

# TDR 350 土壌水分測定装置

# 製品マニュアル

アイテム# 6435



目次	
機器寸法	4
仕様(スペック)	5
電池	6
各ボタンの説明	8
ディスプレイに表示される画面	10
測定器のキャリブレーション(較正)	14
ファームウェアの更新(アップデート)	15
導電率(EC)	16
測定器の操作方法	18
センサー・ブロックの交換	21
ディスプレイの交換	22
アプリと ウェブサービスの利用	23
TDR 350 と アプリのペアリング	25
データログ	27
VWC の測定	29
GPS ステータス	30
アクセサリ(オプション)	31
追補 1: VWC の読み取りテスト	32
追補 2:厳密測定のためのキャリブレーション	33
追補 3:FAQ	35

このマニュアルは、FIELD SCOUT™ TDR 350 土壌水分測定装置の 特長と操作方法を記載したものです。 機器をご使用になる前に、このマニュアルをよくお読みください。



FIELD SCOUT<sup>™</sup> TDR 350 土壌水分・導電率・土壌表面温度測定装置をご購入頂き、誠に有難うございます。このマニュアルには測定器の特長と操作方法が記載されております。

土壌水分は、土壌環境を知るための重要な要素ですが、非常に変動しや すい要素でもあります。本製品は、TDR(時間領域反射率測定)法を用 いることで、土壌中の体積含水率(VWC)を瞬時に正確に測定します。ま た、本測定器は、土壌中の水分や塩分濃度の指標となる導電率(EC) や、土壌の表面温度も測定することができます。VWCの測定では、土壌 タイプに応じて測定モードを簡単に切り替えることができます。

TDR 350 は、シャフトの先にセンサーが取り付けられた構成になっており、 立ったまま測定することができます。また、データロガー機能によって複数の 場所のデータを保存でき、手作業でデータを保存する必要がありません。 記録されたデータは、スマートフォン用アプリ FieldScout Mobile app を使 用することで、GPS 情報を基にしたマップ上に表示して閲覧できます。また、 測定器には USB ポートがついていますので、測定データを USB ドライブに 保存することもできます。

内容物

本製品には以下の物が含まれています:

- TDR 350 測定器(縮めた状態)
- キャリーケース
- 単三電池4本

注:ロッド(探針)は別売りです。

# 機器寸法

下図は、シャフトを伸ばした状態での寸法です。 シャフトを縮めると、全長は 58.5cm になります。



# 仕様(スペック)

測定単位	体積含水率(VWC)、Period(センサーの生データ)			
測定感度	VWC:0	.1%体積含水率		
	EC:0.0	1 mS/cm		
	温度:0.	1°C		
測定精度	VWC:±	3.0%(EC< 2 mS/cm の場合)		
	EC:±0.	1 mS/cm		
	温度:±1	S		
測定範囲	VWC:0	%から飽和まで(飽和:VWC 約 50%)		
	EC:0~	5 mS/cm		
	温度:-3	0~60°C		
必要電力	単三電池4本(リチウム電池推奨)			
ログ容量	50,000 回の読み取り			
ディスプレイ	バックライト付き、高コントラスト、グラフィック液晶			
GPS 精度	< 2.5m			
機器重量	1.9 kg			
センサーの端面	6 cm × 3	3.5 cm		
シャフト寸法	伸長時:	96.5 cm		
	短縮時:	58.4 cm		
	幅:3.5c	cm		
探針の寸法	長さ:	TURF 3.8 cm		
		SHORT 7.6 cm		
		MEDIUM 12 cm		
		LONG 20 cm		
	直径:	0.5 cm		
	間隔:	3 cm		

### 電池

#### 電池を入れる

TDR 350 は単三電池を4 本使用します。

電池ケースはディスプレイ・ユニットの裏側にあります。

二つの電池ケースの間にジャックがあり、そのジャックに差し込まれたケーブル がセンサーに接続されています。

シャフトの先にハトメがあり、この穴がケーブルの経路になっています。

#### 交換の手順:

- TDR 350 を逆さまにし、ディスプレイ・ユニット裏側の四隅のねじを外して、ベース・プレートとユニットを分離する。必要なら、ケーブルを少しだけシャフトから引き出す。
- 2. ケーブルのプラグを引き抜いて、ユニットを完全に取り外す。
- 3. プラスとマイナスの方向を間違わないように電池をセットする。
- 4. 再び、プラグをジャック(大きい方)に差し込む。
- 5. ベース・プレートをユニットに被せる。引き出したケーブルは元通りにハ トメに押し込む。
- 6. 四隅のねじを締める。



ディスプレイ・ユニットの画面で電池の残量を確認できます。 電池残量が少なくなっていたり、電池の+-方向が間違っていたりすると、 画面全体に「LOW BATTERY」と表示され、10 秒経つと自動的に電源 が OFF になります。



電池は、ディスプレイのバックライトや GPS 受信(追加機能)でも消耗しま す。必要のないときは GPS 機能を OFF にしておきましょう。バックライトは AUTO モードに設定できます(12 ページ参照)。AUTO モードに設定する と、バックライトの点灯が表示を読む間の数秒だけになるので、電池の消耗 を抑えることができます。下記の表は、Bluetooth・GPS・バックライトの設 定によって、読み取りできるおおよその回数がどう変わるかを表したものです。

