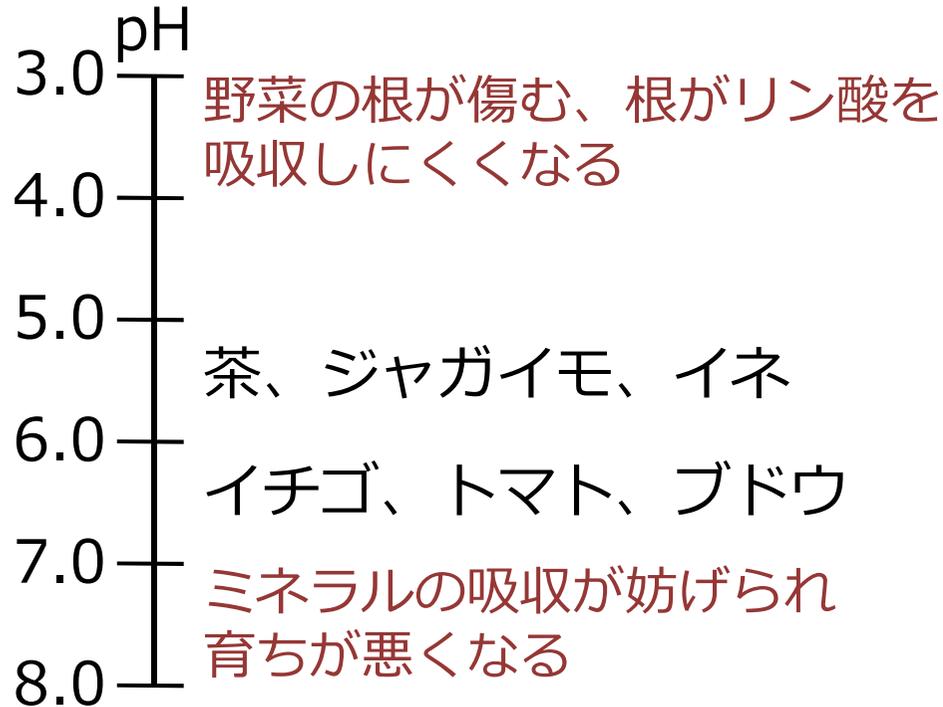


# 長期連続計測かつ省電力モードが 可能なストライプゲート電極付き pHセンサの開発

静岡大学 工学部 電気電子工学科  
准教授 二川 雅登

2022年11月24日

## 作物生育の適正pH



作物生育中の土壌pHを計測、調整することにより効率的な生育、栄養価の高い作物を作成可能

### 市販pHセンサの欠点

- ・ 土壌に十分な水分量が必要
- ・ 土から水分抽出が必要  
→連続計測が困難

⇒ISFET型pHセンサの使用

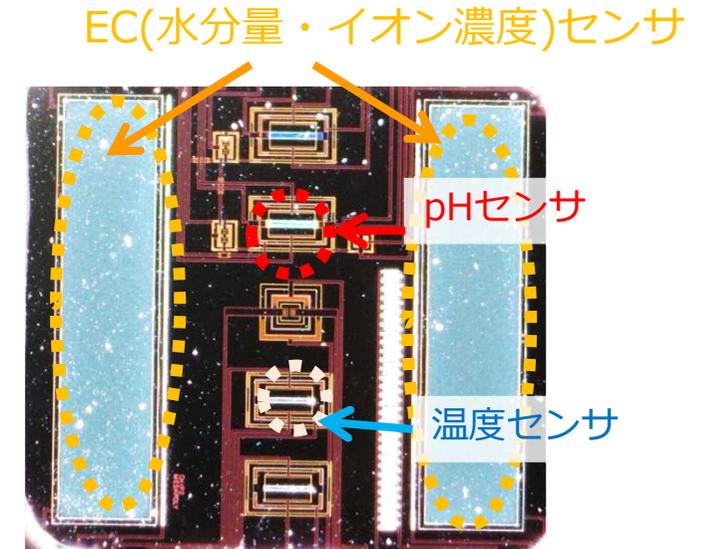
## ISFET (Ion Sensitive Field Effect Transistor)

- 土壌や高圧水などの特殊環境で計測可能
- 小型、堅牢、高い応答速度

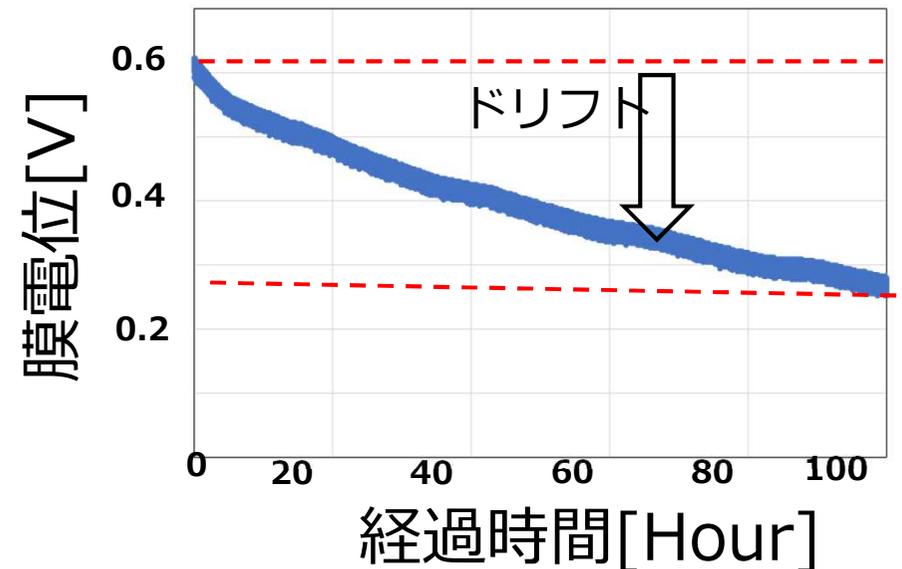
### マルチモーダルセンサ (1)

