

土壌物性観測システムの概要

防災研究所 技術室

山崎友也

1. 目的

土壌中の水分量，温度，光量子を多点でモニタリングするための，データ計測環境を構築した．開発にあたっては多点への展開を念頭にできるだけ安価で，かつ取扱いが容易であることを目標とした．比較的安価で，専門的な知識がなくても開発が容易であることから，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，光量子を測定するための各センサーを **Arduino** に接続し，出力電圧を連続測定することとなる．収録タイミングは **GPS** 信号により調整される．また収録されたデータは **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．**Figure1** はこれらの構成物を，ブレッドボードを介して単純に接続し，観測ボックス内に収めた様子である．デバイス間の配線が複雑になり，結線ミスや接触不良が起こりやすい状況となった．

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．

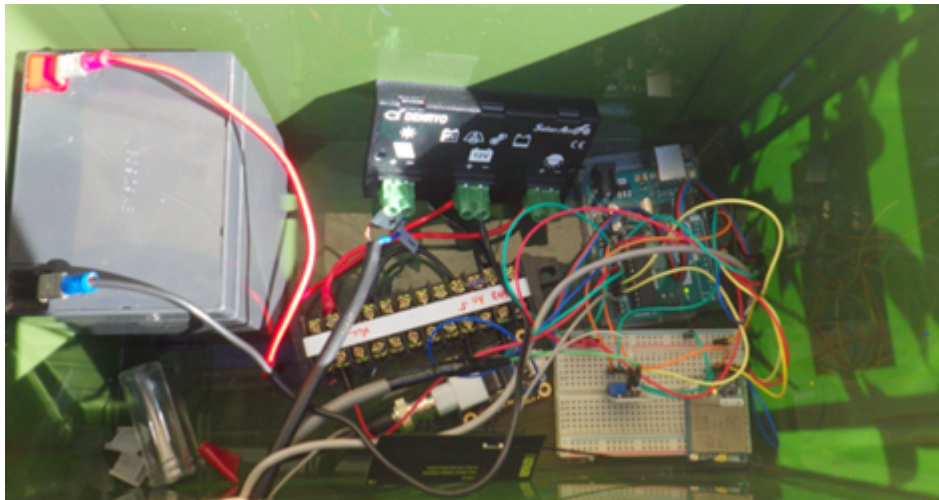


Figure1. 観測ボックス内状況

2. 観測システムの構成

観測システムの構成は **Figure2** 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．各センサーは端子台に結線し，**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に接続し、Arduino 本体に給電される。

