの開花期における生育諸形質が、対照区に比べて開放区と制御区で改善されています（図2）。この効果は、湿害軽減効果の高い耕うん同時畝立て播種栽培と比較すると分かりやすいでしょう。すなわち、開花期の生育は、開放区、制御区では排水性が良好なので、畝立て播種と畝を立てなかった平床播種で違いは認められませんでした。対照区では畝立て播種の方が平床播種に比べて生育が大きく

改善されています(図2)。この様にシステムの排水機能が良好な状態であれば、梅雨時期の生育が改善されます。

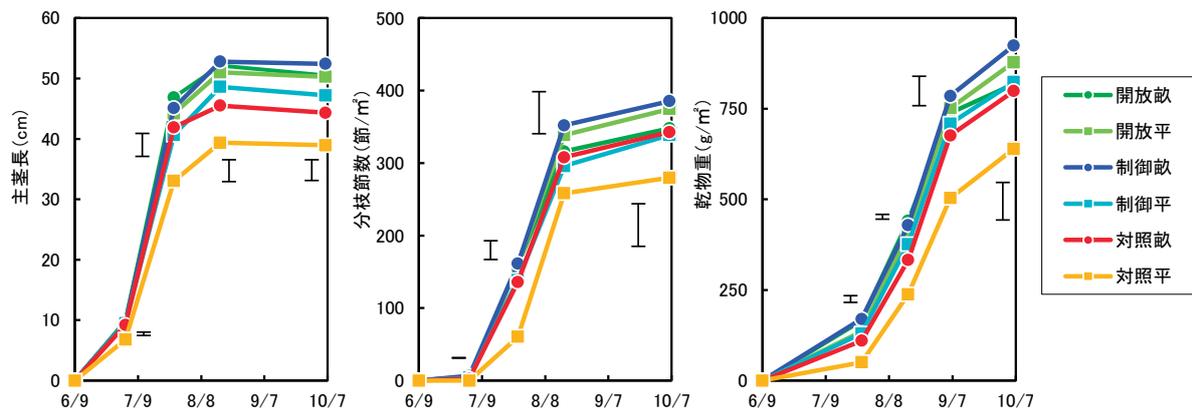


図2 梅雨明けの開花期における大豆の生育状況

- 1) 左: 主茎長、中: 分枝節数、右: 乾物重 それぞれの推移を示した。
- 2) 畝は耕うん同時畝立て播種を行った区、平は同型の作業機で畝を立てなかった区。
- 3) 図中のバーはLSDで5%有意水準を示す。

3 FOEASの排水機能の活用による増収効果

FOEASの排水効果は大豆栽培時の畝立ての有無で比較すると分かりやすいと前述しましたが、収量についても同様に畝立て播種栽培を基準として、平床播種との収量比(平床/畝立て)をみてみましょう。すると2010年は対照区で0.77と小さく、開花期の生育状況と同様に畝立て播種による増収効果が認められましたが、開放区、制御区はともに約1となり、FOEAS圃場では畝立て播種の湿害軽減効果が認められない程、排水が良好となります(図3)。

他方、2012年の様に対照区においても鋤床上の帯水が少ない年では、全体に収量が高くなり、排水改善効果も少なくなります(図3)。また、他章の記載にあるように、FOEASの排水機能が低下してきた場合には、排水機能回復処理を行ったり、周囲明渠を施工したりするなどの排水対策が重要となります。

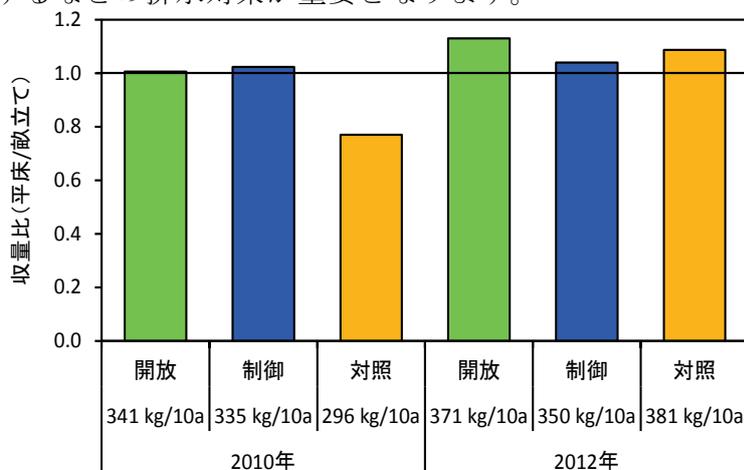


図3 畝立て播種に対する平床播種の大豆収量比

- 1) 図中のラベル下の数値は各圃場における平床播種の坪刈収量(農研機構 中央農業総合研究センター北陸研究センター 大野智史、中山則和、鈴木克拓)

2-3-3 関東地域における FOEAS と不耕起狭畦栽培の併用による大豆の高位安定生産技術

1 FOEAS と不耕起狭畦栽培の組み合わせの効果

関東地域では、播種適期から出芽する頃にかけては梅雨期に重なることから、湿害による出芽不良を回避するために FOEAS の排水機能を活用します。まとまった降雨があるときには表面水の迅速な排水により出芽不良や立ち枯れ性病害の拡散を防ぎます。出芽から開花期にかけては夏季の高温・少雨の条件では乾燥害を受けやすいことから、地下水水位制御による給水で乾燥害を軽減する効果が期待されます。

「タチナガハ」について、地下水水位制御を行った FOEAS 区と対照区を比較すると、FOEAS 区は莢数、百粒重が増大し、増収しました。また、高温・少雨であった 2011・2012 年は青立ちが発生しましたが、FOEAS 区は青立ちの発生割合が低い傾向にあり、FOEAS と不耕起狭畦栽培の組み合わせ（図 1）で最も多収の傾向がみられました（図 2）。病害の発生状況を見ると、白絹病は地下水水位が制御されている圃場で少ない傾向にあり、耕起された条件で多く、作土の耕起や中耕による土壌の攪拌のない不耕起栽培では白絹病の発生が少なくなることがわかりました（図 3）。



図 1 大豆出芽後の圃場の様子
不耕起狭畦栽培では早めに大豆の茎葉で畦間を覆うことにより雑草の発生を抑制。

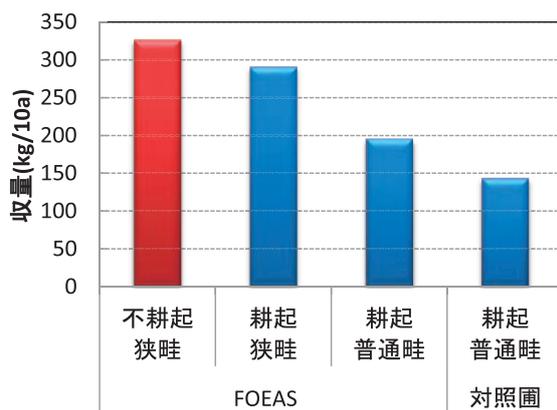


図 2 地下水水位制御による大豆の収量
(つくば市現地圃場、タチナガハ品種、2010～2012 年の平均)

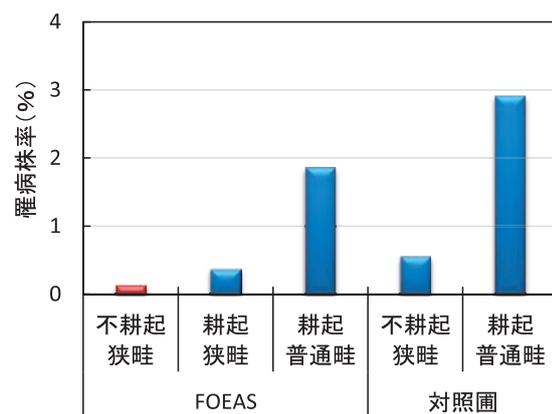


図 3 地下水水位制御と播種時耕起法が白絹病の発生に及ぼす影響
(つくば市現地圃場、2010～2012 年の平均、罹病株数は播種後 15 日頃に調査)

FOEAS 圃場では暗渠管と補助孔の組み合わせにより作土層の透排水性が高く、対照圃場に比べ、大豆栽培期間に地下水位制御を行っても、作土層の土壌水分は低い傾向にあることが認められました（図4・5）。

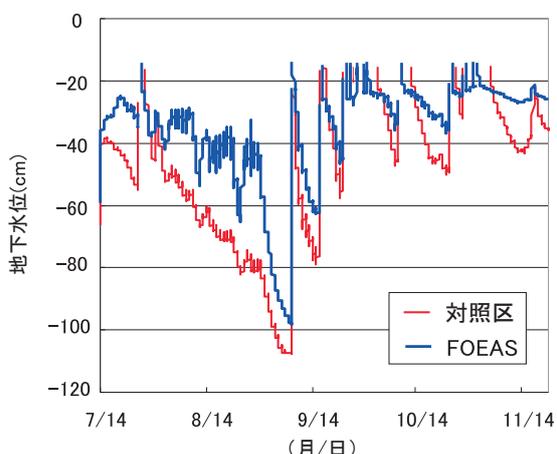


図4 現地圃場の地下水位の推移
（つくば市現地圃場、2010年）

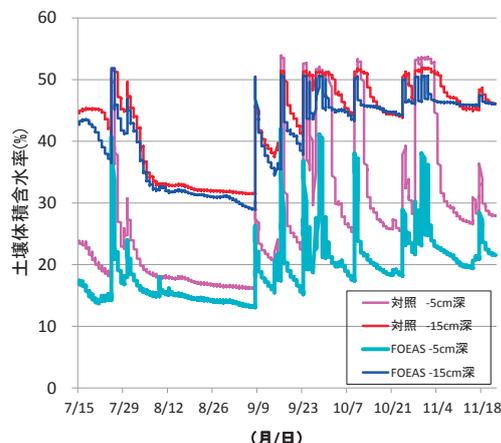


図5 現地圃場の土壌水分の推移
（つくば市現地圃場、2010年）

関東地域においては、播種期から出芽期頃にかけては梅雨期に重なることから、まとまった降雨があるときには表面水を迅速に排水し、作土層が過湿にならないよう、FOEASの排水機能を活用して圃場を乾燥されるように努め、出芽不良や立ち枯れ性病害の罹病や拡大を防ぎます。出芽期から開花期にかけては、夏季の高温・少雨の条件により乾燥害を受けやすいことから、地下水位制御による地下灌漑で乾燥害を軽減する効果が期待されます。秋雨や台風の時期は地下水位が高すぎると逆に湿害を受けることがあるので、地下水位をやや低めに設定する方が安全と考えられます（図6）。

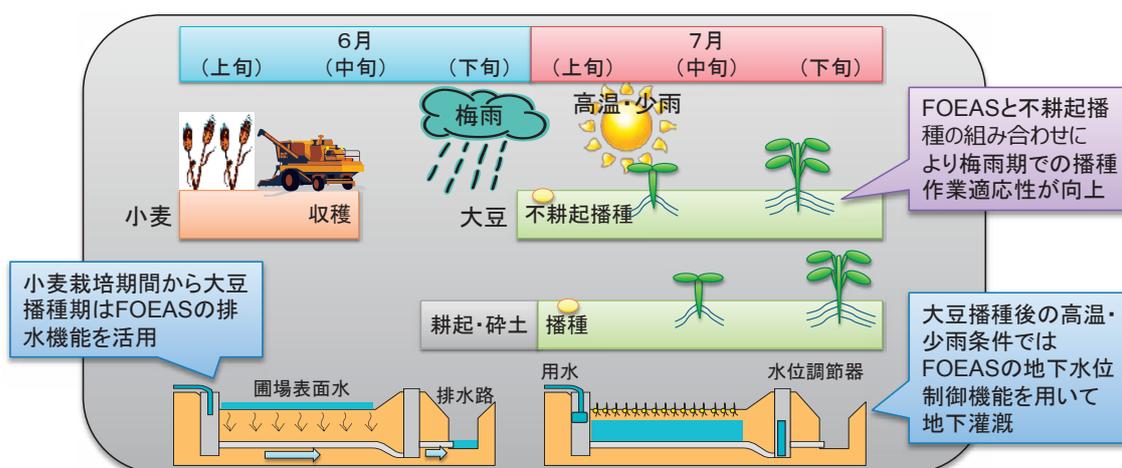


図6 FOEAS 圃場での大豆の水管理方法

（農研機構 中央農業総合研究センター 前川富也、島田信二、渡邊和洋、加藤雅康）

2-3-4 近畿地域におけるFOEAS による大豆の増収効果と圃場の窒素収支

1 土壤水分の適湿管理による大豆の増収

近畿地域における水田転換畑の大豆栽培では、FOEAS を活用し、特に播種時や大豆開花期～子実肥大期には給水機能により、生育促進を図り、収量増加を得ることが可能となります。また、梅雨や台風等に伴う強雨時においては排水機能を活用し、圃場を適切な土壤水分状態で管理することが可能です。

- 1) FOEAS 圃場では、大豆播種前後の降雨が少なく土壤水分が低い場合は地下かんがいにより地下水位を上げ、一時的に土壤に湿りを与えることで出芽が早まり苗立数が向上します(図1)。
- 2) FOEAS 圃場では、出芽後の地下水位を-30cm で制御することにより、土壤水分 (pF 値) が適正な数値で推移します(図2)。特に、水分要求が高くなる開花期から子実肥大期には圃場全体が適湿となるよう水位管理することで莢数が増加し、収量性は高まります(図3)。

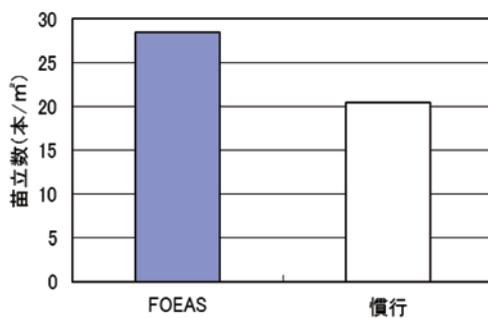


図1 苗立数(フクユタカ、2012年)

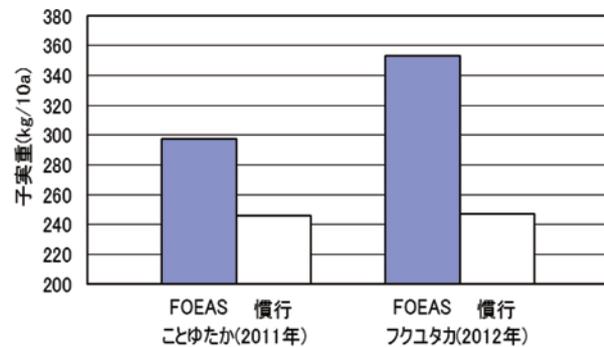


図3 大豆収量(耕起密播栽培)

