

農業応用を指向した マルチモーダルセンシングシステムの開発

豊橋技術科学大学 エレクトロニクス先端融合研究所 (EIIRIS)

野田 俊彦, 戸田 清太郎, 高山 弘太郎, 澤田 和明

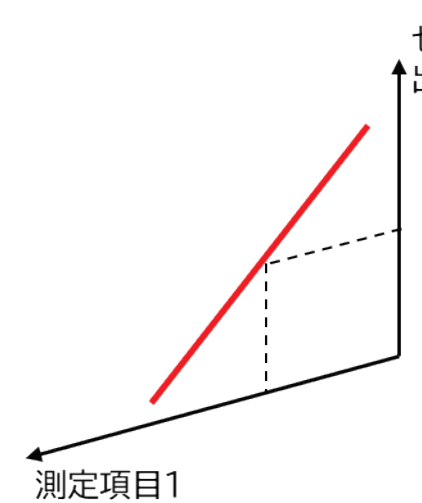
マルチモーダルセンサとは

ひとつで複数種の情報が計測可能なセンサ

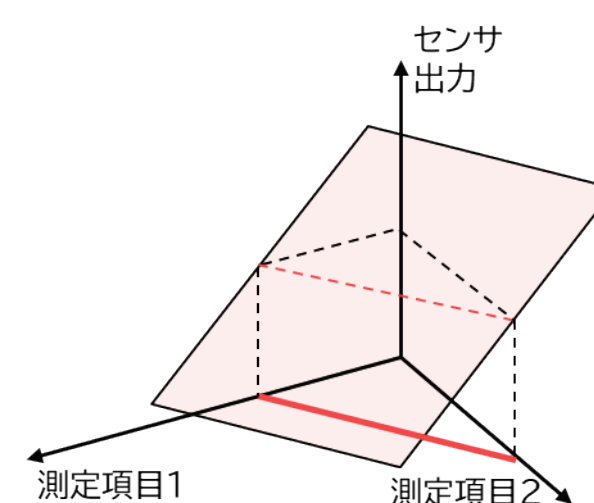
- 研究例**
- 1チップでイオンと光を計測するイメージセンサ
 - 水素イオン, カリウムイオン, ナトリウムイオンを同時計測するイメージセンサ

- 特徴**
- 多数の情報取得が可能
 - 高い選択比 (他の項目に応答しない) のセンサが不要

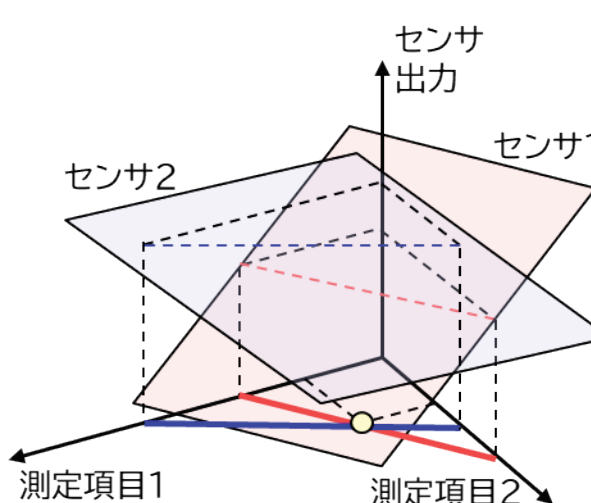
ケース1 センサが1つの測定項目のみに応答
センサ出力から測定値が一義的に決定



ケース2 センサが2つの測定項目に応答
測定値1と2の組み合わせしか分からない



ケース3 応答特性の異なる2つのセンサを使用
測定値1と2が一義的に決定



- 測定項目数と同数以上のセンサの組み合わせにより, 各測定値を一義的に求められる
- センサ数を増やすと測定精度が上がる

農業用マルチモーダルセンサ

植物工場に代表されるスマート農業に必要なセンサを開発

スマート農業 (植物工場)

成長に関する項目を測定して最適制御

土壌中イオン(養分), 水分量, pH, 気温, 地温, 湿度, 日射量 etc.



