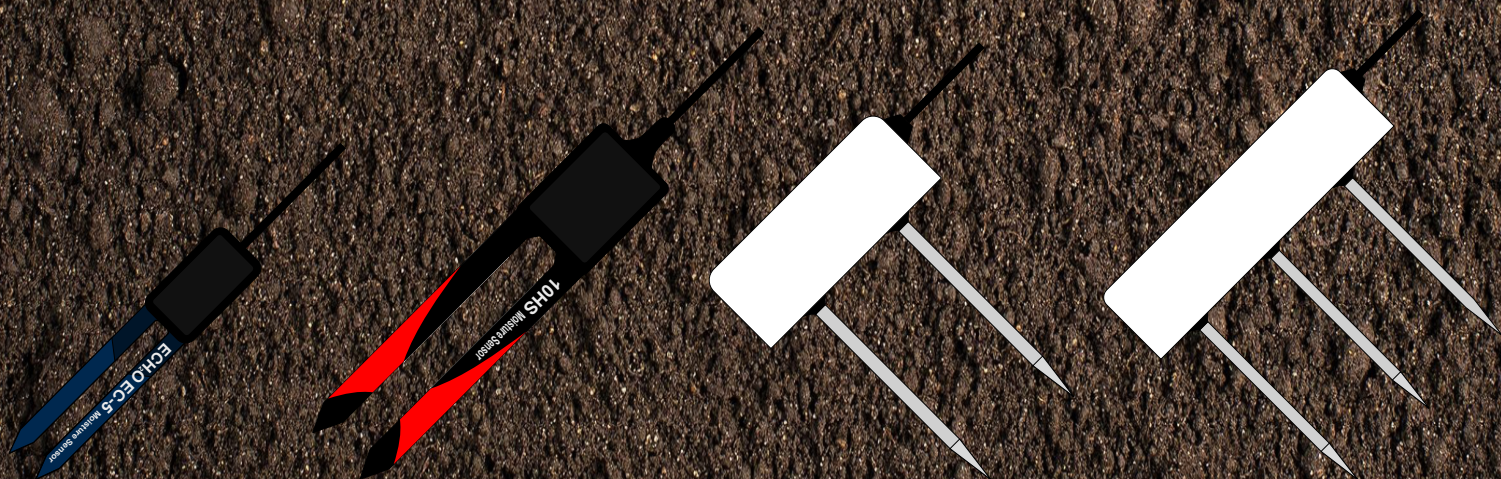


はじめて土壌水分センサーをお使いの方へ
理解しておくべき4つの知識

Environmental Measurement Japan



Soil Moisture Sensors



日本環境計測株式会社
〒811-0215
福岡県福岡市東区高美台二丁目52番42号
TEL:092-608-6412
FAX:092-985-7844

はじめて土壌水分センサーをお使いの方へ 理解しておくべき4つの知識

Environmental Measurement Japan

2000年代以降が特に様々なメーカーから、様々な土壌水分センサーが多種発売されています。購入前の検討の段階では、精度、器差(同一機種を複数個買ったときのばらつき)、耐久性(年単位)、繰り返し再現性、温度かECの変動に対するVWCのドリフトの大きさ、価格、入手性などが個々のユーザーにとって最適なものを選定します。優先度は上記した順番が妥当です。ここではせっかく買った土壌水分センサーを使って、可能な限り正しい計測値を得るための知識を記載します。

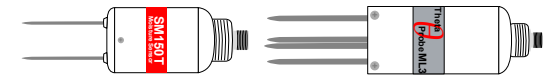
A.
土壌水分センサーの出荷時の工場校正(Factory Calibration)について
ここでは機種やメーカーにより2つの方向性が存在します。

- ①量産したままで調整せずに出荷
- ②量産後に個別に調整して出荷

①は、10個買ったなら10個バラバラの出力特性(器差)になります。ただし、そのバラバラの範囲が仕様書に記載されているので、例えばその値が±5%の記載であればその範囲には入っています。多くの場合安価なセンサーです。