注) FOEAS 圃場は大豆生育期間を通して地下水位-30cm に設定。慣行圃場は本暗渠+弾丸暗渠施工で排水のみ。

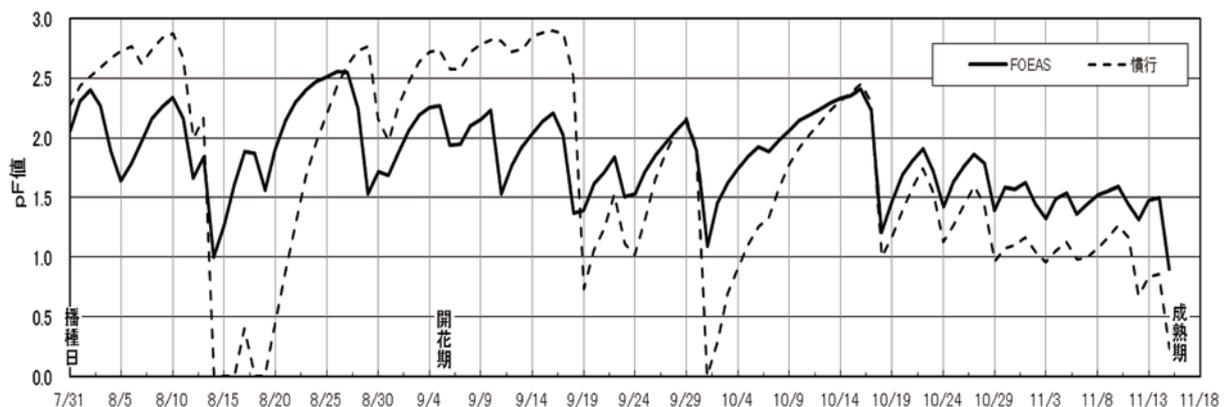


図2 大豆生育期間中の深さ15cmにおける土壌のpF値(2012年)

注) 一般的な畑作物に適した pF 値は 1.5~2.7。

2 一筆調査圃場の窒素収支

1) 大豆作(播種～収穫)における地下かんがい水量はFOEAS圃場では約200mm(約1.6mm/日)となり、前述(1-3)と同程度となります。また、暗渠排水量はFOEAS圃場では慣行圃場と比較して多くなります(図4)。このため、窒素等の流出負荷量はFOEAS圃場では慣行圃場よりやや多くなる傾向にあります。差引排出負荷量(流出負荷量-流入負荷量)は同水準となります(図5、一部データ略)。

2) 大豆作の窒素収支(収入-支出)はFOEAS圃場では大豆収量の増加に伴い、子実による持ち出しが慣行圃場より多くなるため、マイナスの値が大きくなる傾向にあります(図5)。このため、水田輪作体系の中で有機物投入等の地力維持対策を図る必要があります。

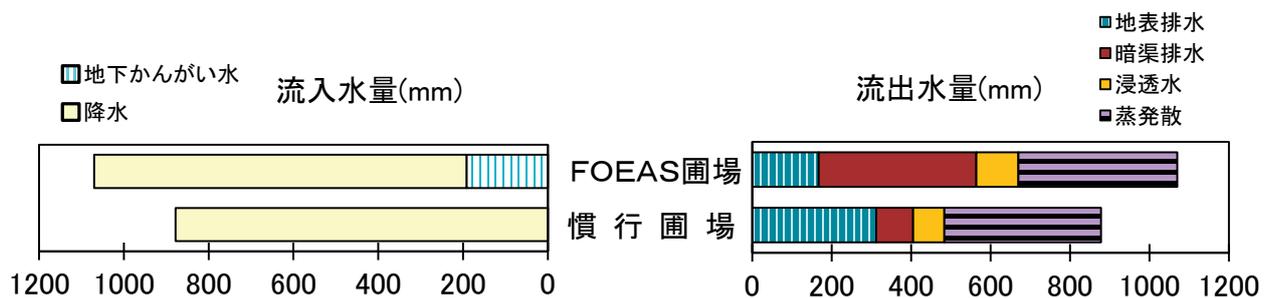


図4 大豆一筆調査圃場における水収支(2011年)

注) 降水量・地表排水量・地下かんがい水量・暗渠排水量:実測値。蒸発散量:ペンマン式より推定。

浸透水量:圃場容水量、流入水量から流出水量を差引算出。

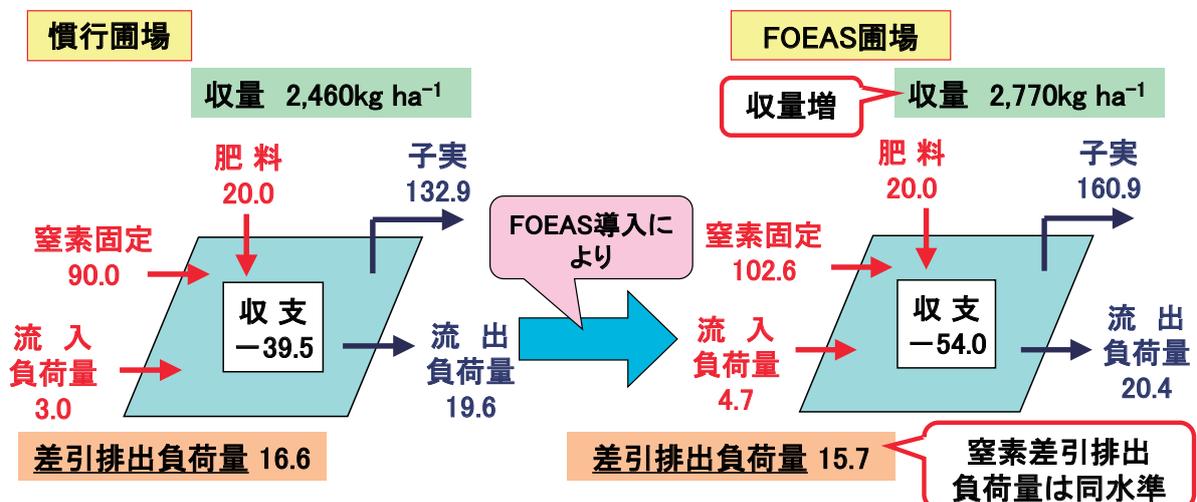


図5 大豆一筆調査圃場における窒素収支(2011年)(単位:kgN/ha)

注) 流入負荷量=降水+地下かんがい水。流出負荷量=地表排水+暗渠排水+浸透水。

収支=収入(流入+肥料+窒素固定)-支出(流出+子実吸収)。差引排出負荷量=流出負荷量-流入負荷量。

脱窒量は収支に含めない。大豆の茎・莢は圃場に還元施用されているので収支に含めない。

このように、FOEASを活用し、土壌水分状態を適切に管理する圃場では大豆の生産性と環境保全の両立を図ることが可能です。

(滋賀県農業技術振興センター 山田善彦、小嶋俊彦、蓮川博之、河村久紀、荒川彰彦、鳥塚智)

2-3-5 瀬戸内沿岸少雨地域での梅雨明け後の出芽苗立ち安定化技術

瀬戸内地方の沿岸地域では、梅雨明け後に著しく高温で少雨となる期間が約1ヶ月継続します。この時期は梅雨期と重なる通常の播種期と違い、降雨の影響を受けずに安定した大豆の播種作業を進めることができますが、土壌が過度に乾燥して出芽に必要な水分が不足して苗立ち不良となりやすいので、大豆の栽培適期として推奨されていませんでした。FOEASを通常よりも高位に水位を設定（高水位処理）することにより、地表面に水分を供給して大豆の苗立ちを確保することができます（図1）。

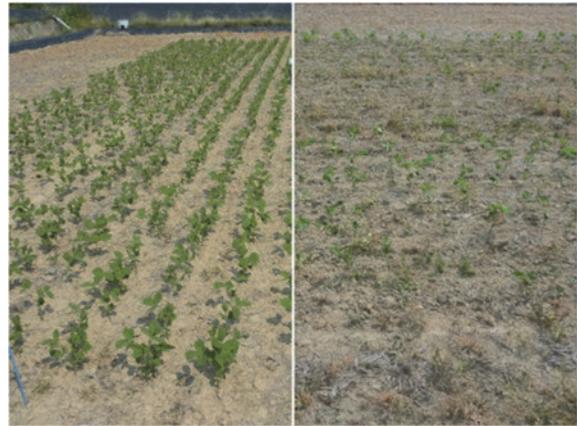


図1 高水位処理した圃場（左）としなかった圃場（右）における大豆の出芽の様子（播種後13日目）。近中四農研試験圃場、2013年7月25日播種

1 水位の制御方法

1) 播種後の高水位処理

播種後の高水位処理は、播種後に設定水位を上げ（ $-15 \sim -5$ cm程度）、播種領域の地表面が一様に変色するまで水分を供給して出芽を促進します。このとき、乾燥した大豆種子が急激に吸水すると細胞組織が損傷して子葉に亀裂が入るなどの危険性が生じるので、少なくとも播種の翌日以降に水位を上げるようにします。地表面全体が湿って変色したら、種子の過湿害を避けるため、すぐに標準

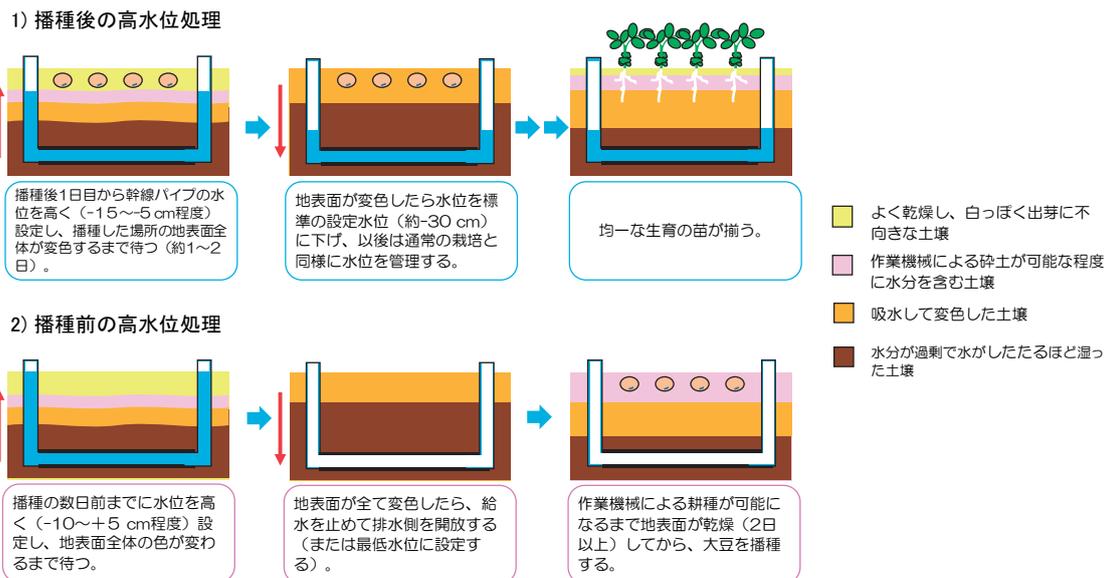


図2 土壌が乾燥した圃場で大豆の出芽を促進するための FOEAS による高水位処理の方法

の設定水位にまで下げます（図2-1）。

2) 播種前の高水位処理

梅雨明け後からの時間が長時間経過した場合などは土壌がよく乾燥し、播種後に水位を上げて浸透ムラが生じ出芽が不均一となります。より水位を上げて湿らそうとすると、今度は種子が湿害を生じる危険性が高くなります。そこで、播種の直前に水位を上げて地表面を湿らせておくと、播種後に水位を上げた場合に水分を均等に圃場全体へ浸透させることができます。まず、大豆播種の数日前に設定水位を高くし（-10～+5 cm程度）、圃場全体の地表面が一様に変色するまで湿らせます。地表面が湿った後はすぐに給水を止めて排水します（図2-2）。その後、機械播種が可能になるまで地表面が乾燥するのを待つ

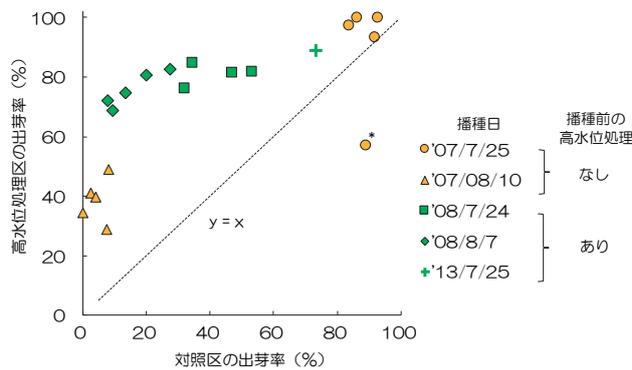


図3 7月下旬～8月中旬に播種した大豆の出芽率と高水位処理の効果.

供試品種は「サチユタカ」、「ハタユタカ」、「エンレイ」、「ユキホマシ」、「リュウホウ」。播種は不耕起または部分耕播種（条間30 cm）。*を付した○は「エンレイ」で、降雨直後の高水位処理により他の品種と異なり過湿害を生じた。

大豆を播種します。この時期は高温の晴天が続くので、すぐに土壌が乾燥して播種できるようになります。これまで中粗粒褐色低地土、中粗粒灰色低地土、中粗粒グライ土の圃場（標高約1～20 m）で実施した事例から、高水位処理で地表面を湿らせてから2～3日後には播種作業が可能です。

梅雨が明けてすぐの場合や一時的な降雨など、圃場の地表面が湿って、播種後の高水位処理だけで水分が地表面まで迅速かつ均一に浸透することが明らかかな場合は、播種前の高水位処理を省略することができます。

2 FOEASの高水位処理による出芽苗立ちの改善効果

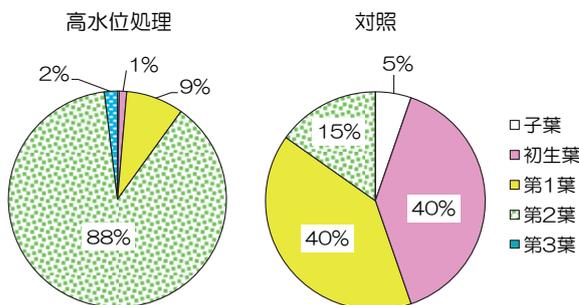


図4 高水位処理した場合としない場合（対照）の播種14日後の大豆苗の葉齢の割合。近中四農研試験圃場、2013年7月25日播種

高水位処理により、大豆の出芽率はほとんどの場合で処理をしない場合と同等以上になります（図3）。このとき、播種前の高水位処理をしないと、水分の浸透ムラが生じて出芽率が低くなることがあります（図3、△）。また、高水位処理をすると、大豆の苗は葉齢の進行が促進されると同時に生育が斉一化する（図4）ので、雑草の侵入阻止や成熟期の斉一化にも効果が期待できます。

（農研機構 近畿中国四国農業研究センター 竹田博之）

2-3-6 九州北部地域におけるFOEASの大豆作への効果

1 FOEASによる地下水位制御効果

東九州（大分県）において水田輪作体系の構築を図る上で解決すべき最大の課題は転換畑の排水性の低さに起因する大豆の湿害対策です。また、夏季の乾燥害も頻発しており、有効な対策が確立されていません。その対策として、圃場への給排水能力と精微な水位調節機能を併せ持つFOEASの活用が有効と考えられます。