			読み取り(測)	定)できる回数
Bluetooth	GPS	バックライト	アルカリ電池	リチウム電池
ON	ON	ON	12,000	24,000
ON	ON	OFF	24,000	35,000
OFF	OFF	OFF	150,000	225,000

# 各ボタンの説明



基本操作

ON/OFF または BACK ボタン

ON/OFF	このボタンを短く押すと、ディスプレイの電源が入り、
	しばらくするとデータ画面が表示されます(11 ページ参照)。
BACK	電源を切るには、ボタンを2秒ほど長押しします。

設定メニュー画面(12ページ参照)でこのボタンを押すと、

データ画面に戻ります。

各設定項目のサブ画面で押した場合は、設定メニュー画面に戻ります。

MENU または SELECT ボタン

MENU	データ画面でこのボタンを押すと、
INEITO	設定メニュー画面(12ページ参照)が表示されます。
SELECT	設定メニュー画面でこのボタンを押すと、
	選択されている項目の設定が切り替わります。

項目によっては、このボタンを押すことで

次の画面(サブ画面)へと進む場合もあります。

DELETE または ▲ ボタン



設定メニュー画面(12ページ参照)では、このボタンを押すと、 選択されているメニュー項目から一つ上の項目へ移ります。

READ または▼ボタン



設定メニュー画面では、このボタンを押すと、

選択されているメニュー項目から一つ下の項目へ移ります。

# ディスプレイに表示される画面

TDR 350 のディスプレイに表示される画面は3 種類あります:

- スタート画面
- データ画面
- 設定メニュー画面

#### スタート画面

ディスプレイの電源を入れると、2 秒間この画面が表示されます。 ディスプレイの電源を入れるときに、ON/OFF/BACK ボタンを押したまま離 さないでいると、スタート画面を表示させたままにすることができます。 ボタンを離すとデータ画面へと進みます。



#### <u>データ画面</u>

センサーが読み取ったデータが、 この画面に表示されます。 右上には電池残量が表示され、 右下には平均値(Average)と 測定回数(Count)が表示されま す。READ ボタンを長押しすると、



平均値と測定回数がリセットされて0になります。

GPS 機能や Bluetooth 機能が OFF になっている と、アイコンは表示されません。 GPS アイコンが表示されている場合には、そのアイコ ンの形状で GPS の受信状態がわかります。 (29 ページ参照)

Bluetooth 機能が ON になっている場合、 スマートフォンと Bluetooth 接続されていない時には、 Bluetooth アイコンに斜めの線が入って表示されます (上図参照)。

接続されると斜め線は消えます(右図参照)。





### <u>設定メニュー画面(SETTINGS MENU)</u>

設定メニュー画面では、以下の項目を設定できます。▼▲ボタンで設定したい項目を選択してください。項目を選択して SELECT ボタンを押すと、その項目の状態が切り替わります。項目によっては、SELECT ボタンを押すことでサブ画面へと進む場合もあります。

**Clear Average(平均値クリア)\***: 現在表示されている平均値と 測定回数をリセットし、0にする。

Rod Length(ロッドの長さ): 測定器に取り付けたロッド(探針)の 長さを選択(5ページ参照)。

Soil Type(土壌タイプ): STANDARD(一般土壌)、 HIGH CLAY(高粘土質)、 SAND(砂質)から選択。

Clear Logs(ログのクリア)\*: 内蔵メモリのデータを消す。

Save to USB(USB に保存)\*: USB ドライブにデータを転送する。

SETTINGS MENU **Clear Average** Rod Length > LONG Soil Type > STANDARD 0% Full Clear Logs Save to USB Backlight > OFF > DISABLED GPS Bluetooth > DISABLED > ON Sound Temp Source > Soil Sensor > °F Temp Units Moisture Type > VWC% EC Units > dS/mAuto-off > 15 min Current Date > 2017-02-03 Current Time > 16.07.10 > GMT -6 Timezone > OFF Daylight Savings Calibration Factory Defaults

Backlight(バックライト): ON、OFF、AUTOの3つから選択。 AUTOモードにすると、測定後5秒間だけバックライトが点灯し、その後、 自動的に消える。

**GPS, Bluetooth, Sound**(**GPS**, **Bluetooth**, 作動音): ENABLE だと機能が ON に、DISABLE だと OFF になる。位置情報がい らない場合やスマートフォンに接続しない場合は、これらの機能を OFF にし ておくと、電池の消耗を抑えられる。

### Temp Source(温度計の選択):

Soil Sensor(土壌センサー)か IR Sensor(赤外線センサー)を選択。

Temp Units (温度の単位): F(華氏)か C(摂氏)を選択。

#### Moisture Type(水分量の表示):

VWC%(体積含水率)、Period(センサーの生データ)、TDR 300 モード から選択。TDR 300 モードにすると、従来機である TDR 300 方式で計算 された VWC(EC 補正なし)が表示される。