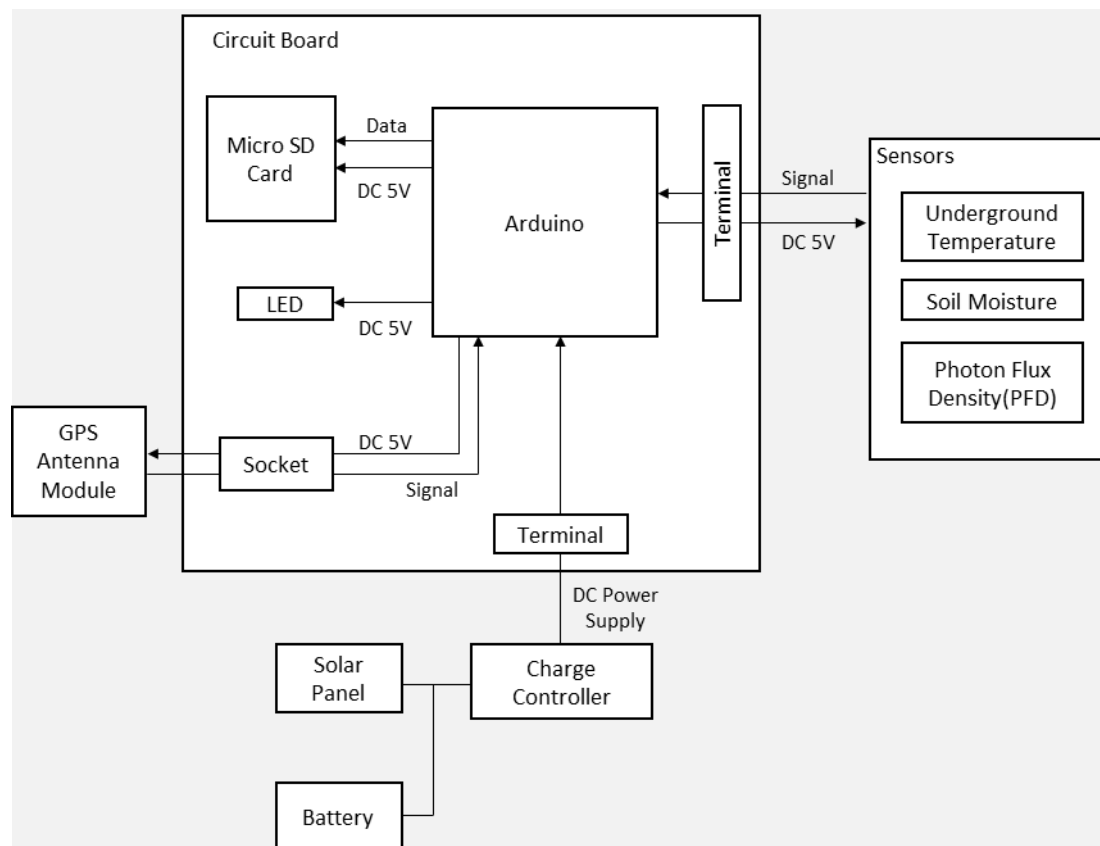


Figure2. システム構成

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。まず基板上のデバイス間の配線を Figure3 の通り定めた。基板上の構成物は Arduino, 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。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。EAGLE は部品の配置を指定すれば基板のプリントパターンが自動で生成される。生成されたパターンが Figure4 である。基板切削には防災研工作室の自動フライス盤, ORIGINAL MIND 社 KitMill CL420 を用いた。Figure5 は完成した基板の切削面であり, 各パーツを半田付けした状態が Figure6 である。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。完成品の外観を Figure7 に示す。完成品の寸法は 110x110x30mm, 重量は 170g となった。

