J. Jpn. Soc. Soil Phys.
土壌の物理性
No. 92, p. 25〜30（2003）

# 携帯電話を利用した土壌情報モニタリングシステム

溝口　勝*・三上正洋**・石井　悟**

# Soil Information Monitoring System using Cellular Phone

Masaru Mizoguchi*, Masahiro Mikami** and Satoru Ishii**

* Department of Biological and Environmental Engineering, The University of Tokyo, 1-1-1 Yayoi, Bunkyo-ku, Tokyo 113-8657, Japan

** Technology&Future, Inc., 42-11 Megurida-cho Kodaira, Tokyo 187-0013, Japan

**Abstract**

A prototype system for monitoring soil information was developed using a cellular phone. We named the system SIMS-CP (Soil Information Monitoring System using Cellular Phone). In the prototype system, soil water content and soil temperature at six depths in a field were monitored from a remote laboratory. The system will be quite promising as a tool that virtually converts a field experiment into a laboratory experiment. The present paper gives an outline of SIMS-CP and its potential applications in field science.

**Key words** : soil information, soil water, cellular phone, sensor, field science

## 1. はじめに

フィールドには，気象，動植物の活動，人為など，様々な要因により刻々と変化する貴重な土壌情報が眠っている。こうした情報のうち，センサーを用いて電気信号に変換できるものは，現地に設置されたデータロガーに記録されるが，その情報を確実に得るためには，定期的なデータ回収とメンテナンスが必要となる。しかし，容易に行ける場所ならばともかく，行くのが困難なフィールドでは，観測途中で起こる不測のトラブルのために，しばしば記録していた情報を失うことがある。

気象観測では，こうした情報損失の問題を解決するために，データロガーに蓄積された情報を遠隔操作で取得するシステムが実用化されている。しかし，土壌水分量に関しては，適当な土壌水分センサーがないなどの理由から，遠隔操作で土壌情報をモニタリングするシステムは実用化のレベルには達していなかった。

こうした状況の中，最近，安価で高性能の土壌水分センサーが開発されてきている。そこで，筆者は，そうした土壌水分センサーと携帯電話を組み合わせて，土壌水分量と地温を研究室からリアルタイムにモニタリングするシステム SIMS-CP （Soil Information Monitoring System using Cellular Phone）を試作した。本論文では，このシステムの構成と構築上の注意点を概説すると共に，実際にこのシステムで取得したデータの一例を示しながら，フィールド科学における SIMS-CP の有効性について考察する。

## 2. 方　　法

### 2.1 システムの構成

本システムは，土壌水分量と地温，および降雨量をデータロガーに記録し，それらの情報を現地に設置した受信専用の携帯電話を経由して研究室に取得するものである。現地に設置するハードウェアは，① センサー　② マルチプレクサ　③ データロガー　④ 携帯電話データ通信コントローラ　⑤ 携帯電話　⑥ バッテリー　⑦ 避雷器　⑧ アンテナ　⑨ 太陽電池用パネルである。これらのうち，②〜⑦ は防水箱（40 cm×40 cm×30 cm）の中に吸湿材と共に納められている。（写真-1）

一方，研究室で必要なハードウェアは，① 電話回線

* 東京大学大学院農学生命科学研究科生物・環境工学専攻　〒113-8657 東京都文京区弥生 1-1-1
** 株式会社ティーアンドエフ（T & F Inc.）　〒187-0013 東京都小平市回田町 42-11
**キーワード** : 土壌情報，フィールド科学，土壌水分，携帯電話，センサー

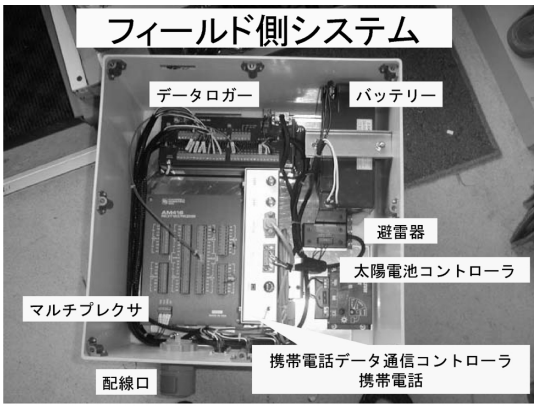



**写真-1** 防水箱に格納されたハードウェア

**Photo. 1** Hardwares in the sealed box which was buried in the filed.

②モデム ③RS-232Cケーブル ④通信用ソフト ⑤コンピュータである。

### 2.2 土壌水分センサー

フィールドにおける土壌水分量の測定には，土壌の誘電率が土壌水分量によって変化する特性を利用した高周波誘電率法が用いられるようになってきた。この方法は，センサーを用いて土壌水分量を電気信号として測定するものである。現場で迅速に土壌水分量を測定でき，センサーを現地に埋設しておけば土壌水分量の変化を連続的にモニタリングできる。代表的なものに，TDR法やADR法などがある。