EC Units(導電率の単位):

mS/cmか Salinity Index(塩度指数)を選択(17ページ参照)。

Auto-Off(自動 OFF):測定器を放置した時に、何分経過後に自動的 に電源が切れるかを設定。

**Current Date, Current Time(現在日時)**:日時データは GPS から自動的に取得するので、手動で変更することはできない。

Timezone(タイムゾーン):グリニッジ標準時との差を選択。 選択すると、それに合わせて現在日時が更新される。

Daylight Savings(夏時間):ONかOFFを選択。

Calibration(キャリブレーション)\*: キャリブレーションを実行する(14ページ参照)。

Factory Defaults(デフォルトに戻す)\*: すべての設定を、工場出荷時のデフォルト状態に戻す(34ページ参照)。

\*マークがついている項目は SELECT ボタンを押すと次の画面(サブ画面) に進みます。

### 測定器のキャリブレーション(較正)

本測定器は、一般土壌/高粘土質/砂質の3タイプでキャリブレーション(較 正)済みです。また、従来機と同じ方式で計算した値を表示するオプション も備えています。このままで、ほとんどの土壌に対応可能ですが、測定器に よっては、全く同じ土壌を測定しても測定値にわずかな差異が生じる場合 があります。この差異は、センサーや電子部品の製造時のばらつきによるも のです。測定器をキャリブレーションしなおすことで、差異を修正することがで きます。二台の測定器を使って同じ土壌を測定した時に、それぞれの測定 値がわずかに違っている場合は、どちらの測定器も同じ測定値になるように 標準化しておきます。キャリブレーション後も、TDR 350 を「TDR 300 モー ド(13 ページ参照)」することで、TDR 300 と同じように使用することができ ます。

キャリブレーションを行う際には、プラスチックの容器を用意し、蒸留水または 脱イオン水を入れてください。

容器の直径は 15cm ほど、深さは少なくとも測定器の探針より深いものを 用意してください。

キャリブレーションの手順は以下の通りです:

- 設定メニュー画面(12 ページ参照)から Calibration(キャリブレーション)の項目を選択。SELECT ボタンを押してサブ画面に進む。
- 測定器の探針が空気中にある状態で MENU/SELECT ボタンを押し、Ready と表示されるまでしばらく待つ。
- 蒸留水に探針が完全に浸かった状態で MENU/SELECT ボタンを 押し、Readyと表示されるまでしばらく待つ。

その後、calibration is complete と表示されれば、 その探針のキャリブレーションは完了です。 2 種類以上の長さの探針を使用する場合は、

それぞれの探針でキャリブレーションを行う必要があります。

注:この手順は、対象とする土壌に固有のキャリブレーション曲線を求める ための「厳密測定のためのキャリブレーション」(32 ページ、追補 2)とは異な ります。

### ファームウェアの更新(アップデート)

TDR 350 に入っているファームウェアは、USB フラッシュ・ドライブを使って更 新(アップデート)することができます。ファームウェアの更新ファイルは、 Spectrum のウェブサイトからダウンロードできます。

- 1. 最新のファームウェア更新ファイルを、パソコンからフラッシュ・ドライブに コピーする。
- 2. 測定器の電源を切る。
- 3. 測定器の USB ポートにフラッシュ・ドライブを挿しこむ。
- DELETE ボタンを押しながら、ON/OFF/BACK ボタンを押す(測定 器から音が聞こえる)
- 5. 測定器からもう一度音が聞こえたら、DELETE ボタンを離す。
- 6. フラッシュ・ドライブを取り外す。

これで、更新完了。通常どおり測定器の電源を入れて使用可能です。

### 導電率(EC)

土壌塩分の度合いを知っておくことは、散水や施肥をする上で重要です。 土壌塩分は、もともとの土壌に由来するものに加えて、自然の作用で増え たものや管理作業によって増えたものなど多岐にわたります。塩分濃度が 高いと根が土壌水分を吸収しにくくなるので、土壌塩分は悪いものというイ メージが持たれがちです。しかし、肥料もまた溶液中でイオン化した塩類な のです。つまり、土壌塩分が低すぎるということは、植物にとって十分な栄養 が含まれていないという意味でもあります。

土壌塩分を直接測定しようとすると、研究所に土壌サンプルを提出して解 析してもらうしか方法がありません。しかし、土壌塩分測定の代替手段とし て、導電率(EC)の測定を用いることができます。EC は、土中に溶け出し た塩分濃度の関数で、mS/cmの単位で表されます。土中に溶け出した塩 類が、電気を伝導するイオンとして分離するため、EC を測定することで土 壌の塩分濃度がある程度わかるというわけです。

電極を使って測定した EC は、バルク EC と呼ばれます。EC の値は測定に 使用するサンプルの準備方法によって変わってきます。研究所で測定する 場合には、基本的には飽和溶媒から抽出したサンプルを使用します。具体 的には、土壌サンプルに蒸留水を加え、しばらく時間をおいて土から溶け出 したイオンが平衡に達するのを待ち、液体部分を抽出して測定します。土と 蒸留水の混合液(たとえば、土:水=1:2)の EC を測定する方法も一般 的です。EC の測定値が許容範囲内かどうかは、測定したサンプルのタイプ に基づいて判断されます。

