

# オンサイト計測可能な土壌中の 水分量・イオン濃度計測センサ

豊橋技術科学大学 テラーメイドバトツーン教育推進本部

特任助教 二川 雅登

豊橋技術科学大学 電気・電子情報工学系

教授 澤田 和明

# 研究背景

災害の予知・予防  
精密農業

センサに対する要望

リアルタイム計測、精密計測

土壌のセンシング

- ・水分量
- ・養分濃度 (= イオン濃度)



がけ崩れの予防



液肥栽培

センサシステムの小型化： 取り付け場所に制限がなくなる  
オンサイトモニタリング： 継続的な監視が可能

# 研究背景 ～従来の土壌のオンサイトセンシング～

## 水分量

### テンシオメーター

イオン濃度: 影響無

サイズ: 大きい  
(直径: ~ 5 cm)

応答速度: 遅い  
(~ 5 min)



### 静電容量型、TDR

イオン濃度: 影響有

サイズ: 大きい  
(幅: ~ 3 cm)

応答速度: 早い  
(~ 1 nsec)



## イオン濃度

### 電気伝導度

水分量: 影響有

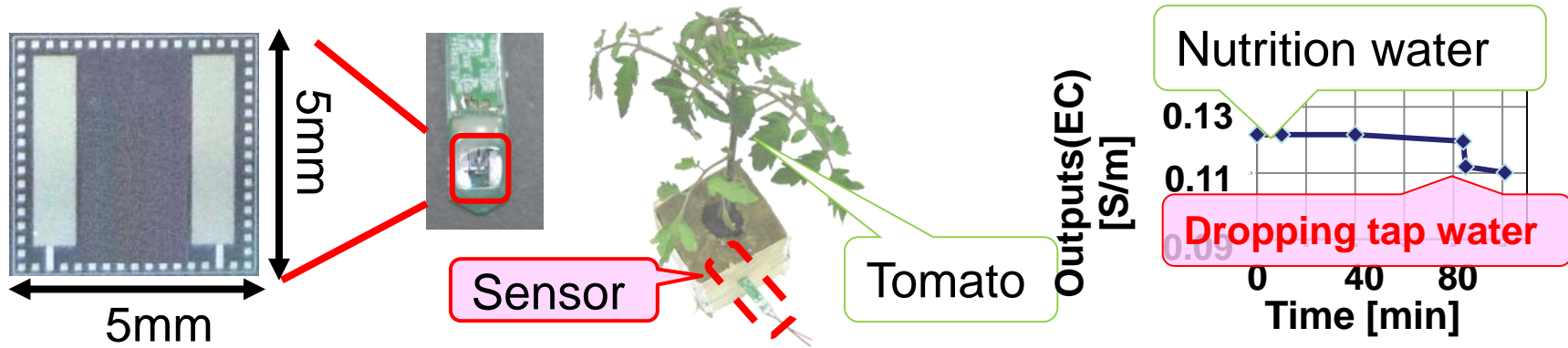
サイズ: 大きい  
(幅: ~ 2 cm)

応答速度: 早い  
(~ 1 msec)