FOEAS圃場において生育期間を通して地下水位を-30cmに設定したところ、地下水位は概ね-40cm~-30cmで維持制御できることを確認しました（図1）。またFOEAS圃場は排水性も良好で、降雨後もすぐに排水されました（図2）。

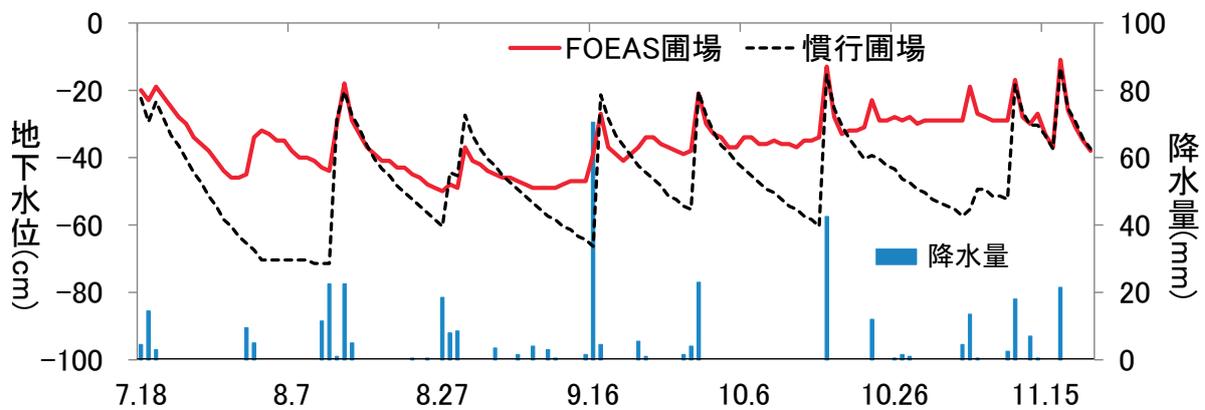


図1 大豆生育時の地下水位の推移(2012年)
(FOEAS圃場:常時-30cm地下水位制御、慣行圃場;通期放任)



FOEAS圃場

慣行圃場

図2 FOEAS圃場と慣行圃場(5m間隔弾丸暗渠施工)の降雨後の排水状況(2011年)

2 大豆における出芽安定効果

3カ年を通じてFOEAS圃場では慣行圃場より大豆の出芽率が高い傾向を示しました。2010年では播種後5日間で累計195mmの降雨があり、慣行圃場では排水不良により出芽率が約20%に低下しましたが、FOEAS圃場では排水能力が高く、約60%の出芽率を確保できました。2012年においても出芽率はFOEAS圃場が慣行圃場より高く、FOEASは出芽の安定に効果を発揮しました（図3）。

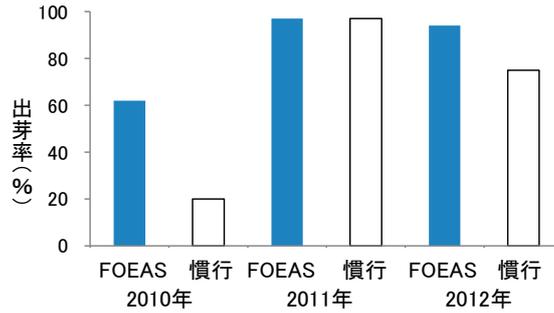


図3 大豆の圃場設備別の出芽率

3 大豆の収量向上効果

4カ年を通じて圃場設備別に適期播（7月10日播種）と晩播（7月20日播種）と比較した結果、収量は FOEAS 圃場では慣行圃場と同等か高い傾向にありました（図4，5）。特に晩播では FOEAS 圃場の収量が慣行圃場より高い傾向にありました。

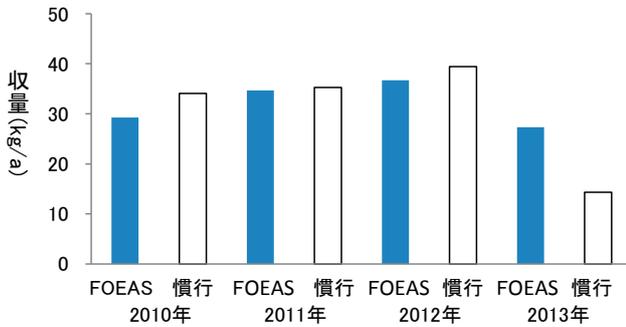


図4 大豆の圃場設備別の子実重(適期播)

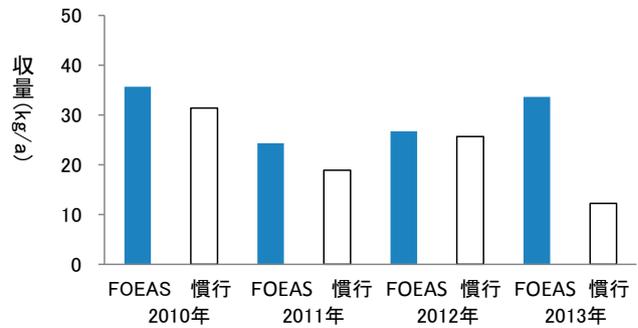


図5 大豆の圃場設備別の子実重(晩播)

播種期別の収量は適期播において概ね高くなりました（図6）。また、晩播、極晩播では FOEAS 圃場の収量が慣行圃場より高い傾向にありました。一方、FOEAS 圃場の適期播の一部は生育が旺盛になり倒伏が助長されたためやや低収となったと考えられます。これらのことから、FOEAS の活用は大豆の生育や収量の安定に寄与することが明らかになりました。

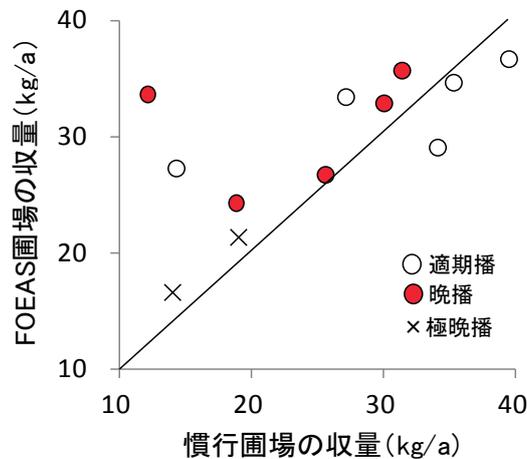


図6 FOEAS 圃場と慣行圃場の収量比較 (2010年～2013年)

(大分県農林水産研究指導センター 森山修志)

2-4-1 FOEAS 導入によるネギ・ブロッコリーの生産改善 (重粘土圃場)

1 水位制御

1) 栽培中の水位制御機器（水位管理器および水位制御器）の設定

重粘土圃場での畑転換時には排水性の確保が重要で、基本的には FOEAS の高い排水性を発揮させるような管理とします。ネギ・ブロッコリーの生育に最適な地下水位は既往の知見等から-30~-40cm 程度と考えられますので、地下水位は FOEAS の最低制御水位（圃場面から深さ 30cm）に設定します。ただし、重粘土圃場ではこの設定水位を維持することは困難です。降水量が少なく地下水位が低下していく状況では、圃場全体の水位は、自動給水しても、給水なしで暗渠を開放（水位制御器の内筒を取り外し）した場合とあまり変わりません（図 1）。これは、鋤床より下層では亀裂が生じない限り粗間隙がなく、毛管による水の浸透速度（毛管上昇速度）も極端に小さいので、水が補助孔以外には行き渡らないためです。そのため、試験でも、一時的に地下水位を圃場表面まで高めた場合（次項参照）を除いて、地下水位制御によるネギ・ブロッコリーの生育促進は見られていません。逆に、降雨が特に多い状況では暗渠を開放した方がよいでしょう。

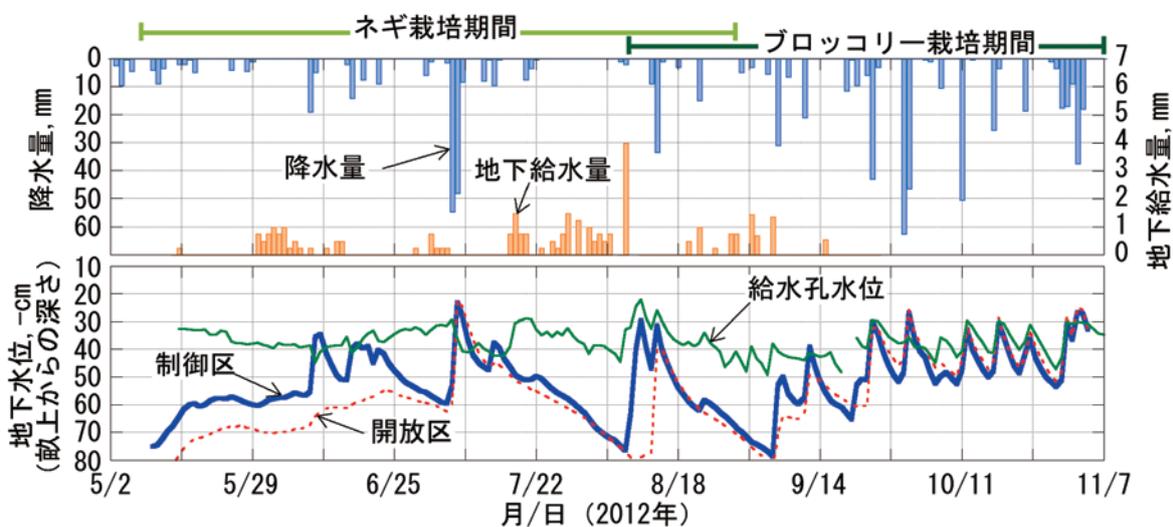


図 1 ネギおよびブロッコリー栽培期間中の地下水位、降水量、地下給水量(制御区)の推移
(2012年、北陸研究センター)。

栽培期間は、定植から収穫終了まで。地下給水量は、ブロッコリー定植直後の灌漑(図 2 参照)を除く通常の制御による給水量を示す。開放区は暗渠常時開放で地下給水無し。制御区の設定水位は-40cm であり、水位管理器は正常に動作していた(緑線)が圃場全体の地下水位は維持できていない。ただし、地下水位は畝上からの深さで表し、畝高さは約 10cm。

2) 地下灌漑の活用場面

灌漑を要する場面として定植直後が考えられます。特に、梅雨明け後の高温乾燥時期に

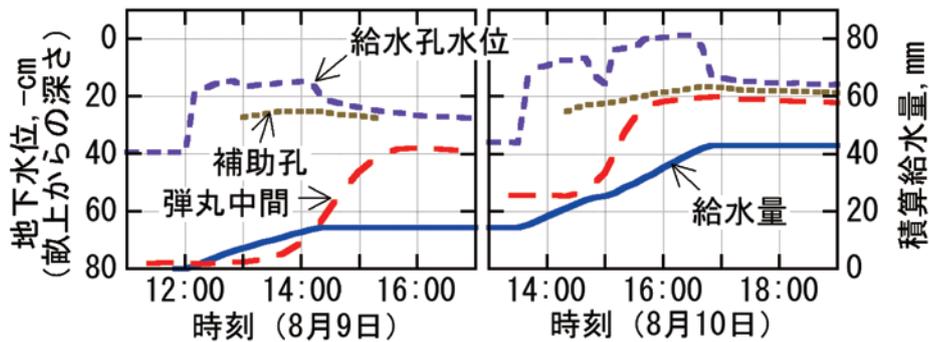


図2 ブロッコリー定植後の地下灌漑による地下水位の変化
(2012年、北陸研究センター)

定植を行う秋どりブロッコリーでは、定植後すぐに十分な降雨がない場合には無灌漑では著しく活着が悪くなります。FOEAS 圃場では地下灌漑により地表付近まで水分を供給することが可能です。地下灌漑では、地表灌漑（畝間灌漑）で懸念される、圃場内が部分的に過湿になったり、大流量の水により土壌構造が破壊されたり、といったことが生じにくいと考えられます。地下灌漑により地表付近まで水分を供給する場合、土壌が過湿になるのを防ぐため、できるだけ灌漑時間を短くした方がよい

かも知れません。そのためには水位管理者および制御器を最高水位（圃場面より高い位置）に設定して速い給水速度を継続させます。畝の最上面まで湿らなくても、植え付けた苗の根の深さまで湿る頃合いを見て給水を停止します。図2の例では、2日間合計で5時間程度、約43mm（10aあたり43m³の水量に相当）の給水により、地下水位は鋤床上まで上昇し、苗の植え付け深さ付近（深さ10cm）の土壌水分が十分に高められました。翌日以降は通常の地下水位制御の設定に戻しました。この定植直後の地下灌漑により、ブロッコリーの良好な活着と初期生育が得られ、地下灌漑なしに比べて生育が早まり増収しました（図3）。

施肥は、局所一発施肥とすると省力的で施肥量も削減できます。ただし、施肥位置の直上に苗を定植すると、定植直後に地下灌漑により表面付近まで給水する際に肥料やけによって苗が枯死してしまう危険性があるので注意が必要です。これまでの試験結果では、苗を植え付ける位置を施肥条から5cmくらい横にずらせば問題ありませんでした。

（農研機構 中央農業総合研究センター北陸研究センター 細野達夫・池田順一）

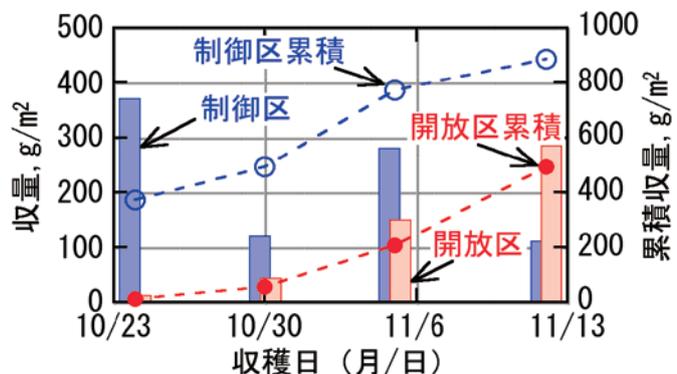


図3 地下灌漑の有無とブロッコリーの収量(2012年、北陸研究センター)

定植直後に制御区では地下灌漑、開放区では散水灌漑を実施

2-4-2 播種直後の高地下水水位制御によるニンジンの出芽改善

1 畝立て条件下における春播き栽培の発芽と地下水水位

1) 播種直後に降雨があった場合

高さ 10cm の畝に対し、播種後、畝表面から-15cm 一定で地下水水位を制御し、出芽の確認した後、排水管を開放して地下水水位制御を停止する「地下水水位制御区」と、排水管を開放したままの「開放区」の試験を行いました。図 1 は、2011 年の土壤水分と降水量です。この年は播種直後(3日)に少量の降雨がありましたが、播種後しばらくは、地下水水位制御区の土壤水分が高く、その後の多量の降雨により土壤水分に差が無くなっています。播種直後の降雨のため、出芽の開始時期は同じでしたが、出芽率は地下水水位制御を行った方が高くなり、良好な苗立ちが得られています(図 2、図 3)。