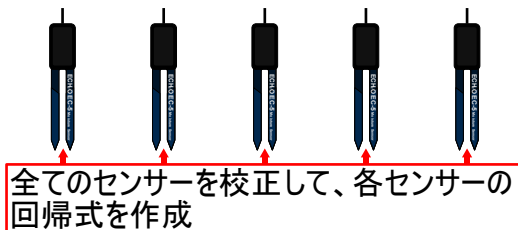
②は10個買ったなら10個全てが仕様書に記載の範囲に入っているため、例えば±1%であれば確実にその範囲に入っています。



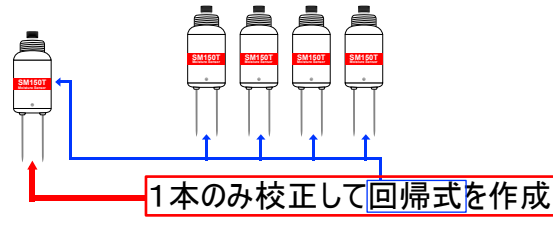
①のセンサーを購入したときであってもその精度はユーザー自身で良くすることが可能です。重量法と呼ばれている実際に土壌と水を用いて定量されたサンプル土壌、例えばVWCで0、10、20、30、40、45%を作り、その土壌に対するセンサーの出力を確認し、縦軸にVWC(%やm3/m3)、横軸に出力値(mVやV)にてプロットを打ち、その変換式を出力を変数として作成することでそのセンサー個別の回帰式を作成する手法です。(手法は土壌水分センサー校正方法<https://environment.co.jp/wp/wp-content/uploads/2022/10/soil-moisture-sensor-calibration-manual.pdf>) 3~5次式になることが多いのですが、実際の土壌の変化幅がある程度既知であるときなどは手を抜くことも可能ですし、時間の節約には効果的です。例えば日本の一般土壌であれば20~40%の範囲から外れることは少ないので、ゼロ点を20%、スパン点を40%の2点校正で1次式を作成することで済ませても何もしない(工場校正)よりははるかに精度が上がります。過渡特性(ここでは確認していない20~40%の範囲では誤差が出るものの、 $(40-20)/(45-0)=0.44$ つまり測定レンジが半分以下になっているところが肝です。多次元式でエラーを抑えている部分が過渡特性であってゼロとスパンは1次式でも同じです。むしろ3次式程度ではゼロとスパンが外れていることも多く、その場合は過渡特性の犠牲になっている状況です。一方で、そのレンジが狭ければ誤差も少ない状況に持ち込めます。突発的に20-40%レンジから外れることがあっても、計測できないわけではないのと、そもそも突発的なイベントが全体の計測値に与える影響は少ないので、さほど気にすることもないでしょう。

②センサーを購入した場合でも、同様の校正で得た出力vsVWCの変換式を作成すればより良い精度を得ることが可能です。
①と②の大きな違いは、①は購入した全てのセンサーを校正する必要がある。②は1個だけ校正すれば、全てのセンサーに同じ式を適用できることです。このことが全体的に作業量を減らすことが可能になるのでユーザーの仕事が減ります。