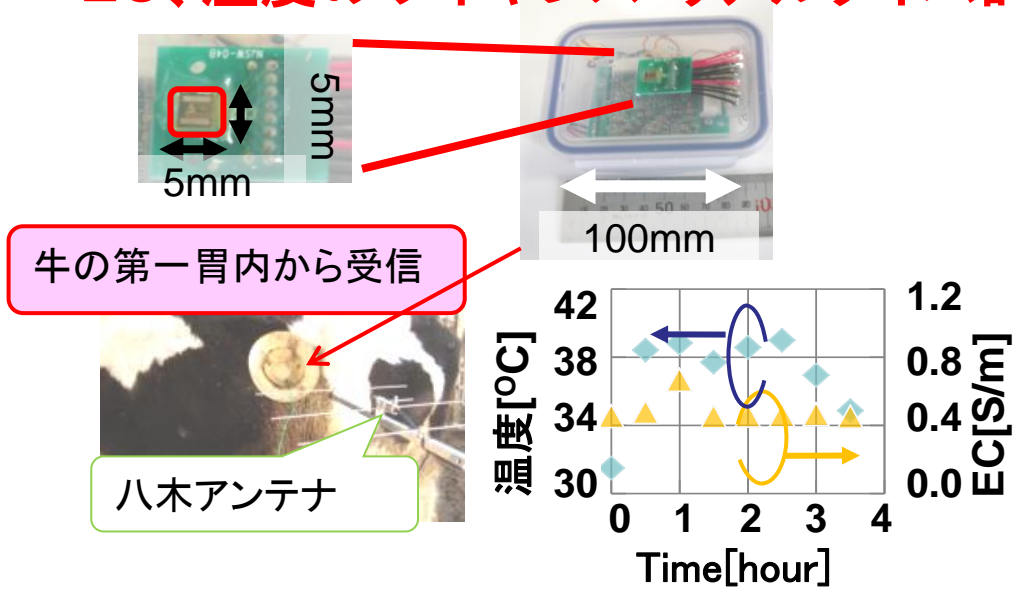


# 研究背景 ~これまでの研究成果~

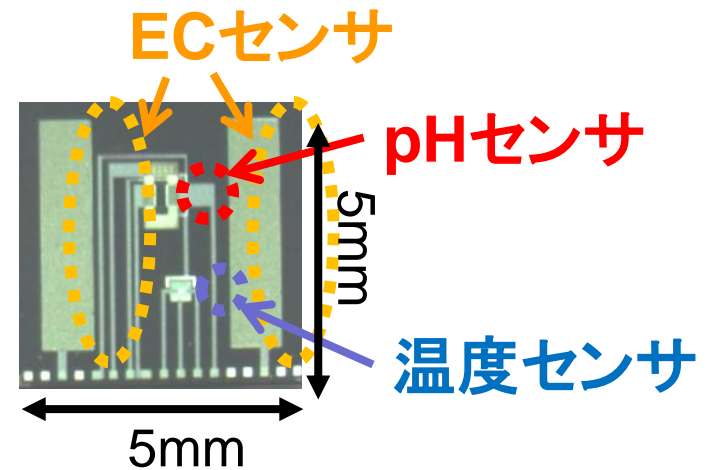
## 小型ECセンサのリアルタイム計測※1,2



## EC、温度のワイヤレス・リアルタイム計測※3



## EC、pH、温度の同時・リアルタイム計測※4



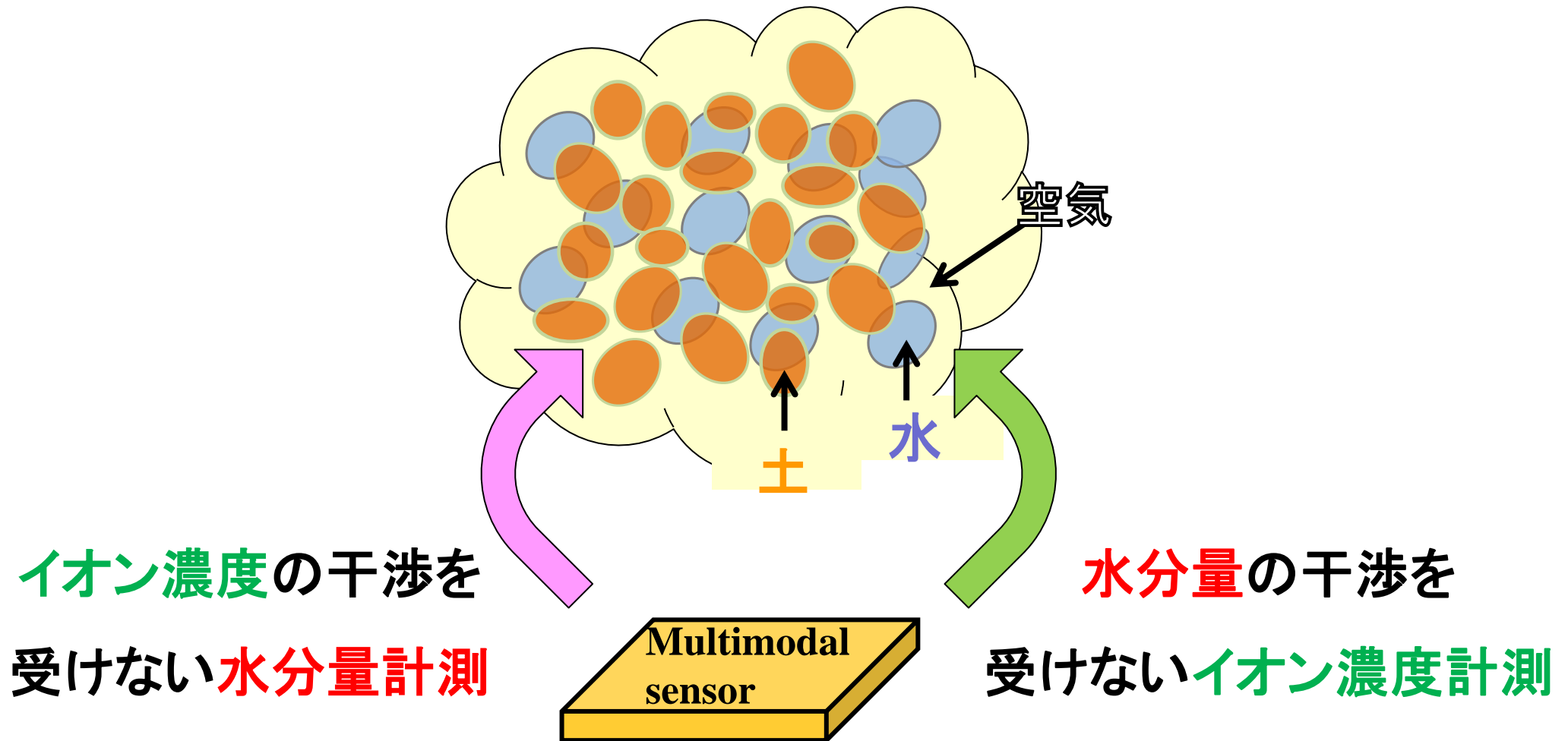
※1 M. Futagawa, *et al.*, JJAP, 48, pp. 04C184-1-4, 2009