TDR法は，土壌に挿入された電極中の高周波パルス信号の速度から土壌の誘電率を求める方法で，土壌水分量と同時に電気伝導度も測定できる。一方，ADR法は電極と土壌のインピーダンスの差によって発生する干渉反射波の振幅差を電圧で測定して誘電率を求める方法で，消費電力が少なく，塩分の影響を受けにくいなどの特徴がある。しかし，いずれのセンサーも土壌中に複数本埋設するには高価であり，それが土壌水分量のモニタリングシステム構築上の障害になっていた。

最近，これらに比べて廉価な土壌水分センサーが開発された。ECH2Oと呼ばれる このセンサーは，土壌をコンデンサーとみなし，その充電時間から土壌の誘電率を求める方法で，印加電圧と出力電圧の比により土壌水分量が測定できるのが特徴である。高周波を処理する回路が，幅3 cm・長さ20 cmの帯状センサーの根元に組み込まれているので，温度による影響を受けにくく（Campbell, 2001 a），またセンサーがグラスファイバーで覆われているので塩分の影響も受けにくい。

ECH2Oの出力電圧と土壌の体積含水率は次式の線形関係で表される。（Campbell, 2001 b）

$$\theta = aV + b$$

ここで，$\theta$は体積含水率，$V$はセンサーの出力電圧（mV），$a$および$b$は土壌によって決まる定数である。マニュアルによると，土壌ごとにキャリブレーションをすれば，その精度は±1%とされる。

今回試作したシステムではこのセンサーを用いた。現地の土壌でキャリブレーションして得たセンサー定数はそれぞれa＝0.001857, b＝－0.9244である。

### 2.3 データロギング

データロガーにはCR10X（Campbell社）を用いた。電源は太陽電池により確保した。また，雷による電気回路の損傷を防ぐため，避雷器も取り付けた。さらに，今回は地温と土壌水分量の測定点数がロガーのチャンネル数より多かったので，センサーとロガーの途中にマルチプレクサを使用した。

### 2.4 システムの制御プログラム

本システムのプログラム例を付録-1に示した。CR10Xの場合，Windows上で動作する通信ソフト（PC208W；Campbell社）を用いることにより，容易にプログラミングできる。SIMS-CPのプログラムは，携帯電話制御，計測，記録の3つの部分から構成される。

#### 2.4.1 携帯電話制御部

プログラムは，命令とそのパラメータにより記述されている。以下では，プログラム命令の順番を“行”と表現し，その要点を説明する。

1-10行：CR10Xのコントロールポートを利用して携帯電話の電源を毎日ON/OFF操作する。ここでは12時～18時の時間帯のみ電源をONにしている。このON/OFF操作によって，バッテリーの消耗を防ぐとともに携帯電話の動作条件を毎日初期化する。

#### 2.4.2 計測部

11行：電池電圧の測定

12行：熱電対の基準温度測定

13行：雨量計カウントの測定

14-16行：土壌水分センサーに2,500 mVの直流電圧を印加する。CR10Xでは印加できるポートが3チャンネルなので，センサーを2本づつ1チャンネルに入れ，計6本の水分センサーを繋いである。

17-21行：熱電対による温度測定。マルチプレクサを介して計8点の温度（地温6点，気温2点）が測定される。

#### 2.4.3 記録部

24-30行：10分間隔で，年月日時刻，バッテリー電圧，降水量，温度，土壌センサーの出力電圧を記録する。記

録する間隔は 24 行目で任意に設定できる。

### 2.5　携帯電話データ通信

携帯電話データ通信コントローラは，携帯電話を内蔵したモデムである。このコントローラは，RS232C 変換ケーブルを介してでデータロガーの I/O ポートと，また同軸ケーブルを介して室外アンテナと繋がる。CR10X の 5V 用コントロールポートから通信コントローラを経由して，携帯電話に電力が供給される。最近の携帯電話はデータ通信に余分な機能を持っているので，データ通信を確実に行うためにはメール受信や留守番電話などの機能を予め解除しておく必要がある。