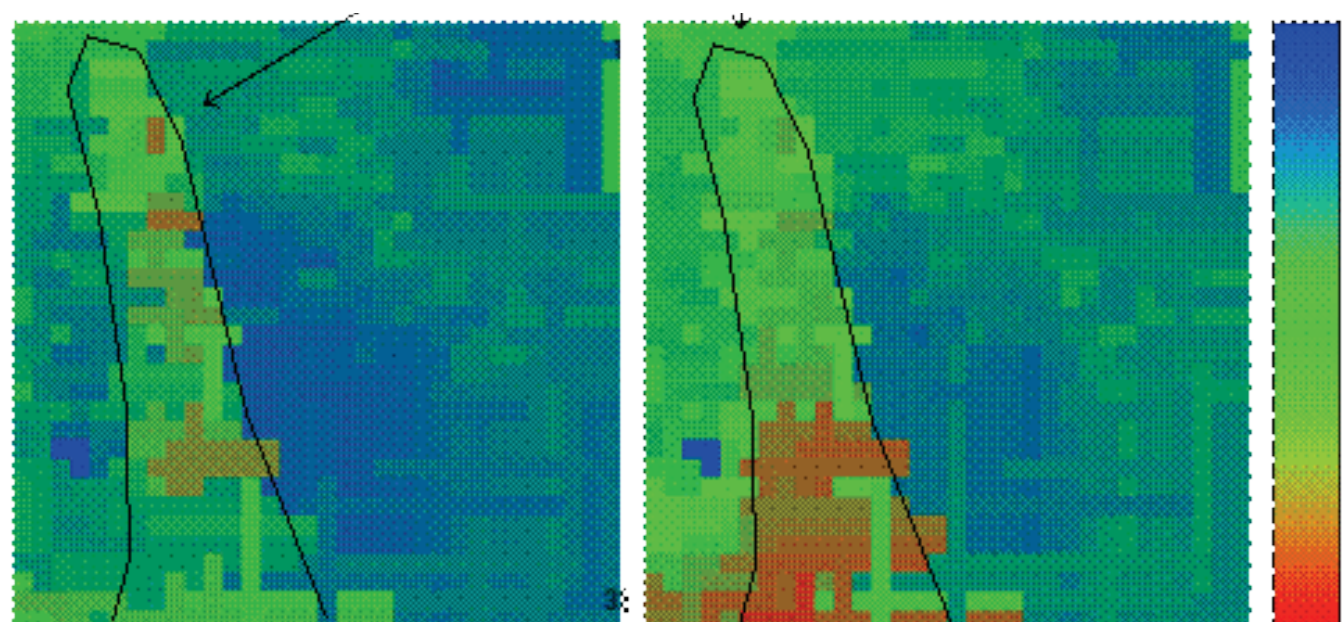
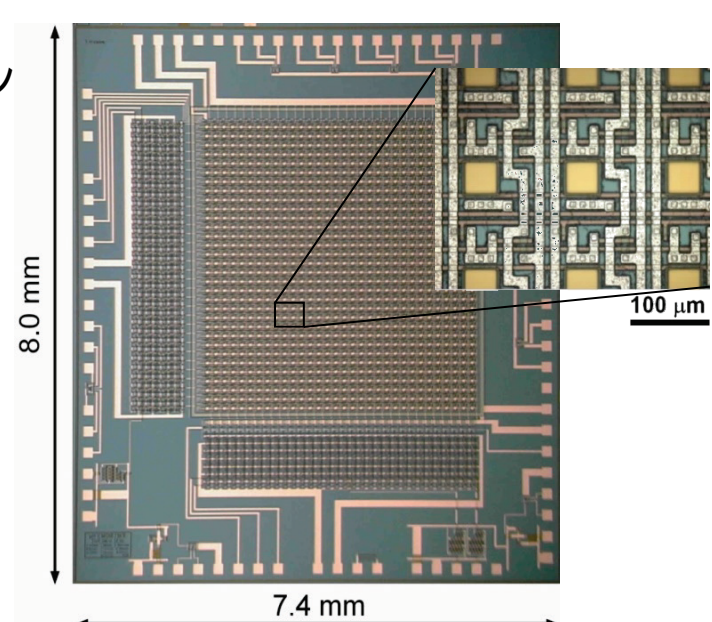
センサ開発の技術的課題