※2 川嶋和子 他., 電気学会論文誌E, Vol. 131, No. 6, pp. 211-217, 2011.

※3 M. Futagawa, *et al.*, JJAP, 49, pp. 04DL12-1-4, 2010

※4 M. Futagawa, *et al.*, IEEE Sensors Conference, New Zealand, 2009

# 新技術の基となる研究成果・技術

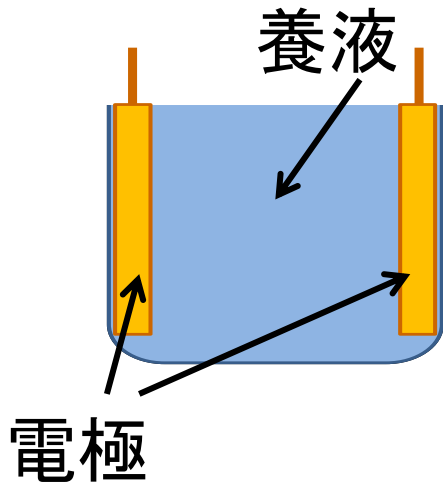


# 研究成果・技術～物理情報の表す意味～

水分量 [ $\text{m}^3/\text{m}^3$ ]: 単位体積  
当たりの水の体積

イオン濃度 [ $\text{S}/\text{m}$ ]: 水に含まれる  
すべてのイオンの濃度

窒素, リン酸, カリウム, 塩



水を半分捨てたとき

煮沸により水が半分  
になったとき

水分量 (WC):  $1 \text{ m}^3/\text{m}^3$   
イオン濃度 (IC):  $1 \text{ S}/\text{m}$   
電気伝導度 (EC):  $1 \text{ S}/\text{m}$

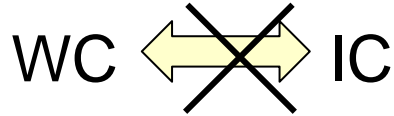
WC:  $0.5 \text{ m}^3/\text{m}^3$   
IC:  $1 \text{ S}/\text{m}$   
EC:  $0.5 \text{ S}/\text{m}$