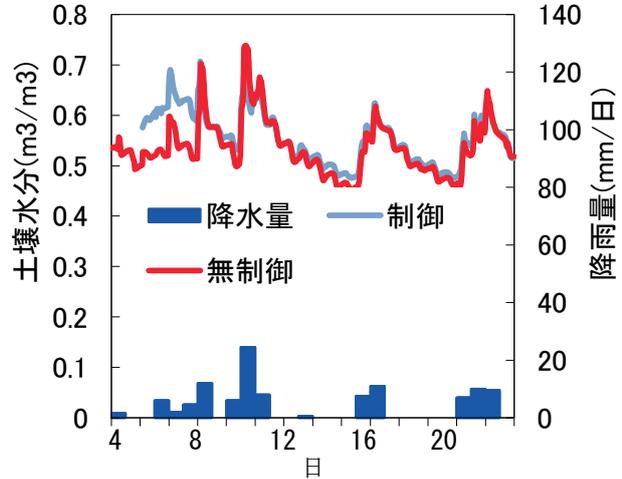


図1 地下水水位制御が畝表面から-10cm の土壤水分に与える影響(2011年5月、5日播種、17日以降、地下水水位制御は停止)

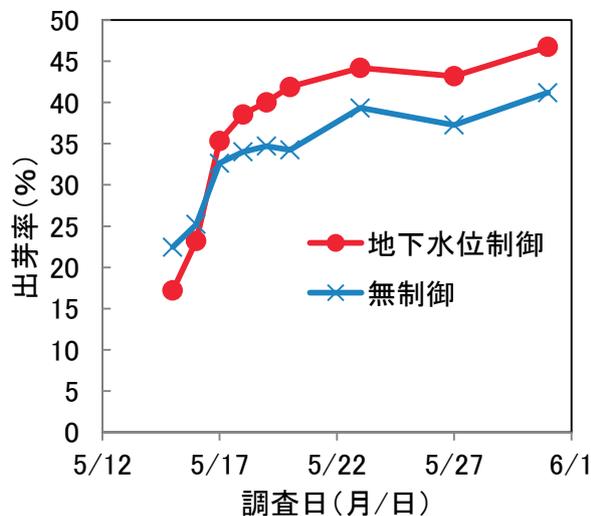


図2 春播き栽培における地下水水位制御が出芽率に与える影響(品種: ベータ 312)

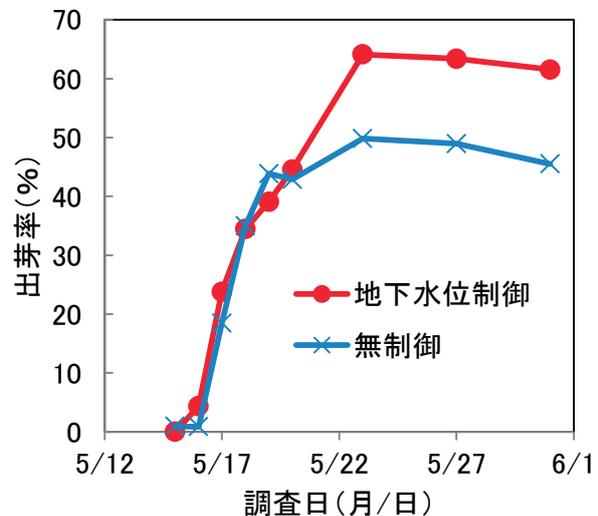


図3 春播き栽培における地下水水位制御が出芽率に与える影響(品種: 向陽 2 号)

2) 播種直後に降雨がなかった場合

図 4 は、2012 年の 2011 年と同様の試験を行った際の、土壤の水ポテンシャルと降水量です。この年も、播種後しばらくは地下水水位制御区で水ポテンシャルが高く、その後の多量の降雨で差が無くなりました。ただ、播種後 6 日間、降水が無く、開放区で出芽開始直後から出芽率が低くなりました(図 5、図 6)。このように、播種直後に降雨がない場合は、地下水水位制御の効果がより発揮されます。

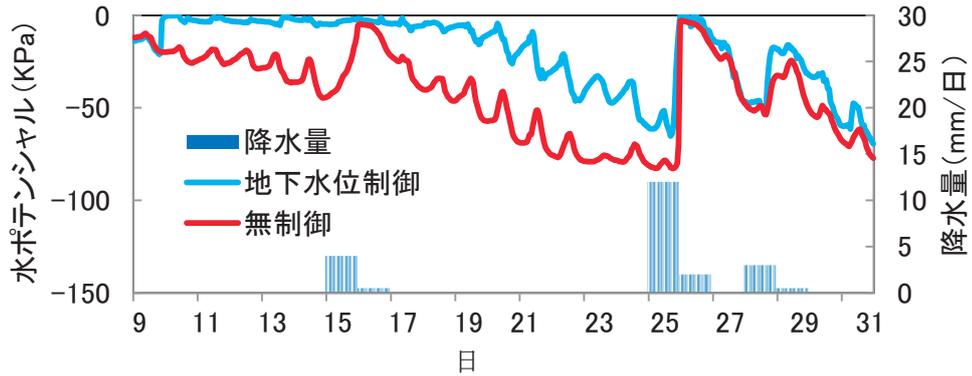


図4 地下水位制御が畝表面から-7 cmの土壌の水ポテンシャルに与える影響(2012年5月)

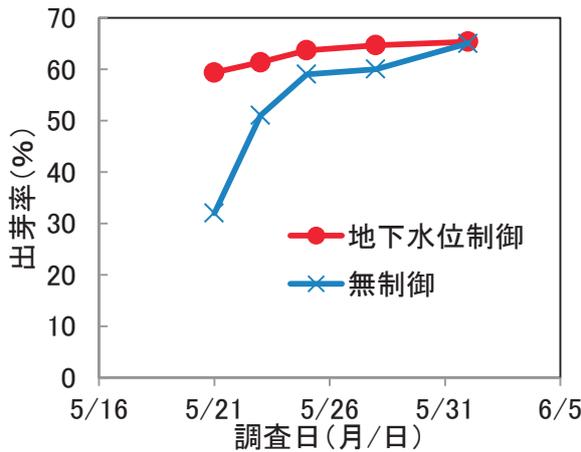


図5 地下水位制御が出芽率に与える影響
(品種:ベータ312)

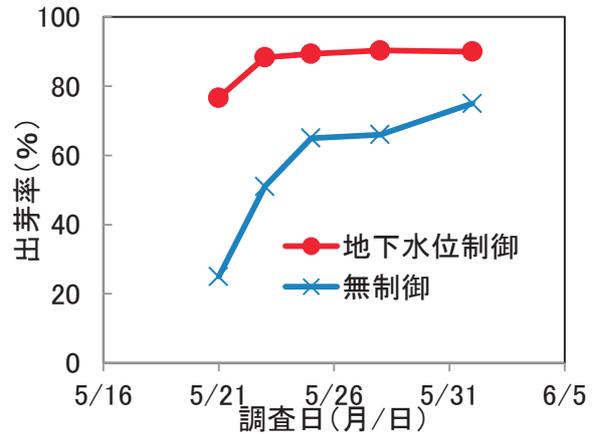


図6 地下水位制御が出芽率に与える影響
(品種:向陽2号)

2 畝立て条件下における夏播き栽培の発芽と地下水位

夏播きでも同様の地下水位制御試験を行ったところ、最終的な出芽率は無制御でも地下水位制御区と同等程度となったものの、播種後早期の出芽率は地下水位制御により向上しました。このように、地下水位制御を行うことにより、降雨がない場合でも出芽に要する日数が一定なることから計画的な生産が可能となります(表1)。ただし、平年に比べ約+4℃と非常に高温であった2012年では、無制御よりは高いものの、地下水位制御を行っても高い出芽率は得られませんでした(表2)。春播きでも気温が低温であった場合には、同様に発芽率と地下水位制御による効果が低くなっており、温度条件が出芽に不適である場合には、地下水位制御を行っても高い出芽率を得るのは難しいです。

表1 気温が平年並みの場合の夏播き栽培における地下水位制御が出芽率(%) (播種後11日目)

はまべに		小泉	
制御	無制御	制御	無制御
75.8	3.0	65.3	3.2

表2 気温が高温の場合の夏播き栽培における地下水位制御が出芽率(%) (播種後10日目)

はまべに		夏蒔鮮紅	
制御	無制御	制御	無制御
33.3	22.0	36.7	12.0

(農研機構 東北農業研究センター 松尾健太郎)

2-4-3 タマネギ、ブロッコリーにおける地下水位制御による地下灌漑の有効な生育ステージ

1 水田への野菜導入のために

水田転換畑に占める野菜生産は21.3%（平成15年度）と重要な位置を占め、野菜作に占める転作野菜の割合も増加傾向にあります（27.1%）。野菜生産は、高所得や周年的な労働力活用が図れる等メリットがあります。FOEASの排水機能に加えて灌漑機能を活用し、渇水期の野菜生産の収量と品質を確保することができます。野菜を導入した田畑輪換の作付け体系にはさまざまな種類があります。ここでは例として、盛夏期に定植するアブラナ科野菜（ブロッコリー）や、冬季の降水量の少ない時期に栽培するタマネギについて説明します。

2 ブロッコリー

1) 夏まき年内どりブロッコリーにおいて、少雨条件下（年間降水量の25%あるいは50%）の地下灌漑により、年間降水量相当を地表灌水する場合に比べて増収します。一方、標準降雨条件下で地下灌漑を行うと、かえって茎葉の生育を抑制し、花蕾重を減少させるおそれがあります。この作型は、ちょうど台風や秋の長雨のシーズンにあたり土壌湛水の危険性が高いので、地下灌漑を行う際の水位は-30 cm以上には上げないようにします。

2) ブロッコリーで灌漑の必要な期間は、活着期に加えて、葉面積の拡大と花蕾の発達が進む生育中期と考えられます（図1）。花芽が分化・発達するステージに十分な土壌水分を与え、乾燥による水ストレスがかからないようにします。一方、花蕾の収穫直前の灌漑は、収穫後の花蕾の日もちが短くなる傾向があるので避けます。

3 タマネギ

1) タマネギの根は、地下水位が高いほど伸長が制限され、根の深さが浅くなり根長が短くなります。試験では収穫時の葉重は対照区（年間降水量）>水位-40cm区（少雨）>水位-30cm区（少雨）（少雨は年間降水量の25%相当）でしたが、球重にほとんど差はありませんでした。すなわち、少雨年でも、設定水位-40cmの維持により、年間並みの降水量がある場合と同等の球重が得られると考えられます。

2) 秋まき初夏どりタマネギにおいて、全期間にわたる地下灌漑で得られる球重は、降水量（年間値の25%、50%、100%）にかかわらず、年間降水量相当を地表灌水する場合に比べて増加が図れます。

3) 収穫時の地上部および球の生育量は、全期間にわたって地下灌漑処理を行った場合に最も大きく、灌漑時期が遅くなるほどその効果は大きくなります（図2）。一方、球の乾物率は小さな球で高い傾向がありますが、地下灌漑と地表灌水による違いはみられません。

したがって、特に茎葉・根伸長期の後期から球肥大期にかけての灌漑が有効です。なお、収穫直前の灌漑は球の貯蔵性を悪化させるため、遅くとも倒伏期までには中止します。

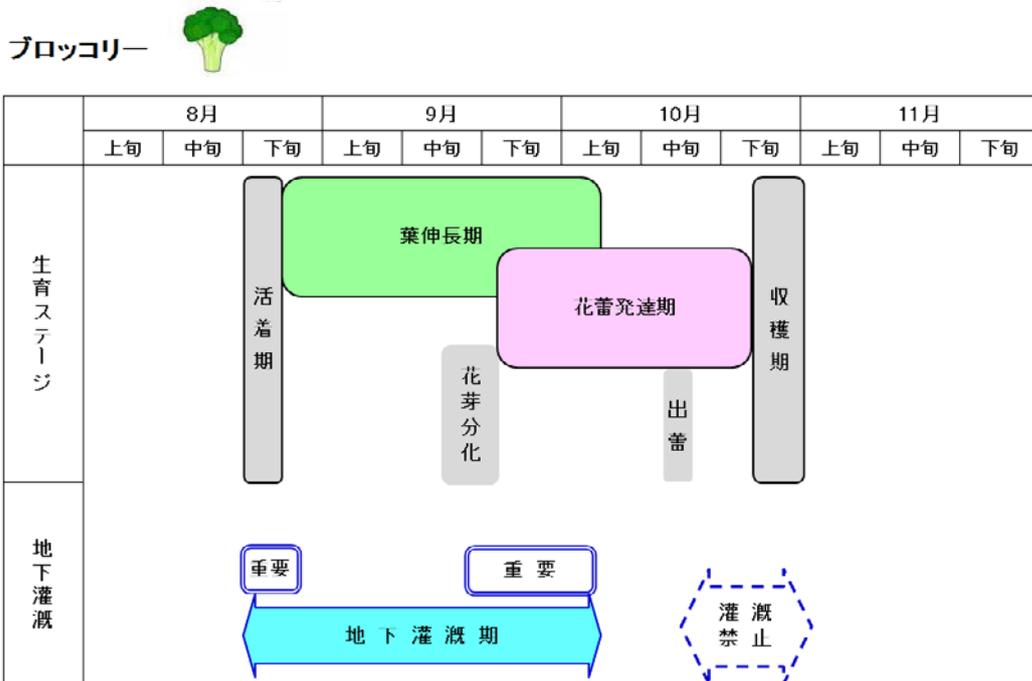


図1 FOEASによる地下灌漑を用いたブロッコリーの栽培暦例

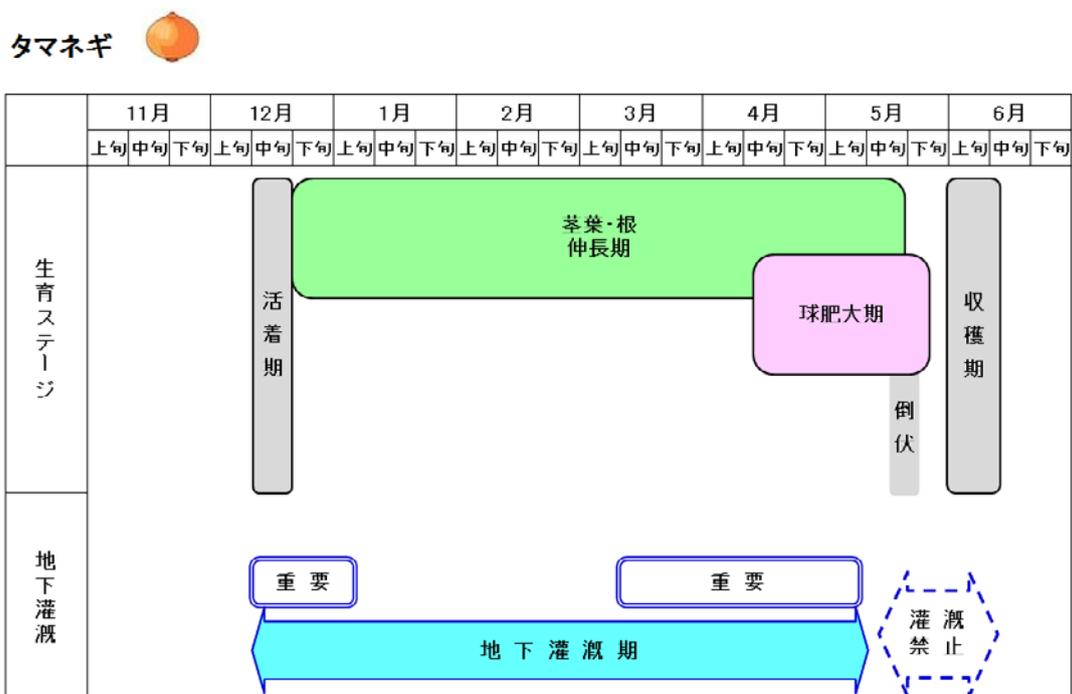


図2 FOEASによる地下灌漑を用いたタマネギの栽培暦例

(農研機構 野菜茶業研究所 中野有加・岡田邦彦)

