

土壌物性観測システムの開発支援

Development support of Measurement System for Soil Physical Properties

山崎 友也・辰己 賢一⁽¹⁾・石川 裕彦

Tomoya YAMAZAKI, Kenichi TATSUMI⁽¹⁾ and Hirohiko ISHIKAWA

(1) 東京農工大学

(1) Tokyo University of Agriculture & Technology

Synopsis

Division of Technical Affairs, DPRI supported the development of a measurement system using a microcomputer board. The purpose of this development was to manufacture an easy-to-use device at low cost with multipoint observation in mind. This paper describes the outline of the equipment, the development process, the required cost, etc.

キーワード: arduino, 基板製作, センサー計測, 技術支援

Keywords: arduino, board production, sensor measurement, technical support

1. はじめに

土壌中の水分量および温度、日射による光量子束密度をモニタリングするための技術支援を行った。多点での観測を念頭にできるだけ安価で、かつ取扱いが容易なデバイスの開発が求められた。比較的安価であり、専門的な知識がなくても開発が容易であることから、本件では制御用マイコンとしてArduinoを用いることとした。

観測においては、温度・土壌水分量・光量子束密度を測定するためのセンサーをArduinoに接続し、出力電圧を連続記録する。収録タイミングはGPS信号を基に制御し、データはSDカードに保存することとした。観測点は野外であることから、ソーラーパネルとバッテリーにより電源供給することとした。これらの構成物を、ブレッドボードを介して単純に接続し収納ボックス内に収めた場合、配線が錯綜し乱雑な状態となった (Photo.1)。こういった状況では設置作業の効率が悪く、また接続ミスによる機器の破損や感電の危険性も高い。

この状況を改善するため、Arduino、SDカードモジ

ュール、入出力端子台を1枚の回路基板に配置し、パッケージ化された観測システムを開発することとした。

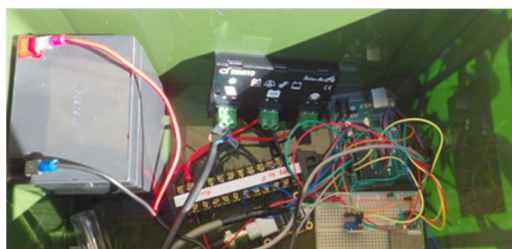


Photo. 1 Inside of the observation box

2. 観測システムの構成

観測システムの構成はFig.1に示す通りである。基板はArduino、マイクロSDカードモジュール、端子台の他、状態確認用のLEDで構成される。GPSモジュールはアンテナ一体型のためケーブルで延長し、本体とプラグ・ソケットで接続することとした。各セ

センサーは端子台に接続し、Arduinoから電源供給するとともに、出力信号をArduino本体のアナログポートに入力する。ソーラーパネルとバッテリーによる外部電源は端子台を介してArduino本体に給電される。

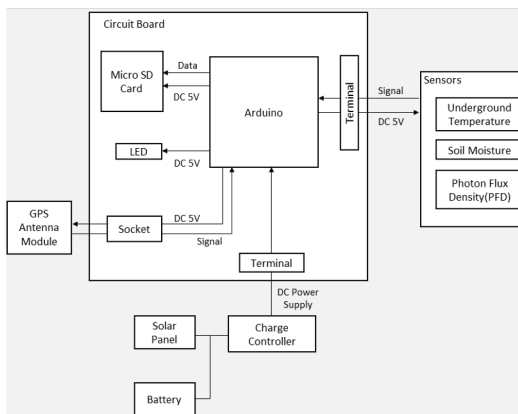


Fig. 1 Measurement system configuration

3. 観測システムの製作過程

各デバイスを搭載するための基盤製作が本開発の主たる作業となる。まずFig.1で構成されるデバイスの基板上の配置を決め、配線を確認する。基板上の構成物はArduino(ピンヘッダソケットで着脱)、マイクロSDカードモジュール、入出力用端子台、状態確認用LED、およびGPSモジュール制御用のダイオード・抵抗素子である。これらを搭載する基板サイズを100x100mmとしてAUTODESK社の回路設計ソフトウェアEAGLEにより基板切削パターンを作成した (Photo 2)。基板切削にはORIGINAL MIND社の自動フライス盤KitMill CL420を用いた。完成した基板の切削面および表面に各パーツを取り付けた様子を示す (Photo 3)。また基板の保護と絶縁のため、3Dプリンターで筐体を製作した (Photo 4)。完成品の外寸は110x110x30mm、重量は170gとなった。

