

低コスト環境センサの特性を知って 施設栽培に活用しましょう！

地方独立行政法人岩手県工業技術センター・岩手県農業研究センター

はじめに

施設園芸では、温度、湿度、CO₂濃度、光を計測し環境改善することで収量向上を目指します。最近では低価格帯の環境センサが普及し、農業でも簡単に環境計測ができるようになりました。一方で、センサの種類ごとに、特有の性質(=特性)や寿命(経年劣化)が異なります。このため、信頼性の高い計測値が得られるようにするためには、センサに対する知識が必要です。そこで、低価格帯の環境センサの特性と耐久性について検証を行いました。

センサから得られる環境情報と栽培への活用について

環境センサから植物周辺の環境(温度、湿度、CO₂濃度、日射)を可視化することができます。これら環境値の変化が植物にどのように影響するかを理解して、環境や栽培管理に活用しましょう。

環境値	要素名	単位	意味	植物とのかかわり
温度	気温、葉温、 果実品温、 根温(培地温)	°C	空気、葉、果実、根、 培地の温度	形態形成、光合成速度、 成長速度、成長限界
	積算温度	°C・日、 °C・時間	日や時間単位毎に 平均値を累積した温度	成長速度、開花期、収穫 期
	D I F	°C	明期と暗期の温度差	茎の伸長、形態形成
	平均温度	°C・日、 °C・週	ある単位時間で 平均した温度	成長速度、開花期、収穫 期
日射	日射強度	W/m ² , kW/m ²	光の強さ	光合成速度、光障害、 光飽和、光補償点、蒸散
	日射量	MJ/m ²	光の量	光合成量、収量
	日長	時間/日	明るい時間	花芽分化、休眠打破
CO ₂	炭酸ガス濃度	ppm	炭酸ガスの濃度	光合成速度、呼吸速度
湿度	飽差HD	g/m ³	飽和までの残り 水蒸気量	蒸散、養水分吸収
	露点	°C	結露が発生する温度	結露、病害
	相対湿度	%	空気の湿り具合	病害

1 温度センサ

1 温度センサのしくみ（測定原理）

○抵抗式

低価格帯のセンサは、サーミスタと呼ばれる半導体を使ったものが主流になっています。

サーミスタは温度によって抵抗値が変化するため、温度変化を電圧値として取得できます。

ハウス内気温計測では**強制通風筒内に設置**して、日射等の影響を排除する必要があります。

温度  抵抗値が変化

サーミスタ素子



SEMITEC社HPより引用

2 センサの数字は正しい？（信頼性）

（1）ばらつき

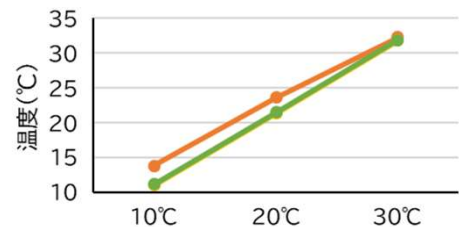
製品によって低温や高温で誤差が大きくなるものがあります。各温度で一定の誤差を持つものが使いやすいでしょう。

（2）信頼できる温度範囲（非線形性）

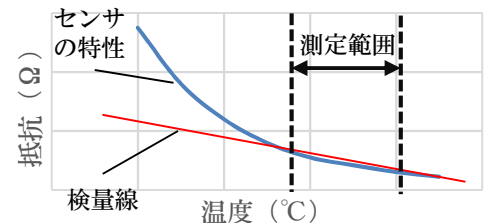
温度と抵抗の比例関係の良い範囲を計測範囲としています。この計測範囲の上下限に近いところでは誤差が大きくなります。

