

「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

H24年度
実績報告

澁澤 栄

東京農工大大学院農学研究院、教授

超節水精密農業技術の開発

§ 1. 研究実施体制

(1) 「超節水精密農業モデルの開発」グループ

① 研究代表者: 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 主たる共同研究者: 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 主たる共同研究者: 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

§ 2. 研究実施内容

本研究では、超節水精密農業技術を確立するための要素技術として、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、作物吸水ニーズの評価技術、使用水の再生・循環システム、および省エネルギー空調システムに関する研究開発を進める。これらの研究成果を節水栽培管理システムとして統合することにより、乾燥地で利用可能な高効率水利用を実現する植物工場システムに関する設計仕様の作成を目指す。

(1)「超節水精密農業モデルの開発」グループ（東京農工大学）

従来のポーラスカップを用いた灌水方式の最大の課題であった、根毛の絡み付きによる目詰まり現象を、不織布を給水帯として用いることにより、解消できた。本灌水方式における水分駆動力は、作物の吸水作用により発生する土壤負圧にほぼ依存するため、作物の水分要求に応じた局所的な微量灌水が可能となる。また、重力水の発生もほとんどないことから、節水栽培技術として大きな可能性が期待できる。本灌水方式を用いて、単一マトによる栽培実験を行い、実蒸発散量を、可能蒸発散量、土壤水分分布および水分バランスに基づき評価するとともに、給水帯に導水する不織布の揚水高さ（栽培容器直下の貯水槽水面から栽培容器底に水平におかれた給水帯までの高さ）の影響などを明らかにした¹⁾。また、本灌水システムにおける毛管流の時間・空間的な変化および土壤水分の自己復元作用について、実蒸発散量および土壤体積含水率の時間変動と関連づけて考察した²⁾。

本灌水システムの実用性を検証するため、複数本のトマト栽培を可能とするコンテナ栽培実験を行い、給水帯の保水面積や揚水高さなどを適切に設定することで、顕著な増収効果と水利用効率の向上が得られた。一方、中期生育ステージ以降において、マトリックポテンシャルが大きく日周変動しながら、土壤水分が低下する現象が観察された。これらの現象を、不織布の浸潤特性を考慮した SPAC (soil - plant-atmosphere continuum) モデルに基づき、検討した。その結果、水利用効率をさらに高めるには、作物の生育ステージに応じて、揚水高さやその流量を適切に制御する必要性のあることが示唆された。

本灌水方式により土壤中に貯留される毛管水は、給水帯の周囲に球状に分布するものと推定される。そこで、水平 2 次元浸潤実験を実施したところ、浸潤領域は時間の経過とともに給水帯の周囲に円筒状に拡大し、土壤の体積含水率は一次遅れ系の応答特性をもつことが確認された。このような浸潤特性を効果的に応用することで、適切な場所に、適切な時間に、適量の水を供給するという、高効率な作物需要対応型の精密灌水システムの構築が期待される。そこで本コンセプトに基づき、作物を含めた 3 次元浸潤実験に着手した。

精密農業のコンセプトの拡張については、圃場内の土壤水分等に関するばらつき状況を確認し、個体から群・圃場ごとの節水管理の基本情報となる複数の土壤成分分布を圃場マップにまとめた³⁾。H23 年度に作成した「精密農業による節水栽培管理システム」の仕様に基づき、各実験サイトをクラウド環境によりネットワーク化することで、栽培環境や生体情報などの測定データをリアルタイムに観察し、相互に利活用できる節水栽培管理モニタリングシステムを設置した。これにより、篤農家などの専門家から、栽培や節水技術などについて、適切なアドバイスが受けられる情報収集システムの運用も可能となった。

(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）

土壌水分分布の音波を用いた高精度計測では、土壌を伝搬する音速の推定精度を高めるため、新たに音波 CT 等で考案された振幅 2 乗総和法を併用した推定精度を検討した。大型超磁歪振動子を音源とし、市販培養土を 2mm のふるいにかけて用いた。このときの土壌表面の振動速度をスキヤニング振動計により 20 点取得し、伝搬速度を算出した結果、本手法により 1m/s 以下の推定精度が得られた。間欠灌水される小松菜の栽培システムにおいて、土壌の水分変動を伝搬音速により推定可能かどうか検討した。超磁歪振動子で発信される音波の波形を正弦波 (1 kHz, 5 cycles のバースト波) とし、土壌中の伝搬距離を 11 cm に設定し、10 日間にわたる計測実験を行った。その結果、作物を栽培中の土壌においても、伝搬音速を計測することで、土壌水分の経時変化を推定できることが新たに確認された⁴⁾。

栽培中の葉の固有振動数から水ストレスを非侵襲的に評価するため、葉に微小振動外乱を与えた時の固有振動数と減衰係数から検討する新たな手法を考案し、詳細な実験を進めた。トマト個葉 (質量 300~600mg 程度) を電子天秤上に固定し、蒸散による質量減少を測定しながら、数分ごとに微小振動を与えた場合の葉の振動変位をレーザ変位計により計測した。この振動波形をフーリエ解析して得られる固有振動数と蒸散作用による質量減少の間に、ある線形関係のあることが明らかとなった。本結果から、葉の固有振動数を観測することにより、葉の水ストレスを判定するという、新たな非侵襲評価法の可能性が示唆された⁵⁾。