TDR 350 では、土壌水分センサーとして使用している金属探針を、回路 電極として使用することで EC を測定します。測定値は、探針の深さ範囲 の EC を平均した値になります。

### 塩度指数(Salinity Index)

TDR 350 でバルク EC を測定する時、土が良く湿っている場合(飽和状態)とそうでない場合とで、測定値が変わってきます。土が乾燥していると、 水分が少ない分だけ土壌塩分の濃度が上がり、EC を増加させる要因と なりますが、電極間の水分も少なくなっているので測定値が低く出る要因に もなるのです。後者の要因の方が影響が大きいので、全体として見た場合、 土壌水分が減少すると EC は低めに出ます。土壌の含水率が同じなら、 EC 測定に影響はありません。一定の含水率で測定したい場合は、圃場 容水量に達しているときに測定するのが簡単です。圃場容水量とは、水分

TDR 350 は、測定した EC を塩度指数(Salinity Index)で表示すること ができます。塩度指数とは、バルク EC を体積含水率(VWC)で割った割 合です。例えば、バルク EC が 0.25 mS/cm で、VWC が 22%の場合、塩 度指数は 1.14(0.25 ÷ 0.22 = 1.14)になります。このように、塩度指は VWC と EC(温度補正される)を絡めた値なので、測定時における土の飽 和・不飽和をあまり考慮しなくてもよい指標となります。

### 測定器の操作方法



図1 シャフト、固定ボルト、ロッド(探針)

測定器の準備

シャフトは伸ばしても、縮めても使用することができます。 長さを調節する時は、固定ボルトを外し、シャフトを引き出して(または押し 込んで)ください。

センサー底面のソケットに探針を取り付けてください。

測定器の設定

測定器の設定は、設定メニュー画面でおこないます(12~13 ページ参照)。

TDR 350 は、3 つの土壌モード(一般土壌・高粘土質・砂質)で使用す ることができます。一般土壌モードは、ほとんどの無機質土壌に適用可能 なモードです。高粘土質モードは、粘土質の含有率が高い(>27%)土壌 で使用するのに適しています。砂質モードは、砂質土壌のスポーツ場やゴル フグリーンでの測定に適しています。水分量の表示には 3 つのモードがありま す。VWC%モードでは、EC 補正をかけた体積含水率(VWC)を表示しま す。Period モードでは、センサーが読み取った値をそのまま表示します。この モードは主に故障探究や、厳密測定のためのキャリブレーションで使用しま す。TDR 300 モードでは、従来機である TDR 300 と同じ方式で計算した 値で表示されます。 測定地点の位置情報を記録する場合は、GPS 機能を ON にしてください。 スマートフォン用アプリ FieldScout Mobile app(22 ページ参照)を使用し ている場合は、Bluetooth 機能も ON にしてください。これにより、測定器の 電源さえ入っていれば GPS 機能が使用できます。GPS が使えない場合 は、アプリによってスマートフォンの GPS 情報が代わりに使用されます。



図2 データ画面の一例

<u>ディスプレイ</u>

図2はデータ画面の一例です。GPS アイコン、Bluetoothアイコン、電池残 量が右上に表示されています。土壌 水分・導電率(EC)・温度のデータは、 ディスプレイの上半分に表示されます。 平均値と測定回数は右下に表示さ

れます。測定器が現在装着しているロッド(探針)の長さと土壌タイプが左 下に表示されます。

測定

センサーの探針を土に挿し込みます。探針の根元まで完全に差し込むこと が大切です。埋まっていない部分があると、空気中の測定と土壌中の測定 が混在してしまい、低すぎる不正確な測定値が出てしまいます。

また、探針を真っ直ぐ下に(ひねらずに)差し込むことも大切です。ぐりぐりと ねじ入れるように挿し込むと、探針と土の間に隙間ができてしまい、これもま た低すぎる測定値が出る原因となります。

また、探針をハンマーなどで叩かないでください。センサー内部の電子部品が破損する恐れがあります。

また、二本の探針が曲がらないように注意深く平行に挿し込んでください。 読み取りにはあまり影響しませんが、平行を保つことで探針の破損リスクを 減らすことができます。 曲がりや破損リスクを減らすために、岩などがごろごろ混ざった土壌での使 用は避けたほうが良いでしょう。

地面が硬く固結している場合は、探針を挿す前にパイロットホールメーカー (#6430PH)を使って 7cm 程の穴をあけておくと良いでしょう。

READ ボタンを押すと測定が開始されます。

ボタンを押せばすぐに測定値が表示されます。

ディスプレイ・ユニットがセンサーを認識できていない場合は、画面に―(ダッ シュ)が表示されます。

センサーの取り付けに不備がないか確認してください。(21 ページ参照)

注:本製品の探針はステンレス(SUS303)製であり、垂直方向以外に力 が加わると曲がります。これは、センサー内部の電子部品を保護するためで す。

測定中に探針が曲がってしまうことはよくあることです。

長い探針は短い探針よりも容易に曲がります。

曲がってしまった場合は、曲がった方向とは逆方向に曲げなおして、二本の 探針が互いに平行に、またセンサー端面に対して垂直になるように修正し てください。探針がほぼ平行に戻れば、正確な測定を継続できます。