WC:  $0.5 \text{ m}^3/\text{m}^3$   
IC:  $2 \text{ S}/\text{m}$   
EC:  $1 \text{ S}/\text{m}$

$$EC = WC \times IC$$

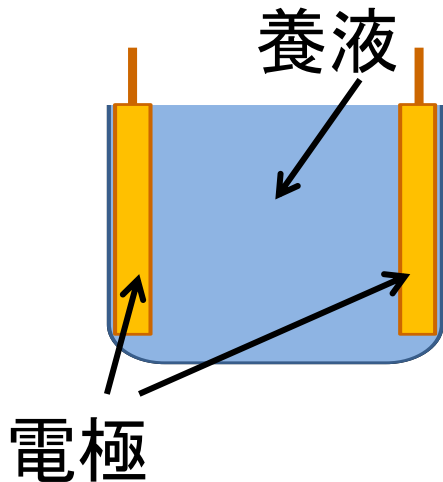
# 研究成果・技術～物理情報の表す意味～

独立要素



EC: WCとICの掛け算

$$EC = WC \times IC$$



水を半分捨てたとき

煮沸により水が半分になったとき

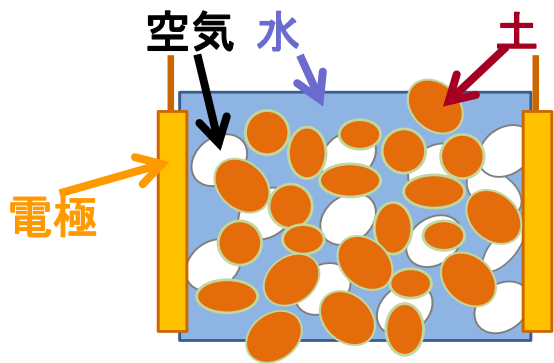
水分量 (WC):  $1 \text{ m}^3/\text{m}^3$   
イオン濃度 (IC):  $1 \text{ S/m}$   
電気伝導度 (EC):  $1 \text{ S/m}$

WC:  $0.5 \text{ m}^3/\text{m}^3$   
IC:  $1 \text{ S/m}$   
EC:  $0.5 \text{ S/m}$

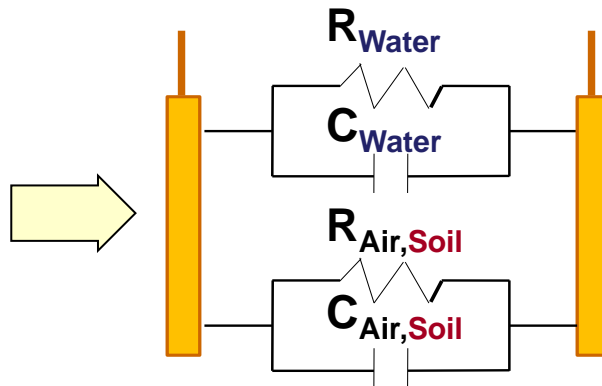
WC:  $0.5 \text{ m}^3/\text{m}^3$   
IC:  $2 \text{ S/m}$   
EC:  $1 \text{ S/m}$

$$EC = WC \times IC$$

# 研究成果・技術～土壌の電気的モデル～



土壌モデル



電気的等価回路

$$\frac{1}{R_{Total}} = \frac{1}{R_{Water}} + \frac{1}{R_{Air,Soil}}$$

全ての要素に水分量が含まれている

$$= \left\{ WC \cdot \sigma_{Water} + (1 - WC) \cdot \sigma_{Air,Soil} \right\} \frac{S}{d}$$

Conductivity ( $\sigma$ )

$$\sigma_{Water} \gg \sigma_{Air,Soil}$$

↑  
IC

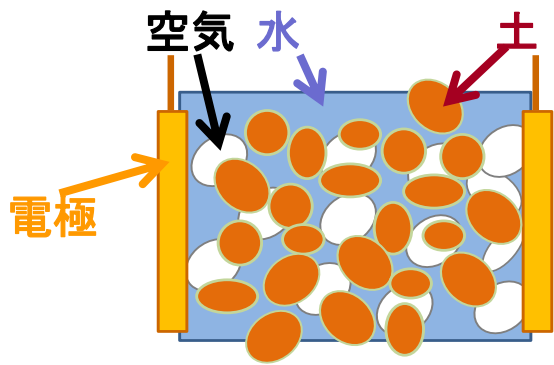
$$\cong WC \cdot \sigma_{Water} \cdot \frac{S}{d} = \frac{WC \cdot IC \cdot S}{d}$$