下記の3つのセンサを集約したセンサ  
土壌に直接挿入可能

- EC (水分量・イオン濃度) センサ
- 温度センサ
- ISFET型pHセンサ



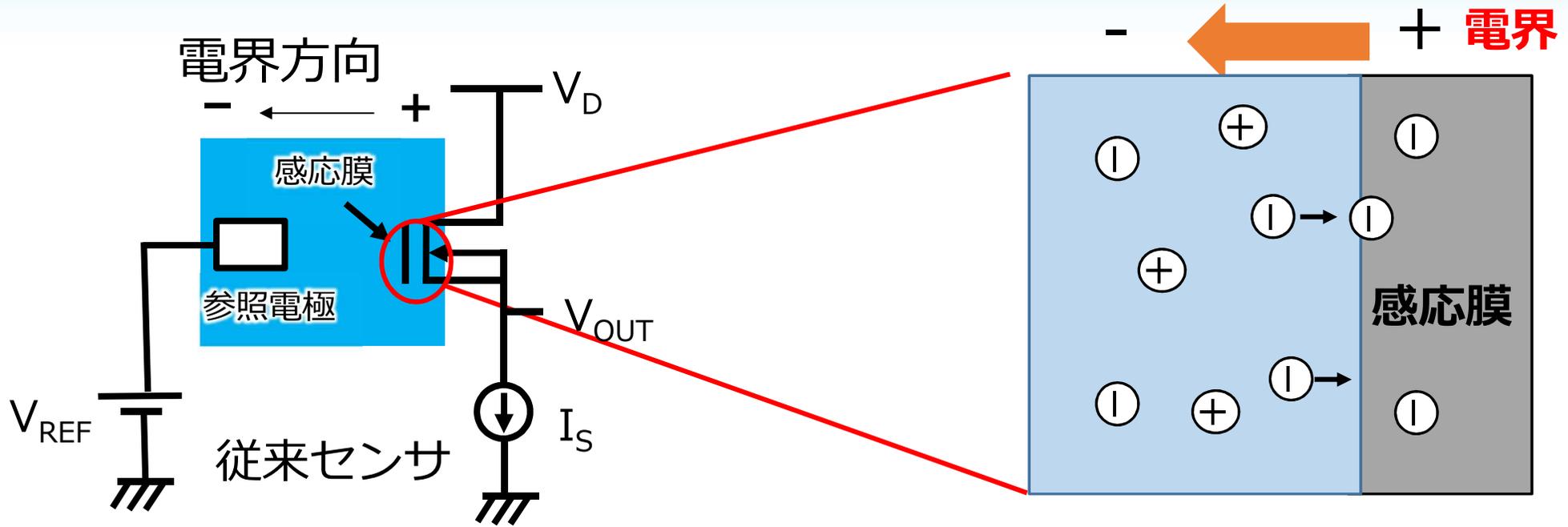
### マルチモーダルセンサ(1)



### ISFET型pHセンサの問題点

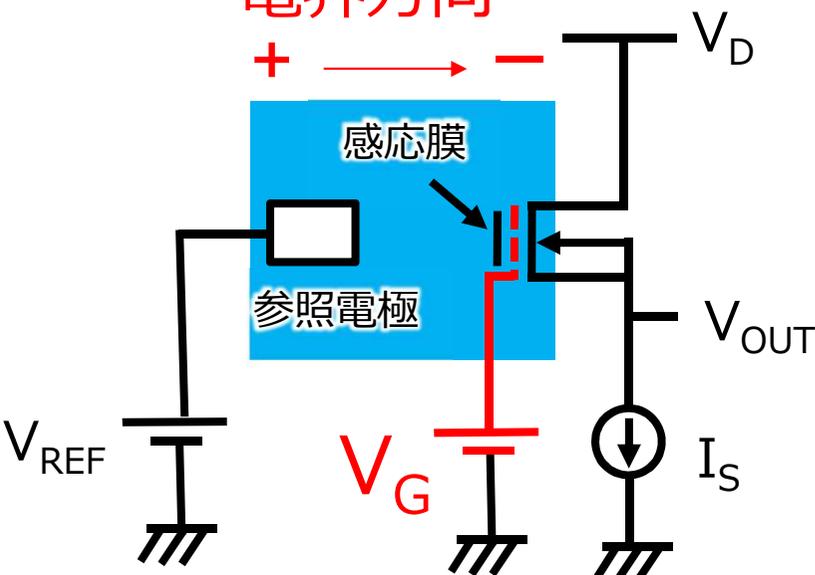
×時間経過で出力が減少 (ドリフト)  
⇒正確なpH計測が困難

# 計測手法とドリフト



電界方向

+ → -

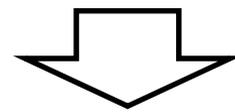


ストライプゲート型センサ

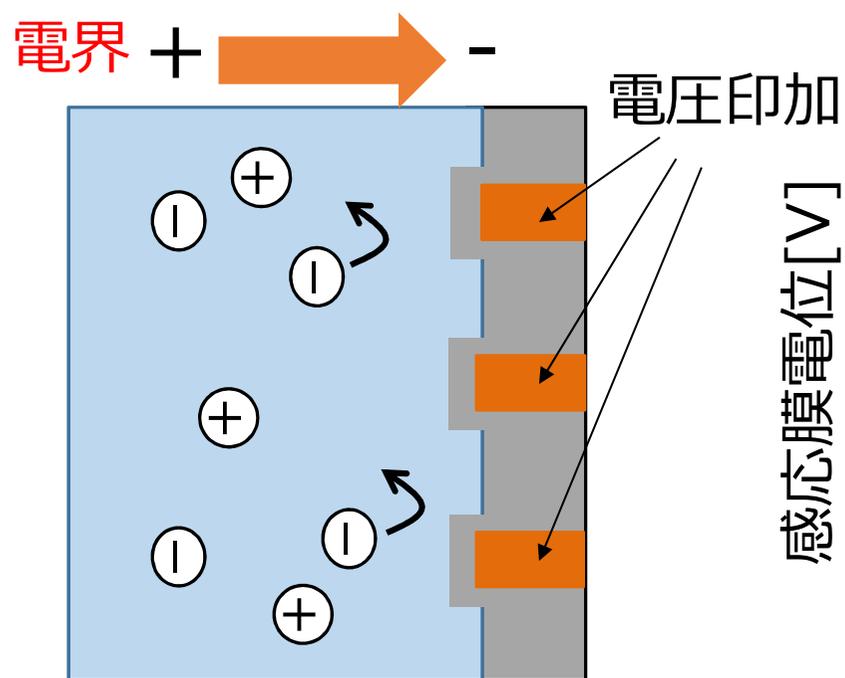
電界方向がセンサ→溶液のため、イオン感応膜にOH<sup>-</sup>が浸透し、ドリフトが起こる