①センサー



②センサー



日本環境計測株式会社
〒811-0215
福岡県福岡市東区高美台二丁目52番42号
TEL:092-608-6412
FAX:092-985-7844

はじめて土壌水分センサーをお使いの方へ 理解しておくべき4つの知識

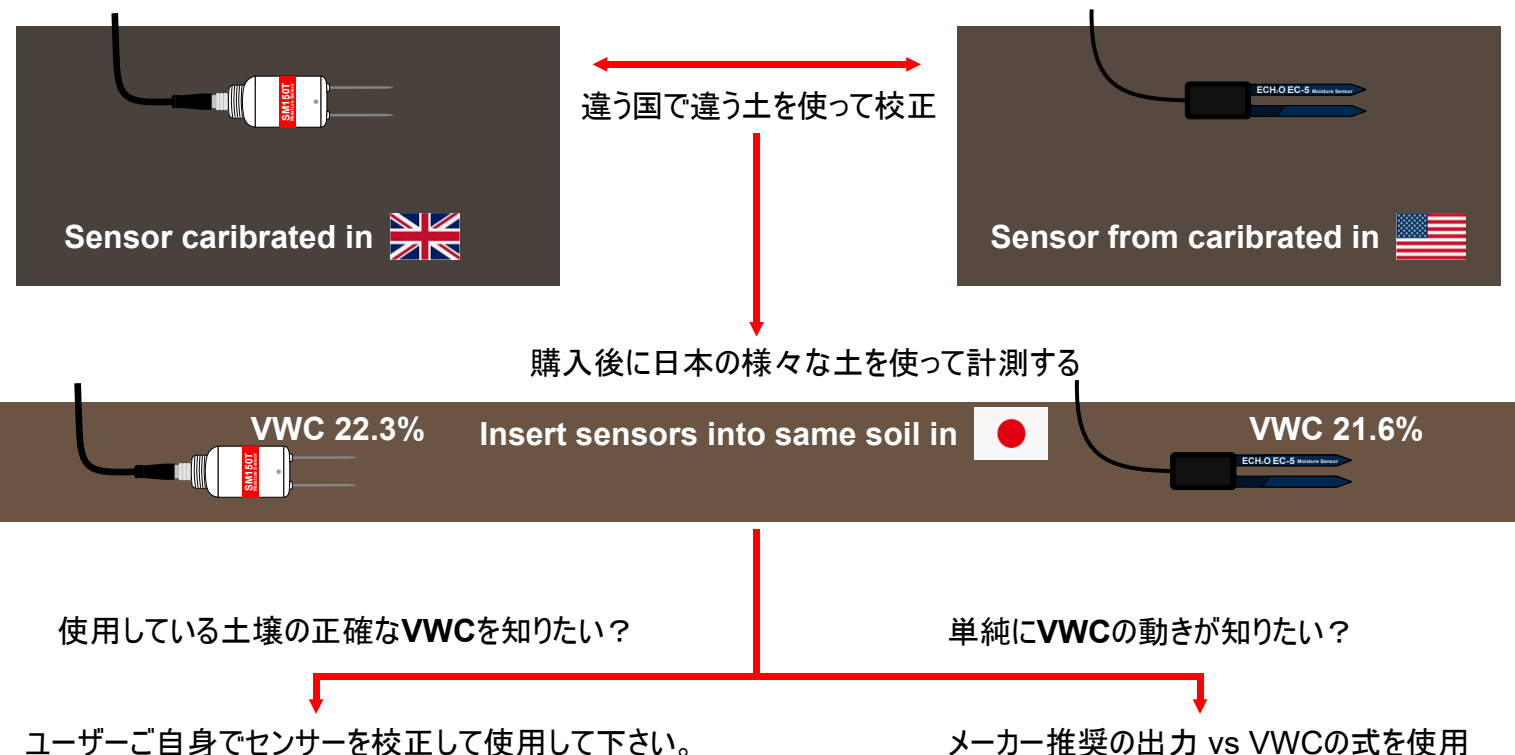
Environmental Measurement Japan

B. 校正の誤差要因

VWCセンサーの器差、校正方法などはAで解説しました。これで校正、つまり値付けについての議論は全てになるのですが、温度やECなどのパラメータとは異なる事情から来る誤差要因が土壌水分には付きまといまいます。メーカーが異なれば標準土壌も異なるんです。Aで解説したとおり、メーカー社内でVWCの校正をせずに出荷する場合、校正して出荷する場合というふうに機種ごとに分けられているのですが、そのメーカーというのは世界中に様々なメーカーが地理的に分布しています。土壌の構成要素は様々な粒子の種類が様々な混合比で存在し、そこに養分やミネラルを原因とした様々なECが組み合わさってできています。粒子径も異なっています。つまりどの土壌が標準土壌とは誰も言えないし定義できません。各社が校正用に用いている土壌は本当に好き勝手に決められており、つまり様々な土壌で校正された様々な土壌水分センサーが存在しているのが現実です。本当の意味でのVWCとは単に土壌粒子+空隙+水の混合比というだけなので、あらゆるVWCセンサーをあらゆる土壌に挿してもVWCが同じであれば同じ値が出ることが人類の目標なんですけども、結果的にはそういうことはありえないと言い切れるほど、センサーの種類が異なると様々な値が出てきます。同じメーカーでも違う周波数のセンサーでは値が異なったりもします。A項で簡易的でも良いから現場の土壌を採取して自分で校正することを解説、推奨したのはこれが理由です。

