

地下水位制御システム FOEAS の野菜栽培への導入について

農研機構 野菜花き研究部門
野菜生産システム研究領域
露地生産ユニット

中野 有加

1. 背景

水田の高度利用，周年雇用や収益性向上のため，野菜作導入の重要性が高まっている。しかし，水田転換畑の多くは，排水性，保水性，碎土性など野菜生産にとって改善すべき土壌条件が多い。露地野菜の収量や品質は，天候不順，特に多雨による日照不足や湿害，少雨による早害の発生によって大きく左右される。近年，豪雨や干ばつなど年平均降水量の年ごとの変動が大きくなっている。連続無降雨が7日から10日以上になると，作物に水ストレスが生じるおそれがある。たとえば茨城県つくば市では，毎年10日以上連続無降雨が10回程度発生し，無降雨日数の最大値は年によっては50日を超える（図-1）。

地下水位制御システム（FOEAS：Farm-Oriented Enhancing Aquatic System）は，従来の暗渠にまさる排

水機能に加え，地下水位を設定することによって灌漑機能をもつ（藤森2007；農研機構中央農研2014）（図-2，3）。地下灌漑の際，水位は田面の-30cmから+20cmの間で設定する。用水は地下灌漑時には地下給水孔に流入し，幹線パイプを經由して末端の水位制御器に到達する。水位制御器で設定した水位までパイプに給水され，圃場の地下水位が上昇する。FOEAS普及面積（平成27年11月20日現在）は，全国で226地区，10,140ha（施工予定も含む）である。

FOEASの灌漑機能を活用するためには，いつ，どの程度給水すればよいか，をそれぞれの土壌条件，作目や作型に合わせて明らかにする必要がある。ダイズやムギ類で先行して研究が行われた。Shimadaら（2012）は，重粘土の水田転換畑においてFOEASによる地下水位制御でほぼ設定どおりの水位を保ち，排水性に劣る明渠区と比べてダイズ収量が増大すること，地

下灌漑効果は少雨年で大きいことを示した。野菜作への適用では，いくつかの品目について，湿害および干ばつを回避するためのFOEASの管理法が示されている（農研機構中央農研2014；細野ら2015；中野ら2014）。

2. 地下水位制御による灌漑と作物の根系発達

FOEASの地下水位制御を想定し，地下水位を一定に制御した大型ポット栽培で作物の根系を調べた（中野・岡田2012）。対照区（降水量は平年値相当）の作土の体積含水率は低く推移し，少雨条件下でも地下水位制御区では高く推移した。タマネギ根系の到達深さおよび根長のいずれも，対照区（平年値相当の降水量）>水位-40cm区>水位-30cm区となった。このとき，収穫時の鱗茎新鮮重にほとんど差はなかった。ブロッコリーの根系は，対照区では根長分布が均一であったのに対し，地下水位制御区では層ごとの分布が偏った（図-4）（中野ら印刷中）。地下水位制御区では根長の6割以上が表層に分布し，設定水位以下の下層にはほとんど伸長しなかった。なお，茎葉や花蕾の新鮮重に差はみられなかった。

したがって，少雨条件下で地下灌漑を行った場合，地下水位からの水分移動によって作土の土壌水分が高く維持され，標準的な降雨の場合に劣らぬ地上部生育を示した。根系がある程度浅くなくても，根域の水分，ガス環境や