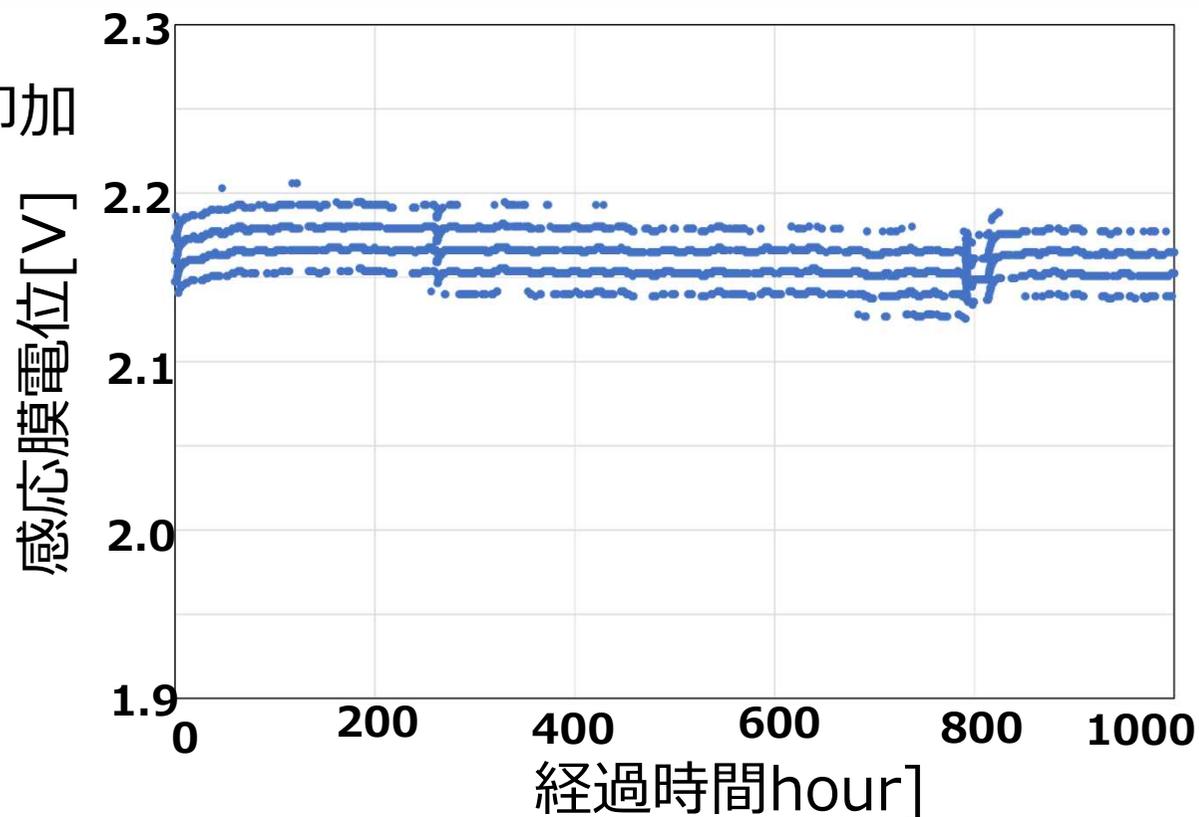
電界方向を溶液→センサにすることでOH<sup>-</sup>の浸透を防ぎ、ドリフトを抑制可能



ストライプゲート型ISFETで電界方向を制御することで解決



ストライプゲート型センサ



## ストライプゲート型ISFETを用いたドリフト抑制

- ・ 従来センサの感応膜にゲート電極をストライプ状に追加
- ・ 溶液電位より低い電位をゲート電極に印加（電界方向を制御）

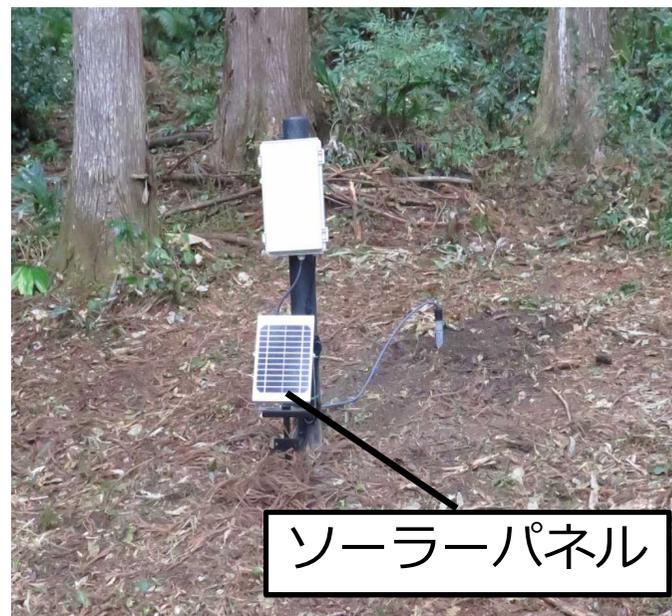
1000時間の計測においてドリフト抑制を達成

# 本発明の目的

従来、実験室環境では常に通電して計測

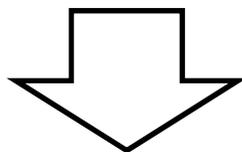


実際の現場では使用できる電力に限界がある  
⇒非計測時間が必要



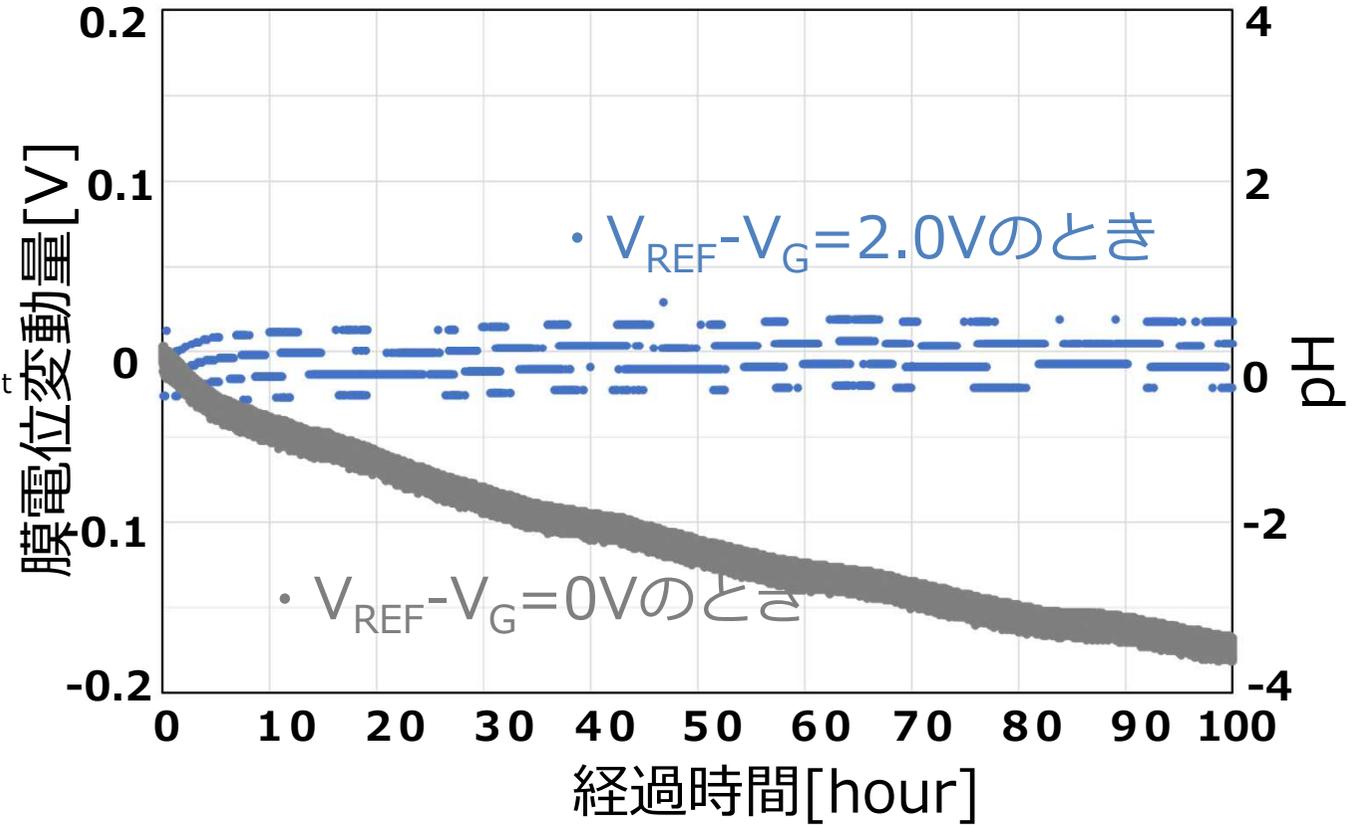
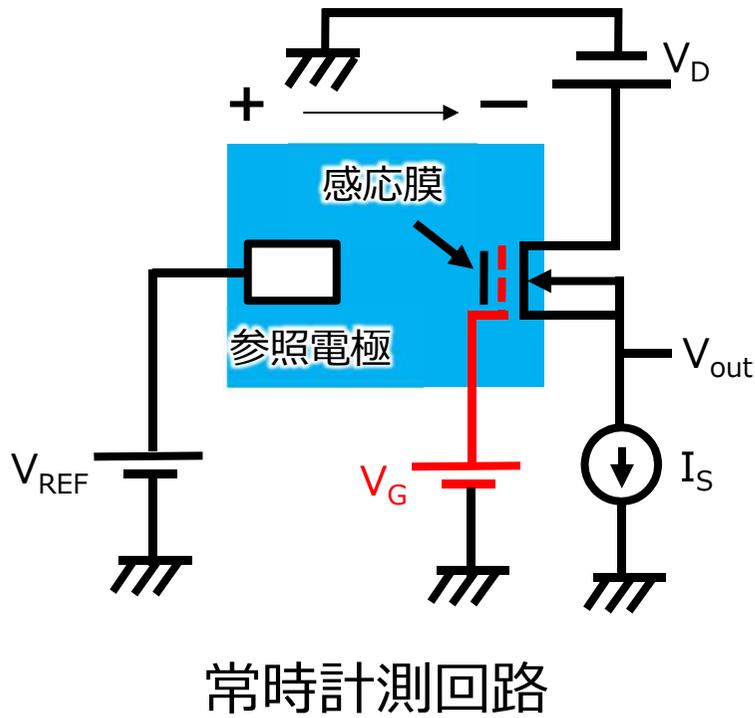
実際の計測現場