この背景と現実から、例えば同じ土壌に違うセンサーを埋設し、そのデータを工場校正の式つまりメーカー推奨の出力vs VWCの式や、デジタル出力であればその数字のままのVWC値を比較すれば合致することはまず無いです。ここはVWC計特有の事情として覚えておいたほうが良く、その解決方法はAで記載したユーザーによる校正です。

一方で、絶対値の確度はある程度で十分、 ΔVWC (体積含水率の変化)が解ればそれで良い。なぜなら比較検討するほかのパラメータについても変動による差分のみを評価基準としているからという解釈も研究の方向性によっては十分にありえます。この場合は絶対値にさほどこだわることはなくて、もうそのまま使うことも正しい使い方になります。



日本環境計測株式会社
〒811-0215
福岡県福岡市東区高美台二丁目52番42号
TEL:092-608-6412
FAX:092-985-7844

はじめて土壌水分センサーをお使いの方へ 理解しておくべき4つの知識

Environmental Measurement Japan

C.

誤差要因

体積含水率と同時にECや温度を計測するセンサーも存在します。これらの解釈は2通りあります。

- ①VWC, EC, Tempの3項目を計測できるので、解析に用いるパラメーターを増やせる。
- ②VWCの計測に誤差を与える要因がECとTempなので、正しいVWCを得るためにECとTempを使った補正を行う。

①は決して間違った解釈ではありませんが、以下に記述する②の解説は認識したほうが良いです。総合的な注意事項としてECの計測値については、比較的土壌が乾燥状態にある、目安としてVWC20%未満の状況ではECの計測が不可能なエリアなので、乾燥地で計測するプランでは注意しましょう。

②はVWCを計測する原理が土壌に含まれる液体としての水の土壌粒子に対する存在比と誘電率の間には相関関係があることを利用した計測であるため、センサーそのものは誘電率を計測しているのが事実です。そのために電極を用いているのが一般的な形状で、その電極は土壌に接触しています。土壌に直接接触している電極を用いると実はECの影響がVWCの計測に影響を与えています。一部非接触のセンサー、つまり土壌と電氣的に絶縁されたセンサーもありますが、残念ながら吸水率が数%の樹脂を用いていることから、経年ドリフト(経年劣化)の要因となってしまっているため、現状ではむしろあまりお奨めしない仕様です。長期ドリフトの値を補正しようとしても、センサーの材料が吸水した水分の誘電率や電気伝導度の影響評価となるため時間がかかりすぎるのでとても難しい補正になります。

VWCの計測に温度が与える影響つまり温度ドリフトも存在します。これは原因が2分され、1つは回路そのものの温度ドリフト、1つは水の誘電率の温度係数を原因としたユーザー視点からの見かけ上の温度ドリフト、この二つが合計して出力され、その切り分けは可能ではありますが多くの研究では議論されないことが多いです。さらに後者は発振周波数によっては強く出たり、まるで出なかったりしますし、そもそも周波数をチューニングする作業はユーザーができる範疇の外です。つまり初級のユーザーはもう考えないほうが良い部分です。オーバーオールでの温度特性がXX%/°Cという係数だけは調べて把握したほうが良いでしょう。ただし、この温度特性は通年の計測であれば、例えば1年の周期で土壌温度は元通りになりますので、VWCの変化のみを確認したい方は無視しても間違いではないです。