2-4-4 FOEAS 導入による野菜作の生産改善事例

1 耕作放棄地の再生へFOEAS 導入による野菜生産(千葉県香取市)

1) 立地条件

本圃場は15年以上耕作が放棄されていた谷地田で、周囲には排水の悪い重粘土の湿田が多く存在します。谷あいなので冬場の圃場への日射量は極めて限られます。

2) 導入動機

耕作放棄地を解消し、転作作物を含めて安定した収量を得るために15筆95aの圃場でFOEASを施工し、5筆90aに整備しました。

地域振興品目の開発を目的に水稻以外の品目としてキャベツ、タマネギ、大豆、バレイショなどの栽培実証を通じて持続可能な営農体系の構築を目指しました。

3) 改善効果

長期間の耕作放棄、また、整地により地下の下層土壌が表土となったため、土壌分析結果に基づき、半年間の土づくり期間(堆肥投入・緑肥の栽培など)を設けました。

谷地田であり、山あいからの地下湧水対策は暗渠管を施工しただけでは不十分で、明渠を新たに設置してようやく野菜の作付ができた圃場も一部ありました。FOEASの施工により概ね畑地化することができ、5筆に再整備した圃場の上段2筆は、水稻-キャベツ、中段・下段の3筆はタマネギ、大豆、長ネギ、サトイモ、バレイショを供試しました。水稻(489kg/10a)、タマネギ(5.5t/10a)、バレイショ(2.9t/10a)、大豆(216kg/10a)は目標とする収量が得られました(図1、図2)。

FOEAS圃場を管理する法人として自ら栽培管理が可能な輪作体系を探索しましたが、法人への農地集積が進み、4月~5月および8月下旬~10月上旬は水稻以外に作業労力が割けない状況になっています。

また、水稻繁忙期以外の6・7・11月の作業が中心となる大豆、タマネギ、バレイショについては作業機械の導入が前提となるため、1haのFOEAS圃場だけでは機械導入に踏み切る判断ができない、バレイショについては水稻の作業時期と重複するため、適期防除ができないといった課題がありました。

こうした中で、産地(JA、千葉県)が普及拡大しようとしている晩生サトイモ「ちば丸」(図3)の栽培は、省力的な管理が可能で、6月植付け・12月収穫の作型で一定の収穫量が見込めることがわかりました。



図1バレイショの生育状況



図2倒伏前のタマネギ肥大



図3サトイモの生育状況

2 湿田地域へ導入による大豆-バレイショ1年2作体系(滋賀県長浜市)

1) 立地条件

滋賀県の琵琶湖沿岸は、肥沃な土地を有する水田地帯であると同時に、粘土質で水はけの悪い湿田が多い地域です。また、冬季に積雪が多いことから野菜作の導入は少なく、大規模の法人における水田転作では大豆や麦の作付けが中心です。

2) 導入動機

近畿地方でFOEAS導入事例が少なかったことから、平成22年6月にJAが管内のJA出資型法人にFOEASの導入をすすめました。97a(約32a×3筆)の圃場は、昭和40年代に圃場整備はされていましたが、暗渠が埋設されていなかったため、トラクターなどの大型農機がぬかるみにはまることも多く、麦、大豆は湿害のため低収になりがちでした。

3) 改善効果

圃場の利用効率を高めることを検証するため、大豆-バレイショの1年2作体系に取り組みました。施工後の圃場は排水性が向上し、大型農機での作業も計画通りに行えるようになりました。初年度の大豆作では、坪刈りで261kg/10aの収量が得られました。近隣の平均収量が150kg/10a弱であることから、適期での作業が行えたことや湿害を受けなかった効果が大きいと推測しています。

翌年の加工用バレイショ作では、3月定植7月収穫の作型で取り組みました。FOEAS未導入圃場が融雪後のぬかるみで定植が遅れたことに対し、FOEAS導入圃場ではほぼ計画通りに定植できました。坪刈り収量では、2.6t/10a(対照区では約1.0t/10a)を得ることができましたが、生産費や労働時間を考慮した目標収量の3.0t/10aには及びませんでした。

バレイショ収穫後、約3週間で大豆の播種となりましたが、計画的に作業が進み最終的な坪刈りで287kg/10aとなりました。翌年のバレイショ作では、融雪の遅れや4月に入っても降雪があり、FOEAS圃場においても定植作業が遅れました。このため、生育が遅れ均一な防除管理もできず、圃場全体での収穫量は1.0t/10a程度となりました。

FOEAS圃場は、排水性の高さから降雨後にも適期作業が行いやすく、防除管理等も計画的に行えることで収量向上につながります。また、同法人の代表は、野菜作導入によって現金収入を得られる時期が増える点を経営上のメリットとして挙げています。ただし、水田転作圃場で野菜の収量を確保するには、確実な土作りが必要であったり、雪による作業遅れに対しては個別の対策が必要であることも明らかになりました。



図4 大豆播種前の圃場



図5 バレイショ収穫時(平成23年6月末)

3 水田地帯への導入による野菜試験栽培(神奈川県平塚市)

1) 立地条件

神奈川県平塚市は、神奈川県下1位の稲作地帯です。一方で、東京、横浜などの大消費地の近郊という地の利を生かした野菜生産が盛んで転作も進んでいます。平塚市での水稻栽培は6月の田植え、9月中旬の収穫が一般的で、試験地の大神地域では水稻の栽培期間中、地域全体の地下水位が上昇するため、野菜への転作は水害のリスクが高くなります。そこで、当該地域においてFOEASを導入し、地下水位制御による野菜の栽培を試みました。

2) FOEASの施工

試験のため、隣接する3枚の圃場のうち2枚の圃場にそれぞれFOEASを施工し、1枚を対照圃としました。田植期における周辺水田の水位の上昇により、対照圃は湛水し畑作栽培は不可能となりましたが、FOEAS施工区では隣接圃からの水の浸入は埋設した遮水シートにより遮断できました(図6)。しかしながら、排水路の水位上昇に伴い、FOEASの排水口から水が逆流し、水田へ大量の水が流入しました。このため、排水口を塞ぎ、FOEAS制御器からの排水をパイプラインで新たに設置した貯水タンクに誘導しました。貯水タンクには水中ポンプを設置し、排水路の水位より高い位置から自動的に排水する仕組みとしました(図7)。この結果、FOEASによる地下水位の制御が機能するようになりました。



図6 FOEAS施工直後の圃場(右)と排水路(左)

3) 改善効果

上記圃場で地下水位を-30cmおよび-60cmに設定し、キャベツ、レタス、タマネギ、バレイショ、加工用トマト等を栽培しました。一定水位で栽培した結果、初期生育を除き、いずれの作物でも-60cm設定の生育が優れ、収量も多い傾向にありました。このため、苗の活着期には地下水位を上げ、生育が進むにつれ-60cmまで地下水位を下げる管理が好ましいと思われました。しかし、水稻栽培期間は地域全体の水位が常に高い状態にあり、突発的な豪雨や台風などで周囲から畦畔を超えて大量の水が圃場に流れ込み、野菜作に被害をもたらすことが見受けられたことから、当該地域では5月どりキャベツや早生タマネギ、バレイショのマルチ栽培といった9月中旬~5月末までの期間で栽培できる作物が適しているといえます。

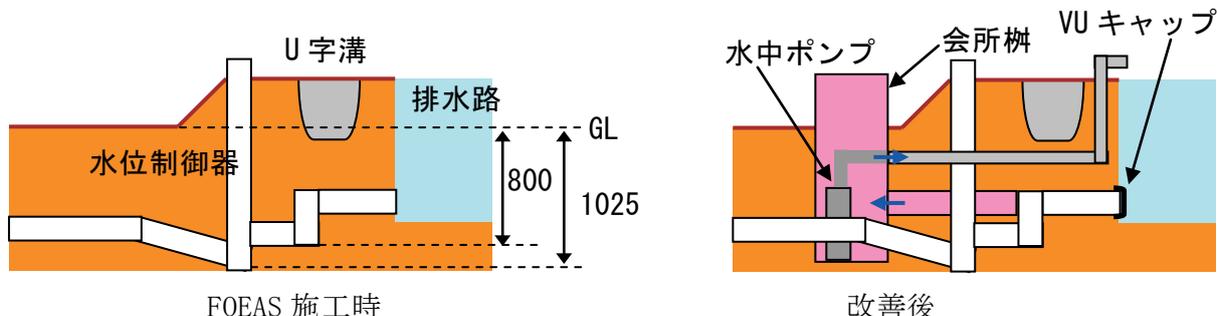


図7 排水路水位が高くなっても排水を確保するための施工例

4 重粘土壌水田へのFOEAS 導入によるキャベツ生産(山形県東置賜郡)

1) 立地条件

圃場は山形県置賜地方のほぼ中央に位置し、盆地特有の気候や肥沃な土壌によって良質な米が作られる日本有数の米どころにあります。周辺を見渡しても水田ばかりで、転作品目を栽培しても重粘土壌での安定生産は困難なため、排水不良を改善して何でも作ることができる圃場作りが地域で求められていました。

2) 導入動機

基盤整備後 50 年以上が経過していた地区に経営体育成基盤整備事業を活用して 93.5ha の水田に FOEAS を導入する計画があり、これに先駆けて同地区の 30a 水田に FOEAS 実証圃を施工しました(図8)。FOEAS の本格導入前に受益者が FOEAS の特性を理解し、適正な管理方法を習得してもらうための小規模栽培実証を行う場として、平成 23 年夏から加工用キャベツ生産に取り組みました。

3) 改善効果

初年度は、当初予定していた定植日前後の 3 日間で累計 112 ミリの降雨があり、圃場も一時的に冠水するほどの大雨でしたが、FOEAS 圃場は排水が良好で、4 日後には定植機を使ってキャベツ苗を定植することができました。また、定植後の 2 週間は 8 月でほとんど降雨がありませんでしたが、問題なく苗が活着し、生育も順調でした。最終的に 10 月下旬には品種に関わらず 10a あたり 7 トンのキャベツが出荷されました。

また、翌年には 7 月どりキャベツの栽培試験を行い、一部で軟腐病個体があったものの出荷にはほとんど影響なく、10a あたり 5 トンを出荷することができました(図9)。

夏秋どりキャベツの平均単収は 10a あたり約 2 トンしかない山形県において、FOEAS 圃場では、大きな増収効果が見られたことから、JA の担当者からは「水田跡地でのキャベツ作としては上出来」との評価が得られました。

4) 圃場のメンテナンス

現在、この地区ではすでに約 40ha 以上で FOEAS が施工完了または施工中となっています。FOEAS 施工後 3 年目を迎える圃場もありますが、徐々に排水性が悪化した圃場や、排水不良の改善が見られない圃場も一部で確認されています。原因は現在も調査中ですが、補助孔(弾丸暗渠)の閉塞や施工密度不足も想定されることから、施工後も定期的にメンテナンスを行うことが必要です。具体的には、圃場の特性に合った条件(暗渠数、頻度)で弾丸暗渠の再施工を行い、その後、一定期間圃場を乾燥させて心土層に亀裂(水みち)を作るよう指導しています。(全農 中西一泰、山川紳哉、村岡賢一、東野裕広、阿部浩人)



図8 FOEAS 施工時に掘削した地表面



図9 FOEAS 圃場でのキャベツ収穫

2-4-5 北海道におけるハクサイに対する地下灌漑の効果

1 ハクサイは土壌水分管理が重要

ハクサイは土壌が乾燥すると生育停滞や生理障害の発生が助長されやすく、灌漑の必要性が高い作物です。しかし、土壌が過湿になっても生育に悪影響を及ぼします。高品質安定生産のためには、土壌水分を適正に管理することが重要です。



写真 干ばつ時におけるハクサイの生育(6月上旬移植、移植後1カ月)

2 土壌乾燥時の灌漑で収量は安定

ハクサイの規格内収量に対する地下灌漑の効果は、降水量の多少(土壌の水分状態)により異なります。降水量の少ない条件では、灌漑を実施することで、乾燥による減収を回避する効果が認められます。

一方、降水量の多い条件では、土壌の水分状態を考慮せず常時灌漑を実施した場合、かえって減収する場合があります。したがって、降水量の多少にかかわらず土壌の水分状態を確認し、土壌が乾燥している条件でのみ灌漑を実施することで、安定して高い収量が得られます。

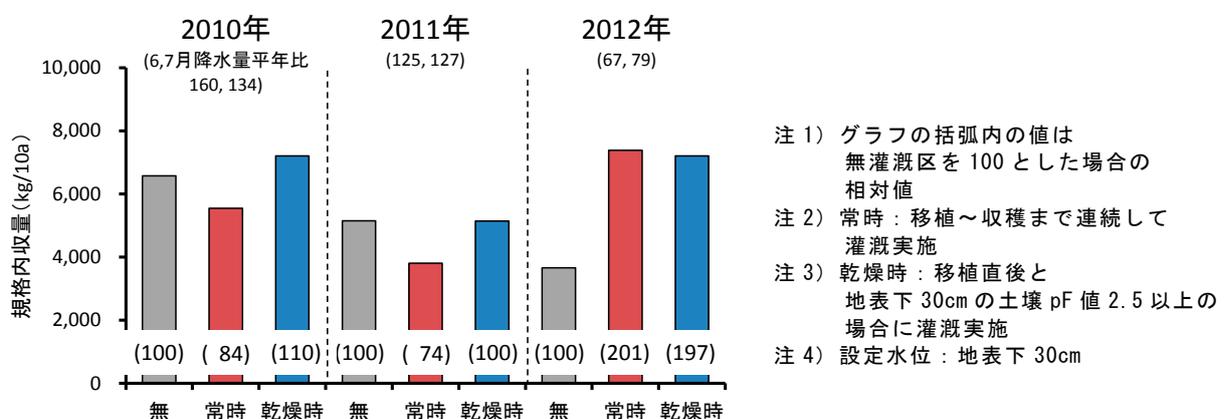


図 ハクサイの規格内収量に及ぼす地下灌漑の影響(6月上旬移植)