常時計測においてはドリフト抑制可能  
実際の現場では非計測時間が大半を占める



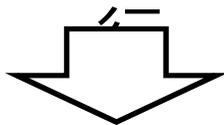
非計測時にもドリフトを抑制できる回路が必要

# ドリフトと $V_{REF}-V_G$ との関係



実際の現場において、常に計測することは電力的に困難

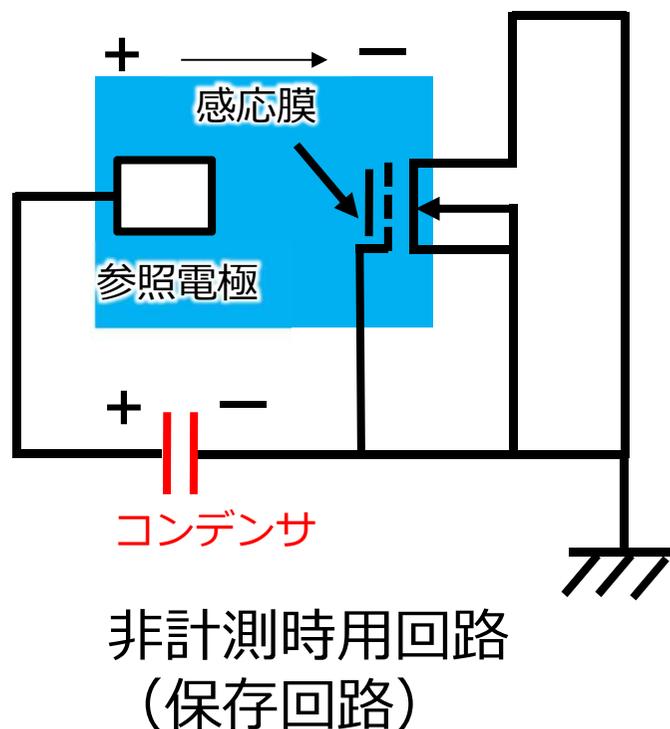
$\Rightarrow V_{REF}-V_G=0\text{ V}$  (通電なし)の場合ドリフトは進



常に $V_{REF}-V_G$ の電位差を保つ必要がある

## 要求仕様

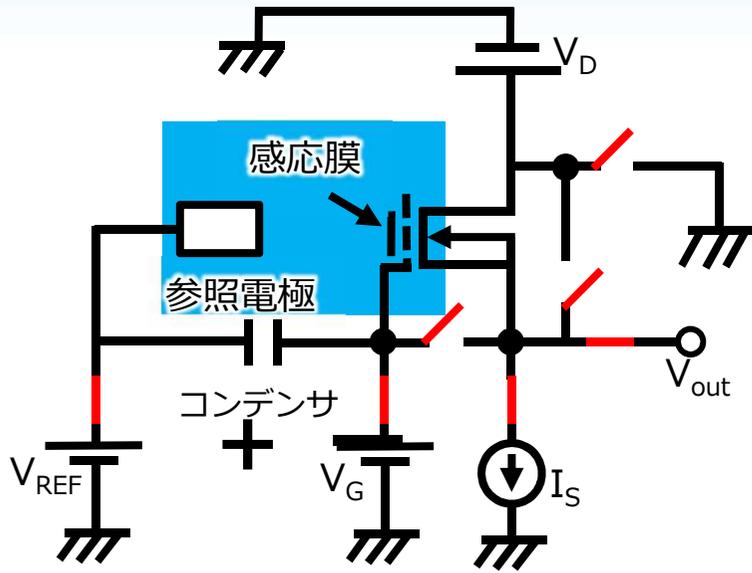
- ・ 外部からの電源供給無しで溶液→センサの電位差維持可能  
⇒省電力化
- ・ 計測時よりも低電圧で電位差維持可能  
⇒センサへの負担軽減