- 電極や感応膜の機械的強度
- 水分, 湿度, イオンからセンサを守る保護膜, パッケージング技術
- 長期安定性, 耐久性 (数ヶ月~数年)
- 無線化

植物計測実証事例

根の状態を可視化するイオンセンサ

32×32画素 水素イオン
イメージセンサによる
稲の根の観察

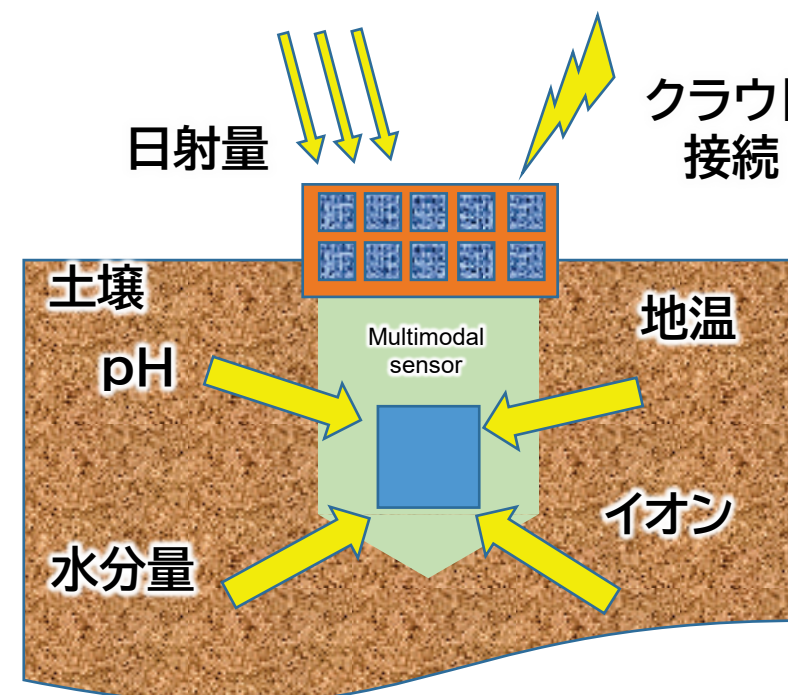


稲の根からのクエン酸放出

開発ターゲット

土壌刺入型マルチモーダルセンサ

- 土壌pH, イオン, 水分量, 地温等を測定するセンサを1チップ集積化
- 集積化センサを植物工場内に多数設置
- 無線接続によるクラウドサーバーへの計測情報アップロード
- 植物工場内の土壌リアルタイムモニタリング



