「持続可能な水利用を実現する革新的な技術とシステム」
平成 22 年度採択研究代表者

H22 年度
実績報告

澁澤　栄

東京農工大学大学院農学研究院・教授

超節水精密農業技術の開発

§1. 研究実施の概要

世界水利用の7割を占める農業用水の利用効率の一層の改善が，世界共通の課題となっている。本研究の目的は，乾燥地で利用可能な高効率の節水栽培管理システムを組み込んだ超節水型植物工場モデルを開発することである。必要な技術要素は，①作物吸水ニーズに基づく水利用効率を最大化する灌水技術，②雨水・地下水・その他灌漑水を浄化・再生処理し貯留する技術，③植物工場稼働のための省エネルギー空調・環境調節技術である。そのための開発研究課題は，根域の精密水分探査システム，作物吸水ニーズ対応型の負圧差灌水制御技術，農業用水の浄化・再生・循環システム，省エネルギー空調システム，および作物吸水ニーズの評価技術である。これらの各種技術要素を節水栽培管理システムに集約するとともに，超節水型植物工場モデルとして統合することを目指す。

当年度では，負圧差灌水計測制御装置を用いた給水量計測実験（東京農工大学），音波による土壌水分探査・ハイパースペクトルカメラによる観察実験（桐蔭横浜大学），および水浄化システム技術・省エネルギー空調設計（東京大学）に関する開発研究をおこなった。

負圧差灌水計測制御装置を用いた給水量計測実験では，作物自体をセンサとして利用する計測制御手法を新たに開発し，各生育ステージにおけるトマト給水量の経時変化を実験用ファイトトロンで計測し，その基本特性を明らかにした。また，土壌に作用する灌水負圧差を気温に比例して制御することで，節水効果が得られることを確認した。

音波による土壌水分探査では，砂を充填した槽内の伝搬音波特性を超磁歪振動子と加速度センサを用いて調べた結果，伝搬音速と含水比の間にほぼ相関関係があること，および含水比が漸増する場合，含水比の経時変化を音速変化として観測可能なことをそれぞれ明らかにした。ハイパースペクトルカメラ（HSC）による植物観察では，光源の選定と白板補正をおこなった後，作物の正規化差植生指数を計測し，水ストレスが異なる場合の葉スペクトルと植生指数の違いを考察した。

水浄化システム技術では，外部から供給される灌漑水に含有する砒素を，水酸化鉄による吸着除去法と流化物法をそれぞれ適用することで除去し，その有効性を明らかにした。省エネルギー空調システム設計では，中高温範囲の種々の高潜熱蓄熱材の熱交換と再生水の細霧冷房などを

組み合わせた空調機設計を検討し，植物工場内の温度管理・シミュレーションに必要な技術情報を収集した。

今後，植物吸水量の同定とその数値モデル化，HSC による植物の水ストレス発現過程の観察，および音波によるリアルタイム土壌水分分布計測など，植物-土壌システムに関する研究を深める。さらに，乾燥地の水質調査に基づく灌漑水浄化の検討と水再生利用効率の指標の提案，および超節水型植物工場内の温度管理のためのシミュレータ開発を目指す。

§2. 研究実施体制

(1)「超節水精密農業モデルの開発」グループ

①研究分担グループ長： 澁澤　栄 （東京農工大学大学院農学研究院，教授）

②研究項目

- 作物吸水量のリアルタイム計測評価技術
- 最適給配水制御システム
- 作物吸水ニーズ対応型灌水制御システム
- 精密農業による節水栽培管理システム

(2)「土壌水の時空間分布観測システムの開発」グループ

① 研究分担グループ長： 杉本　恒美 （桐蔭横浜大学大学院工学研究科，教授）

② 研究項目

- 植物生理のリアルタイム観察技術
- 音波による浅層土壌水分の探査技術
- 作物吸水ニーズ対応型灌水制御システム
- 精密農業による節水栽培管理システム

(3)「水再生・省エネルギー施設環境システムの解析と評価」グループ

①研究分担グループ長： 藤田　豊久 （東京大学大学院工学研究科，教授）

②研究項目

- 省エネルギー施設空調システム技術・環境調節の最適制御
- 水の再生・循環利用のための浄化技術
- 精密農業による節水栽培管理システム

§3. 研究実施内容

(1) 「超節水精密農業モデルの開発」グループ(東京農工大学)

代表者グループは, 作物吸水で発生するわずかな根域微水圧差を利用して地中灌水する負圧差灌水技術を応用した, 作物吸水ニーズ対応型の超節水精密農業技術を開発し, 共同研究成果を統合して, 水利用効率を最大化する超節水精密農業モデルの開発を目指す。

作物が自らの生命活動を維持するための水分量の目安として, 独自の計測装置を用いて植物への給水量を求め, その基本特性を明らかにした。この計測には, 作物自体をセンサに利用する手法を用いた。水位制御タンクと水理学的に接続されたセラミック管を地中に埋設する。作物吸水により根近傍の水分レベルが下がり, 土壌毛管作用によりセラミック管からの水分移動が発生する。セラミック管と水位制御タンクは連続しており, セラミック管からの給水量が水位制御タンクの水位変化に連動するから, この水位変化を測定することで, 給水量を検出できる。供試作物として乾燥に強いトマトを選び, 屋外設置の実験用ファイトトロンで給水量を実測し, その経時変化を明らかにした。給水量は気温変化に応じて増減し, 晴天の早朝では急増した後減少し, 午後には同様な現象を繰り返し, 夜間ではごく微量となった。給水量の変動幅は, 気温の時間微分値にほぼ比例して拡大するとともに, 特に 30℃を超えるような高い気温領域では, 顕著に増大することが観測された。また, 積算気温と積算給水量の間にはほぼ線形関係があること, セラミック管に作用する灌水負圧差を気温に比例して制御する場合, 制御を実施しない場合に比べ, 積算給水量を 10%強低減できることをそれぞれ確認した。