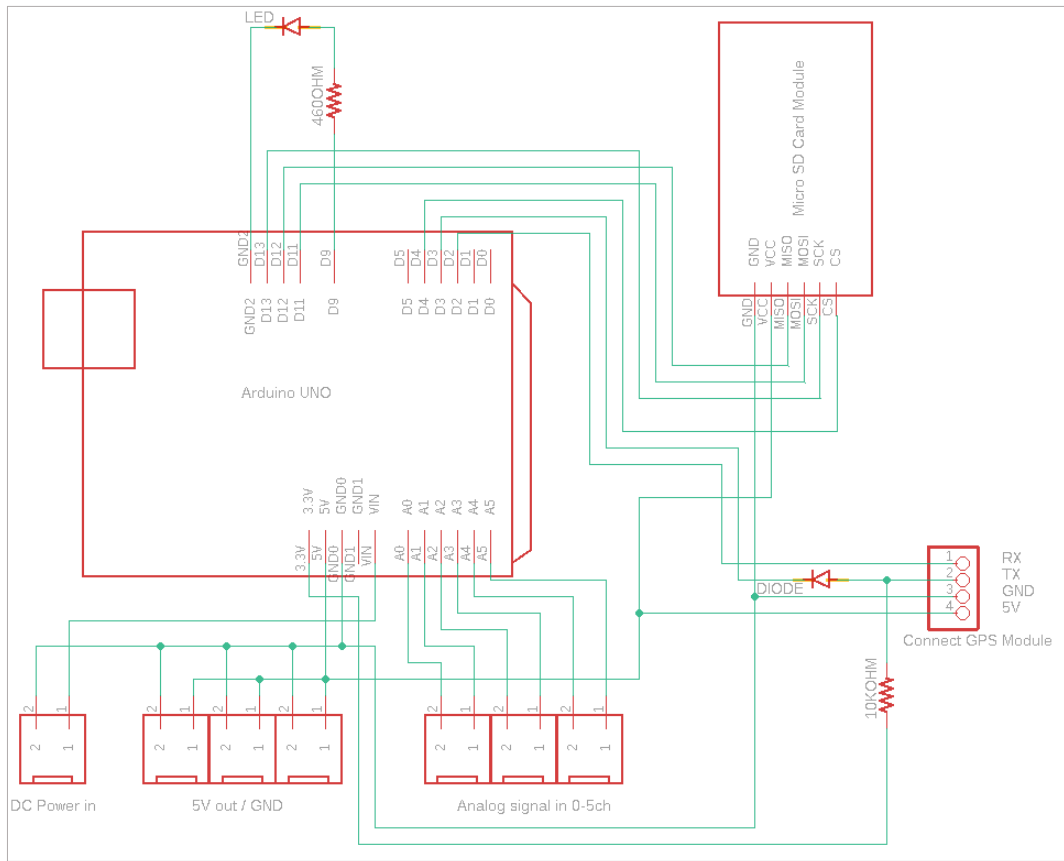


Figure3. 基板配線図

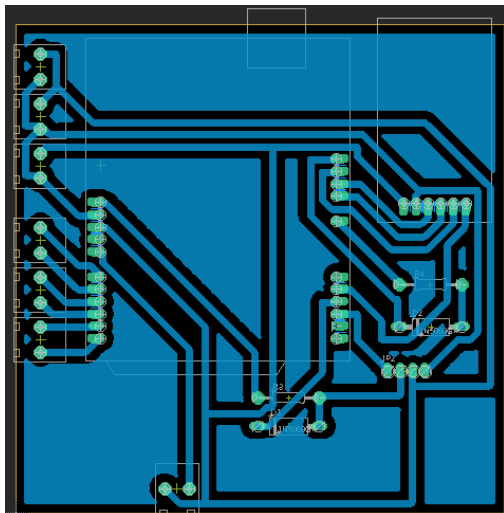


Figure4. 基板配線パターン

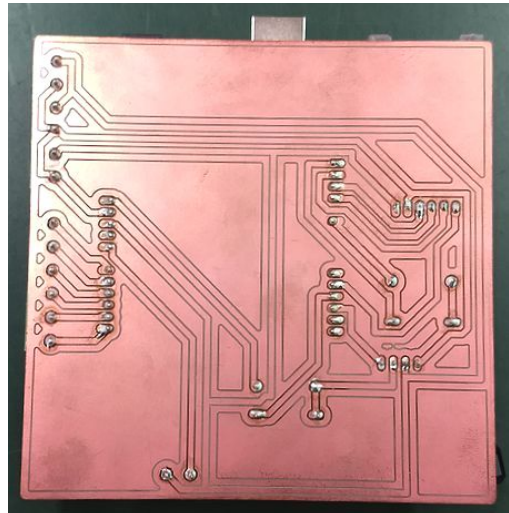


Figure5. 基板切剖面

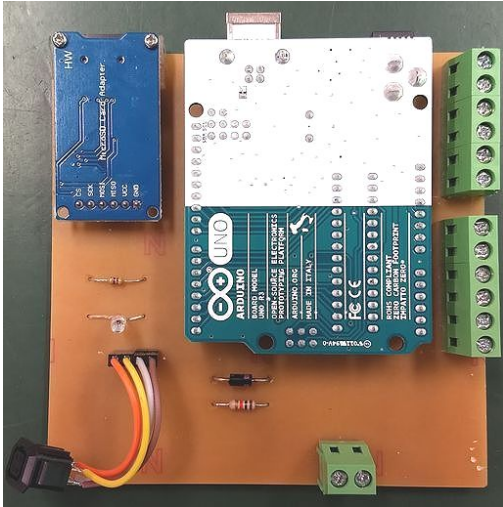


Figure6. 基板表面



Figure7. 観測システム外観

本システムの製作にかかったコストを Table1 に示す. 合計金額は¥7,866 であり, 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 Table2 は本システムで使用するセンサーの一覧である. また Table3 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要しており, 多数個を製作する場合は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.