平行に戻さずに探針が曲がった状態で使用を継続すると、 無理な方向に力がかかり続けて探針が破損するリスクが高まります。

探針は消耗品です。

使用頻度や経年劣化に応じて、新しい短針に取り換える必要があります。 特に、砂質の土壌では摩耗がはやくなります。

20

## センサー・ブロックの交換



図 1 センサーケーブルが プレートの穴を通ってユニットに接続されている

図 2 センサー・ブロックと シャフトの接続部

TDR 350 のセンサー・ブロック(#6435S)は交換することができます。 古いブロックを取り外す際には、探針を外しておいてください。

- TDR 350 を逆さにし、ディスプレイ・ユニット裏側の四隅のねじを外して、ベース・プレートとユニットを分離する(図 1)。
  必要に応じて、ケーブルを少しだけシャフトから引き出す。
- 2. ケーブルのプラグを引き抜いて、ユニットを完全に取り外す。
- 3. センサー・ブロックをシャフトに固定しているボルトを取り外す。
- 4. 古いブロックをシャフトから分離する(図2)。
- 5. 新しいブロックのケーブルをシャフトに通す。
- ケーブルのプラグをディスプレイ・ユニット裏側のジャック(大きい方)に差し込み、元通りユニットをシャフトに取り付ける。

### ディスプレイの交換

ディスプレイ・ユニットを交換する場合は、まずセンサー・ブロックから探針を取り外してください。シャフトは縮めた状態にしておいてください。

- TDR 350 を逆さにし、ディスプレイ・ユニット裏側の四隅のねじを外して、ベース・プレートとユニットを分離する(図 1)。
  必要に応じて、ケーブルを少しだけシャフトから引き出す。
- 発泡スチロールの詰め物を外し、ジャックからケーブルを引き抜く。
  IR 温度センサーが接続されている場合は、これも同様に引き抜く。
  これで、ユニットが完全に外れた状態になる。
- 交換する新しいディスプレイ・ユニットの裏側のジャック(大きい方)に、
  さきほど外したケーブルを再接続する。
  必要であれば、IR 温度センサーも再接続する。
- 発泡スチロールの詰め物を入れる。
  凹んでいる部分にケーブルのプラグ部分が嵌るようにする。
- 5. 元通り(四隅のねじなど)、ユニットをシャフトに取り付ける。



図1 ケーブルと発泡スチロールの詰め物が取り付けられている状態

### アプリ(Field Scout Mobile App)と ウェブサービス(SpecConnect)の利用

スマートフォン用アプリ FieldScout Mobile app を使用することで、 フラッシュ・ドライブにわざわざデータを保存しなくても、データを直接 SpecConnect ウェブサービスに転送することができます。スマートフォンの画 面上では、二つの形式のいずれかでデータを表示することができます。一つ めはグリッドモードで、測定した敷地が3~5行3~5列の格子状(グリッド) に分割されて表示されます。測定値がグリッドごとに平均され、色付けされ て表示されます(図1)。二つめはフリーフォーム・モードで、各測定ポイントが それぞれ色付けされたピンで表示されます。GPS の受信状態が良ければ (29 ページ参照)、アプリは測定器から座標の情報を得ますが、GPS の受 信状態が悪いか GPS 機能が OFF になっている場合は、スマートフォンに 内蔵された GPS 情報で代用します。



図 1 グリッド モード



図2 フリーフォーム モード

Pro バージョンのアプリなら、データは即座に SpecConnect に転送されま す。SpecConnect では、データはマップ形式(図3参照)、エクセル形式、 トレンド・レポート形式(図4参照)で閲覧できます。



より詳しい説明は、アプリのユーザーガイドでご確認ください。

図 3 SpecConnect で表示される 2 次元等高線図



図 4 トレンド・レポート

### TDR 350 と アプリ(Field Scout Mobile App)のペアリング

測定器とスマートフォンがペアリング(通信接続)されている必要があります。 測定器を起動すると自動的に無線が立ち上がりますが、スマートフォンによっては、手動でロケーションサービス機能を ON にする必要があります。

- 1. スマートフォンの Bluetooth 機能を ON にする。
- 2. アプリを開く。
- Course/Farm アイコンをタップする。
  コースを選択(または新コースを作成して 名前を付け、それを選択)する。

Select Session Mode
Grid
> Freeform
図 1: セッションモード画面

- 4. セッションを選択(または新セッションを 図 1: セッションモード画面
   6. 選択すると、Select Session Mode(セッションモード選択)画 面が表示されるので(図 1)、モード(グリッドかフリーフォームか)を選択 する。※フリーフォーム・モードは Pro バージョンのみ。
- グリッドモードの場合:メイングリッド画面が表示される(図 2a)。 画面上部に、測定器名が表示されていることを確認。 表示されていない場合、新セッションを作成する必要がある。 画面をタップすると、測定画面が表示される(図 2b)。