近年は測定回路や補正式を内蔵したデジタルセンサが増えており、こういった特性を気にせず使用できるものがあります。

製品によって特性が異なる



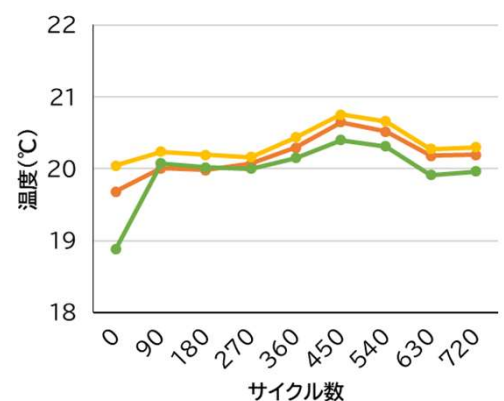
測定範囲が限られている



3 どれくらい使えるの？（耐久性）

温度センサは本体を樹脂などに封入することで耐候性を高められるため、他の環境センサよりも比較的堅牢です。しかし、ハウス環境は半導体にとっては過酷であるため、低価格帯のセンサは長期間使用すると徐々に誤差が拡大します。そのため使用後1年毎に交換または校正が必要です。

長期間使用すると特性が変化
（温湿度サイクル試験結果）



2 湿度センサ

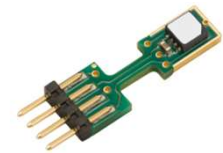
1 湿度センサのしくみ（測定原理）

○抵抗式、静電容量式

低価格帯のセンサは、乾湿性高分子材料に水が吸着すると、抵抗や静電容量が変化する特性を利用しています。高分子材料に粉塵や結露などの異物が付着すると特性が変わり誤差が大きくなります。

静電容量式

水



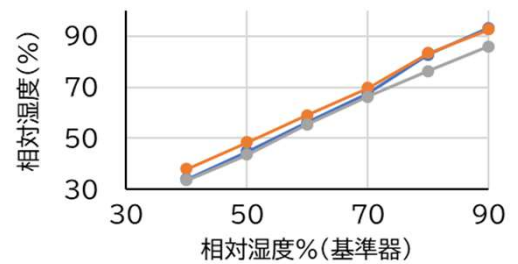
SENSIRION社HPより引用

2 センサの数字は正しい？（信頼性）

製品によって特性が異なる

(1) 感度特性

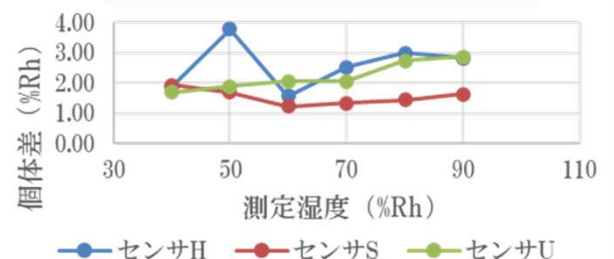
相対湿度70%付近の精度は高く、製品によって高湿度や低湿度域の誤差が大きいものがあります。特性が異なるため、低湿度から高湿度まで同程度の誤差を持つセンサが校正し易く使いやすいでしょう。



同じ製品でも個体差がある

(2) ばらつき

低価格帯の湿度センサは同じ製品でも個体差があります。個体ごとに校正された製品を選びましょう。

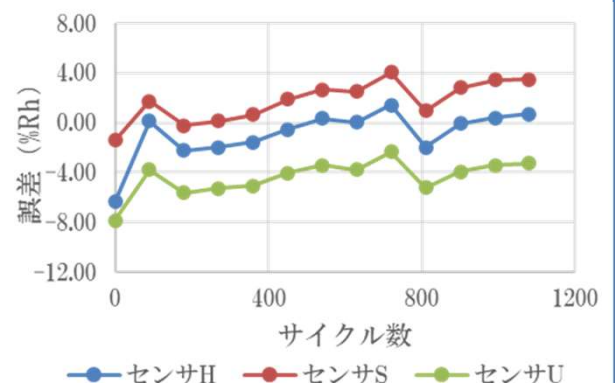


3 どれくらい使えるの？（耐久性）

湿度センサは、粉塵や湿気、昼夜の温湿度変化によりセンサの寿命を縮めるため長期間使用すると特性が変化し、出力してくる湿度が高くなったり、反応が遅れます。使用1年毎に校正または交換が必要です。