↑  
EC

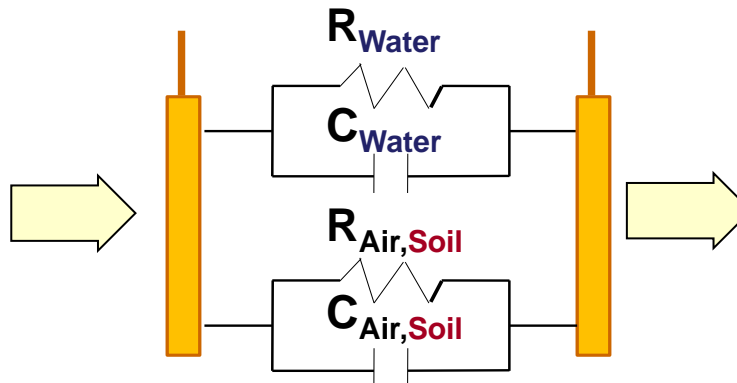
- ・抵抗成分は、ほぼ水の抵抗とみなせる
- ・水の抵抗は、水分量とイオン濃度の掛け算で表わされる



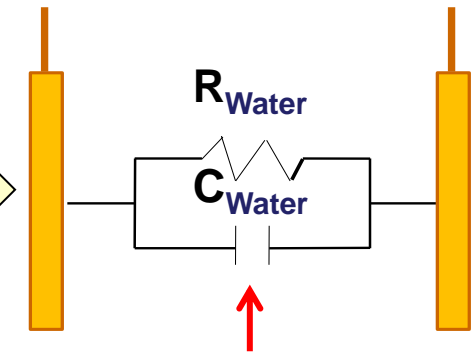
# 研究成果・技術～土壤の電気的モデル～



土壤モデル



電気的等価回路



水の要素だけが残る

$$C_{Total} = C_{Water} + C_{Air,Soil}$$

$$= \{ WC \cdot \epsilon_{Water} + (1 - WC) \cdot \epsilon_{Air,Soil} \} \epsilon_0 \frac{S}{d}$$

$$\cong \underline{(WC \cdot \epsilon_{Water})} \epsilon_0 \frac{S}{d} \propto WC$$

比誘電率 ( $\epsilon$ )