ここまでの話は理解できなかったとしても問題はなくて、知っておいて欲しいことはECとTempという要因はVWCの計測に影響があると理解し、場合によってはVWCの生データを補正するときにも用いられるパラメータでもある事実だけ記憶してください。現実的にもVWC計測の上級者は真のVWCを求めるためにECとTemp、2つのパラメーターを生VWCから真のVWCに補正するために2つのパラメーターを利用しています。

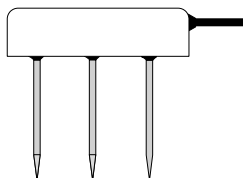
VEC, Temp, ECを計測できる土壌水分センサー



WET2



WET150



TEROS-12

WET2: <https://environment.co.jp/wet2/>

WET150: <https://environment.co.jp/soil-moisture-wet150-wet150-kit>



日本環境計測株式会社

〒811-0215

福岡県福岡市東区高美台二丁目52番42号

TEL:092-608-6412

FAX:092-985-7844

はじめて土壌水分センサーをお使いの方へ 理解しておくべき4つの知識

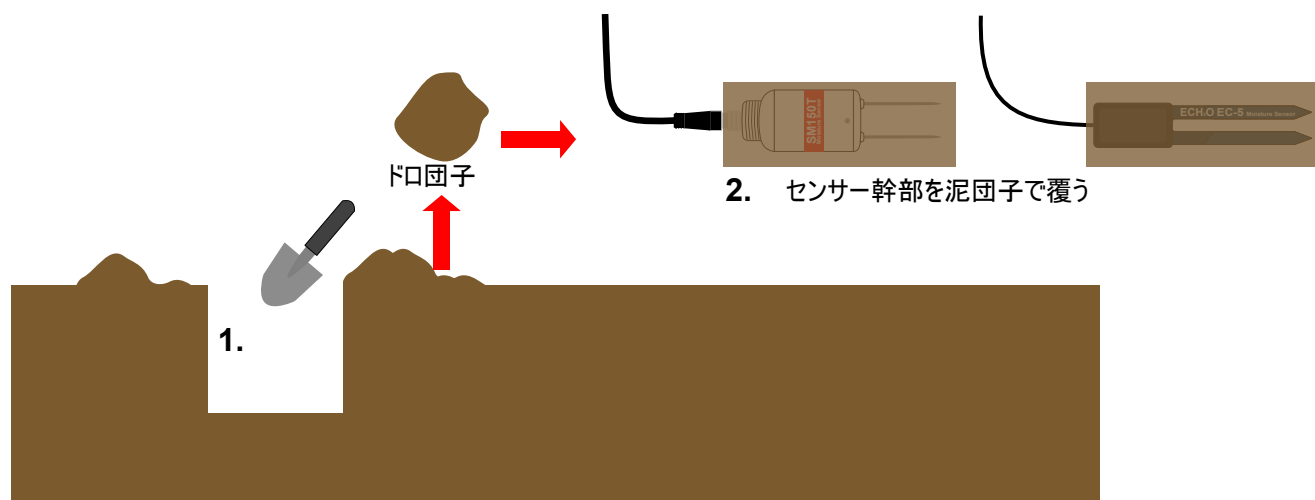
Environmental Measurement Japan

D. 埋設方法

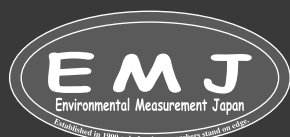
ユーザーの使い方は2通りあります。1つは持ち運んで任意の場所の値を計測するバッチ測定。1つは埋設しっぱなしで長期間の連続測定。前者の使い方での注意点は1つだけ、センサーの感部を全部刺すこと。なぜならばAで解説した工場校正であってもユーザー校正であっても感部を全て土壌に接触した状態で校正しているの、全部挿さない状態での計測はありえないからです。後者の使い方でも全部挿すことが前提です。複数の針が感部となっているニードルタイプのセンサーであってもニードルだけではなくて筐体丸ごと埋めてください。むしろセンサーから出ているケーブルについても少なくとも30cmは埋めたほうが良いです。この工夫は日射によるセンサー温度の上昇を抑え、かつ晴れた夜間の放射冷却によるセンサー温度の冷却も抑えます。深いほど良いのですが、地表付近の計測を行いたいときはセンサー近傍だけでも日よけ(放射避け)を設置することはとても有効です。センサー感部の土壌への接触具合も誤差に大きな影響を与えます。なるべく空隙ができないように思いっきり埋め固める気持ちが重要です。具体的な作業は以下のステップです。