本システムの製作にあたり購入したパーツのリストをTable 1に示す。合計金額は¥7,866となり、市販の時刻校正機能付きデータロガーと比べて安価に構成することができた。またTable 2は本システムで使用するセンサーの一覧である。こちらも多点観測を念頭にコストを抑えている。Table 3は製作に要した作業時間を示している。3Dプリンターによる筐体造形がかなりの時間を占めており、多数製作する場合にはボトルネックとなる。そのため特殊な形状のケースが必要な場合を除き、市販の安価なケースを調達する方が効率が良いと考えられる。

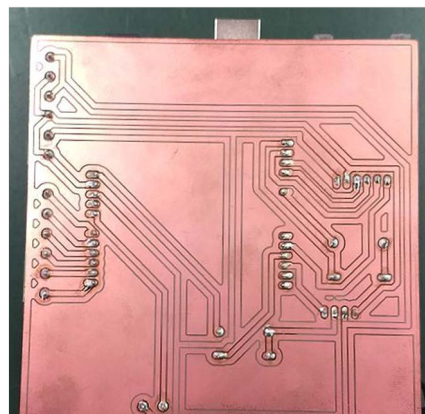


Photo 2 Circuit board cutting surface

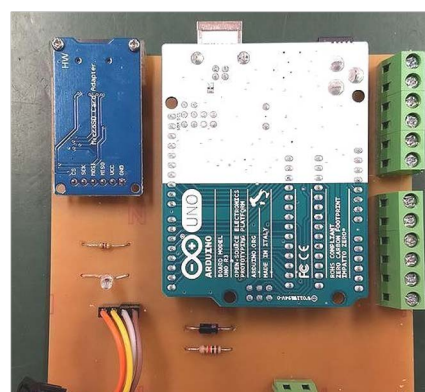


Photo 3 Circuit board Parts placement



Photo 4 Product appearance

Table 1 Parts price list

Parts	Vendor	Price(¥)
Arduino UNO Rev3	Arduino	2940
microSD module HW-125	Maxmoral	500
GPS module AE-GYSFDMAXB	AKIZUKI DENSHI	2100
Terminal block (x7)	RSPRO	721
D-sub plug	SANKYU TECHNOS	119
D-sub jack	SANKYU TECHNOS	76
LED	ELEKIT	40
基板用ピンヘッダ	HIROSUGI KEIKI	100
Resistance (10kΩ,460Ω), Diode	—	20
Circuit board	ORIGINAL MIND	290
PLA resin for 3D printer (180g)	3D Solutech	700
Slim cable for GPS module (1m)	KYOWA HARMONET	260

Table 2 Sensor price list

Sensor	Vendor	Price
Soil moisture sensor YL-69	WINGONEER	180
Temperature sensor LM60BIZ	Texas Instruments	100
GaAsP photo diode G2711-01	HAMAMATSU	300

Table 3 Work time list

Work content	Work time (hour)
Circuit board cutting (machine)	0.5
Circuit board cutting (manual)	0.5
Soldering	0.5
Housing Modeling (3D printer)	10
Housing treatment	1.5

4. テスト観測結果の紹介

観測システムの連続稼働テストを京都府宇治市の京都大学キャンパス屋外で実施した。テストではTable 2で示したセンサーを使用した他、フォトダイオードとの比較校正のために光量子センサーLI-190Rの同時観測を行った。

テストに先立ち、センサー類を接続して稼働した際のシステムの消費電流を測定し、約70mAhと実測された。Arduinoの動作電圧は5Vであることから、1日の消費電力は約8.4Whとなる。この値を基に日照無しの状態でも2~3日の稼働が可能となるようバッテリーとソーラーパネルを選定した。選定したバッテリーの容量は12V-5Ah、ソーラーパネル出力は20Wとなった。