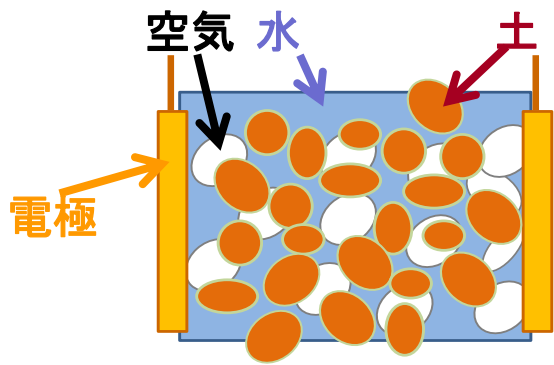
$\epsilon_{Water}$ : about 80

$\epsilon_{Soil}$ : about 3

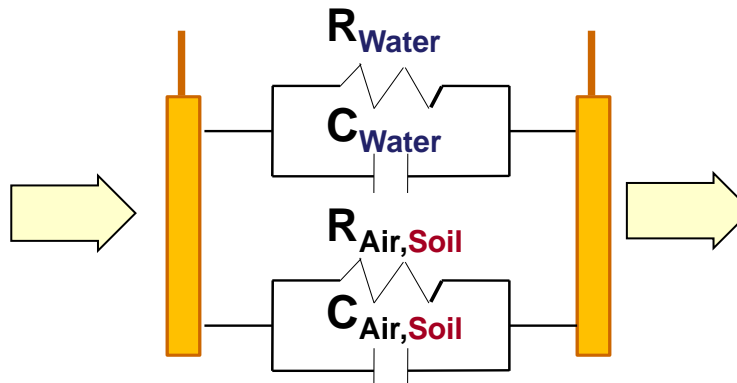
$\epsilon_{Air}$ : 1

- ・全体の容量は、ほとんど水の容量とみなせる
- ・水の容量は、水分量と比誘電率の掛け算で表わされる

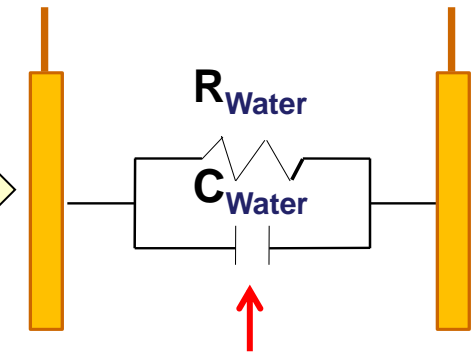
# 研究成果・技術～土壤の電気的モデル～



土壤モデル



電気的等価回路



水の要素だけが残る

$$C_{Total} = C_{Water} + C_{Air,Soil}$$

$$= \{ WC \cdot \epsilon_{Water} + (1 - WC) \cdot \epsilon_{Air,Soil} \} \epsilon_0 \frac{S}{d}$$

$$\cong \underline{(WC \cdot \epsilon_{Water})} \epsilon_0 \frac{S}{d} \propto WC$$

↑  
静電容量型水分量センサ: このメカニズムを利用して計測

比誘電率 ( $\epsilon$ )

$\epsilon_{Water}$ : about 80

$\epsilon_{Soil}$ : about 3

$\epsilon_{Air}$ : 1

水道水 (約5mS/m) の比誘電率: 80

海水 (約5S/m) の比誘電率: 70

~~イオン濃度の影響を排除~~

# 従来技術とその問題点

既に実用化されている静電容量型水分量センサは比誘電率を計測して水分量に換算しているが、

イオン濃度変化による水の比誘電率の変動  
100MHz以上の高周波動作が必要

等の問題があり、広く利用されるまでには至っていない。

# 新技術の特徴・従来技術との比較

- 従来技術の問題点であった、イオン濃度、水分量の相互干渉を完全に無くすことに成功した。
- 従来はサイズが大きく、観察ポイントの制限があったが、ミリ単位まで小型化でき、根の近傍に多数配置するなど、不均一空間での分布を把握することができるようになった。
- 本技術の適用により、低い動作周波数での計測が可能となるため、計測システムのコスト削減、小型化が期待される。

# 想定される用途

- 本技術の特徴を生かすためには、局所的な空間や、多点計測による3次元分布を必要とする分野にメリットが大きいと考えられる。
- 上記以外に、イオンの授受を行う根などの活動の可視化も期待される。
- また、達成されたイオン濃度計測に着目すると、津波被害地や土壌汚染現場での土壌改良といった分野や用途に展開することも可能と思われる。

# 想定される業界

- 利用者・対象

農業分野における農作物生産現場、研究所等  
防災分野における土砂崩れ予知

- 市場規模

野菜作営農規模の中規模・大規模施設栽培に限定した  
場合、5ha以上の経営面積計が3449.7a※であり、  
1台/1a、普及率30%として年間1000台の販売が見込  
める。

※平成21年農林水産統計データより

# 実用化に向けた課題

- 現在、センサ形状や位相計測の最適化が完了しており、現場計測が可能なところまで開発済み。しかし、位相計測回路の小型化が未解決である。
- 今後、計測回路の最適化、実用化について検討を行い、連続計測可能なシステムを構築していく。
- 実用化に向けて、分解能の確認、向上も検討していく。

# 企業への期待

- 未解決の位相検出回路については、マイコン制御やアナログ電子回路により克服できると考えている。
- 電子回路設計技術を持つ、企業との共同研究も希望。
- また、農業分野、防災分野、環境計測分野の計測器を開発中の企業や展開を考えている企業には、本技術の導入が有効と思われる。



# 本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 : 土壌の水分状態特定装置  
及びその方法
- 出願番号 : 特願2010-138443
- 出願人 : 豊橋技術科学大学
- 発明者 : 二川雅登、澤田和明

# 産学連携の経歴

- 2006年度-2008年度 先進的家畜管理システム  
実用化事業に採択
- 2007年度-2009年度 愛知県農工連携事業
- 2010年度-2011年度 中部経産局 地域イノベーション  
創出事業に採択

# お問い合わせ先

**豊橋技術科学大学**

**産学連携推進本部**

**富田 充**

**TEL 0532-44-6975**

**FAX 0532-44-6980**

**e-mail [tomita@chizai.tut.ac.jp](mailto:tomita@chizai.tut.ac.jp)**