また不織布等でフィルターをしたり、防除の時はビニルをかぶせて保護するなど、センサを汚さない対策をしましょう。

長期間使用すると特性が変化
(温湿度サイクル試験結果)



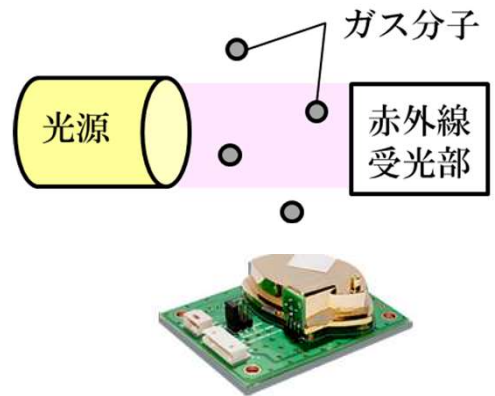
3 CO₂センサ

1 CO₂センサのしくみ (測定原理)

○NDIR法 (非分散型赤外線吸収法)

ガス分子は光の特定波長だけを吸収します。この時に吸収された光の量からガス濃度を検出することができます。

CO₂センサは光源や受光部に**粉塵や結露**などの汚れが付着すると正確な光の吸収量がわからなくなり精度が低下します。



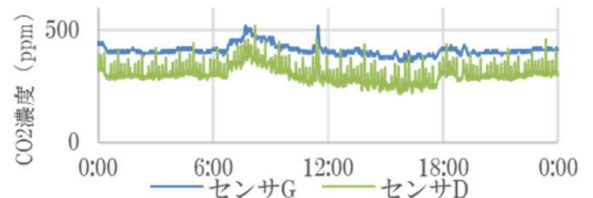
ELT SENSOR社HPより引用

2 センサの数字は正しい? (信頼性)

(1) ばらつき

CO₂センサは反応が早く変動が大きいものと、反応が遅く値が安定しているものがあります。低価格帯のセンサは前者が多いですが、マイコンなどで平均化処理をすることで実用的な値が得られます。

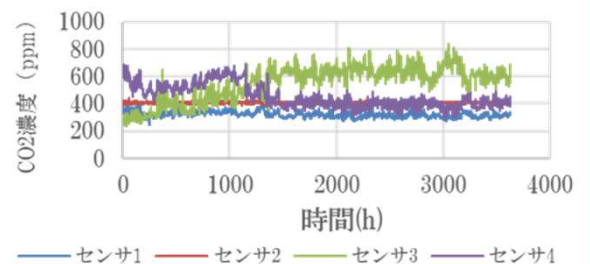
製品によって特性が異なる



(2) 慣らし運転

同じ製品であっても特性が大きく異なる場合があります。特に使用始めは値が安定しないことがあるため、**初期校正は使用後1カ月半頃を目安に行いましょう。**

同じ製品でも個体差がある

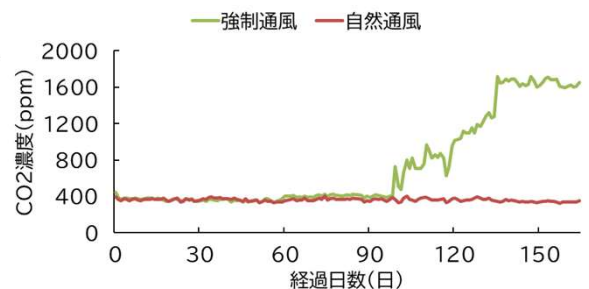


3 どれくらい使えるの? (耐久性)