ストライプゲート型ISFET非計測時  
非計測時用回路使用

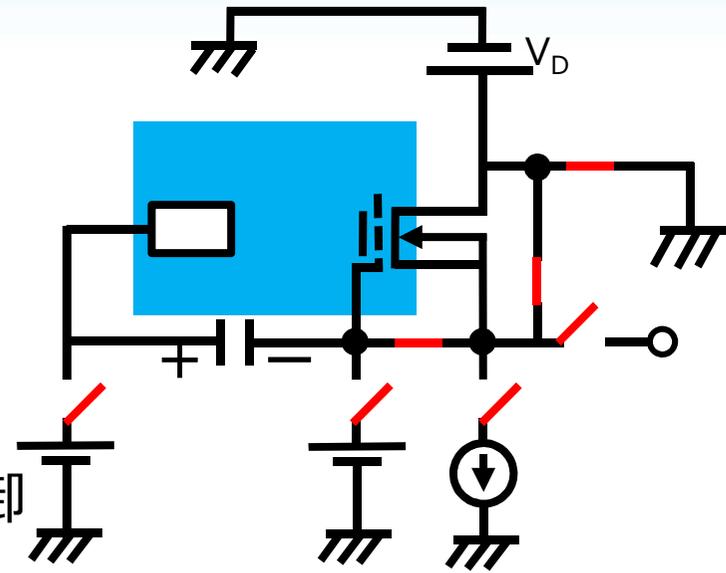
コンデンサに電荷をチャージ  
→溶液中の電界を制御  
→ドリフトを抑制

# 計測・非計測切り替え制御



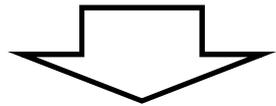
計測・充電回路 (2秒)

マイコンで制御

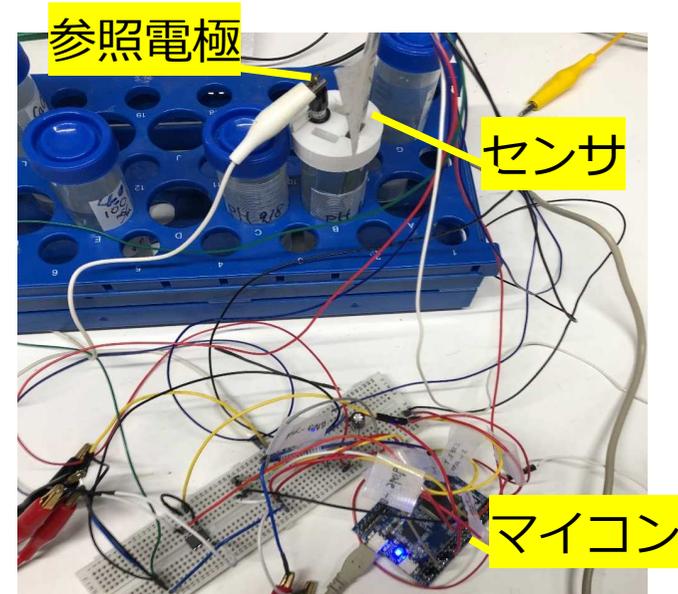


非計測用回路(900秒)