1. センサーが十分に入る穴を掘る
2. 掘ったとき得られる土を使って、センサーの感部にドロ団子を作る。

乾燥が理由で団子にならないときは人為的に水を混ぜても団子を作ります。砂利が多いときはふるいにかけてください。



3. 団子も含めて丸ごと穴に埋めてしまう。
4. 埋めた穴の直上は多少でも盛り土にする。



日本環境計測株式会社
〒811-0215
福岡県福岡市東区高美台二丁目52番42号
TEL:092-608-6412
FAX:092-985-7844

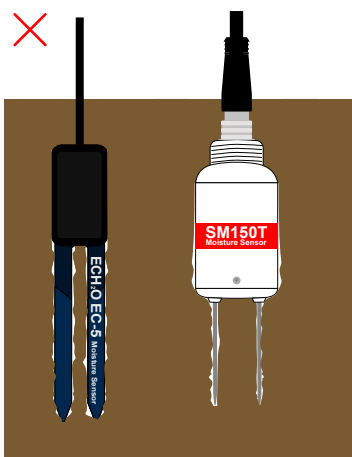
はじめて土壌水分センサーをお使いの方へ 理解しておくべき4つの知識

Environmental Measurement Japan

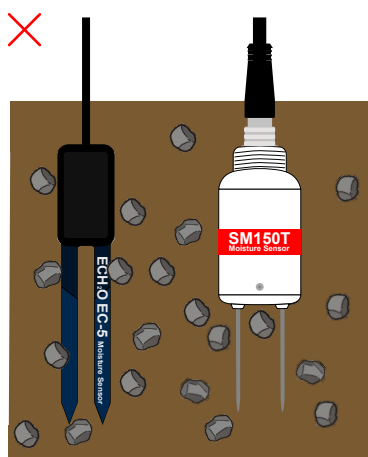
デメリットは埋設後1週間ほど正しい値を計測できません。土壌粒子と水が周辺になじんで以降が正しい計測値です。お気づきだと思いますが、この方法は極力空隙を無くすことに全力をささげた手法です。何故空隙をそこまで嫌うのか。空隙があるとそもそも校正時の状態ではないので、センサー近傍に空隙があれば正しい値よりも低い値を示すからです。また、その空隙がなくなるまでのなじみの時間は、上記の手順で団子を作るときに人為的に加えた水がなじむ時間よりもはるかに長いからです。低い値を示すばかりではなく、降雨後には空隙に水溜りができてしまい、正しい値よりも瞬間的に高い値を示すこともあります。つまりセンサー近傍の空隙はVWCが過大評価、過小評価される結果の原因となりうるのです。埋設の方向も注意が必要です。可能ならばセンサーは水平に埋設することが好ましいです。

- 1.なるべく地表から距離を長く取ることで、プローブ部分も回路部分も温度変化を少なくしたい。
 - 2.計測している深さの定量の視点から、センサーの姿勢が鉛直方向の場合はその感部の深さがどこ？と考えたとき、厳密には幹部長さが有限で存在するので表現できないこととなります。多くの場合は中央付近の深さと定義されますが、疑問が残ります。
 - 3.異なる種類の、つまり形状も、感部の長さも異なるセンサーでその出力を比較するときなどは、長さが異なると比較にならない。
 - 4.降雨時などに土壌中を水が深さ方向に流れるとき、水はけの問題から、鉛直方向に配置したセンサーではいつ水が流れ着いたのかの判定が難しくなる。一方で水平であれば、感部は水の流れを邪魔し難いので障害物の影響が少なくなる。
- 上記4つの理由から水平方向に埋設することをお奨めします。