使用方法で寿命が大きく変わります。

CO₂センサは**自然換気か微風環境**で計測してください。CO₂センサは粉塵や結露等による汚れの影響で徐々に誤差が大きくなる (ドリフト誤差) ため、**定期的に外気で校正**します。

CO₂センサを用いて炭酸ガスや窓の開閉制御をする際は、故障や異常値の発生に留意が必要です。



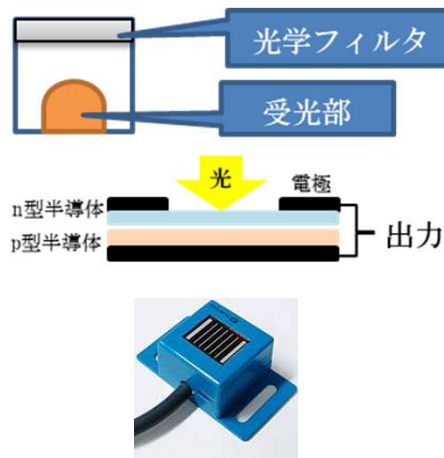
強制通風は3カ月にドリフト誤差約6か月後に故障した
自然通風は安定計測できた

4 日射センサ

1 日射センサのしくみ（測定原理）

(1) 光電式、熱電式

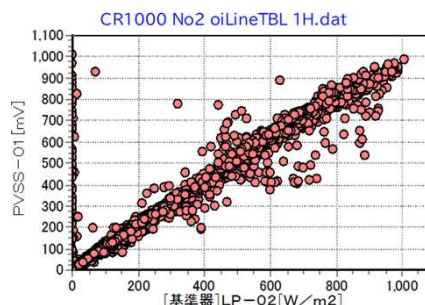
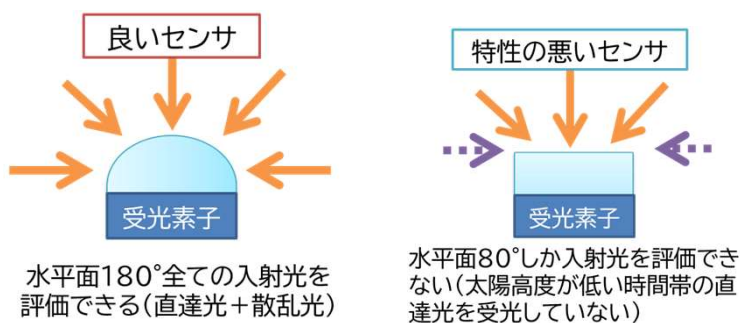
フォトダイオードという半導体を使った光電式が主流で、光エネルギーを電気出力に変換（発電）して計測します。太陽電池式は受光面積が広く値の変化が緩やかです。小型の日射センサは変化に対して応答が早い特性があります。熱電式はサーモパイルを使って日射を熱エネルギーとして計測します。



(株) 三好HPより引用

2 センサの数字は正しい？（信頼性）

光電式の中でも太陽電池式は高精度な熱電式の日射計と特性が似ています。光電式のセンサは種類も多く各メーカーによって特性が異なり、日の出などの太陽が低い位置（入射角）や日射が少ないときの感度が低い場合があります。このようなセンサで計測した積算日射量をアメダスデータと比較するときはこの低下分を考慮して評価します。