2-5-1 地下水位制御と雑草管理

1 雑草管理の基本－良好な大豆生育を確保－

地下水位制御システム圃場の雑草管理は、慣行圃場と基本的に異なることはありません。適正な地下水位制御により大豆の出芽・苗立および生育が良好となれば、大豆による被陰で雑草の出芽や生育が抑えられ、大豆が雑草に対して優位に育ちます。

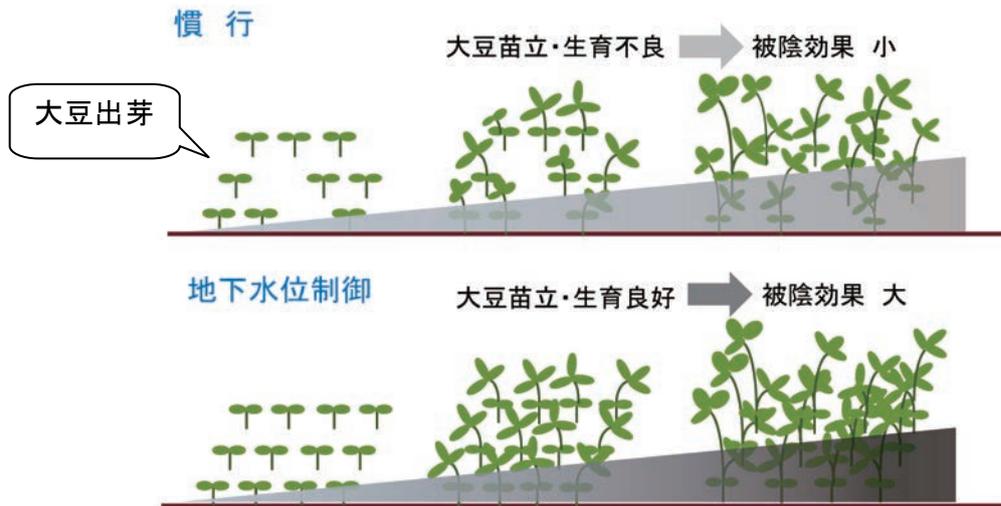


図1 地下水位制御圃場での大豆生育と被陰効果

2 雑草の出芽が増えることがあるので、初期防除は大切です

地下水位を上げると雑草の出芽が早く本数も増えることがあるので、適期防除をしっかりと行います。雑草の出芽数が多い場合は、初期防除に加えて生育期茎葉処理剤で雑草を防除します。初期防除がうまくいけば、その後は大豆が雑草を抑えてくれます。

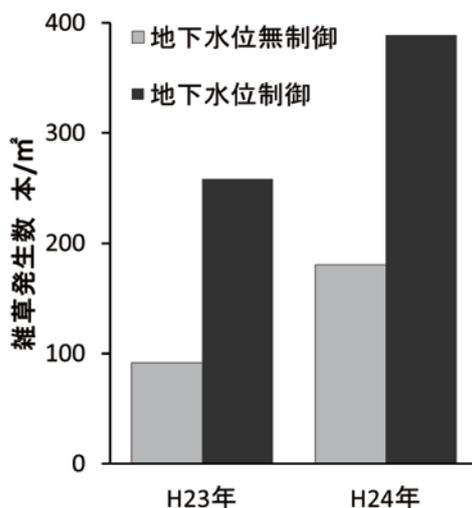


図2 大豆作で初期に地下水位を上げたために雑草が増えた事例（東北研）
地下水位制御：大豆播種後の2日間だけ地下水位12~13cmで管理し、その後は無制御

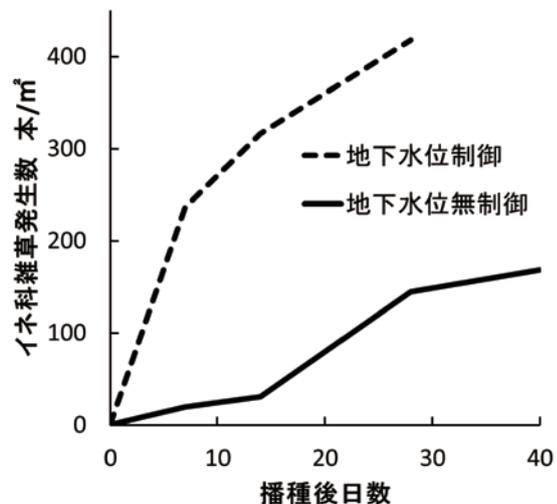


図3 水稲乾田直播栽培で初期に地下水位を上げたためイネ科雑草が多発した事例（九州研、平成24年）
地下水位制御：水稲播種後の1日間だけ土壌表面まで水位を上げ、その後は無制御

3 地下水位制御で雑草の出芽が増える理由

雑草種子の発芽には酸素、光、一定以上の温度、そして十分な水分が必要です。特に土壌水分は圃場条件や天候に左右され、それにより雑草発生は大きく影響されます。よく耕起された圃場では雑草種子は作土層中に攪拌されて全体に分布しますが、発芽して出てくるのは主に土壌表層の種子です。土壌表層の種子は降雨などで良く湿ったときに発芽しますが、土壌表層が乾燥していれば雑草の出芽は少なくなります（図4左）。不耕起圃場では土壌表面に雑草種子がまとまって存在しますが、やはり降雨が無ければ土壌表面は乾燥しますのであまり出芽しません（図4右）。

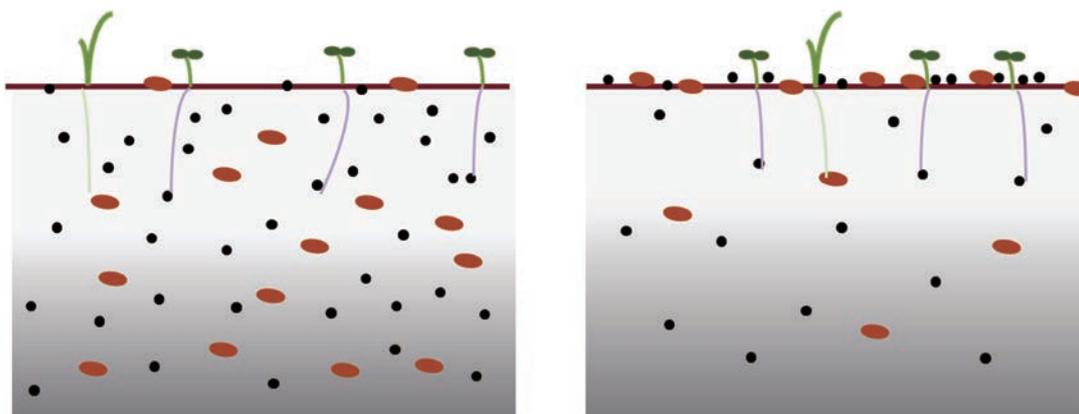


図4 一般圃場での雑草種子の土中分布と出芽の様子
（左：耕起圃場、右：不耕起圃場）

FOEAS 圃場で地下水位を高く設定すると、土壌表層まで水分が上がってきて表層までよく湿ることがあり、そのような場合は土壌表層の雑草種子が一斉に出芽します（図5左）。不耕起圃場での土壌表面の雑草種子も、土壌表面が湿潤になると出芽します（図5右）。

このように、地下水位を高く設定すると、もともと出芽しやすい土壌表層・表面の雑草種子が一斉に多発する場合があります。

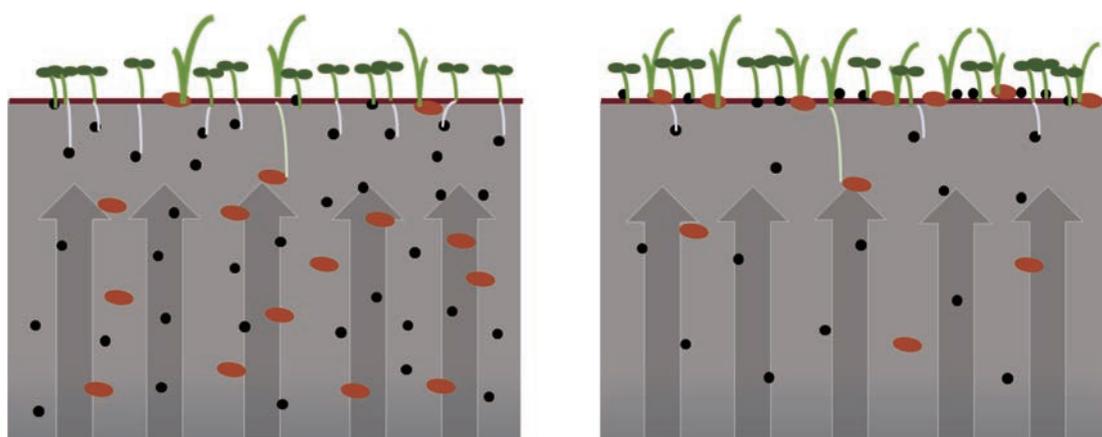


図5 FOEAS 圃場での雑草種子の土中分布と出芽の様子
（左：耕起圃場、右：不耕起圃場）

（農研機構 中央農業総合研究センター 渡邊寛明、今泉智通）

（農研機構 東北農業研究センター 中山壮一）

（農研機構 九州沖縄農業研究センター 小荒井晃）

2-5-2 雑草の種類による違い

1 湿った土壌では草種に関係なくよく出芽します

十分に土壌が湿った条件だと雑草種子の多くは出芽しますが、降雨がなく乾燥状態が続くとまったく出芽しません。このことは、湿潤条件が好きなイヌビエやアメリカセンダングサも過湿を嫌うホソアオゲイトウやオオイヌホオズキも同じです(図1)。どんな雑草でも出芽には十分な水分が必要なのです。

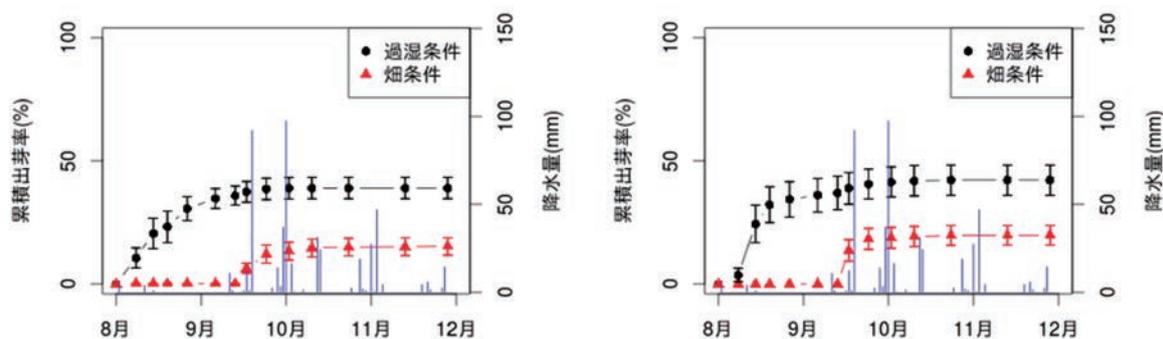


図1 土壌水分と雑草の発生消長

左：イヌビエとアメリカセンダングサ、右：ホソアオゲイトウとオオイヌホオズキ

2 湿潤管理による埋土種子の死滅・激減はあまり期待できません

地下水位を上げて過湿状態にしても、過湿であるだけでは雑草の埋土種子が死滅することはありません。過湿を嫌うホソアオゲイトウのような畑雑草でも、地下水位を上昇させて土壌水分を高めても生存率は大きく変わらず、埋土種子を大幅に減らす効果はあまり期待できません(図2)。

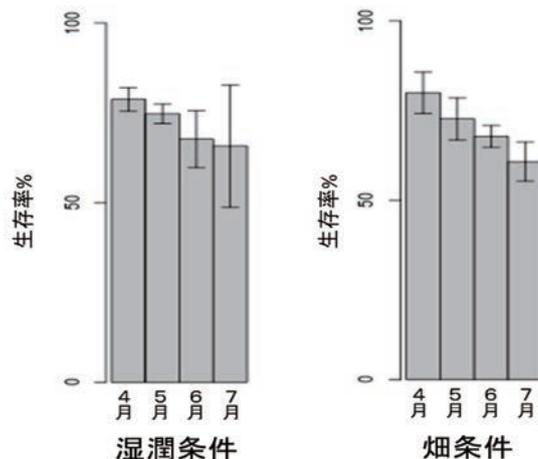


図2 土壌水分条件とホソアオゲイトウの埋土種子の生存率

前年12月から湿潤条件(地下水位制御)と畑条件(成り行き)に設定した土壌中に種子を埋め込み、翌年4~7月に生存率を調査した

3 湿潤条件が好きな雑草

雑草には湿潤条件が好きな雑草と過湿を嫌う雑草があり、それぞれの好適な水分条件で旺盛に生育します。地下水位を高めた場合には、湿潤条件を好む雑草が大きく生長して繁茂する可能性があるため特に注意して下さい。

イヌビエ、アメリカセンダングサ、クサネム、コゴメガヤツリなど、田畑共通の雑草は湿潤を好む傾向があります。また、ハルタデやオオイヌタデは、水稻作では発生しませんが転換畑などの湿潤条件を好む雑草です。



イヌビエ

アメリカセンダングサ

クサネム

オオイヌタデ

4 過湿条件を嫌う雑草

シロザ、ヒユ類、ホオズキ類、メヒシバなど、畑雑草の多くは過湿を嫌う傾向があり、適湿・乾燥圃場で繁茂しやすい傾向があります。湿潤条件で出芽した多くの個体が、その後、適湿条件となると旺盛に生育することがあるので、これらに対しても初期防除が大切です。



シロザ

ホソアオゲイトウ
(ヒユ類)

ヒロハフウリンホオズキ
(ホオズキ類)

メヒシバ

(農研機構 中央農業総合研究センター 今泉智通、渡邊寛明)

3-1 補助金によるFOEAS 導入事例における経済性評価

1 FOEAS 施工試算事例

平成 23 年度に FOEAS を施工（表 1）した宮城県内 A 地区 2 期工区(29.8ha)について計算したところ、施工費は 10a 当たり 190 千円、年償却費 15 千円でした。なお、本地区の施工費のうち自己負担分は 10%（年 1.5 千円）です（表 2）。

FOEAS を導入する条件として、施工後の野菜導入や、大豆の労働費および償却費の削減効果によって得られる所得が、FOEAS システム導入による年負担額を上回る必要があります。

表 1 FOEAS 施工経費試算概要

FOEAS設置面積	2期: 29.8ha(平成23年施工)
方式	アーム式ベストドレーン施工
仕様	FOEAS ecoタイプⅣ
土壌	重粘土
暗渠素材	もみがら
排水性	不良
調整コスト	事業導入・変更の際に、実行委員会による話し合い10回×10人×2h、および現地視察(県内外)2回×20人×6h実施(1,340円/hで計算)
資産形成部分	10%と仮定
耐用年数	ポリエチレン・塩ビ管 8年 ステンレス製 12年 水閘部分 20年