### 2.6　研究室からのデータ取り込み

PC208W には，外付けモデム経由で CR10X と通信する機能が標準装備されているので，電話回線によるデータ通信の知識があれば，容易に利用できる。コンピュータにモデムを正しく認識させ，パケットサイズや応答時間を最適条件に調整する。携帯電話の電波状態によっては繋がりにくい場合もある。また，内線電話から 0 発信で外線に繋ぐ場合にも，交換機の特性によって繋がらないこともある。これらの作業は，ユーザの利用環境に合わせて試行錯誤で行う必要がある。

## 3.　SIMS-CP による観測例

### 3.1　観測地

試作したシステムを 2001 年 8 月 31 日に群馬県 T 村のキャベツ畑地に設置した。この畑地では，冬期に土壌が凍結するために春期に融雪水が地中に浸透できずに，表土が侵食されることがしばしば問題となっている（溝口ら，2002）。畑地中央に土壌断面を作り，各深さの土壌の物理性を測定した後，土壌水分センサーと熱電対を断面に垂直方向に 10 cm, 20 cm, 30 cm, 40 cm, 60 cm, 90 cm の深さに挿入した。ECH2O 土壌水分センサーは，水分の鉛直方向の移動を遮断しないように縦向きにして挿入した。データロガーなどが収納されている箱もセンサーの埋設部から 1m 以上離して埋設した。こうすることでデータロガーに内蔵されている熱電対温度補正用の基準温度の変動が小さくなり，温度測定の精度が向上する。また，雨量計と太陽電池用パネルをセンサー類の埋設地点から 2m 程度北側の地上部に設置した。現地に設置さ

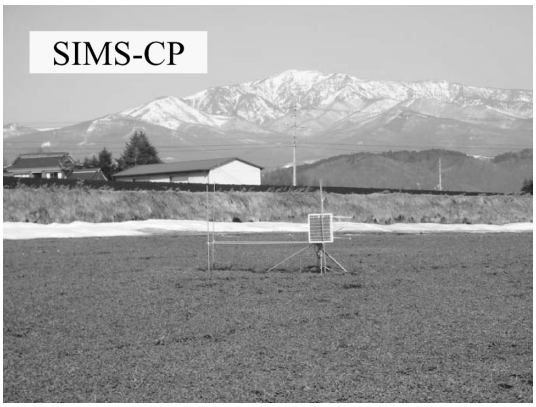



**写真-2**　現地に設置された SIMS-CP の概観
**Photo. 2**　SIMS-CP in the field.

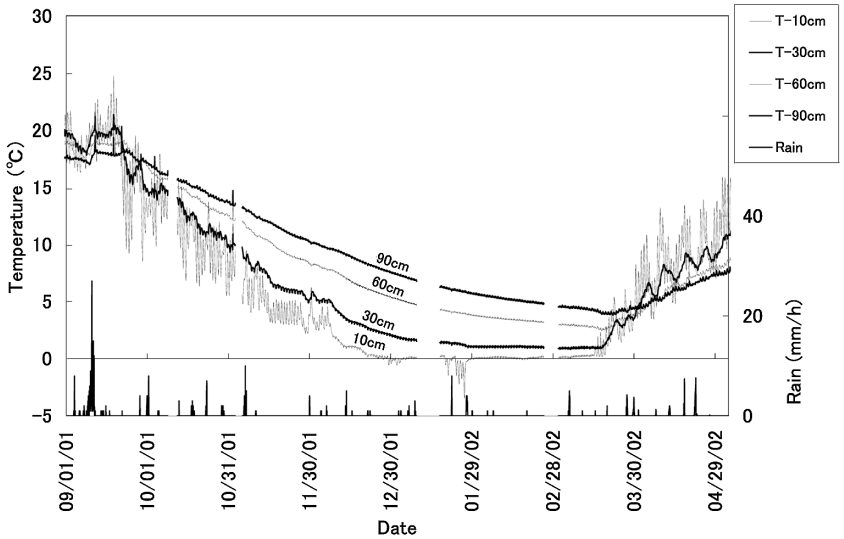



**図-1**　群馬県 T 村畑地における地温変化（2001.9.1-2002.4.30）
**Fig. 1**　Ground temperatures measured by SIMS-CP in a crop field in Gunma Prefecture.