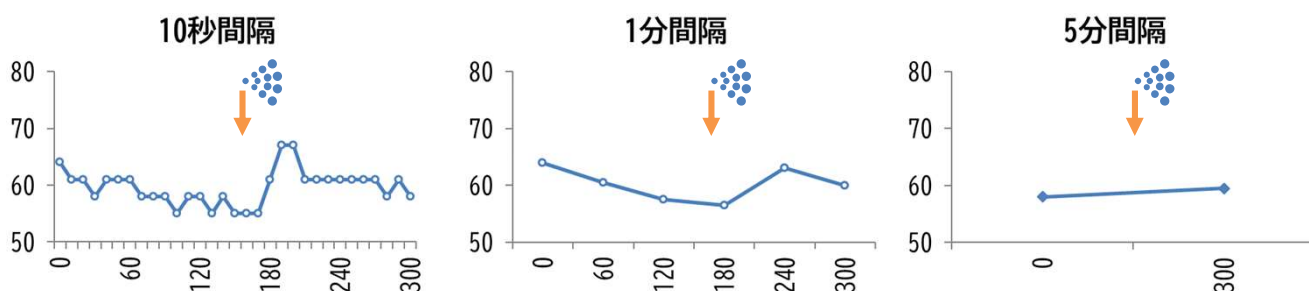
3 どれくらい使えるの？（耐久性）

数年以上は実用的に使用でき、比較的耐久性が高いです。ただし、太陽電池式は年に5～10%、フォトダイオード式は年に2～5%の出力低下が起こります。特に日射比例かん水や遮光などの制御に使用していると、前年よりもかん水量が少なくなったり、遮光が遅れたりするため、年に1回は計測値を補正します。太陽電池式センサで800W/m²を遮光開始とした場合、補正せず翌年も同じ設定で動かすと、表示上は800W/m²であっても実際には890W/m²になってから遮光開始することになり、強光障害のリスクが生じます。

5 知っておきたい環境計測のきほん

1 計測間隔

下のグラフはミストを1回噴霧したときの湿度を、測定間隔を変えてみたものです。10秒間隔では湿度変化が良くわかりますが、5分間隔では湿度が変化していないようにみえます。計測間隔はハウス内環境の変化を知るために重要です、できるだけ**1分間隔**、**長くても5分間隔**で計測するようにしましょう。



2 外乱

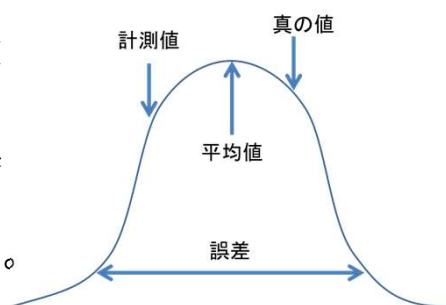
外部要因による計測値の乱れのことです。主な外乱要因としては、湿度は太陽放射（日射）や風速、CO₂濃度は湿度、日射は表面の汚れによる影響を受けます。また、換気扇などの制御機器による誘導ノイズ等が侵入し、異常値を示す場合もあります。

このような外乱の影響を排除するため、放射除け、強制通風、シールド線、アース、計測値の移動平均などで対策します。

3 誤差要因と積み上げ誤差

計測値は常に誤差を含みます。誤差は計測装置の設計由来、センサの特性や外乱、使用者のミスなどにより容易に生じます。定期的に校正や交換などのメンテナンスを行い、誤差を小さくすることで信頼性の高い計測となるよう心がけましょう。

また、集計値を扱うときはセンサの誤差以上の誤差が生じます。例えば、積算温度や平均値から成育予測するときに予測精度が低下する要因にもなりますので、できるだけ誤差を小さくします。



計測値は常に真の値からずれている

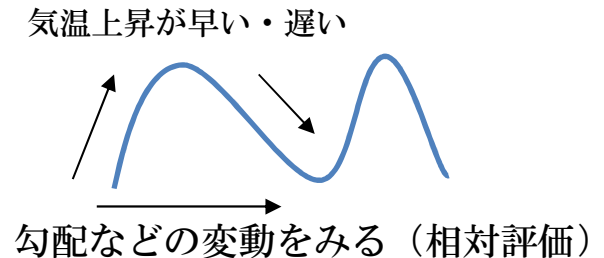
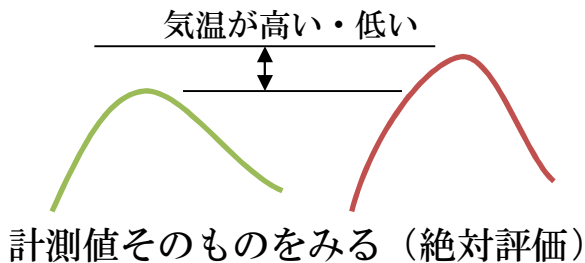
センサの積み上げ誤差の例