観測内容は地中温度(地表-100mm)、土壌水分量、および光量子束密度である。これらの観測結果と、参考のため観測点近傍の降水量をFig.2に示す。テストでは2021/02/25 12:00から2021/03/01 9:00まで93時間の連続観測を実施し、欠測や時刻ずれは認められ

ず安定した動作を確認できた。地中温度のデータは、センサーの出力電圧が小さいことから分解能はおよそ0.78℃と荒さが目立つ結果となった。今後の実用化に向けてはオペアンプ等によりセンサー出力電圧を増幅することを、検討する必要がある。

土壌水分量はセンサーが未校正であるため、電圧読み取り値をプロットしている。26日の午前中に降雨による反応が見られる。

光量子束密度(PFD: Photon flux density)はフォトダイオードの出力について、光量子センサーの値と比較校正した結果をプロットした。降雨や雲間による日照の変化を反応良く捉えていることがわかる。

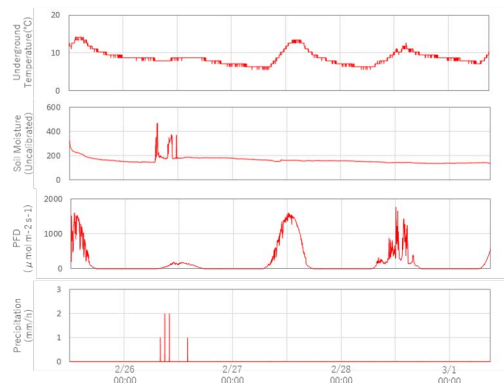


Fig. 2 Observation test result

また温度センサーの解像度改善のため、オペアンプによる増幅回路を製作しテストした結果を報告する。増幅回路はオペアンプと抵抗素子でFig.3の通り構成した。増幅率は、理論値では5.74となるが実際は約5.85となった。抵抗素子の誤差や基板製作時の抵抗値の微妙な変化が影響したと考えられる。

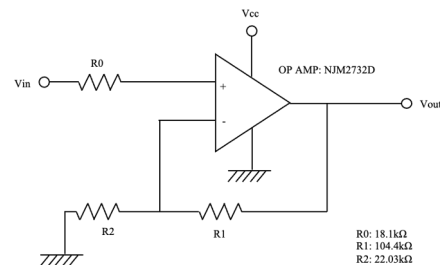


Fig. 3 Amplifier circuit configuration

製作した増幅回路を用いて地中温度の観測テストを2021/06/09に実施した。温度センサーの増幅前と増幅後の出力を比較した結果をFig.4に示した。増幅前

の分解能が 0.78°C であるのに対し，増幅後の分解能は 0.13°C となり，滑らかなプロットを得ることができた。

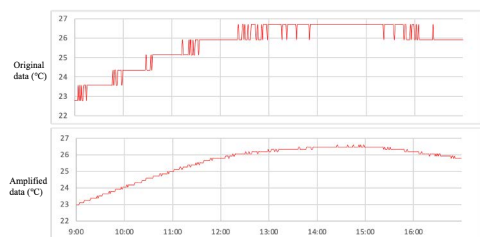


Fig. 4 Amplifier circuit test result

5. おわりに

本支援では，Arduinoと最低限のパーツとの組み合わせにより低コストで観測システムを構築すること

ができた。また自作の基板にパーツを搭載することで取り扱いが容易になり，作業の効率化も期待できる。本稿記載のテストの後，さらに30日間の観測テストを実施しており，安定動作を確認することができた。一方でセンサーの分解能や校正の面で問題があり，得られたデータの正確性の検証が今後の課題であると感じている。今回の支援で得られた経験を活かし今後も改良に取り組んでいきたい。

謝 辞

本稿の作成にあたり，観測システムの製作およびテスト観測をサポート頂いた防災研究所技術室の中本幹大技術職員，宮町凜太郎技術職員に感謝する。

(論文受理日：2021年8月30日)