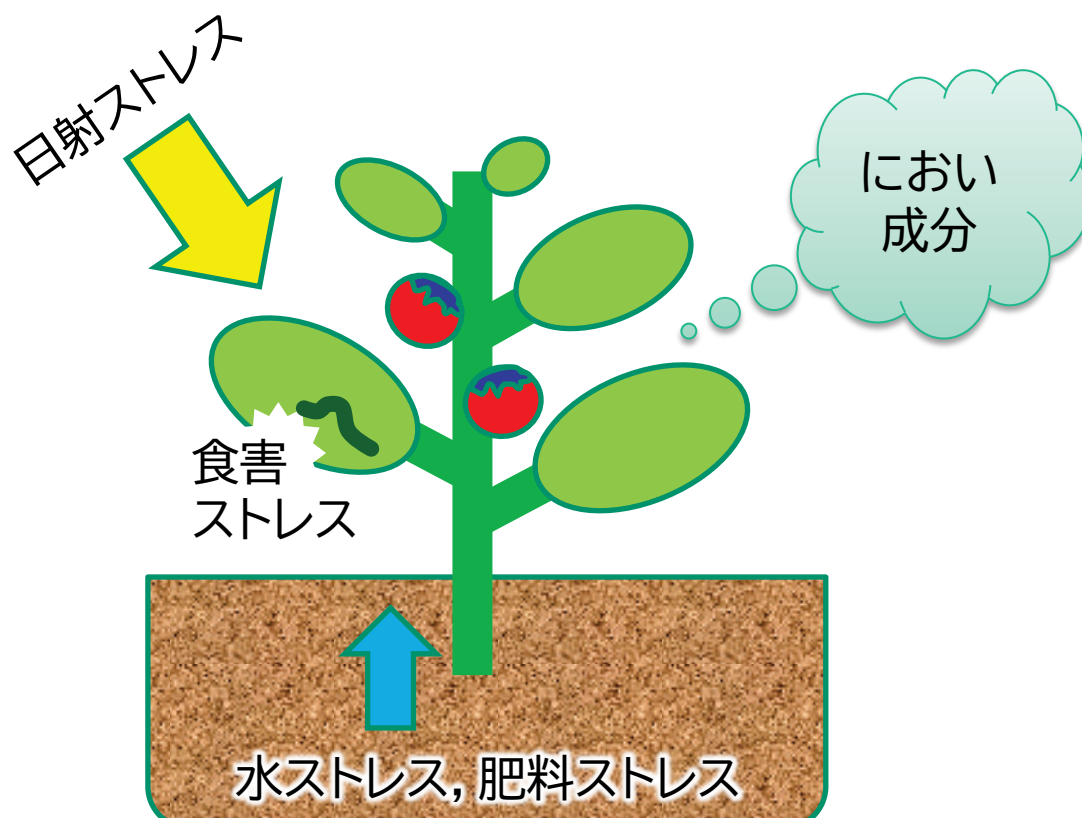
植物刺入型マルチモーダルセンサ

- 集積化センサを植物の茎や根に直接刺入
- サップフローセンサによる茎の中の水の流れ (樹液流量) 計測
- イオンイメージセンサによる肥料の三要素 (窒素, リン酸, カリウム) の計測
- 植物内でのイオンの動きを可視化し, 転流メカニズムを解明