	真値	誤差	誤差
	20.0℃	±0.5%	±5.0%
積算温度 (℃・日)	2000	2032 (1.6%)	2126 (6.3%)

6 データのみかた

みかた1 絶対評価と相対評価を意識しましょう

- 絶対評価は、計測値そのものを評価します。A圃場とB圃場の環境値を比較する場合は、異なる計測装置を用いるため、計測値の精度（誤差）が評価に影響するため、信頼性の高い計測が求められます。
- 相対評価は、計測値の推移や変動を評価します。A圃場の環境値の日変化を比較する場合は同じ計測装置を用いるため、計測値の精度が低くてもあまり問題になりません。急に気温が上昇していないかというような環境変化（変動）を評価するため、瞬間値よりも推移を重視します。



みかた2 瞬間値よりも推移や変動をみましょう

温度は30～60分、湿度は5分、CO₂濃度は10分間隔の推移から判断しましょう。

- (1) 温度：30分間の急激な温度変化を確認します。瞬間的な高温はあまり植物に影響しないため、30分以上連続して高温が続いているかで判断します。

また、成育限界温度と成育適温の温度域は異なることを理解しましょう。成育限界は強いストレスや成長停止となる境界温度で、瞬間的な温度でも成育に強い影響があります。一方で、成育適温の上限下限値はその温度域を外れてたとしても成育への影響が小さいです。

- (2) 湿度：5分以内に急激に乾燥し10分以上その乾燥状態が続いているかを判断します。（飽差HDであれば10g/m³以上へ急に乾燥し、そのままになっていないか、相対湿度であれば70～99%から急に50～60%台に落ち込み、そのままになっていないかを確認する）
- (3) CO₂濃度：10分以上外気のCO₂濃度（400ppm）以下になっていないかを確認します。

7 まとめ

1 低価格センサでモニタリングするときの主な誤差要因

- 異なるセンサ間のばらつき
- 同じセンサ間のばらつき
- 非線形性：計測範囲の上下限では誤差が増加
- 季節要因：特に日射センサ・暗いときの精度が低下
- 経年劣化：温湿度の変動による負荷、粉塵や結露、出力低下

2 環境センサを有効活用するために

(1) 低価格帯のセンサは、1年に1回は校正や交換をしましょう

- 昼夜間の温湿度差によって、電子機器の腐食や剥離が起こり徐々に特性が変わり、最終的には故障します。
- 湿度センサやCO₂センサを長期間使用していると、空気中のゴミが付着していき、特性が変わっていきます。
- 温度以外のセンサは強い通風環境での計測は必要ありません。
- 湿度センサやCO₂センサは穴あきボックスで自然通風とするか、ポンプなどで吸引しながら計測して、汚れによる誤差を抑えましょう。

(2) 計測方法が適切か確認しましょう

- 温度センサは日よけをして、強制通風環境で計測します。
- 日射センサは計測面を水平に設置します。
- センサが劣化（故障）してくると、デジタルセンサは突然異常値を示します。アナログセンサは徐々に値がずれていくため、故障してもごまかしながら使えるメリットがあります。環境制御にデジタルセンサを用いる場合は、補償用のアナログセンサを追加して信頼性を高めることができます。
- 応答速度の速いセンサを使う場合は、マイコンなどで値を平均化することで急激な変動を抑えた実用的な計測値にしましょう。

問い合わせ先

きゅうり低コスト安定生産流通研究グループ
岩手県工業技術センター（代表）019-635-1115
岩手県農業研究センター（代表）0197-68-2331