図-1 連続無降雨の発生状況（茨城県つくば市）
気象庁データ，日降水量5mm未満を無降雨とした場合

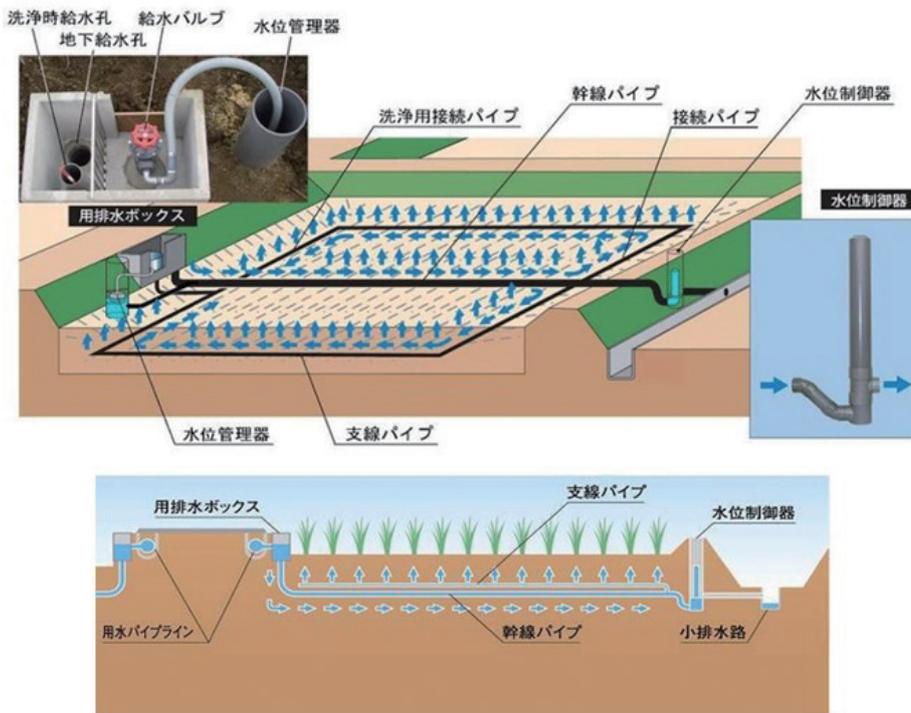


図-2 地下水水位制御システム FOEAS の構造

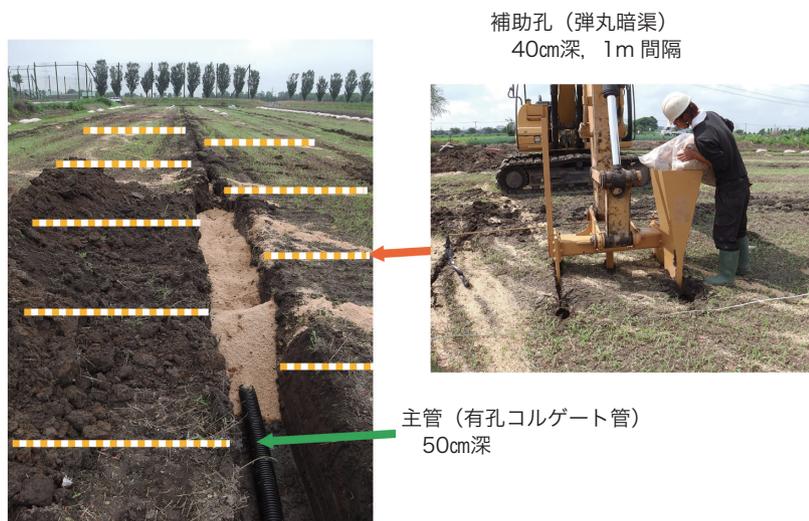


図-3 FOEAS の施工の様子

温度などの条件が整っていれば問題はない。むしろ根系への光合成産物の分配が減って、その分を地上部へまわせる。ただし、もともと畑作物は水が少ない条件に適應しているため、必ずしも根圏全体を常に湿潤に保つ必要はない。土壌表層が乾いていても、地下水位からの毛管上昇帯に近い土層は湿潤となり、少量の根によって吸水の大部分がまかなわれる、という報告もある。

3. 降水量と灌漑効果

海外の地下灌漑の事例では、高い地下水位を灌漑に利用するといっても、水位が-1m以下とある程度深い、あるいは降水量の少ない乾燥地であり、水位が栽培期間中に大きく変動したり地表近くまで上昇したりする危険性は小さい (Ayarsら 2006)。一方、日本は降水量が多いため、灌漑効果がない場

合があり、むしろ湿害のおそれがある。

そこで降水量を人為的にコントロールして灌漑効果を調べた。雨よけハウス下の大型ポットで地表灌水量を変えて秋まきタマネギおよび夏まきブロッコリーの栽培試験を行った。栽培年次は異なるが、年間降水量の25%、50%あるいは100%相当の地表灌水量において、地下灌漑の有無で比較すると、タマネギでは「地下灌漑あり」で「地下灌漑なし」を上回る鱗茎重が得られた (図-5)。一方ブロッコリーでは、降水量が少ない場合に地下灌漑効果があったが、多い場合には逆効果であった。

栽培期間中の当地 (茨城県つくば市) の降水量は、特に冬から春にかけて少ないため、12月~6月にかけての秋まきタマネギにとっては不足している。一方、8月~10月にかけての夏まきブロッコリーにとっては、降水量は年間並で十分であり、少雨条件でなければ地下水位制御による灌漑効果は期待できないと考えられた。

4. 生育時期ごとの灌漑効果

野菜の高品質・多収生産や水利用効率の向上のためには、灌漑効果の高い時期を知る必要がある。そこで、秋まきタマネギおよび夏まきブロッコリーの在圃期間をおよそ3分割し、前期、中期、後期の各時期に地下水位を上げて灌漑し、生育時期ごとの灌漑効果を調べた。なお、定植時には全ての地下水位制御区で水位を上げ、活着を促し