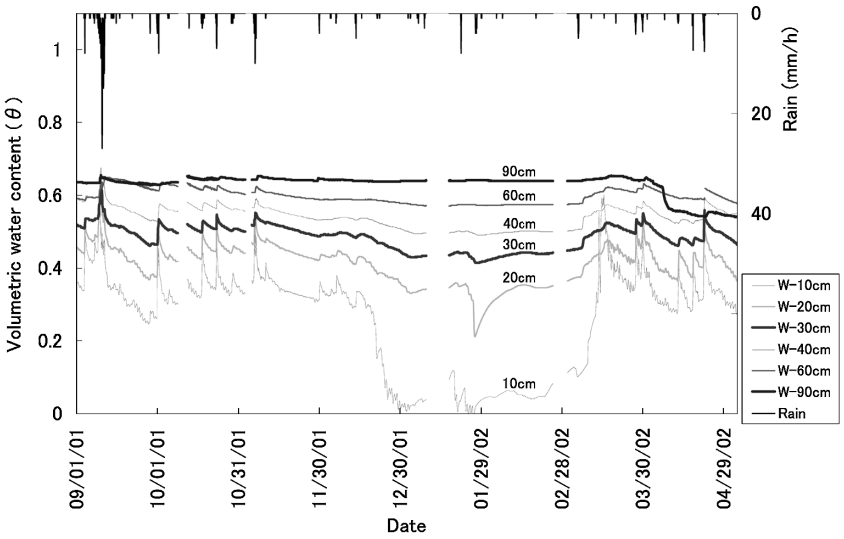



**図-2** 群馬県T村畑地における土壌水分量の変化（2001.9.1-2002.4.30）

**Fig. 2** Soil water contents measured by SIMS-CP in a crop field in Gunma Prefecture.

れたシステムの概観を写真-2に示す。

### 3.2 地温の変化

図-1は2001年9月1日から2002年4月30日までの地温変化である。日変動を繰り返しながら，秋から冬にかけて地温が低下してゆく過程や春先に急激に上昇する様子がわかる。表層（10 cm, 20 cm）の地温は12月7日までは大きく日変動しているが，それ以降の3月15日まで変動がなくなった。これは，積雪あるいは土壌凍結のためと考えられる。

### 3.3 土壌水分量の変化

図-2は体積含水率の変化である。観測期間中，群馬県では台風による大雨があった。本システムは，そうした雨の浸潤やその後の排水過程における畑地土壌水分量の変化を見事にとらえている。

12月中旬には10 cm深さの土壌水分量が急激に低下した。この時期に凍結前線が水分計の埋設されている10 cm付近に到達しためである。このような土壌水分量低下は1月下旬に20 cm深でも観測された。その後，3月上旬まで10 cm深さの土壌水分量は低い値を保ち，冬期間土壌が凍結していたことがわかる。

## 4. フィールド科学におけるSIMS-CPの有効性

フィールドは，完全にコントロールされた室内実験では得ることのできない貴重な土壌情報の宝庫である。そのようなフィールドに対して，SIMS-CPは室内実験の計測手法をそのままフィールドに持ち込み，フィールドを仮想的な実験室にするための変換器といえる。

実際，図-1と図-2で示した地温と土壌水分量は，まるで隣の実験室のデータをみているような感覚で，研究室から取得できる。実験室との唯一の違いといえば，不測のトラブルがあった場合に即座に対処できない点であろう。

しかし，これまでは現地に行ってみないとわからなったトラブルを事前に察知できるという点だけでも，本システムはフィールド科学の方法を大きく変える。例えば，単にデータロガーに供給される電源の電圧をモニターするだけでも，電池交換時期の予測に役立つ。また，取得したデータを事前にみておけば，トラブル対策を考え，道具を用意して現地に向かうこともできる。実際，今回の観測期間中に雨量計が稼動していないことに気づき，代替品を持って現地に向かったこともある。こうしたメリットは，交通の便の悪い地域や海外に調査地をもつフィールド科学者には魅力的であろう。