図 2b: Bluetooth 接続 ボタン(グリッド)

図 3: Bluetooth 接続 ボタン(フリーフォーム)

フリーフォーム・モードの場合; すぐに測定画面が表示される(図3)。

- Connect FieldScout Device via Bluetooth (Bluetooth で機器に接続)を タップする。Bluetooth 機能が OFF になって いる場合は ON にする。
- アプリが Bluetooth 機器を探し、検出された
  機器のリストが表示される(図 4)。



図 4: 機器のリスト

リストから測定器を選択すれば、アプリ側の受信準備完了です。

注: アプリの候補リストに機器の名前が表示されても、スマートフォンの Bluetooth 機器リストには機器の名前が表示されない場合があります。 データログ

4	А	В	С	D	E	F	G	н	1	J	K	L	
L	Time	VWC%	Period	EC	Temp_Soil	Temp_IR	Latitude	Longitude	Satellites	Fix	Rod Lengt	Soil Type	
2	4/12/2017 8:00	6.9	2047	0	20.6	22.7	4144.3933 N	08813.6663 W	8	1	т	S	
3	4/12/2017 8:00	5	2026	0	20.5	22.4	4144.3947 N	08813.6668 W	9	1	т	S	
	4/12/2017 8:01	6	2035	0.01	20.5	23.1	4144.3989 N	08813.6665 W	11	1	т	S	
	4/12/2017 8:01	6	2037	0.01	20.5	24.1	4144.3990 N	08813.6667 W	11	1	т	S	
	4/12/2017 8:01	6	2038	0.01	20.5	22.7	4144.3989 N	08813.6666 W	11	1	т	S	
:													

### 図1:TDR 350 データファイルの一例

#### データの移動

測定器の内蔵メモリに保存されているデータは、USB フラッシュ・ドライブを 経由して、パソコンに移すことができます。

測定器前面の USB ポートにフラッシュ・ドライブを挿し込んでください。

MENU/SELECT ボタン(8 ページ参照)を押して設定メニュー画面を開き、 Save to USB(USB に保存)を選択して、もう一度 MENU/SELECT ボ タンを押します。

フラッシュ・ドライブに、.csv という拡張子のついたファイルが保存されます。 \*以前に保存した測定データファイルがフラッシュ・ドライブに残っている場合 は、そのデータが上書きされますので注意が必要です。

\*注意:新しくデータを保存する前に、現在フラッシュ・ドライブ内にあるデータが消去されても良いかどうか、確認してください。

#### データの削除

MENU/SELECT ボタン(8 ページ参照)を押して設定メニュー画面を開き、 Clear Logs(ログのクリア)の項目を選択してもう一度 MENU/SELECT ボ タン押します。

MENU/SELECT ボタン押してプロセスを終了するか、ON/OFF/BACK ボ タンを押してメニュー画面に戻ってください。 データは、コンマ区切り形式の txt ファイルとして保存されています。 測定器のシリアル番号がファイル名になっています。これらのファイルは、テキ スト編集ソフトや表計算ソフトで開くことができます(図 1 参照)。 データは 11 の欄(コラム)に分かれています。

コラム#	説明
1	日時 <sup>a</sup>
2~6	測定值 <sup>b</sup> (VWC、Period、EC、土壤温度、IR 温度)
7~8	GPS 座標(緯度、経度)°
9	測定時に通信した衛星の数
10	衛星ステータス d
11	ロッド(探針)の長さ <sup>e</sup>
12	土壌タイプ f

- a: 日時はタイムゾーンの設定に基づいてグリニッジ標準時に補正を加えた もの(11ページ参照)。
- b:水分量の表示に「TDR 300モード」が選択されている場合は、VWC% の欄には TDR 300 方式で計算された VWC(EC 補正なし)が表示 される。
- c: GPS 座標は、DDHH HHHH C(D:度、H:時、C:コンパス方位)の 形式で表示。
- d: 衛星ステータス:0 は測定器が位置情報を取得できなかったことを意味 し、1 は位置情報を取得できたが測位補強システムが利用できない状 態、2 は測位補強システムが利用可能な状態を表している。
- e: ロッド(探針)の長さは、L(20cm)、M(12cm)、S(7.6cm)、 T(3.8cm)の4種類。
- f: 土壌タイプはS(一般)、H(高粘土質)、D(砂質)の3種類。

### VWC の測定

#### 体積含水率(VWC)

土壌は、土、水、空気で構成されています。

体積含水率(VWC)とは、一定の体積の土が含んでいる水の体積の比率

で、小数または%で表されます。

土壌水分のレベルは、以下の3つの状態に定義されます:

#### 飽和状態:

土と土の隙間がすべて水で満たされている状態。

VWC は隙間の体積と等しい。

#### <u> 圃場容水量:</u>

飽和状態の土壌から重力による水の排出が完了した状態。 土壌が重力に抗って保持できる水の最大量。

#### <u>永久しおれ点(PWP):</u>

この水分量を下回ると、植物が土壌から水分を吸収できなくなる。

永久しおれ点と圃場容水量の間の水量が、植物利用可能水として定義 できます。経験則として、植物利用可能水が半分まで減った時点で散水 すると良いとされています。

#### 時間領域反射(TDR)

TDR 法とは、導波管に沿った電磁波の伝導時間を測定する手法です。 土壌中における電磁波の速度は、土壌のバルク誘電率( $\epsilon$ )に依存します。 水は空気や土に比べて誘電率が非常に大きいため(水: $\epsilon$ = 80、空気:  $\epsilon$ = 1、土: $\epsilon$ = 3~7)、これを利用して土壌の VWC を測ります。 TDR で測定される VWC は、導波管の全長にわたる範囲を平均した値に なります。 TDR350 は、2 本のステンレス製ロッド(探針)を導波管にして、高出力の 信号を土壌中に発し、はね返ってきた信号を感知します。ロッドの周囲約 3cm の楕円筒状の範囲が測定範囲になります。感知した高周波信号は、 体積含水率に変換されます。高粘土質土壌や導電率の高い(EC>2 dS/m)土壌では、高周波信号が減衰するため、測定器の読み取り表示 に影響がでます。有機物含有量が非常に高い場合にも、VWC の読み取 り値に同様の影響がでます。

### GPS ステータス

GPS ができるだけ多くの衛星と受信可能な状態になるまでしばらく待ちましょう。GPS 機能が ON になっており、測定器の位置を動かさないでいると、 GPS アイコンが白から灰色を経て黒に変わります。アイコンが黒くなっていれ ば、10 以上の衛星から受信可能です。測位補強システムが利用可能な 場合は、黒いアイコンの中に十字マークが現れます。



雲の無い晴天時には GPS が受信しやすくなります。 GPS の受信機は測定器の前面(USB ポートの近く)にあります。 読み取りの際には、受信機を木などの障害物に向けないようにしてください。

### アクセサリ(オプション)

TDR 350 は、オプションで 2 つのアイテムを追加することができます。 概要は以下の通りです。

詳細や取り付け方法などはウェブサイトをご覧ください。

IR(赤外線)温度センサー(#6435TS) IR 温度センサーは、表面温度センサーの代わりになるアイ テムです。センサー・ブロック前方の地表を赤外線によって 検知し、瞬時に高精度の温度測定ができます。



#### TDR スペーサ(#6435SP)

TDR 350 のロッドは 4 種類(3.8cm、7.6cm、 12cm、 20cm)ありますが、3.8cm のロッドにス ペーサを取り付けることで、深さ 1.3cm または



2.5cm で測定することができます。この深さでの測定はグリーンの速さや硬 さを管理するのに便利です。スペーサは 3.8cm ロッド以外には装着できま せん。センサー・ブロックの先端に装着して、ロッド全部が埋まらないようにし ます。取り付けの向きによって深さを 2 種類に調整できます。スペーサを使 用しての計測には、ファームウェア ver.1.02 かそれ以上のバージョンが必要 になります。

### 追補 1: VWC の読み取りテスト

測定器が正しく機能しているかどうかをチェックする方法は二つあります。

テスト 1(探針無し): センサーから探針を取り外します。設定メニュー画面 で Moisture Type(水分量の表示)を Period に設定します(13 ページ参 照)。測定器が正しく機能していれば、探針無しで読み取りすると 1930µs (誤差±30)と表示されます。

テスト 2(探針あり): 3 つの基準環境(空気中、蒸留水、蒸留水で飽和 させたグラウンドの砂)で読み取りをおこないます。故障探究では、必ず蒸 留水を使用してください。水道水だと正しくテストできません。蒸留水と砂を 入れる容器は、最低でも直径 7.5cm で、探針の全長が完全に浸かる深 さの物を用意してください。

設定メニュー画面で、Soil Type(土壌タイプ)をSTANDARD(一般土壌) に、Moisture Type(水分量の表示)を TDR 300 モードに設定してくださ い(12~13 ページ参照)。探針の長さが正しく設定されていることを確認し てください(10 ページ参照)。測定器が正しく機能していれば、空気中で読 み取りすると、VWC は 0%と表示されます。飽和した砂中で読み取りする と、35~45%の間の値が表示されます。蒸留水中で読み取りすると、探 針の長さに応じて以下の表のように表示されます。

探針の長さ	水分量(VWC)
20 cm	60~65%
12 cm	70~75%
7.5 cm	75~80%
3.8 cm	65~70%

注:水中で読み込んでも、水分量 100%にはなりません。 これは、測定器に組み込まれている較正方程式が、無機質土壌中で測 定したときに最も正確な値が出るように作られているからです。

32

### 追補 2: 厳密測定のためのキャリブレーション

TDR 350 には、二つの土壌タイプ(一般土 壌、高粘土質、砂質)に合わせたキャリブレー ションがファームウェアにより組み込まれています が、精度を最大限に上げたい場合は、厳密測



定のためのキャリブレーションを自分でおこなう必要があります。キャリブレー ションのために、実際の土壌を使って土壌水分を測定し、センサーの生デー タ(period モード、13ページ参照)と正しい水分量(VWC)との対応付けを おこないます。対応付けのための方程式は回帰分析を利用して導き出さ れます。