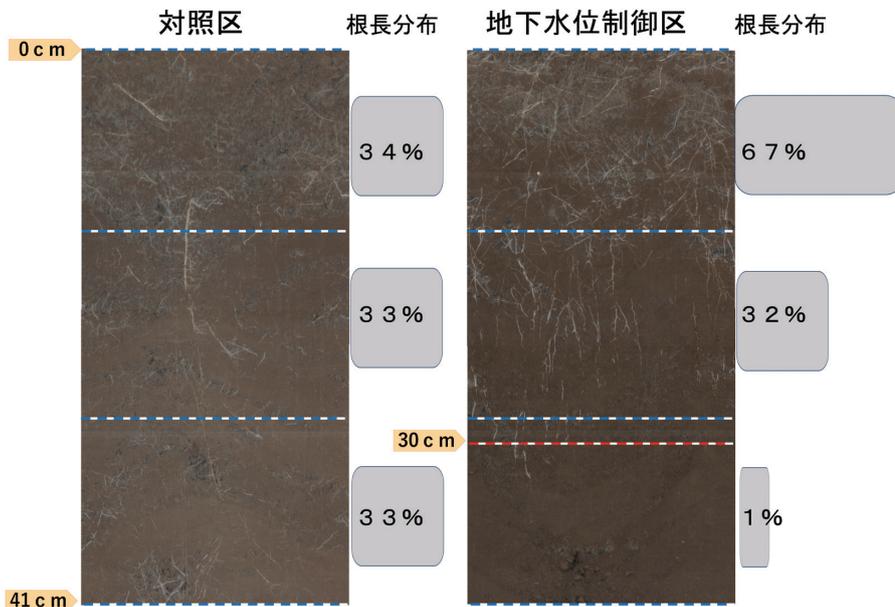


図-4 地下水水位制御がブロッコリー根系の発達に及ぼす影響
ミニライゾトロン法（地中に埋設した透明な管の表面に出現する根を観察する方法）により撮影

る生育中期の灌漑が重要と考えられた。

5. FOEAS 施工圃場における排水・灌漑効果の実証

神奈川県平塚市の FOEAS 施工圃場 (JA 全農平塚大神試験地) で、地下水水位設定の高低 (-30cm, -60cm) によるキャベツ生育を調べた (中野ら 2014)。キャベツ栽培期間 (11 月末 ~ 6 月末) 中、初期には高水位区で低水位区よりも表層土壌の水分が高く安定し、キャベツの生育が優れていた。後半になると降水量が増え、高水位区では一時的に地表面まで水位が上昇することがあった。水分過多により土壌中の酸素濃度の低下がみられ、キャベツの生育が阻害された。この圃場では、おおむね 20mm の降雨があると地下水水位が 15cm 程度上昇した。したがって、定植時に乾燥している場合は必要に応じて灌漑し、降水量の多い時期には灌漑はしない方がよい。

茨城県稲敷郡河内町の FOEAS 施工圃場において、ブロッコリーの生育ス

た。また、収穫前の一定期間は灌漑を停止した。地表灌漑は少雨条件 (平年降水量の 25%, 頻度は週 2 回) とした。

タマネギでは、後期区 (4 ~ 5 月に地下灌漑) が全期間区 (12 ~ 5 月に地下灌漑) に次いで鱗茎重が大きく、中期、前期と灌漑時期が早いほど鱗茎重は小さかった (中野ら 2012)。後期には、タマネギの葉面積が急激に増大し、蒸散が高まるため、要水量が多いと考えられる。ただし、後期区の球重は全期間区には及ばなかったことから、冬季の灌漑もできれば行うほうが良い。

ブロッコリーでは、花蕾重は全期間区、中期区 > 後期区 > 前期区の順となり、中期区と全期間区の有意な差はなかった (中野ら 印刷中)。中期区と後期区で

収穫期の茎葉重に違いはみられなかったが、後期区では中期区に比べて花蕾径が小さく、花蕾部のボリュームがなかった。一般に花蕾重は生育中期の葉重と相関が高く、初期の栄養生長を旺盛にすることが必要とされる。一方、花芽分化時から花蕾肥大期にかけてストレスを受けると、花蕾が小さくなるだけでなく、異常花蕾となる。高温あるいは低温、土壌の水不足あるいは過剰、さらにこれらのストレスの変化などさまざまな原因によって、花芽分化や肥大の阻害、花蕾の形の乱れが生じる。したがって、外観品質が重視されるブロッコリーで商品価値の高い花蕾を得るためには、前期 (外葉形成期) や後期 (出蕾後) に比べて、葉面積増大および花蕾肥大が同時に進行す