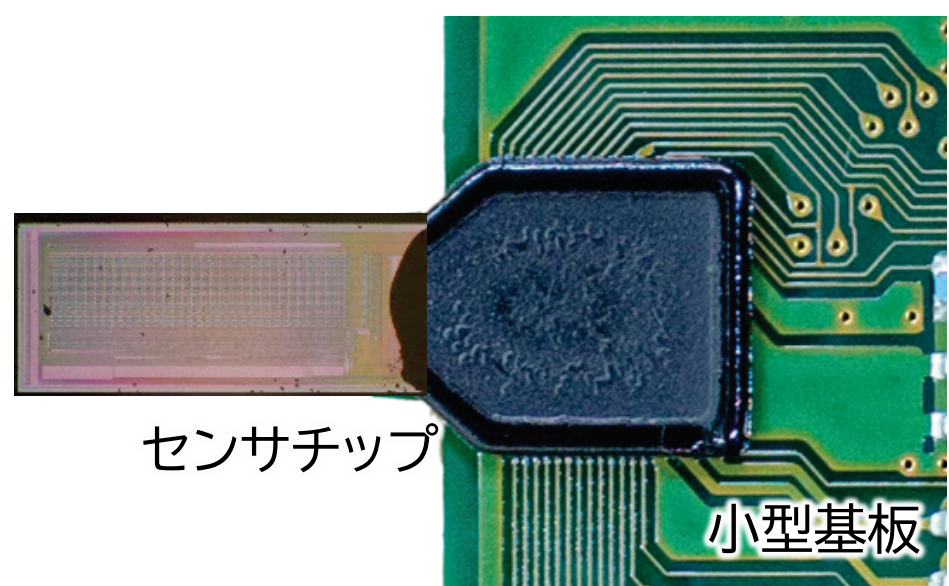


植物が放出するにおいセンシング

- 植物は生育状態 (ストレス) により特有のにおいを放出
- においセンシングにより, 植物の生育状態を早期非破壊検出

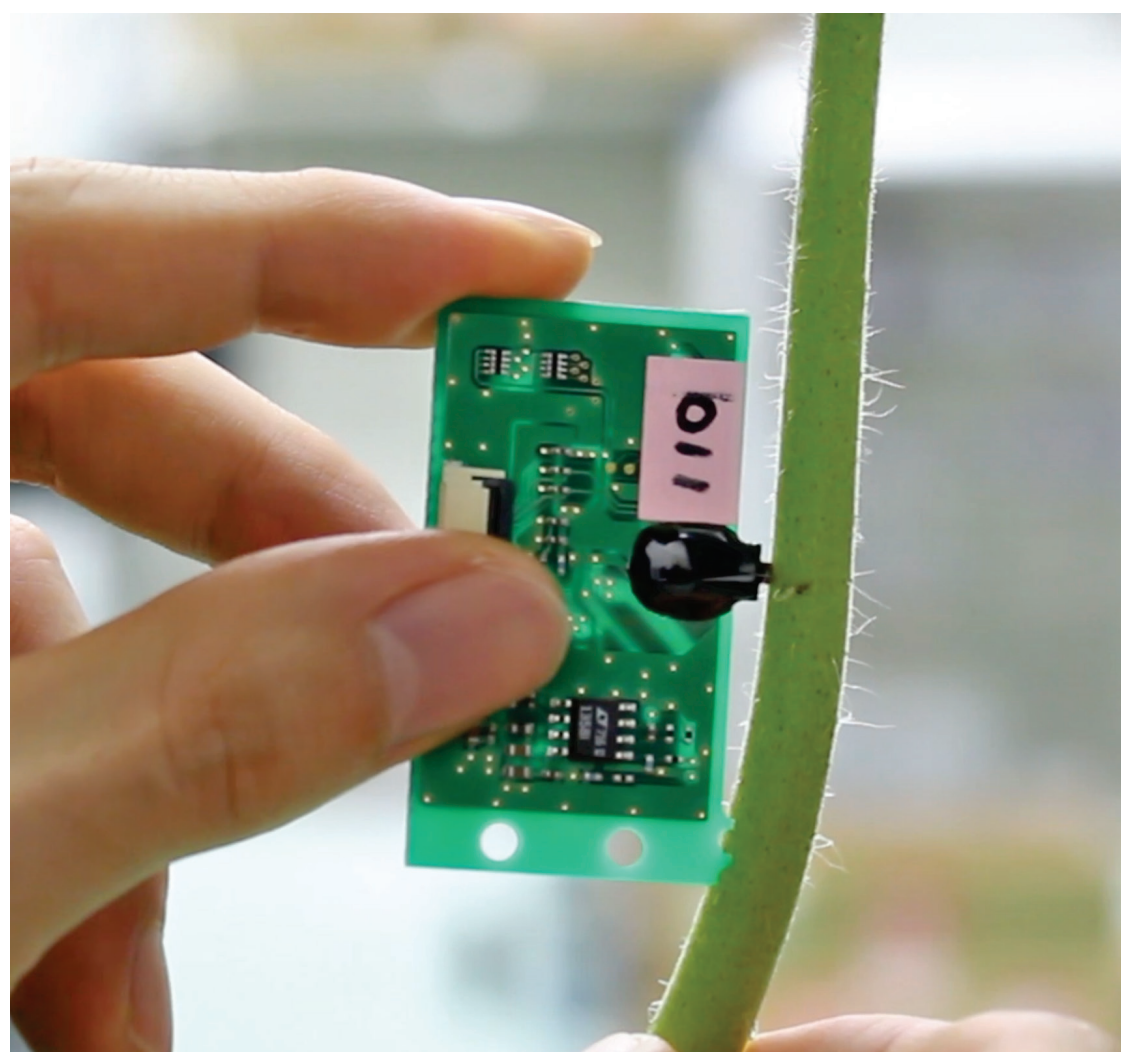


トマト茎内イオンイメージングの実証



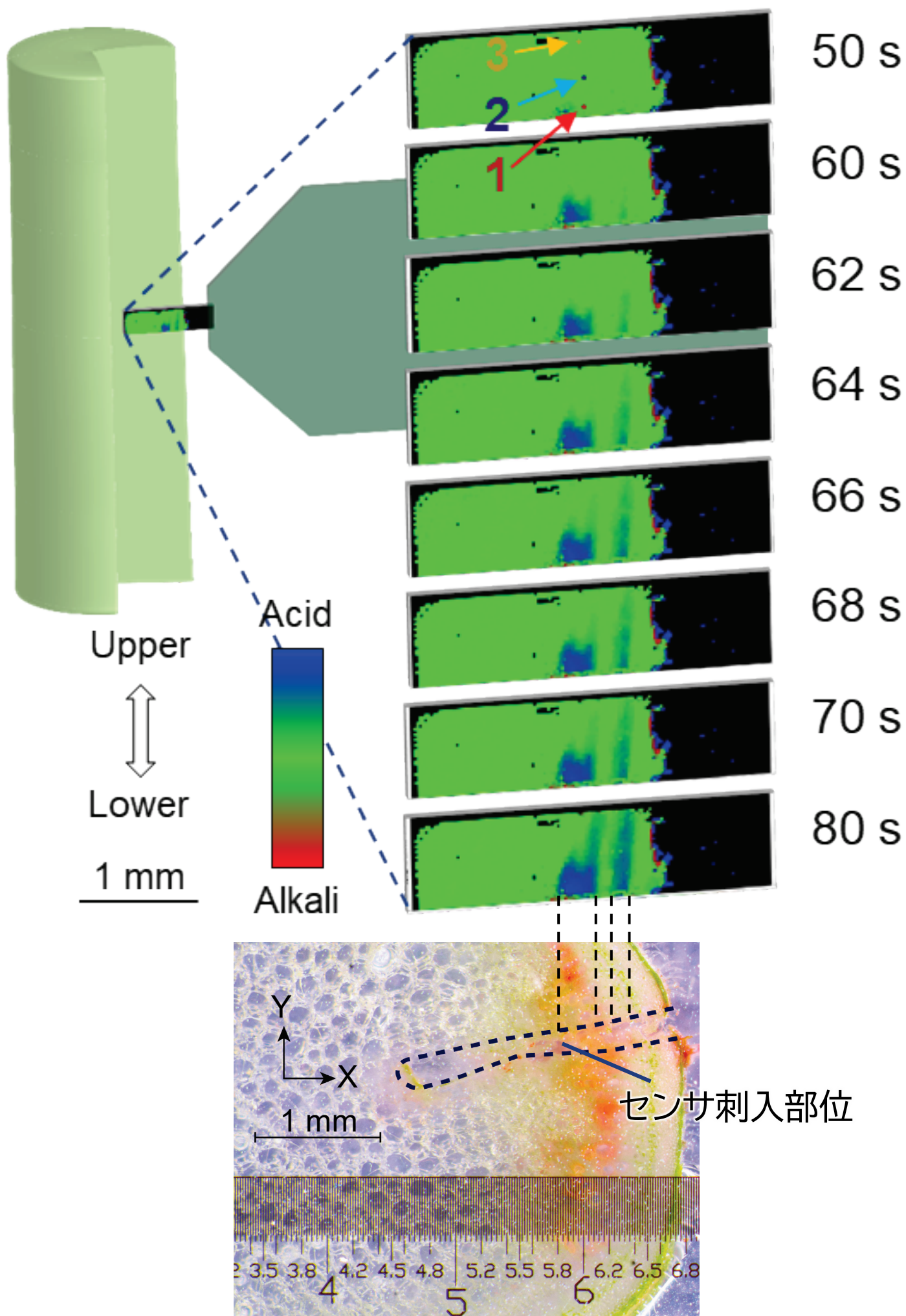
刺入型 水素イオン (pH) イメージセンサ

- チップサイズ 2×4 mm²
- 薄さ 0.1 mm (≒紙幣厚さ)