今回実測された給水量特性は, 土壌の成分・水分状態および水蒸気分圧などで異なることが考えられ, 必ずしも植物吸水量とは一致しない。今後, 引き続き, 土壌・植物体のマスバランス計測に基づく詳細な解析により, 正確な植物吸水量を同定するとともに, トマト吸水速度の数値モデルを作成する予定である。

(2) 「土壌水の時空間分布観測システムの開発」グループ(桐蔭横浜大学)

このグループは, 作物吸水ニーズに適応した負圧差灌水システムの稼働実態をリアルタイムモニタするための技術開発を目指す。土壌中に発達する根系分布を定量観測するとともに, 音響探査技術を応用して, 根域の三次元水分分布を可視化する技術を開発する。さらに, 水ストレスに対する作物地上部の応答をモニタするため, 葉面ハイパースペクトル計測により, 正規化差植生指数(NDVI)などの作物生理特性指標の有用性を解明する。

本年度は, 砂を充填した槽内の水分分布を音響振動により映像化することを試みるとともに, ハイパースペクトルカメラ(HSC)による NDVI 評価システムを構築した。

まず, 超磁歪振動子と加速度センサを用いて, 含水比と伝搬音速の関係を豊浦標準砂を充填した砂槽内で実験的に調べ, 伝搬音速と含水比の間にほぼ相関関係があることを確認した。続いて, 超磁歪振動子とスキャニング振動計を用いてこの砂槽内の水分分布映像化実験をおこない, 含水比が時間とともに漸増する場合, これを音速変化として観測できることを確認した。今後, 地中に差

し込みやすい棒状の加速度センサを開発し，同じく土壌中に設置した振動源から発生した振動を計測することで，音響振動によるリアルタイム浅層土壌水分分布計測のための基礎技術を確立する。

HSC による観察では，光源の選定，白板補正などにより，計測データを正確に取得する基礎実験を実施した。さらに，作物の NDVI を計測し，水ストレスの異なる葉のスペクトルと植生指数の違いを比較し，NDVI 評価システムを構築した。今後，葉スペクトルの時間平均をとり，空間分解能を高める方法を検討する。また，給水量が不足する場合，その影響が顕著に発現する部位を特定し，そのスペクトル変動を解析するとともに，最も適正に表す植生指数の検討を進める。

(3) 「水再生・省エネルギー施設環境システムの解析と評価」グループ（東京大学）

このグループは，灌漑水と消費エネルギーの大幅な節約・削減と準自立運転を可能にする基盤技術の開発を目指す。具体的には，外部から施設に導入する雨水・地下水の浄化技術，施設内での水の再生循環利用，太陽エネルギーや地熱エネルギーなどの自然エネルギー利用，および省エネルギー施設内環境制御技術を課題とした開発研究をおこなう。

外部から施設に導入する雨水・地下水の浄化技術の開発研究では，農業用水に含まれる砒素の除去法として，硫化物沈殿除去法と鉄を含む化合物吸着除去法を試みた。水に NaHS を添加し，As_2S_3 として沈殿させる条件を特定し，これをマイクロバブルで浮上させて砒素を迅速に除去できた。自然水には，硫化鉄から溶出した鉄(Ⅱ価)と砒素の混合水を含む場合があり，この水から微量の砒素を 3 以下の低 pH で水酸化鉄を用いて吸着除去した。また，pH を上げることで鉄の水酸化鉄としての沈殿を速め，砒素をほとんど含有しない鉄を回収すると同時に，水の浄化を可能とした。さらに，水酸化鉄は砒素を吸着する能力があり，塩化鉄から製造した水酸化鉄と硫酸鉄（ポリ鉄）から製造した水酸化鉄を比較すると，平衡吸着量では塩化鉄の場合が，また，吸着速度ではポリ鉄の場合がそれぞれ優れることを確認した。ライフサイクルアセスメント（LCA）で両者の吸着材を比較したところ，ポリ鉄から製造した吸着材がより環境影響が少なく，吸着に適することを明らかにした。

自然エネルギー利用・省エネルギー施設内環境制御技術の開発研究では，省エネルギーを考慮した蓄熱型空冷装置の設計のため，潜熱蓄熱材による熱交換・再生水の細霧冷房などを組み合わせた省エネルギー的蓄熱型空調機の設計をおこなった。その結果，比較的温度が高い状態でも潜熱が利用でき，かつ乾燥地夜間外気温でも蓄熱が可能な中高温範囲で高潜熱特性をもつ蓄熱材の使用を提案した。また，乾燥地特有の熱環境に応じ灌漑水の塩分除去蒸散熱を利用し，灌水制御システムが有効に機能できる空調管理を主とする環境調節法を検討した。今後の省エネルギー化の改善準備を整え，同時に植物工場に関する現地調査を実施し，植物工場内の温度管理・シミュレーションに必要な技術情報を収集した。

今後，乾燥地の水質調査を実施し，使用水浄化の検討，施設内の水の浄化と水再生利用効率の指標の提案とともに，乾燥地を想定した超節水型植物工場内の温度管理に関するシミュレータの構築を目指す。

§4. 成果発表等

（4－1） 原著論文発表

（4－2） 知財出願

① 平成22年度特許出願件数(国内 0 件)

② CREST 研究期間累積件数(国内 0 件)