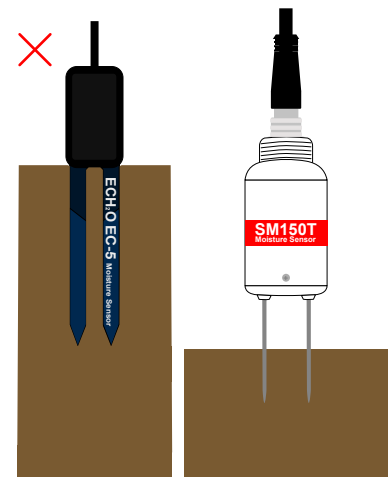
間違ったセンサー設置方法



センサー近傍に空隙
対策:土団子でセンサーを覆って設置する。

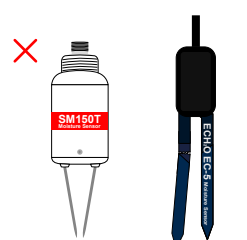


石が多い土壌
対策:石を取り除く。



センサーがしっかり埋設されていない

レアケース: 稀に固い土壌に穴を掘らずにセンサーを挿入しようとするとセンサーの破損に繋がります。



Hard Soil

EC-5(10HSも同様): プローブが折れる可能性

SM150T(ML3も同様): プローブが内側に曲がり感度が変わってしまう可能性



日本環境計測株式会社

〒811-0215