- 画素数 128 × 32画素
- 画素ピッチ 23.8 μm



トマト茎への刺入試験

K. Sembo, // T. Noda et al., Transducers 2021, B3-3C3.



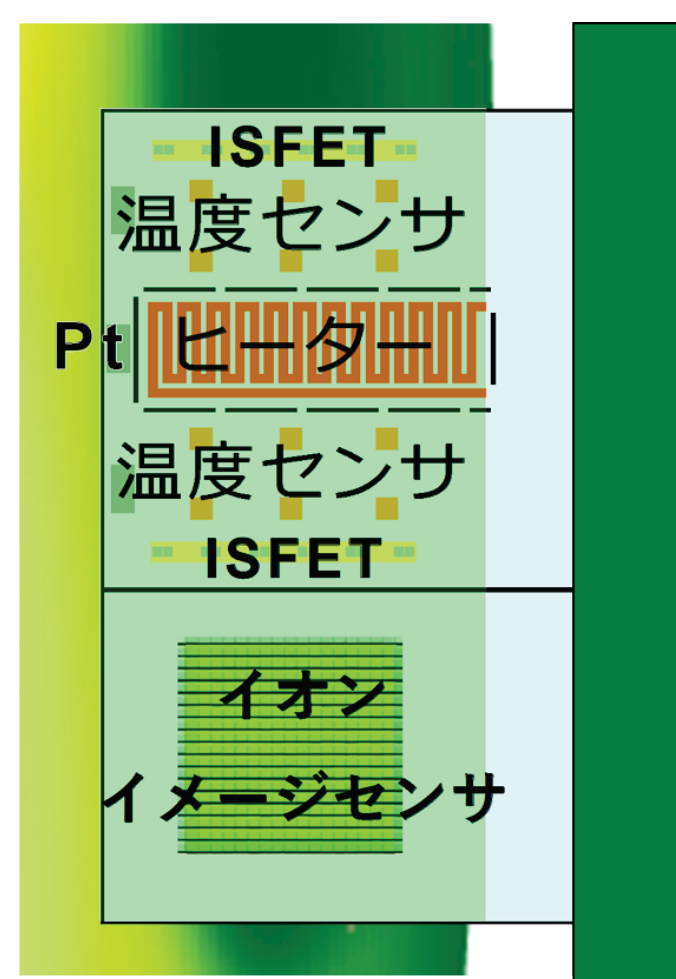
トマト茎内イオンイメージング結果

- 酸性溶液を切断茎下部から注入し, 茎内の水素イオン濃度 (pH) の変化をイメージング
- 時間経過に伴い, 茎内の特定部位で下部から上部に向けて酸性領域が拡大
- 取得イメージと茎断面構造の一致を確認