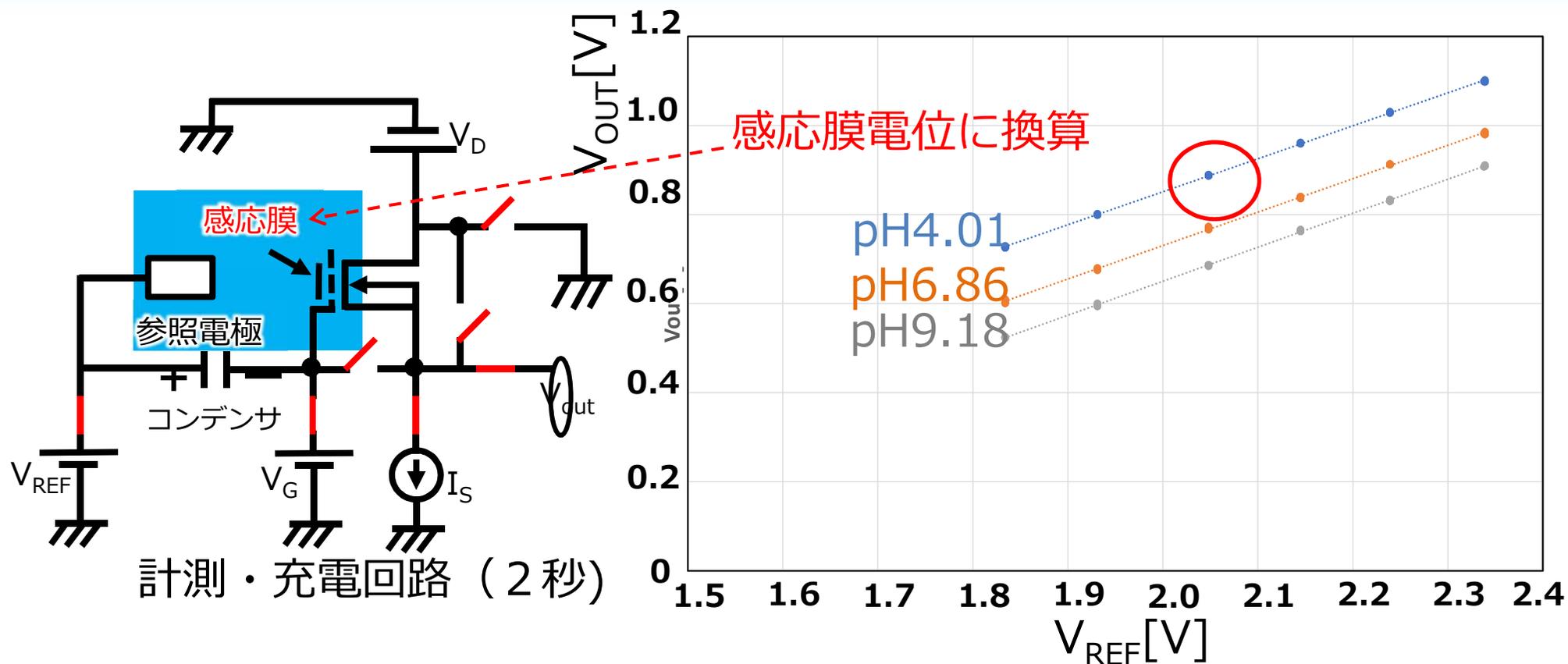
計測・充電を2秒  
非計測用回路を900秒使用



100時間このループを行い、  
実験結果を求める



# pH感度



長期計測の前段階としてpH感度の測定が必要



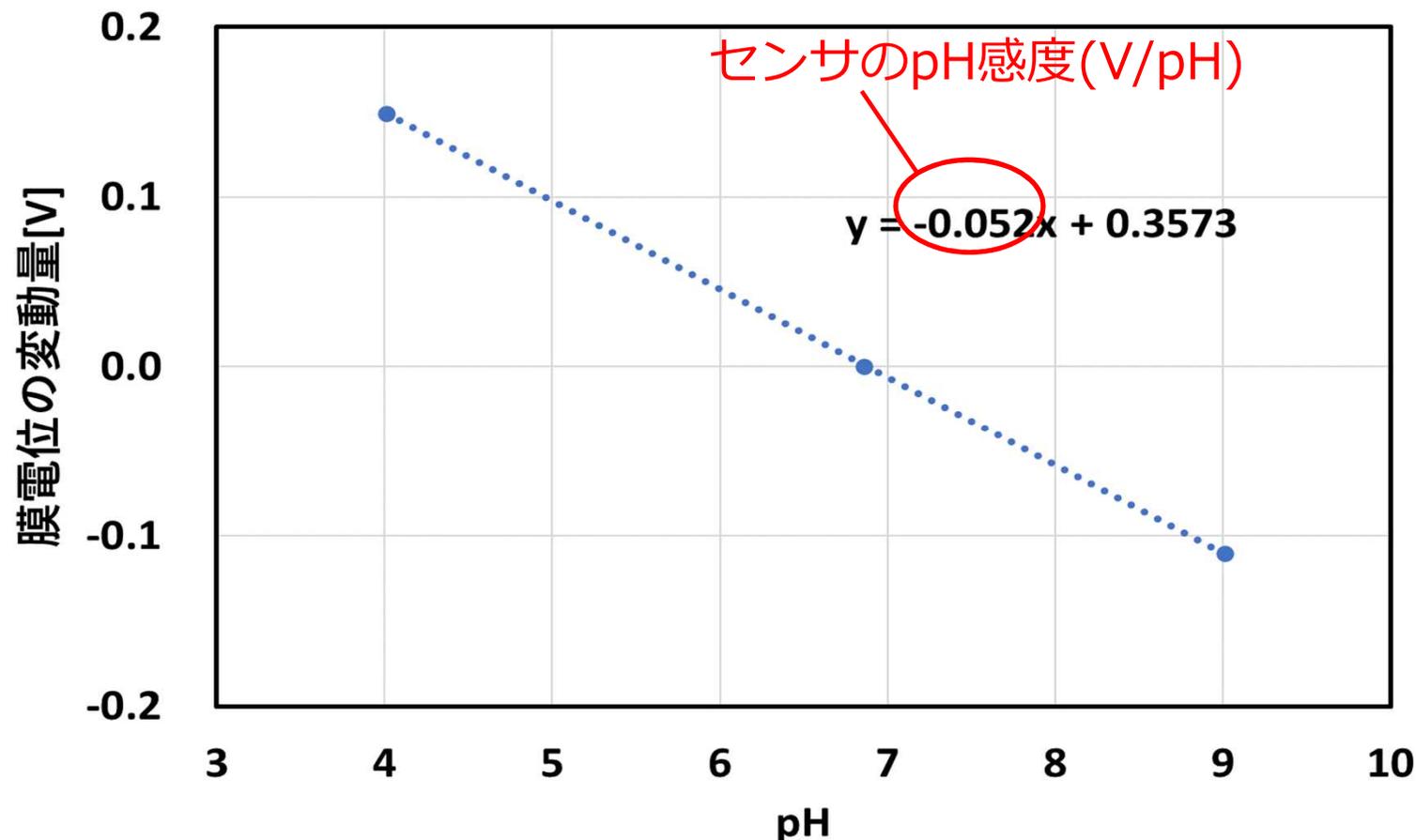
3種類のpH標準液を用い、それぞれの入出力特性を測定



$V_{REF} = 2.0 \sim 2.1$  Vの間の値を用い感応膜電位に換算

# pH感度

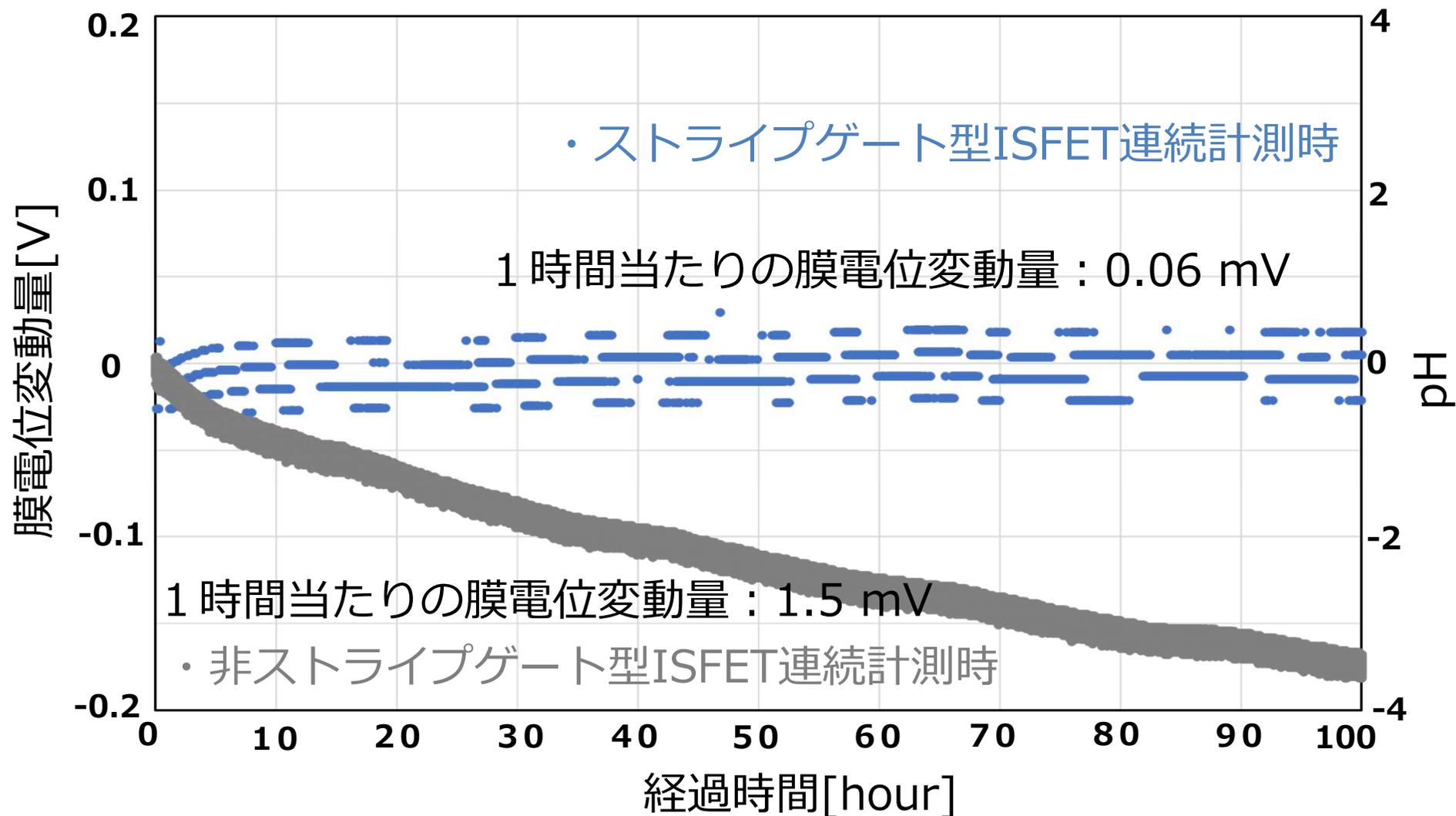
膜電位に換算したものを変動量に変更  
⇒pH順に並べ、センサの感度を測定



1 pHあたり52mVの感度があることを確認  
→理論値が59mV/pHのため、理論値に近いことを確認

# 100時間のドリフト抑制検証

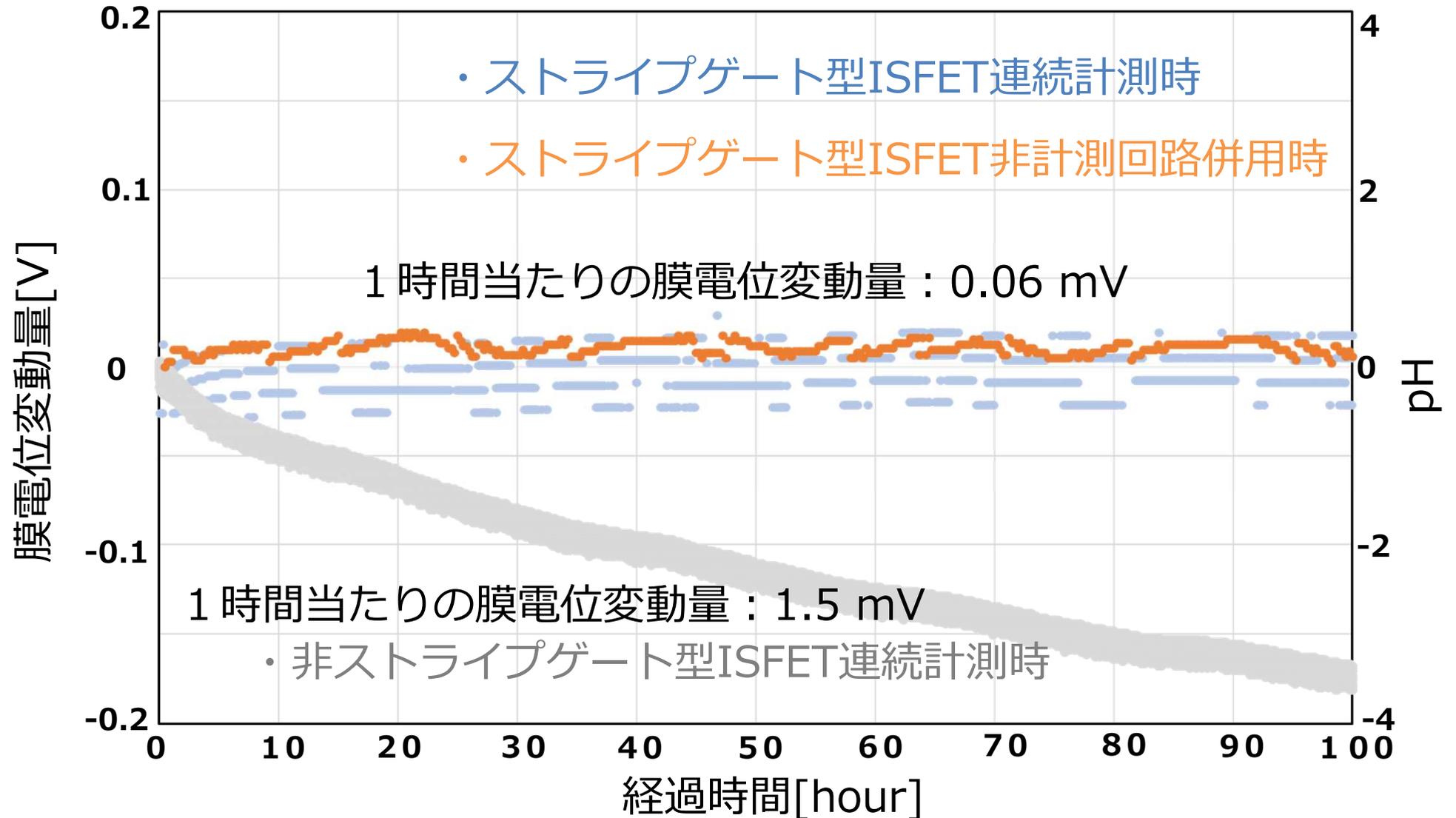
100時間の非計測回路使用時と従来型の膜電位変動量比較



従来の非ストライプゲート型ISFETに比べ、約25倍のドリフト抑制能力が確認  
⇒常時計測時と同等にドリフト抑制可能

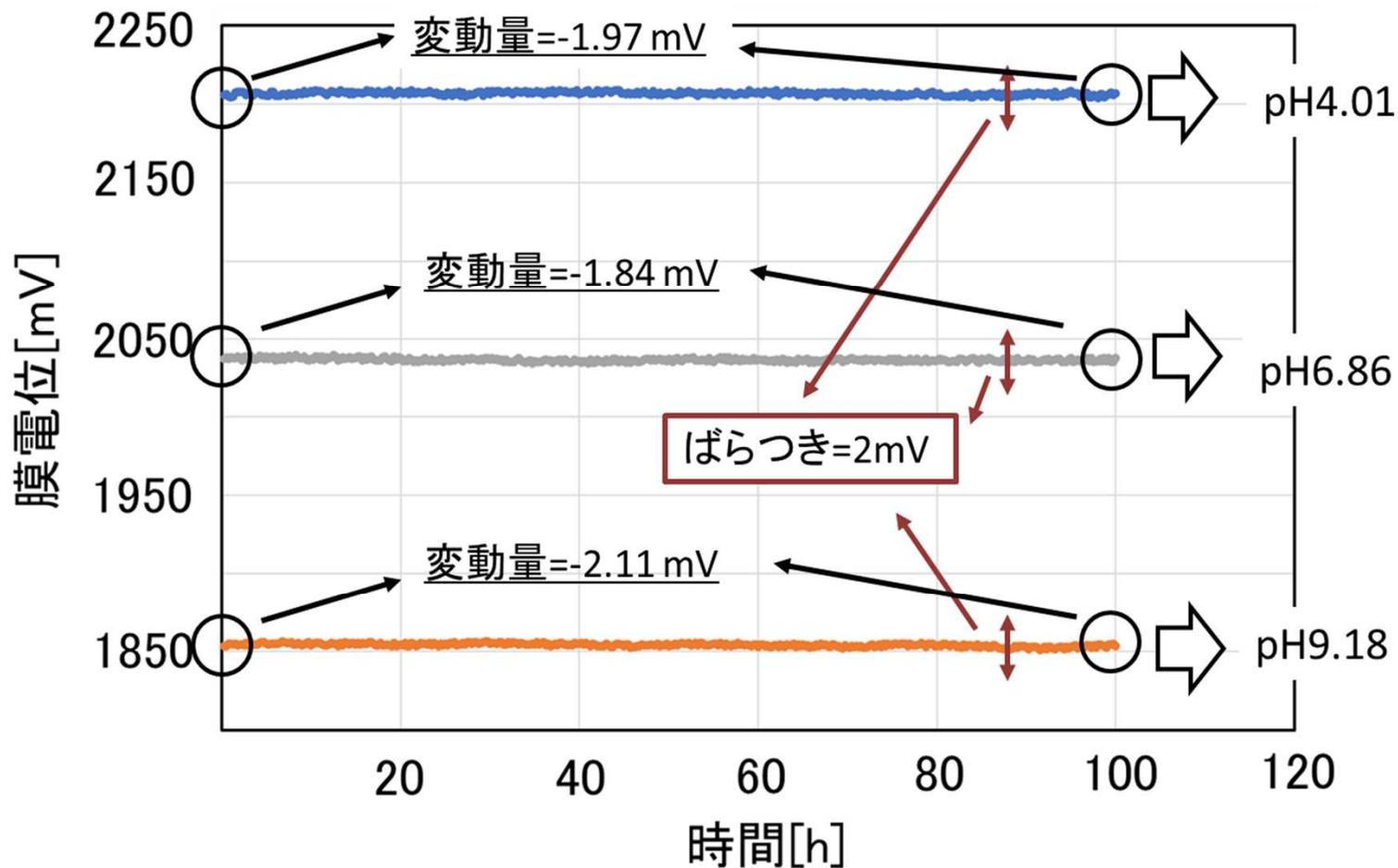
# 100時間のドリフト抑制検証

100時間の非計測回路使用時と従来型の膜電位変動量比較



従来の非ストライプゲート型ISFETに比べ、約25倍のドリフト抑制能力が確認  
⇒常時計測時と同等にドリフト抑制可能

# pH標準液とドリフト量



酸性、中性、アルカリのいずれの溶液でもドリフト抑制能力を確認

# 現在の消費電力比較

計測時の駆動電流

$$I_m = 3.2 \text{ mA}$$

保存回路使用時の駆動電流

$$I_{nm} = 3.1 \text{ mA}$$

3種類の計測システムの1時間当たりの消費電力を比較

常時計測時

$$\text{消費電力: } 3.2 \text{ mA} \times 5 \text{ V} \times 3600 \text{ s} = 57.6 \text{ W/h}$$



$$\text{1分間隔保存回路使用: } (3.2 \text{ mA} \times 2 \text{ s} + 3.1 \text{ mA} \times 58 \text{ s}) \times 5 \text{ V} \times 60 \text{ 回} = 55.9 \text{ W/h}$$