Table1. 部品価格表

部品	ベンダー	価格(¥)
Arduino UNO Rev3	Arduino	2940
microSD モジュール HW-125	Maxmoral	500
GPS モジュール AE-GYSFDMAXB	秋月電子通商	2100
プリント基板用端子台(7個分)	RSPRO	721
D サブコネクタサ (プラグ)	サンキューテクノス	119
D サブコネクタ (ジャック)	サンキューテクノス	76
LED	エレキット	40
基板用ピンヘッド	廣杉計器	100
抵抗 (10kΩ,460Ω) , ダイオード	—	20
切削用基板ボード	ORIGINAL MIND	290
3D プリンター樹脂素材 (180g 分)	3D Solutech	700
GPS 用スリムロボットケーブル (1m 分)	協和ハーモネット	260
合計		7866

Table2. 使用センサー価格表

センサー	ベンダー	価格
土壌水分センサー YL-69	WINGONEER	180
温度センサー LM60BIZ	Texas Instruments	100
GaAsP フォトダイオード G2711-01	浜松ホトニクス	300
合計		580

Table3. 製作作業時間一覧

作業内容	所用時間 (hour)
基板切削 (自動フライス盤)	0.5
基板仕上げ	0.5
半田付け	0.5
筐体造形 (3D プリンター)	10
筐体等加工	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 Table2 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。

稼働テストに先立ち、センサー類を接続して稼働した際の Arduino 消費電流が 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。これより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のサイズを以下の通り選定した。

Battery: 容量 12V, 5Ah, 寸法 70x90x100mm

Solar Panel: 出力 20W, 寸法 500x350mm

観測内容は土中温度 (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 Figure9 に示す。なお 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。

土中温度については、温度センサーの出力電圧が小さいことから分解能の粗さが目立つ結果となった。Arduino の分解能 4.88mV に対し温度センサーの出力は摂氏 1 度あたり 6.25mV であるため収録値は約 0.7°C 刻みとなった。今後の実用化に向けてはオペアンプ等によるセンサー出力電圧の増幅も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を、光量子センサー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.