## 5. おわりに

欧米ではここ数年の間に土壌情報のデータベース化が急速に進み，GISなどによる土壌情報の利用法に関する研究が進められている。筆者らも日本の土壌に関して，既存情報のデータベース構築法（野田ら2001）やインターネットによる利用法（Mizoguchi 1999, Mizoguchi *et al.* 2000, 関ら2001）を研究してきたが，SIMS-CPはこれをさらに一歩進めて，取得したデータをそのまま

データベース化する手法と位置づけられる。

SIMS-CP でリアルタイムにモニタリングされる土壌情報を気象情報や既存の土壌データベースとリンクすることで，様々な応用技術への展開が考えられる。例えば，土壌水分量と降雨量の時間変化を過去の災害情報とリンクさせれば，地すべり予報が可能になろう。また，地域別作物データベースとリンクさせれば，地域ごとの最適な営農管理ができるようになると思われる。

今回のシステムでは土壌情報を土壌水分量と地温に限定したが，電気信号に変換できる情報であればいくらでもシステムの拡張が可能である。特に，土壌の汚染や浄化に対する社会的な関心（土壌物理学会，2001）を考えると，土壌中の硝酸や NAPL 類の濃度センサーの開発が期待される。また，PHS や無線 LAN，インターネットの利用を視野に入れて，データと画像を海外からも効率よく転送できるようにすることも今後の課題である。

## 文　　献


Campbell, C.S. (2001 a) : Response of ECH2O Soil Moisture Sensor to Temperature Variation, DECAGON Application Note, (http : //decagon.com/echo/)

Campbell, C.S. (2001 b) : Response of the ECH2O Soil Moisture Probe to Variation in Water Content, Soil Type, and Solution Electrical Conductivity, DECAGON Application Note (http : //decagon.com/echo/)

Mizoguchi, M. (1999) : Development of internet tools for calculation and prediction of soil hydraulic properties, Characterization and Measurement of the Hydraulic Properties of Unsaturated Porous Media, University of California Riverside, 341-347.

Mizoguchi, M. and Noborio, K. (2000) : Cyber Soil Center for Predicting Soil Water and Nutrients Movements in Agricultural Fields, Proceedings of the XIV CIGR World Congress 2000, 1755-1758.

関　勝寿・野田恭子・溝口　勝・宮崎　毅（2001）：インターネット対応型土壌データベース，農業土木学会講演要旨集，222-223.

野田恭子・関　勝寿・溝口　勝・宮崎　毅（2001）：日本の土壌に関するデータベース構築の試み，農業土木学会講演要旨集，224-225.

土壌物理学会編（2001）：土壌の汚染と浄化―土壌物理学の貢献―，土壌物理学会シンポジウム講演要旨集.

溝口　勝・矢吹裕伯（2002）：積雪寒冷地における地温変化と土壌の凍結融解過程，農業土木学会誌，**70**（4）：321-324.