正しい VWC データを得るための方法はいろいろあります:中性子探針など を用いる方法、ある体積の飽和土壌を徐々に乾燥させながらその重量を 測定する方法、ある体積の土壌に一定量の蒸留水を徐々に加えながらそ の重量を測定する方法などで、VWC データの採取ができますが、実際に は、もっと簡単に VWC を得るための方法として、重量サンプリングという手 段を使う場合がほとんどです。その手順を以下に記します。

現場でサンプリングする場所をいくつか決めておきます。それぞれの場所で土 壌サンプルの含水率が異なるように、様々な水量を加えておきます。まず、 各場所で TDR 測定器による読み取りを実行し、読み取りした場所から一 定体積分の土壌を抜き出します。土を崩さずそのままの状態で抜き出すの が理想的です。抜き出した土壌サンプルの重量を測定します。すぐに測定 できない場合は、土壌サンプルをビニール袋で保管し、蒸発散を防いでくだ さい。その後、土壌サンプルを乾燥(通常、105℃で 48 時間)させ、ふたた び重量を測定します。VWC を算出するための計算式は以下の通りです:

VWC=100 ×  $(M_{wet}-M_{dry})/(\rho_w \times V_{tot})$ 

Mwet、Mdry:土壌サンプル(湿)の重量、土壌サンプル(乾燥)の重量(g)
 Vtot:土壌サンプルの総体積(ml)
 ρw:水の比重(1g/ml)

VWC は、土壌サンプルの含水比と体積比重から計算することもできます。

VWC=GWC ×  $(\rho_b/\rho_w)$ 

GWC:含水比

ρ<sub>b</sub>:土壌サンプルの体積比重

 $GWC = 100 \times (M_{wet} - M_{dry})/M_{dry}$ 

 $\rho_{b} {=} M_{dry} / V_{tot}$ 

最後に、測定器で読み取った Period モードの値を計算し、グラフ化します。 このデータを回帰分析し、period の値を VWC に換算する方程式を導き 出します。

### 1. 工場出荷時のデフォルト設定は?

Rod Length (ロッドの長さ)TSoil Type (土壌タイプ)SGPS、BluetoothEBacklight (バックライト)ESound (作動音)CTemperature (温度の単位)FTemp Source (温度ソース)EMoisture Type (水分量の表示)KEC units (導電率の単位)FAuto-Off (自動 OFF)1Time Zone (タイムゾーン)C

TURF(3.8cm) STANDARD(一般土壌) DISABLED(OFF) DISABLED(OFF) ON F(華氏) 土壌センサー VWC% 塩度指数 15 min(15 分) GMT(グリニッジ標準時)

- 2. 土壌の表面温度を測るセンサーの種類は? サーミスタ。センサー・ブロックの下面にあります。
- **3. 利用可能な測位補強システムは?** 北米地域では WAAS、ヨーロッパ地域では EGNOS が利用可能。

### 4. SpecConnect にアクセスする方法は?

SpecConnectは会員制のウェブサービスです。 詳細は、Spectrum Technologies 社または代理店にご連絡ください。

- 5. USB フラッシュ メモリにデータを保存できない。 USB フラッシュ メモリから firmware をロードできない。 USB メモリの容量がいっぱいになっていないか確認してください。 フォーマットが FAT または FAT32 形式であるか確認してください。
- ディスプレイに "No Sensor" と表示される。
  ディスプレイ・ユニットにセンサー・ブロックがしっかり接続されているか
  確認してください。

### 保証

本製品は、ご購入日より1 年間、製品の材質上および製造上の欠陥に 対して保証されます。保証期間中、Spectrum 社は欠陥があると証明され た製品の修理または交換を実施します。以下の原因による破損・損害は 保証の対象外となります:不適切な取り付けや使用、落雷、怠慢、事故、 不正な改造、製品によって付随的・派生的に発生した損害。製品を返品 する際には、Spectrum 社から返品承認(RMA)を受ける必要があります。 RMA 番号を発行せずに返品された製品、または返品時の運送業者によ る紛失に関して、Spectrum 社は一切の責任を負いません。

CE	<b>DECLARATION OF CO</b> Spectrum Technolog 3600 Thayer ( Aurora, IL 60504	p <b>NFORMITY</b> gies, Inc. Ct. USA
Model Numbers: Description: Type: Directive: Standards:	6435 Portable Soil Moisture¥Conductivity Electrical Equipment for Measurem Use 2004/30/EU EN 61326-2:2012 EN 61000-6-1:2007 EN 61000-6-3:2007+A1:2010 ICES-003:2016; ITE Emissions for FCC Part 15:2016: Emissions for U USA (ANSI C6) EN 55032:2015	¥Temperature Probe ent, Control, and Laboratory Canada (ANSI C63.4:2014) nintentional Radiators for 3.4:2014)
Paul Martis, Hardwa	are Engineering Manager	February 6, 2017



3600 Thayer Ct. Aurora IL 60504 (800) 248-8873 or (815) 436-4440 Fax (815) 436-4460 E-Mail: info@specmeters.com www.specmeters.com