表 2 1ha 当たり FOEAS 工事費試算(千円)

工事費	1,552
人件費	278
調整コスト	280
資産形成部分	211
総施工費用	1,899
10a 当たり施工費	190
年当たり償却費	150
10a 当たり年償却費	15
10a 当たり実質負担額	1.5

2 導入効果事例

地形や暗渠施工方法等により異なりますが、FOEAS 施工では小排水路の深さが従来暗渠よりも浅く排水路側の土手が低いので、排水側の草刈り作業の軽労化に結びついている事例もあります（表 3）。

表 3 排水路草刈り作業の比較

	小排水路の 法面面積 (m ² /ha)	所要時間 (分/ha)	草刈作業に 係る労働費 (円/ha)	光熱水費 (円/ha)	年間管理 費用 (円/ha)
FOEAS施工	52.5	26.6	594	99.5	2,773
従来施工	93.5	30.9	690	135.6	3,303

※小排水路の長さを1ha当たり100mとして算出した。

労働費は1340円/hrとした。



図 小排水路での草刈り作業比較(左:従来施工圃場 右:FOEAS 施工圃場)

3 FOEAS が導入された水田が有効活用されるための条件

宮城県内 5 か所、県外 2 か所の導入事例調査より、FOEAS による水田の有効活用を進めるために下記のような条件が指摘されています。

- ①地下かんがい機能の十分な理解 ②能動的な取り組み姿勢と目的の明確化
- ③収益と労働力の確保 ④関係機関等による支援体制
- ⑤まとまった規模での導入 ⑥通水期間の拡大

表4 地下かんがい導入事例の聞き取り調査一覧

調査No.	1	2	3	4	5	6	7
栽培品目	水稲 飼料用米(湛直) (大豆)	水稲 大豆	水稲 大豆 小麦 WCS キャベツ (とうもろこし)	水稲 大豆 小麦 とうもろこし ブロッコリ (こかぶ) (ほうれんそう)	水稲 キャベツ トマト ねぎ 大豆	青ネギ ほうれん草	水稲 大豆 小麦 そば さといも えだまめ 青菜
施工面積	70ha	12ha	106ha	210ha	91ha	0.8ha	250ha
担い手の状況	転作組織および 個人農家	個人農家	主に集落営農組織	主に集落営農組織	個人農家	個人農家	主に集落営農組織
導入に至った経緯	改良区からの薦め	改良区からの薦め	改良区からの薦め	生産者からの要望	生産者からの要望	生産者の判断 (個人で施工)	生産者からの要望
情報収集の手段			改良区職員	施工業者など	国の研究機関	施工業者、印刷物、 県外農家	県
導入の決め手	・改良区の判断	・改良区の薦め ・疎水材の耐久性向上 ・排水性の向上	・用水不足の解消 ・疎水材の耐久性向上 ・排水路管理作業の負担軽減 ・地下灌漑機能 ・排水性の向上 ・直播導入	・地下灌漑機能 ・用水に係るランニング コストの低減 ・排水路管理作業の負担軽減 ・転作物の管理作業 負担軽減 ・転作物の収量増 ・園芸品目導入	・排水性の向上 ・作業の効率化 ・輪作体系が可能	・排水性の向上 ・生産コストの低減 ・収量増 ・初期投資額の低減	・排水性の向上 ・用水不足の解消 ・助成金の増額
事前研修			現地視察	現地視察	現地視察、研修会、 実証圃の設置	現地視察	不明
導入して良かったこと	・排水性の向上	・排水性の向上 ・干ばつ時の地下灌漑	・地下灌漑による定植 後の活着促進 ・干ばつ時の地下灌漑 ・収量増 ・計画的な作業の進行	・排水性の向上 ・作業の効率化 ・干ばつ時の地下灌漑 ・計画的な作業の進行 ・労力の削減 ・新技術の導入	・排水性の向上 ・作業の効率化 ・輪作体系が可能 ・排水路管理に係る労力の削減 ・干ばつ時の地下灌漑 ・栽培体系の改善	・排水性の向上 ・生産コストの低減 ・収量増	・栽培体系の改善(計 画的な作業) ・排水性の向上 ・生産コストの削減 ・労力の削減(効率的な 作業)
今後の課題など		・一部ほ場で排水性の 改善	・疎水材の耐久性 ・野菜での収益性確保	・より効率的な野菜 作目の選定 ・専従従業員の雇用	・作目に応じた水利権 の取得 ・土壌条件や作目に あつた使用方法の習得	・規模の拡大→施工費 が割高 ・付加価値のある販売	・専従従業員の雇用
備考		3集落にまたがっており、 土地の利用調整が出来 ない。					FOEASとは異なる暗渠シ ステムで地下灌漑を行っ ている

※栽培品目について、()は以前作付けしていた品目。

※網掛けは地下かんがい導入により水田の有効利用化に積極的な意見。

(宮城県農業・園芸総合研究所 石川志保、伊藤和子、宮城県古川農業試験場 星信幸)

3-2 自前によるFOEAS 導入事例における経済性評価と導入条件

1 FOEAS 導入コストの算出方法

FOEAS は、生産基盤工事に相当します。その特徴を踏まえて、導入コストの算出には、以下の点を考慮して下さい。

- ①事業費用総額から、FOEAS 設置とは直接的に関連しない施工費を控除。例えば、農地の区画整理に関する費用など。
- ②設置工事に自家労働等を提供した場合は、その人件費（評価額）を加算。
- ③事業に伴う地権者、農業組合、土地改良区、市役所への許可申請などの調整にかかった時間等の評価額（調整コスト）の加算。
- ④水田の価値向上による資産形成分の控除。通常は、施工費総額の 10～30% で評価。
- ⑤資材の改修時期の違いを考慮した耐用年数の設定。

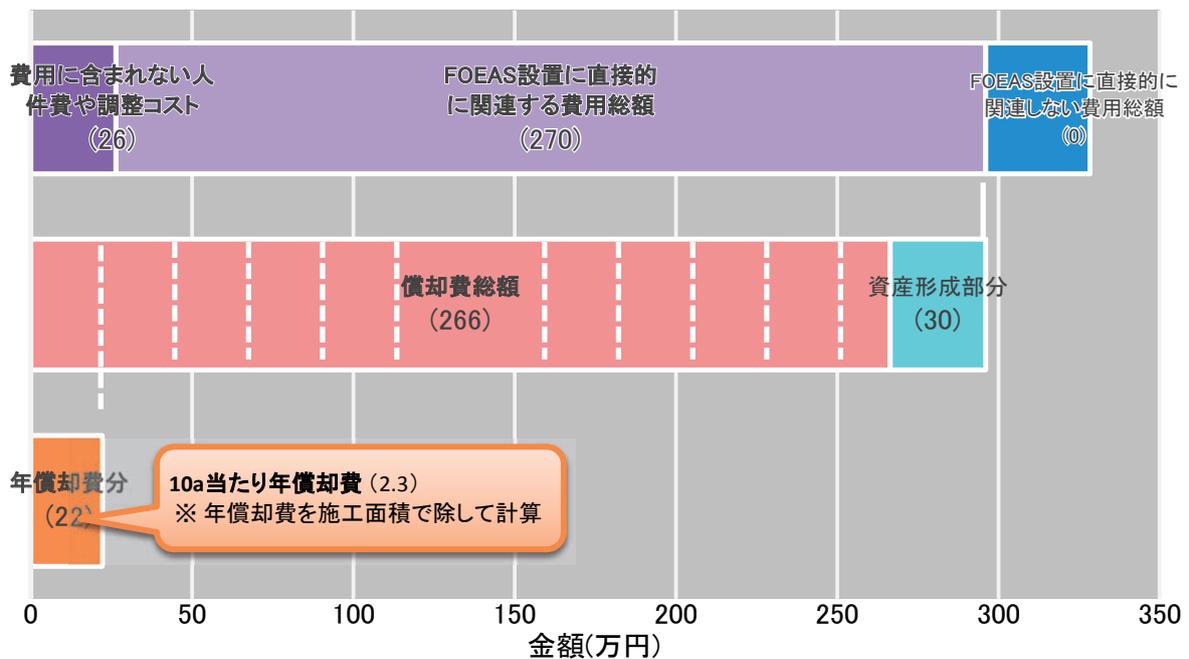


図1 FOEAS 導入コストの算出方法

注：括弧内の金額は、G法人が2010年6月に施工面積96.9aで実施した例です。

2 自前によるFOEAS の導入コスト

自前でFOEASを導入したG法人における導入コストは、10a当たり年償却費22,831万円でした（2010年6月施工、施工面積96.9a）。G法人では、2011年12月にも事業費の助成を利用して90.9aを施工しました。この時の導入コストは、10a当たり年償

却費 22,508 円でした。したがって、1ha 規模で FOEAS を導入する場合は、10 a 当たり年償却費が 2 万円強の水準になります。

なお、事業費の助成を利用した場合は、導入コストの実質負担額は、その水準よりも減額されます。G 法人でも、助成を利用した 2011 年 12 月施工の 10 a 当たり実質年負担額は 5,627 円になります。

3 大豆生産における FOEAS の経済性

強湿田のために麦・大豆等の畑作物生産が困難な水田に対して、FOEAS を導入すると、飛躍的に収量が向上します。そのような水田では、大豆生産における FOEAS の経済性は高いです。例えば、強湿田において大豆がほとんど生産できない（10 a 当たり収量 0kg）場合、FOEAS を導入することで 10 a 当たり収量 200kg が達成できた場合を考えてみます。この場合、助成金を含めた収入から生産に関する費用合計を差し引いた収益は、10 a 当たり 57,636 円（60kg 当たり 17,291 円）であり、FOEAS の導入コストである 10 a 当たり年減価償却費 22,831 円を十分に上回る水準となり、十分な費用対効果が期待できます。

また、大豆が一定程度生産できる水田においては、導入前に比べて導入後の 10 a 当たり 76kg の収量増加が期待できれば、導入の効果が期待できます。

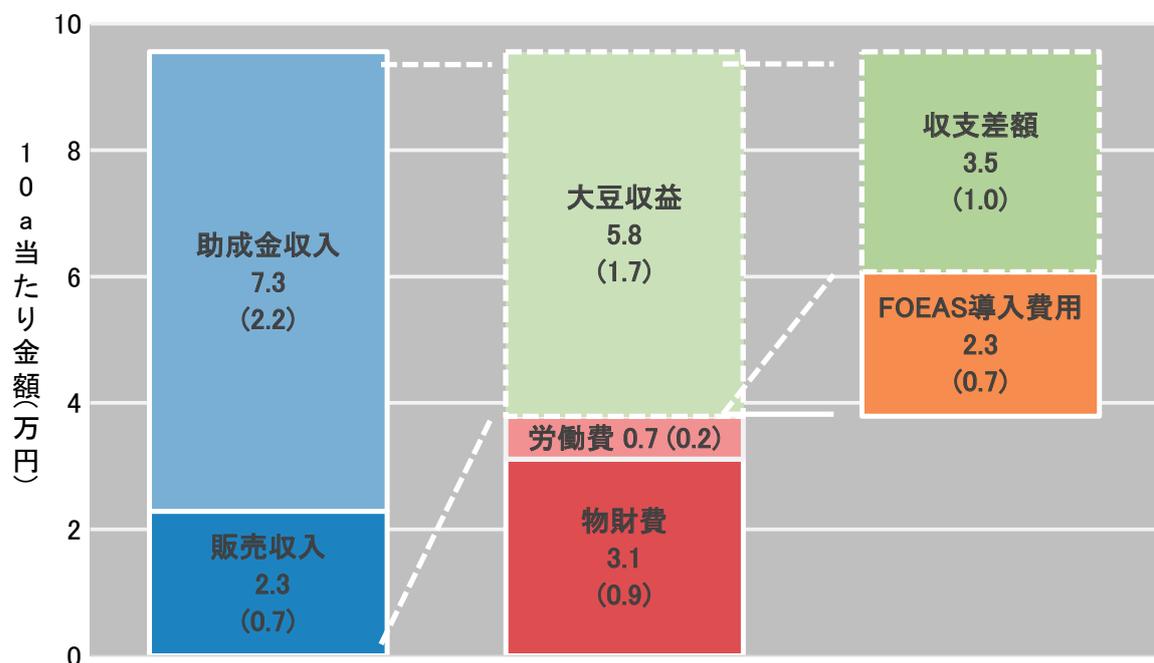


図 2 大豆生産における FOEAS の経済性

注：1)大豆収量は 200kg/10a を仮定した試算です。

2)括弧内は 60kg 当りに換算した時の金額です。

3)G 法人における平成 23 年産の販売価格、助成金、費用をもとに算出しています。

4 FOEAS 導入による稲・麦・大豆作経営への影響

排水性に違いのある水田を利用して、稲・麦・大豆を生産する経営では、作物の最適な組み合わせ等を考えた場合に、必ずしも大豆生産における FOEAS の効果がそのまま反映されるとは限りません（図 3 の分析 1）。また、FOEAS における麦・大豆の収量が、排水性が通常的な水田（通常田）と同程度の水準しかない場合も、FOEAS を導入する効果は少ないと考えられます（図 3 の分析 2）。

稲・麦・大豆作経営において、FOEAS の導入効果が期待できるのは、麦・大豆の収量が通常田よりもおおよそ 0.5 俵の収量増加が期待でき、かつ麦・大豆の二毛作を行うことが重要になってきます。さらに、より省力的な大麦の収量が向上すれば、FOEAS を導入面積も拡大します（図 3 の分析 3）。

水田種類	収量 (kg/10a)			水田種類別の作付構成	FOEAS 導入	限界利益 (万円)
	水稲	大麦	大豆			
《基本》						
通常田	450	200	180		-	3,264
排水不良田	360	x	x			
FOEAS 田	-	-	-			
《分析1》						
通常田	450	200	180		不採用	3,264
排水不良田	360	x	x			
FOEAS 田	420	x	200			
《分析2》						
通常田	450	200	180		不採用	3,264
排水不良田	360	x	x			
FOEAS 田	420	200	180			
《分析3》						
通常田	450	200	180		採用	3,364
排水不良田	360	x	x			
FOEAS 田	420	246	210			

図 3 FOEAS 導入による稲・麦・大豆作経営への影響

注：1) 収量の「x」は、その水田種類での作付ができない(しない)条件であることを示します。

2) 限界利益とは、農産物の販売収入から生産面積に応じて比例的に発生する変動費を控除した金額です。この限界利益から減価償却費や常時雇用労働費等の固定費を控除すると農業所得になります。

3) 地下水位制御システムの減価償却費は、本来、固定費になりますが、この分析では、10a 単位で変動的に導入できるものと仮定し、変動費として取り扱っています。したがって、限界利益からは、既に地下水位制御システム導入に伴う導入コストが控除されています。

5 稲・麦・大豆作経営への導入条件

稲・麦・大豆作経営が FOEAS を導入するには、以下の条件になると考えられます。

- ①FOEAS の導入コストが 10 a 当たり年償却費 2.3 万円前後より少ないこと。
- ②麦・大豆の 10 a 当たり収量について、排水性が通常的な水田より、地下水制御システムを導入した水田方が、少なくとも 0.5 俵から 1 俵の収量増加が期待できること。
- ③FOEAS を導入した水田では、単作ではなく、麦・大豆等の二毛作で利用されること。

<関連資料>松本浩一、梅本雅、澤田守 2013. 汎用化水田の導入による水田作経営の展開可能性—地下水位制御システム導入の経営的評価—, 農業経営研究 51(2), 25-30.