受稿年月日：2001 年 12 月 3 日
受理年月日：2002 年 7 月 29 日

**付録**　SIMS-CP の制御プログラム（CR10X）

**Appendix**　A program for the control of SIMS-CP on CR10X.

```
;{CR10X}
;*********************************************************
; Progrm for                                    (Gunma) *
; Soil Information Monitoring System using Cellular Phone *
; Programed by MIZO and ISHII                           *
; Ver.   Date      Contens                              *
; 1.0    2001/08/29                                     *
;*********************************************************

*Table 1 Program
  01: 600       Execution Interval (seconds)
; Interval = 10Min

;******* DOCOMO MOVA P-TYPE HYPER ON As Time(Hour)*********
;Maxim Keitai On Time 6 Hour
; ON  TIME 12 Hour
; OFF TIME 18 Hour
; C3 = Keitai Power ON/OFF

1:  Time (P18)
 1: 2        Hours into current year (maximum 8784)
 2: 24       Mod/By
 3: 22       Loc [ Hour      ]

2:  If (X<=>F) (P89)
 1: 22       X Loc [ Hour      ]
 2: 3        >=
 3: 12       F ; ON_Time_Flag
 4: 11       Set Flag 1 High

3:  If (X<=>F) (P89)
 1: 22       X Loc [ Hour      ]
 2: 3        >=

 3: 18       F ;OFF_Time_Flag
 4: 21       Set Flag 1 Low

4:  If (X<=>F) (P89)
 1: 21       X Loc [ Battery   ]
 2: 04       <
 3: 11       F
 4: 12       Set Flag 2 High

5:  If Flag/Port (P91)
 1: 12       Do if Flag 2 is High
 2: 30       Then Do

6:  If (X<=>F) (P89)
 1: 21       X Loc [ Battery   ]
 2: 3        >=
 3: 12       F
 4: 22       Set Flag 2 Low

7:  End (P95)

8:  If Flag/Port (P91)
 1: 11       Do if Flag 1 is High
 2: 43       Set Port 3 High

9:  If Flag/Port (P91)
 1: 21       Do if Flag 1 is Low
 2: 53       Set Port 3 Low
```

```
10:  If Flag/Port (P91)
 1: 12       Do if Flag 2 is High
 2: 53       Set Port 3 Low

;****************** Measurement ********************
;
11:  Batt Voltage (P10)

 1: 21       Loc [ Battery    ]

12:  Internal Temperature (P17)
 1: 15       Loc [ Int_Temp   ]

13:  Pulse (P3)
 1: 1        Reps
 2: 1        Pulse Channel 1
 3: 2        Switch Closure, All Counts
 4: 20       Loc [ Rain_mm    ]
 5: 0.1      Mult
 6: 0.0      Offset

;************* ECH2O 1-6 Measurement *****************

;Ecitation_ch = EX1

14:  Excite-Delay (SE) (P4)
 1: 2        Reps
 2: 5        2500 mV Slow Range
 3: 1        SE Channel
 4: 1        Excite all reps w/Exchan 1
 5: 10       Delay (units 0.01 sec)
 6: 2500     mV Excitation
 7: 1        Loc [ ECH2O_1     ]
 8: 1        Mult
 9: 0        Offset

;Ecitation_ch = EX2

15:  Excite-Delay (SE) (P4)
 1: 2        Reps
 2: 5        2500 mV Slow Range
 3: 3        SE Channel
 4: 2        Excite all reps w/Exchan 2
 5: 10       Delay (units 0.01 sec)
 6: 2500     mV Excitation
 7: 3        Loc [ ECH2O_3     ]
 8: 1        Mult
 9: 0        Offset

;Ecitation_ch = EX3

16:  Excite-Delay (SE) (P4)
 1: 2        Reps
 2: 5        2500 mV Slow Range
 3: 5        SE Channel
 4: 3        Excite all reps w/Exchan 3
 5: 10       Delay (units 0.01 sec)
 6: 2500     mV Excitation
 7: 5        Loc [ ECH2O_5     ]
 8: 1        Mult
 9: 0        Offset

;************* TC 1-6 Measurement ********************
;

17:  Do (P86)
 1: 41       Set Port 1 High

18:  Beginning of Loop (P87)
 1: 0        Delay
 2: 8        Loop Count

19:  Do (P86)
 1: 72       Pulse Port 2

20:  Excitation with Delay (P22)
 1: 3        Ex Channel
 2: 10       Delay W/Ex (units = 0.01 sec)
 3: 0        Delay After Ex (units = 0.01 sec)
 4: 0        mV Excitation

21:  Thermocouple Temp (DIFF) (P14)
 1: 1        Reps
 2: 1        2.5 mV Slow Range
 3: 4        DIFF Channel
 4: 1        Type T (Copper-Constantan)
 5: 15       Ref Temp (Deg. C) Loc [ Int_Temp  ]
 6: 7     -- Loc [ TC_1 ]
 7: 1.0      Mult
 8: 0.0      Offset

22:  End (P95)

23:  Do (P86)
 1: 51       Set Port 1 Low

;********************** Save Data ********************
; Save_Data _10Min

24:  If time is (P92)
 1: 0000     Minutes (Seconds --) into a
 2: 10       Interval (same units as above)
 3: 10       Set Output Flag High (Flag 0)

25:  Set Active Storage Area (P80)
 1: 1        Final Storage Area 1
 2: 30       Array ID

26:  Real Time (P77)
 1: 1220     Year,Day,Hour/Minute (midnight = 2400)

27:  Sample (P70)
 1: 1        Reps
 2: 21       Loc [ Battery    ]

28:  Totalize (P72)
 1: 1        Reps
 2: 20       Loc [ Rain_mm    ]

29:  Sample (P70)
 1: 8        Reps
 2: 7        Loc [ TC_1]

30:  Sample (P70)
 1: 6        Reps
 2: 1        Loc [ ECH2O_1]

*Table 2 Program
  02: 0.0000    Execution Interval (seconds)

*Table 3 Subroutines

End Program
```