$$\text{15分間隔保存回路使用: } (3.2 \text{ mA} \times 2 \text{ s} + 3.1 \text{ mA} \times 898 \text{ s}) \times 5 \text{ V} \times 4 \text{ 回} = 55.8 \text{ W/h}$$



現在、常時計測回路と比べ、97%に電力を削減

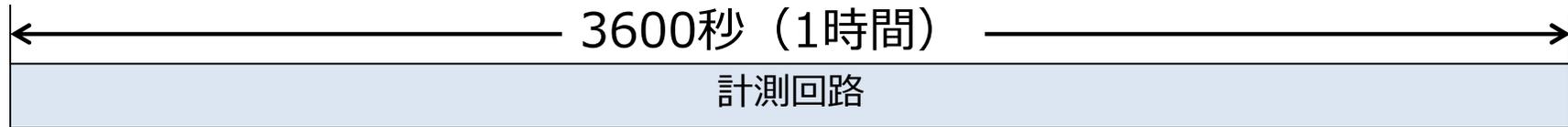
# 保存回路による省電力効果

## 1時間当たりの消費電力比較

アクティブ時消費電流 : 3.2mA

スリープ時消費電流 : 2.0μA

常時計測回路使用 :  $3.2 \text{ mA} \times 5 \text{ V} \times 3600 \text{ s} = 57.6 \text{ W/h}$



1分間隔保存回路使用 :  $(3.2 \text{ mA} \times 2 \text{ s} + 2 \text{ μA} \times 58 \text{ s}) \times 5 \text{ V} \times 60 \text{ 回}$   
 $= 1.95 \text{ W/h}$



15分間隔保存回路使用 :  $(3.2 \text{ mA} \times 2 \text{ s} + 2 \text{ μA} \times 898 \text{ s}) \times 5 \text{ V} \times 4 \text{ 回}$   
 $= 0.16 \text{ W/h}$



**1分間隔の保存回路使用で3.4%**

**15分間隔の保存回路使用で約0.3%に抑えることが可能**

# 本発明の優位性 比較表

	本発明	競合技術 1	競合技術 2
構成	連続・間欠計測 ストライプゲート 型ISFET	連続計測 非ストライプゲート 型ISFET	市販pHセンサ (ガラス電極型)
得られる特性	長期計測：○ (連続計測1000時間以上) 間欠計測で省電力化	長期計測：×	長期計測：○ コイン型リチウム電池 3V×2個
適用分野	農業分野 汚染土壌監視分野 水質管理分野	農業分野 汚染土壌監視分野 水質管理分野	水のみ (土では多孔質の穴が詰まる)