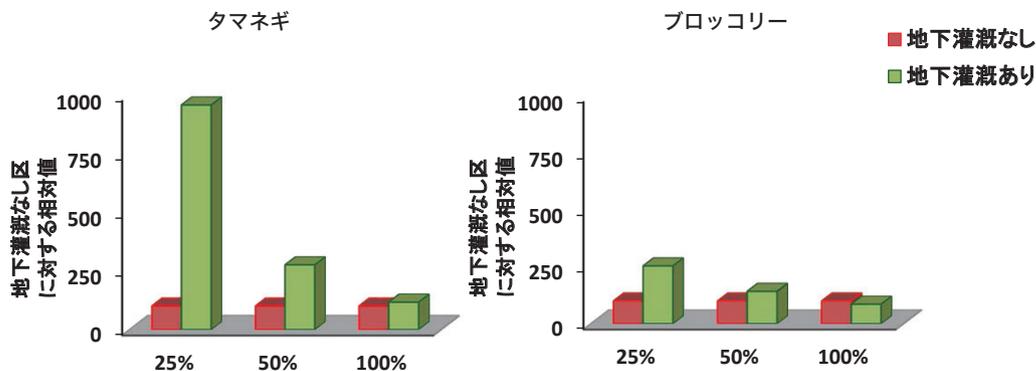


図-5 異なる降水量下におけるタマネギ、ブロッコリーへの地下灌漑効果



図-6 FOEAS の排水効果 (台風翌日の圃場)

テージごとの灌漑効果を調べた。盛夏の定植時には灌漑によって活着が促進されたが、春定植の適度な降雨があった場合の灌漑効果はみられなかった。なお、いずれの作型でも、FOEAS の排水効果は明らかであった (図-6)。

以上のことから、野菜作での FOEAS の制御法については、降雨による急激な地下水位上昇を避けるため、排水機能を優先すべきと考えられる。灌漑機能の活用としては、必要な時のみ灌漑のために一時的に地下水位を上昇させて、土壤に水分を供給するのがよいこと、作目や作型ごとに灌漑効果の大きな時期が異なること、が明らかとなった。なお、FOEAS に給水しない場合でも、排水水位を設定しておくことで、降雨を有効化して節水できる。

6. 現状の課題と展望

全国各地に普及している FOEAS であるが、導入した水田経営体で、野菜作の導入はまだそれほど進んでいない。経営的視点から、主穀作の経営体が野菜作を導入するのは、栽培技術や機械化、販路の確保などの点で容易ではない。汎用化水田における畑作物生産の可能性が示されてはいるものの、水稲との輪作体系までは解明できていない (松本ら 2013)。FOEAS に関する課題としては、地域の水田地帯で一部を畑地化できる環境が必ずしも整っていない、すなわち、灌漑のための水

利や排水路の確保ができない場合がある。また、圃場ごとの条件は異なるため、一律の水位制御が難しい。土壤によっては、透水性が悪く、低い水位設定では作土まで水を浸透できないため、目的の水位以上に上げて給水しなくてはならない。FOEAS の維持管理としては、機能が保たれているか、定期的にチェックし、暗渠機能が落ちていたら弾丸暗渠を再施工する必要がある。特に、代かき移植水稲作直後では透水性が低下するため、排水対策が必要となる。多品目に及ぶ野菜作については、作目ごとの適正な制御についての知識が未だ不十分である。

一方、FOEAS を十分活用し、野菜作を定着させた事例も多くある。地域全体での計画的な基盤整備と、新たな産地形成への取り組みの成果が出ている。輸入品との競合が多い露地野菜において、国産品のシェアの増加、安定供給につながることを期待される。

引用文献

Ayars, J.E. *et al.* 2006. The resource potential of in-situ shallow ground water use in irrigated agriculture: a review. *Irrig. Sci.* 24, 147-160.

藤森新作 2007. 転作作物の安定多収をめざす地下水位調節システム—水田リフォーム技術の開発—。農業および園芸 82(5), 570-576.

細野達夫ら 2015. 重粘土地下水位制御圃場へのネギ・ブロッコリーの適応性。中央農研研究報告, 23, 1-22.

松本浩一ら 2013. 汎用化水田の導入による水田作経営の展開可能性。農業経営研究 51(2), 25-30.

中野有加ら 2014. 地下水位制御システム (FOEAS) 設置ほ場における設定水位が秋まきキャベツの生育に及ぼす影響。園芸学研究 13, 125-133.

中野有加ら 2012. 地下灌漑時期がタマネギの生育および収量に及ぼす影響 (大型ポット試験)。園芸学研究 11(別1), 142.

中野有加・岡田邦彦 2012. 地下水位の高低および変化がタマネギの根系発達に及ぼす影響。根の研究, 21, 63-71.

中野有加ら. ポット試験における生育時期ごとの地下灌漑処理が夏播き秋どりブロッコリーの生育に及ぼす影響。園芸学研究, 印刷中.

農研機構中央農研 2014. 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, pp.70.

Shimada, S. *et al.* 2012. Effects of Water Table Control by Farm-Oriented Enhancing Aquatic System on Photosynthesis, Nodule Nitrogen Fixation, and Yield of Soybeans. *Plant Production Science* 15, 132-143.