

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

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の開発である。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・使用水を浄化・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。これらの技術要素と圃場実験の実測データを統合し、節水栽培管理システムに集約することを目指す。

以下に、今年度における各グループの実施内容を述べる。

(1) 「超節水精密農業モデルの開発」グループ（東京農工大学）

作物の吸水活動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、作物吸水ニーズ対応型の超節水精密農業技術を開発することで、農業用水の利用効率を格段に高める精密農業モデルの構築を目指す。今年度は、最適灌水制御システムの要素技術となる、作物吸水量の精密計測、作物吸水ニーズ対応型灌水制御、および栽培管理システムの仕様策定を実施した。

作物吸水量の精密計測では、本灌水方式による給水量と蒸発散量を精密に検討するため、マスバランスを考慮した実験計測システムを完成させ、既設ファイトトロン内でトマトについて3カ月間にわたる計測実験を実施した。その結果、ある土壌の水ポテンシャル以上では、給水量と蒸発散量が、ペンマン・モンティース式の可能蒸発散量と良く一致すること、およびリアルタイムに作物の生理的要求吸水量の計測が可能なことを確認した（以後、給水量を吸水量と呼ぶ）。今後、トマト吸水量を精密に予測するため、吸水応答に及ぼす環境要因の同定を経て、土壌水分貯留特性を含むSPAC拡張モデルの作成に入る予定である。

作物吸水ニーズ対応型灌水制御では、気温に比例して土壌の水ポテンシャルを制御した場合、非制御の場合に比べ、土壌の体積含水率の変動が高々数%に抑えられ、積算灌水量が15%強削減された。この時のトマト吸水速度を大気の水ポテンシャルと比較したところ、定性的に良い一致をみた。今後、根域の水分流動モデルの同定を進め、SPAC拡張モデルを利用した灌水適応制御モデルの構築を目指す。一方、土壌中の水分は地中灌水の湧き出し源の周囲に球体状に分布することから、その時空分布を伝搬音速を用いてリアルタイムに可視化し、作物の水ストレス情報を葉の固有振動数から検出する新技術の開発（いずれも桐蔭横浜大学）に基づく、新規な精密灌水制御システムが具体化されつつある。

栽培管理システムでは、環境や栽培システムから収集される計測・制御データ項目（温湿度、日射量、CO₂、土壌水分含量など）、および農家の栽培技術に関する経験知データ項目（生育ステージごとの営農者による灌水実績など）を現地取材から抽出し、栽培に関係するデータ項目としてシステム入力する手法（手入力・自動入力）を検討した。併せて、農業ナレッジマネジメントシステムのデータマイニング手法等における営農者経験知の寄

与に関する解析部分を調査した。以上により、栽培管理システムとしての仕様概容を策定し、それをフレームワークイメージ図に集約した。

(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）

音響振動による根域水分分布推定法および葉面の振動計測等を用いた作物生理状態評価システムを統合し、最適灌水制御システムを構築することを本研究の目的とする。昨年度に引き続き、その要素技術の開発を深めるため、主として以下の研究を行った。

土壌水分分布の精密計測では、昨年度、砂層内の水平方向の水分分布（体積含水率）の時間変化が、伝搬音速の時間変化と良く一致することを明らかにした。今年度は、土壌深さ方向の計測法を実験的に検討した。その結果、深さ方向でも伝搬音速の時間変化が計測でき、水分センサの体積含水率変化と相関性のあることが示された。今後は、根が存在する場合を検討する。縦挿型計測方式では、圃場に適用できるシステムとするため、新たに振源と受振器群を試作した。深さ毎の振動伝搬速度が計測できるよう 5 箇所に振源の小型超磁歪振動子と加速度センサを配置した。この評価実験から、水分分布による音速変化が計測可能なことを確認した。今後、複数縦挿型センサ群による高精度な可視化を検討する。