その他	小型化：○ メンテナンスフリー	小型化：○ メンテナンス：× (校正必要 1回/週)	大型・集積不可 メンテナンス：× (校正必要 1回/月)

## 従来技術とその問題点

ガラス電極式のpHセンサは液絡がつまるため土壌に挿入することができなかった。

また、半導体型pHセンサは、土に挿入することができるなどの利点はあったが、ドリフトが発生し長期計測ができなかった。

これらの理由から、これまでのpHセンサは、現地に設置し続けて1か月以上の連続計測を実施することができなかった。

# 想定される用途

想定される用途は、

- 農業培地培地計測
- 廃土管理
- 溶液環境監視

が挙げられる。センサを設置し連続計測が望まれる用途に適している。

## 実用化に向けた課題

- 現在、農業現場で使用可能な形となるよう、システム製作を行っている。そして、露地などの環境下でもう使用できるように、筐体開発も行っているところである。
- 今後、上記プロトタイプを使用した実証実験によりデータを取得し、有用性を示せる事例を積み上げていく予定である。

## 企業への期待

- 本技術のプロトタイプ機を用いた実証実験フィールドの提供を期待している。
- また、プロトタイプ機を量産品として製造販売に興味のある企業との共同研究開発等を期待している。
- 本技術はスマート農業分野以外でも土壌管理、水質管理等の幅広い分野への応用が想定されるが、さらに新たな分野での共同研究等の連携も期待している。

# 本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 : イオン濃度計測装置
  - 出願番号 : 特願2021-176467
  - 出願人 : 静岡大学
  - 発明者 : 二川雅登
- 
- 発明の名称 : イオン濃度計測装置
  - 出願番号 : PCT/JP2019/021623
  - 公開番号 : WO2019/230917
  - 出願人 : 静岡大学
  - 発明者 : 二川雅登

# お問い合わせ先

静岡大学

イノベーション社会連携推進機構

T E L 053-478-1701

F A X 053-478-1711

e-mail [sangakucd@adb.shizuoka.ac.jp](mailto:sangakucd@adb.shizuoka.ac.jp)