(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）

水の再生・循環利用のための浄化技術の開発において、H24 年度では、水中からの各種重金属の安価な除去、水中からの塩分の省エネ的除去とその評価、水中からの有機物の省エネ的分解と評価をそれぞれ行った。排水中のクロム吸着除去では、炭化パイナップル葉を用いた場合、90%の六価クロムイオンの除去率と 18.8mg/g の最大吸着量を得たほか、バナナの葉ではカドミウムを有効に除去できた⁶⁾。また、フーリエ変換赤外分光法により、カルボン酸イオン、エステル、アルケン等の不飽和脂肪族が六価クロムの結合過程に寄与することが新たに判明した。

一方、日本において問題となっている放射性セシウムについて、各種の土壌成分との吸着状況を実験的に把握⁷⁾するとともに、土壌成分を分離⁸⁾することが可能となった。また、ホウ素も有害物であるが、安価な焼成ドロマイトにより吸着除去できた⁹⁾。水再利用技術として、排水に NaHS を添加し、消石灰による中和処理を施すことで、銅、亜鉛および鉄を個別に分離除去¹⁰⁾することが可能となった。この処理水は排水基準値を十分満たした。凝固点降下現象を有効に利用した新たな脱塩プロセスの開発¹¹⁾においては、吸収冷凍機で生成された氷を用いて、界面前進凍結法による脱塩操作を試みたところ、農業用の水質基準値以下の氷を 35.5%回収することができ、凍結条件を適切に設定することで、農業用水の基準を十分に満たすことが明らかとなった。

園芸施設の空調システムの省エネルギー技術の開発では、乾燥地特有の熱環境に応じられる技術として、省エネルギー型の節水施設を設計した。物質の相変化による潜熱利用方式では、中高温範囲の高潜熱蓄熱材を用いて、氷蓄熱のような夜間追加エネルギーの投入の必要がなく、蓄熱媒体の熱エネルギーを蓄熱できることが明らかとなった。太陽熱を利用した吸収冷凍機機能を

もつ除湿機も開発し、冷凍機内に施設内の空気を送風させることにより、除湿と冷却を可能とした。また、塩分除去処理システムからの冷熱・潜熱を供給する熱交換器を新たに構築した。ここでは、節水施設内の熱・水収支からダイナミックシミュレーターを構成し、施設の効率的運用と最適運転のための解析ツールとして活用することで、施設内の水分ロスを最小とさせ、かつ消費エネルギーを低減させる空調システムを、最適化アルゴリズムを用いて設計した。このプロセス解析において、消費電力量と損失水分量を一元化した評価関数を導入することで、各種空調システムの最適設定を実現できた。

§ 3. 成果発表等

(3-1) 原著論文発表

●論文詳細情報

1. 栗和田穆, 佐瀬佐, 王立邦, ドドビバ・ジョルジ, 岡屋克則, 藤田豊久 (2012) ホウ素含有水からの焼成ドロマイト粉を用いたホウ素吸着除去および溶離回収, *環境資源工学*, **59** (4), 149-154.
2. Shukri, M., Shibusawa, S., Ohaba, M., Li, Q. and Khalid, M. B. (2013) Capillary flow responses in a soil-plant system for modified precision irrigation, *Precision Agriculture*, 02 April.
3. Kodaira, M. and Shibusawa, S. (2013) Using a mobile real-time soil visible-near infrared sensor for high resolution soil property mapping, *Geoderma*, **199**, 64-79.
4. Wang, L., Kanemitsu, Y., Dodbiba, G., Fujita, T., Oya, Y. and Yokoyama, H. (2013) Separation of ultrafine particles of alumina and zircon by liquid-liquid extraction using kerosene as the organic phase and sodium dodecylsulfate (SDS) as the surfactant collector for abrasive manufacturing waste recycling, *Separation and Purification Technology*, **108**, 133-138.
5. Wang, L., Ponou, J., Ponou, J., Seiji, M., Okaya, K., Dodbiba, G., Nazuka, T. and Fujita, T. (2013) An integrating sulfidization with neutralization treatment for selective recovery of copper and zinc over iron from acid mine drainage, *Minerals Engineering*, **45**, 100-107.
6. Sugimoto, T., Nakagawa, Y., Shirakawa, T., Sano, M., Ohaba, M. and Shibusawa, S. (2013) Study on water distribution imaging in the sand by propagation velocity of sound with scanning laser Doppler vibrometer, *Jpn. J. Appl. Phys.*, **52** (in press).
7. Sano, M., Sugimoto, T., Hosoya, H., Ohaba, M. and Shibusawa, S. (2013) Basic study on estimating the water stress of the plant using the vibration measurement of the leaf, *Jpn. J. Appl. Phys.*, **52** (in press).
8. Shukri, M., Shibusawa, S., Ohaba, M., Li, Q. and Khalid, M. B. (2013) Water uptake response of plant in subsurface precision irrigation system, *Engineering in Agriculture, Environment and Food* (in press).
9. Ponou, J., Wang, L., Dodbiba, G., Matuo, S. and Fujita, T. (2013) Effect of carbonization on banana peels for removal of cadmium ions from aqueous solution, *Environmental Engineering and Management Journal* (in press).
10. Wang, L., Yabui, K., Dodbiba, G., Okaya, K., Matuo, S. and Fujita, T. (2013) Adsorption of cesium ion on various clay minerals and remediation of cesium contaminated soil in Japan, *Resources Processing*, **60** (in press).
11. Fujioka, R., Wang, L., Dodbiba, G., Fujita, T. (2013) Application of Progressive

Freeze-Concentration for Desalination, *Desalination* (in press).

(3-2) 知財出願

①平成 24 年度特許出願件数(国内 1 件)