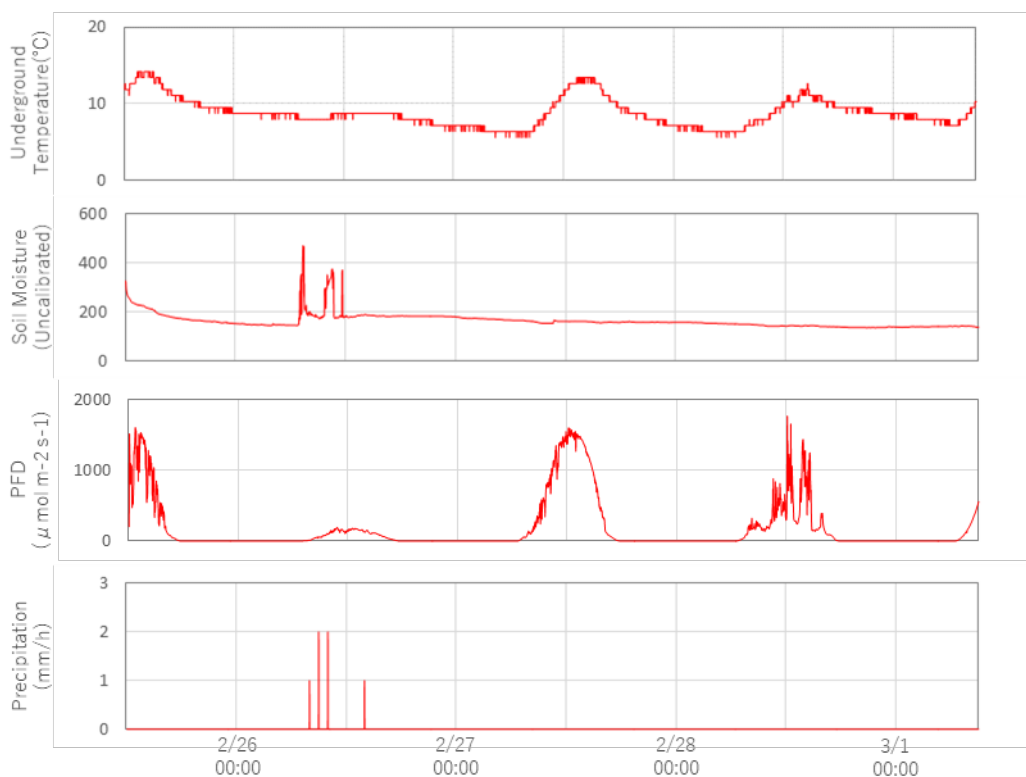


Figure8. 観測システムテスト結果(2021/02/25 12:00 - 2021/03/01 9:00)

5. オペアンプによるセンサー出力電圧の増幅

前項のテスト結果より, 温度センサーの出力電圧に対して **Arduino** の分解能が粗い結果が見て取れた. そこでオペアンプを用いた増幅回路を組み込み, 再度テスト観測を実施した. 使用したオペアンプの回路図は **Figure9** の通りである.

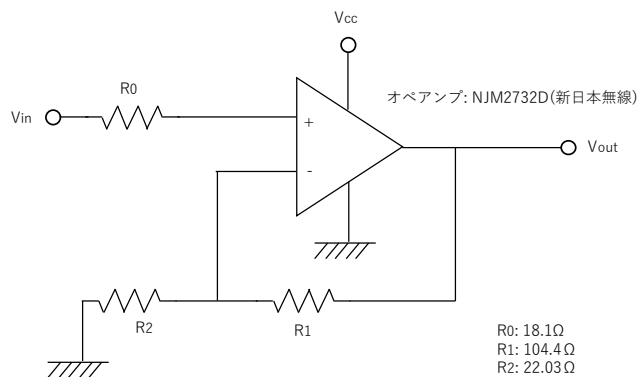


Figure9. オペアンプ回路図

テスト観測は前回同様、キャンパス内屋外で地表から 100mm 下の土中温度を計測した。計測結果は Figure10 の通りとなった。オペアンプ回路の増幅率は約 5.8 となり、収録値の刻み幅は 0.7°C から 0.13°C となり、滑らかなプロットが得られた。

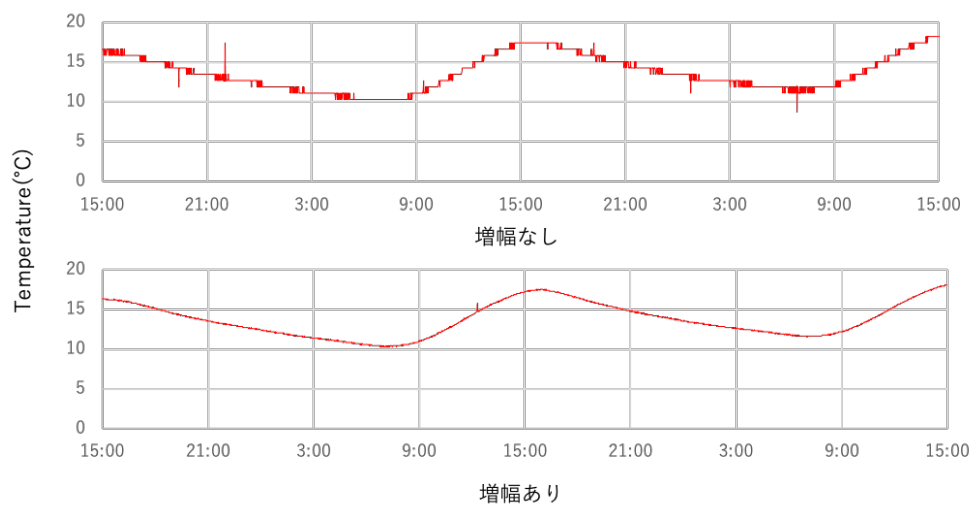


Figure10. 信号増幅テスト結果 (2021.3.17 実施)