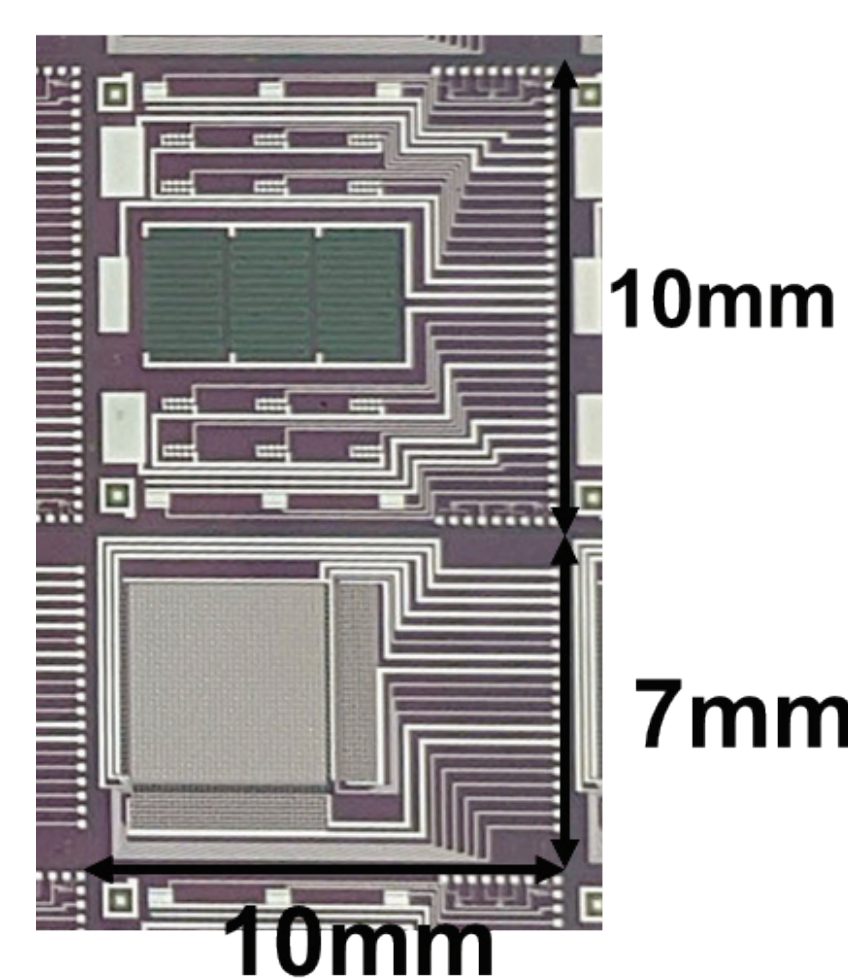
植物刺入型マルチモーダルセンサの作製

複数センサを1チップ集積化

- サップフローセンサ (ヒーター&温度センサ) 茎の中の水の流れ (樹液流量) 計測
- ISFET 茎内イオン (リン酸, カリウム, カルシウム等) の濃度計測
- イオンイメージセンサ 茎内イオン濃度分布の計測
- ECセンサ (Pt電極) 茎内電気伝導度の計測



試作センサ概略図



試作センサチップ写真

豊橋技科大 個体機能デバイス研究施設
5μm 1-poly 1-metal 標準CMOSプロセスにて作製