作物の生理状態評価では、当初、植物の植生指標の評価としてハイパースペクトルイメージによるリアルタイムの水分ストレス検出を目指した。しかし、植生指数に顕著な変化が現れるには、しおれ現象が相当進行してからであることが判明した。そこで、新たな作物生体情報として、葉の固有振動の経時変化からしおれ現象を検出する手法を開発した。切り取った葉の水分量（質量）の減少を電子天秤で計測しながら、葉にマイクロエアジェットを瞬時与え、その減衰振動から葉の固有振動数を求めた。その結果、水分量の減少に比例して葉の固有振動数が減少することが判明した。また、水耕栽培中のトマトの根を水から引上げ、同様な計測を行ったところ、類似の線形応答を確認した。以上から、作物の水ストレス診断として、葉の固有振動数計測を利用した方法の可能性が示唆された。

今後、これらの土壌水分可視化および葉固有振動数による水ストレス検出に関する技術を、農工大グループと連携して精密灌水制御システムに組み込む検討を進める。

(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）

当グループの提案システムは、淡水化システム、再生水処理システム、および省エネルギー化グリーンハウスから構成される。淡水化システムでは、太陽熱を利用した冷凍吸収器を用いた冷凍法による塩分除去を行うと同時に、生成された氷の冷熱ハウスでの利用を図り、再生水処理システムでは安価な重金属イオン及び有害有機物の除去を行う。グリーンハウス内では、熱環境を考慮した空調設備、太陽熱利用型除湿、効率的蒸散水循環システムを組み合わせたシステムの構築仕様を具体的に検討した。

水再生技術として、食品残渣から製造した吸着材による水中のクロム吸着除去を行った。パイナップル葉・炭化パイナップル葉・ヤム・アボガド・バナナの皮を使用した場合の pH・

接触時間・溶液温度等を評価した結果、炭化したパイナップル葉の場合、90%の六価クロムイオン除去率および18.8mg/gの最大吸着量を達成した。また、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判明した。回収を目的とした銅含有排水の浮選法処理では、銅含有排水に対し浮選法の適用、特に界面活性剤/捕収剤 PEX によるイオン浮選、ならびに硫化剤 NaHS による析出浮選を行った。銅 4.5ppm、亜鉛 9.2ppm、鉄 7.7ppm が共存する銅含有排水に対し、pH 調整なしで界面活性剤/捕収剤 PEX によるイオン浮選の場合銅を 0.6ppm 以下に低減できた。これに対し、pH 調整なしで硫化剤 NaHS による析出浮選の場合、NaHS は 25mg/L 添加すると銅はほぼ全部回収され、銅に対する選択回収の効果が確認された。一方、凝固点降下を利用した新たな脱塩プロセスの開発では、吸収冷凍機で生成される氷を用いた冷凍法脱塩では、庫内気温を-5℃前後に保ち、ゆっくりと氷を生成させて、塩分濃度の低い氷層と高い水層に分離でき、この生成水を最終的に濃度 0.3%以下に抑えて、農業用水に使用できることを明かにした。

園芸施設の空調システムの省エネルギー化では、グリーンハウスを対象に、中高温範囲の高潜熱蓄熱材による熱交換、再生水の細霧冷房、塩分除去システムから供給される冷熱利用、太陽熱を利用した除湿器、および効率的な蒸散水循環システムを組み合わせた省エネルギー型の空調設備の構築について理論的に検討した。ハウス内の各機器の熱収支に関するシミュレーションから、作物ならびにミストによる冷却効果が大きいことが判明した。また、冷凍機より供給される氷の冷熱については、氷潜熱が高いものの使用を考慮すると、夜間の冷温で蓄熱が可能な潜熱蓄熱材として利用が有効であることが示唆された。

§ 3. 成果発表等

(3-1) 原著論文発表

- 論文詳細情報

1. J. PONOU, J. Kim, L. P. Wang, G. Dodbiba and Toyohisa Fujita, “Sorption of Cr (VI) Anions in Aqueous Solution Using Carbonized or Dried Pineapple Leaves”, Chemical Engineering Journal, vol. 172, pp. 906-913, 2011.
2. Jung-Ah Kim, Gjergj Dodbiba, Yuji Tanimura, Kohei Mitsuhashi, Naoki Fukuda, Katsunori Okaya, Seiji Matsuo and Toyohisa Fujita, “Leaching of Rare-Earth Elements and their Adsorption by Using Blue-Green Algae”, Materials Transactions, vol. 52, No.9, pp. 1799-1806, 2011.