(農研機構 中央農業総合研究センター 松本浩一、梅本雅、澤田守)

4-1 広域の排水条件の確保

排水路の水位管理の重要性

排水路には、システムの他に通常の暗渠排水管等の出口もつながっています。このため、排水路の水位が上昇すると、暗渠管やシステムの出口が水没し排水能力が低下します。さらに水位が上昇する状況が生じると、これら出口を通じて排水路から水が逆流してしまう事態も生じます。このような事態は、平坦地や干拓地など幹線排水路の出口に排水機場（ポンプにより強制排水を実施）が設けられているほ場条件の地域で生じる場合が見受けられます。排水機場の運用による排水路の水位管理や、排水口に逆流を防止するための逆流防止弁の設置など、システムが機能するための対策が課題となります。



図1 排水路水位と暗渠の出口の状況
(左：水位が低い（赤が暗渠出口）、右：水位が高い（暗渠出口が水没）)

また、営農対策として、水稻と大豆などの畑作物をブロック単位でまとめ、排水路に水が流入するリスクを避ける取組みも、排水路の水位管理を徹底する上で必要です。



図2 ブロック単位で作物栽培

(山口県農林総合技術センター 同前浩司)

4-2 FOEAS の維持管理 — 暗渠管に溜まった土砂の排出 —

1 地下灌漑に伴う土砂の堆積と排出に配慮したシステムの構造

地下灌漑では、用水に含まれる土砂が暗渠管内に溜まりやすいことが問題です。システムでは、中央の暗渠管（幹線パイプ）に土砂を溜め、きれいな用水を支線の暗渠管（支線パイプ）に配水する構造になっています。このため、土砂は専ら中央の暗渠管に溜まり、定期的にこれを排出する必要があります。なお、もし支線の暗渠管に土砂が溜まった場合でも、これを洗浄するための穴が設けられています。

2 中央の暗渠管に溜まった土砂の排出方法

暗渠の出口を止めた状態（水位制御器を差し込み、内筒を地表面くらいの高さにセット）で、給水バルブを開けてマス内の穴へ直接水を流し込み、暗渠管に水を満たします。水位が上昇してきたら、給水は継続したままで、水位制御器を引き抜いて排水を開始します。開始直後は暗渠管の出口から泥水が出て来ますが、10分くらい経つと濁りのない水が出てくるようになります。そこで、給水を止めて作業を終了します。



図1 マス内の穴へ直接給水



図2 土砂排出の様子

（左：排水開始直後、右：約10分後）

<関連資料> 藤森新作・小野寺恒雄編著、地下水位制御システム FOEAS 導入と活用のポイント、農山漁村文化協会、2012年3月

（農研機構 農村工学研究所 若杉晃介、原口暢朗）

4-3 管内カメラによる暗渠管異常部の確認

1 装置

1-4 では、主に弾丸暗渠の目詰まりによるシステムの機能低下と機能回復法を紹介しましたが、これ以外にも機能低下の要因があります。その一つが、システム施工時などでの暗渠管の破損です。

ここに紹介する管内カメラは、暗渠管の破損が疑われる場合、これを調べる有力な方法です。

使用した管内カメラは市販品（ケーブル長 20m のもので標準価格 35 万円）です。カメラの直径は 22mm で内径 25mm～75mm の塩ビ管に適用でき、90° エルボ 2 箇所程度の通過（VU40）が可能です。また、カメラは防水構造で水中での使用ができます。録画機能を搭載し静止画、動画の保存が可能です。



図 1 管内カメラ

2 使用例(暗渠管切断部の確認)

システムの洗浄孔を通じて暗渠管に管内カメラを挿入することで、管内の破損部を確認できます。また、ケーブルの長さ不足などの場合、暗渠管理設箇所を一部分掘り起こしてカメラを挿入します。カメラの挿入時に管内が濁り撮影が困難となる場合がありますが、カメラのレンズに付着する土砂を洗い流すことができるため、管内が水で満たされている条件での調査が適しています。



図 2 暗渠管内(直径 50mm)の撮影画像 (左:正常部、右:切断部(モミガラが侵入))

(農研機構 近畿中国四国農業研究センター 奥野林太郎、竹田博之)

4-4 FOEASで期待通りの効果が得られない事例 1

1 漏水の著しい圃場の例

砂質土や火山性土（乾性黒ボク土）などで透水性の高い圃場では、下層や畦畔から横方向の漏水が著しく、一定水位の維持や、地下灌漑による給水が困難になります。効率よく精度の高い水位制御を行うためには、透水性が高い圃場への FOEAS 導入は避ける必要があります。また、畦畔を通して横方向の漏水が多い場合は遮水シートなどの施工を行います（図1）。



図1 隣接圃場への漏水を抑えるための遮水シートの施工風景

2 小麦の地下灌漑による湿害例

小麦の播種後、ほとんど降雨がなく、出芽しないことからフラッシング（一時的な地下灌漑による給水、2011年2月1日）を行い、その後も地下水位-30 cmを維持しました。3月になり、降雨頻度が高くなってきたことから、地下水位を下げようと暗渠を開放しても表面に滞水したままになってしまいました（図2）。冬季で蒸散量が少なく過湿状態が維持され、凍結する条件で、土塊が崩壊して孔隙が目詰まりし、透水性が低下したものと思われます。土壌の特性にもよりますが、粘土質土壌では注意する必要があると思われます。



出芽促進のためフラッシング
(地下水位-10 cm、2月6日)

出芽がそろい、効果があった
ように見えた(地下水位-30 cm
2月11日)

降雨が多くなり、暗渠を開放したも
のの、透水性が低下して表面水が
排水できなくなった(3月2日)

図2 小麦圃場の冬季地下灌漑の例(つくば市古来現地圃場、2011年)

3 圃区以上のまとまったブロックでの水位制御

個々の水田で作付けがバラバラの単独転作型（いわゆる“バラ転”）では、遮水シート施工などの横浸透対策を施しても、隣接圃場の地下水位の影響を受け、FOEAS 圃場といえども高い精度で効率よく水位制御を行うことは困難です（図3）。同一の支線用排水路系統でつながった圃区単位で同一の作物を栽培し、圃区内では水位が同じになるよう水位制御するのが効果的です（図4）。



図3 大豆と水稲が隣接している圃場の例
(FOEAS 圃場でも横浸透を抑えることは困難)



図4 圃区で水稲と大豆を区分している例

4 傾斜地でのFOEAS 施工においてみられる段上からの漏水

傾斜地で段差のある圃場群に FOEAS を施工した地区で、段上の圃場に水稲を、段下の圃場に大豆を作付けしたところ、段上水田の灌漑水が地中の透水層を通過して、段下の大豆圃場に浸出して湿害を生じさせました（図5）。これまでは水稲のみの単作であったことから、今まで水浸透に気が付きませんでした。畦畔の浸透は遮水シートで対応することができますが、地中における遮水は容易に対応できないことから、上下の圃場で作物をそろえるなどの対応が必要です。



図5 段上圃場からの漏水例

(農研機構 中央農業総合研究センター 大下泰生)

4-5 FOEASで期待通りの効果が得られない事例 2

1 比較的高地下水位な圃場における大豆の減収事例

北部九州において FOEAS を用いて常時地下水位を-30cm に設定する区 (-30cm 区)、排水機能を主に活用して莢肥大期に降雨が少ない場合のみ地下水位を-30cm まで上昇させる変動区、および常時排水機能のみを利用する区 (対照区) を設けて 3 年間比較しました。図 1 に一例として 2012 年の大豆の生育期間における地下水位の変動を示しています。-30cm 区では生育期間を通じてほぼ-30cm に地下水位が維持されました。変動区では 9 月中旬以降に無降雨期間が続いたので、この時期に地下水位を一時的に-30cm まで地下灌漑し、その後すぐに排水しました。対照区では無降雨時であっても地下水位が-50~60cm で推移しました。対照区の地下水位がこの位置で安定していた理由として、FOEAS 圃場の周囲が水田であったためだと考えられます。このように FOEAS 圃場に水田が隣接する場合、灌漑を行わなくても地下水位が比較的高く安定して推移する可能性があります。

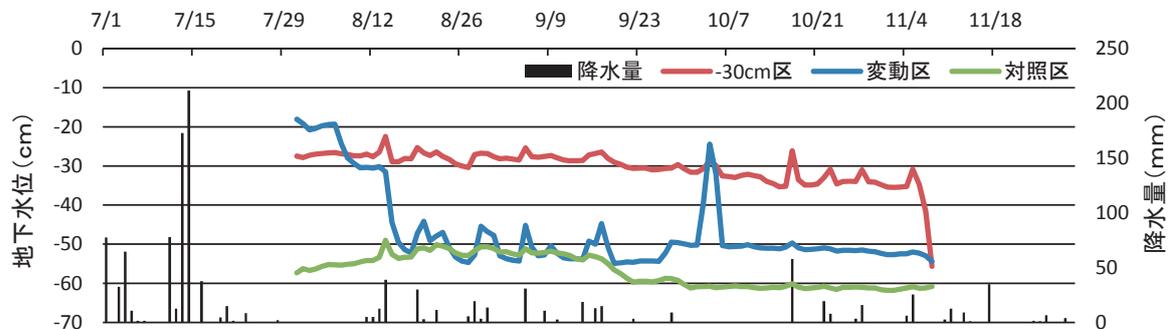


図 1 大豆生育時の地下水位の推移と降水量 (2012 年)

(-30cm 区：常時-30cm 地下水位制御、変動区：基本的に排水のみを行い、降雨の少ない時期に-30cm に地下水位制御、対照区：常時排水)

収量に関しては、対照区と比較して地下水位制御を行った-30cm 区および変動区では暗渠排水のみを行った対照区と比較して、平均して約 5% 減収しました (表 1)。収量構成要素の中では莢数が収量と高い正の相関関係が見られ (表 2)、莢数の減少により収量が低下したと考えられました。このように地下水位が比較的高く安定している圃場では、地下水位を-30cm に設定することにより、莢数が減少して減収しました。そのため、生育期間中に地下灌漑を行う前には各圃場の地下水位を確認する必要があります。

表 1 3 年 (2011~2013 年) の平均収量

地下水位処理	収量 (g m^{-2})
-30 cm 区	324 b (94.9)
変動区	326 b (95.6)
対照区	342 a (100)

注) 表中の同位置アルファベット間には 10% 水準で有意差がないことを示す。

括弧内の数値は対照区を 100 とした時の割合。

表 2 収量と収量構成要素の相関関係

	相関係数	有意差
莢数	0.826	***
一莢内粒数	-0.101	ns
百粒重	-0.177	ns

注) *** は 0.1% 水準で有意差あり。ns は有意差なし。

(農研機構 九州沖縄農業研究センター 松尾直樹)

【参考資料】

1. 文献

若杉晃介、藤森新作（2009）水田の高度利用を可能とする地下水位制御システム FOEAS. 水土の知（農業農村工学会誌），77, 705-708.

島田信二（2011）ダイズの高位安定生産を可能とする地下水位制御技術. 農林水産技術研究ジャーナル，34, 34-39.

藤森新作、小野寺恒雄編著（2012）地下水位制御システム FOEAS(フォアス)：水田農業自由自在：導入と活用のポイント. 農山漁村文化協会.

若杉晃介、原口暢朗、藤森新作（2012）. 水田の高度利用を実現する地下水位制御システム FOEAS. 研究ジャーナル.35(9):31-35

2. ホームページ

中央農業総合研究センター編（2009）
地下水位制御システム (FOEAS)による大豆の安定生産マニュアル.
<http://narc.naro.affrc.go.jp/soshiki/ssprt/foeas.html>

全国農業協同組合連合会編(2009)
土地利用型農業 地下水位制御システム「FOEAS」と水田輪作
土地利用型農業の経営安定に向けた地下水位制御システム「FOEAS」の活用
<http://www.agri.zennoh.or.jp/FOEAS/index.asp>

<参画場所>

農林水産省委託プロジェクト「水田の潜在能力発揮等による農地周年有効活用技術の開発
—土壌養水分制御技術を活用した水田高度化技術の開発コンソーシアム」(2010-2012年)

独立行政法人 農業・食品産業技術総合研究機構

全国農業協同組合連合会

地方独立行政法人 北海道立総合研究機構 農業研究本部 上川農業試験場

宮城県古川農業試験場、宮城県農業・園芸総合研究所

新潟県農業総合研究所

茨城県農業総合センター 農業研究所

栃木県農業試験場

三重県農業研究所

山口県農林総合技術センター

滋賀県農業技術振興センター

大分県農林水産研究指導センター

農林水産省委託プロジェクト「国産農産物の革新的低コスト実現プロジェクト—耕地高度
利用コンソーシアム」(2013年)

独立行政法人 農業・食品産業技術総合研究機構

全国農業協同組合連合会

宮城県古川農業試験場

新潟県農業総合研究所

滋賀県農業技術振興センター

大分県農林水産研究指導センター

【編集担当一覧】2014年1月

<編集代表>

島田信二 (独)農業・食品産業技術総合研究機構 中央農業総合研究センター 生産体系研究領域長

Tel 029-838-8975

<基盤整備>

原口暢朗 (独)農業・食品産業技術総合研究機構 農村工学研究所 農地基盤工学研究領域

上席研究員 水田高度利用プロジェクトリーダー

Tel 029-838-7554

<水田輪作体系>

大下泰生 (独)農業・食品産業技術総合研究機構 中央農業総合研究センター 作業技術研究領域

上席研究員 温暖平坦地水田輪作プロジェクトリーダー

Tel 029-838-8822

<野菜作>

岡田 邦彦 (独)農業・食品産業技術総合研究機構 野菜茶業研究所 野菜生産技術研究領域

露地野菜生産技術グループ 上席研究員 野菜周年安定生産プロジェクトリーダー Tel 029-838-8529

<土壌肥料>

新良力也 (独)農業・食品産業技術総合研究機構 中央農業総合研究センター 土壌肥料研究領域

上席研究員 大豆安定多収栽培プロジェクトリーダー

Tel 029-838-8532

<雑草管理>

渡邊寛明 (独)農業・食品産業技術総合研究機構 中央農業総合研究センター 生産体系研究領域

上席研究員 生態的雑草管理プロジェクトリーダー

Tel 029-838-8953