福岡県福岡市東区高美台二丁目52番42号

TEL:092-608-6412

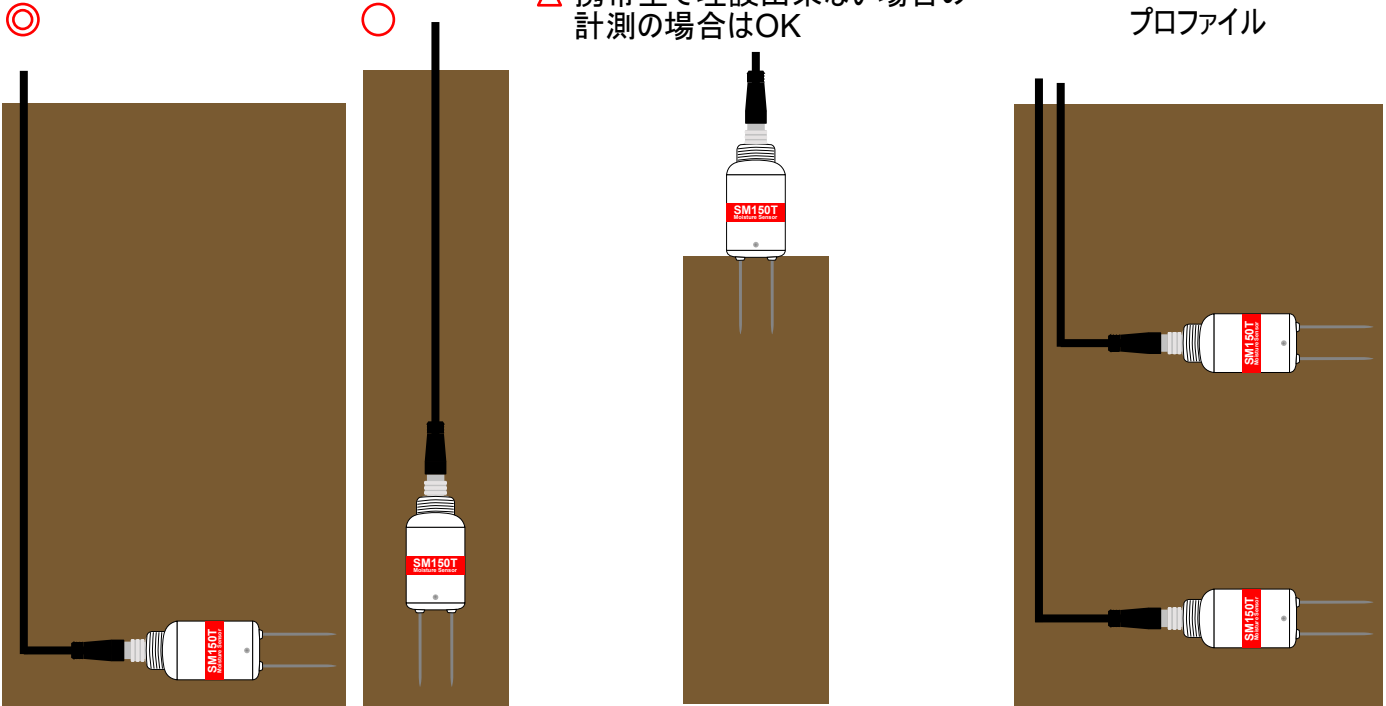
FAX:092-985-7844

はじめて土壌水分センサーをお使いの方へ 理解しておくべき4つの知識

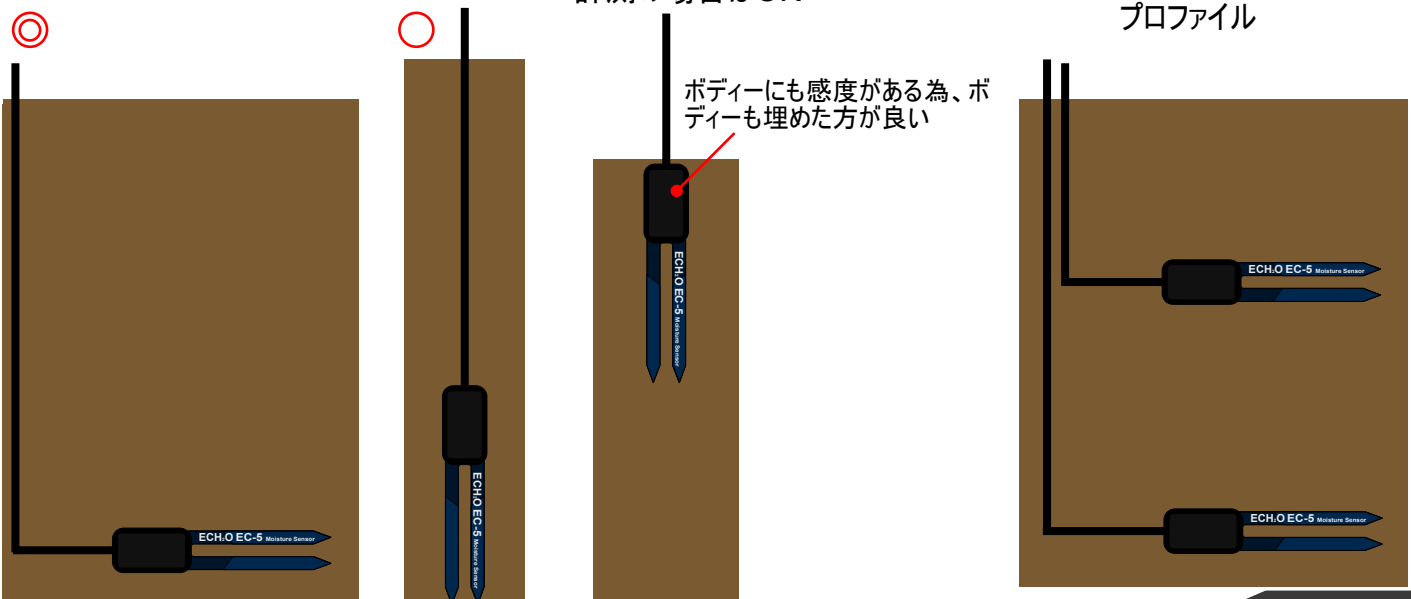
Environmental Measurement Japan

正しいセンサー設置方法

SM150T (ML3も同様)



EC-5 (10HSも同様)



日本環境計測株式会社
〒811-0215
福岡県福岡市東区高美台二丁目52番42号
TEL:092-608-6412
FAX:092-985-7844