

## RL78/G11 を用いた環境センサ（その 2：センサのインタフェース他）

「RL78/G11 を用いた環境センサ（その 1）」ではセンサを制御するための基本的な方法を説明しましたが、センサに対するインタフェースは説明していません。

今回は追加情報の第 1 回として 4 回分の平均を求める方法とセンサとのインタフェースについて説明します。

### 1. 4 回分の平均を求める方法

「RL78/G11 を用いた環境センサ（その 1）」で使った RL78/G11 の A/D コンバータと DTC を用いたセンサ値の読み出し方法で、DTC で転送する回数を 4 回から 16 回に変更することで、CPU の介在なしに、ANI0～ANI3 入力の値を各々 4 回 A/D 変換して読み出すことができます。

ただし、これだけではセンサの電源制御ができないので、定数配列 g\_sensor\_port も変更する必要があります。

その 1 では、センサの電源制御は測定するセンサの A/D 変換の 2 周期前に行っています。具体的には、電源電圧確認のための 1 回目の変換開始の前に温度センサの電源（P51）を制御しています。（1 をセットするとオフ、0 をセットするとオン。）

A/D 変換回数	1 回目	2 回目	3 回目	4 回目	5 回目	6 回目
A/D 変換動作	内部基準電圧 1	内部基準電圧 2	温度センサ	照度センサ	土壌湿度センサ	ダミー
センサ電源制御	P51 ← 0 11111101	P52 ← 0 11111001	P53 ← 0 11110001	P51 ← 1 11110011	P52 ← 1 11110111	P53 ← 1 11111111

34  $\mu$  秒で変換が完了したら、今度は照度センサの電源（P52）も制御します。34  $\mu$  秒で 2 回目の A/D 変換が完了した時点では温度センサの電源をオンしてから約 70  $\mu$  秒経過してから温度センサの A/D 変換を開始しています。この時点で、湿度センサの電源（P53）も制御しています。1 個目の温度センサの A/D 変換が完了したら、DTC で温度センサの電源をオフしています。2 個目の照度センサの A/D 変換が完了したら、照度センサの電源もオフするように定数配列 g\_sensor\_port の値を決めています。

2 巡目以降の測定を行うには、DTC で必要な電源の制御を行うようなデータを準備する必要があります。スキャン・モードでの A/D 変換では、実際に使用していない ANI3 もダミーで A/D 変換しています。このため、下の表に示すように、センサの電源を制御します。

A/D 変換回数	3 回目	4 回目	5 回目	6 回目	7 回目	8 回目
A/D 変換動作	温度センサ	照度センサ	土壌湿度センサ	ダミー	温度センサ	照度センサ
センサ電源制御	P53 ← 0	P51 ← 0	P51 ← 0 P52 ← 1	P52 ← 0 P53 ← 1	P53 ← 0 P51 ← 0	P53 ← 1 P52 ← 0

1 巡目
2 巡目

配列 g\_adc\_adinput のメンバーを 16 (4×4) に変更して、DTC の転送回数を 16 にすることで、以下のような結果が得られます。

1 巡目				2 巡目			
温度 1	照度 1	湿度 1	ダミー	温度 2	照度 2	湿度 2	ダミー
3 巡目				4 巡目			
温度 3	照度 3	湿度 3	ダミー	温度 4	照度 4	湿度 4	ダミー

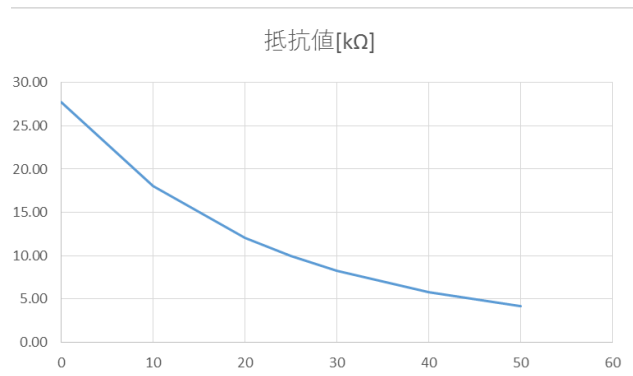
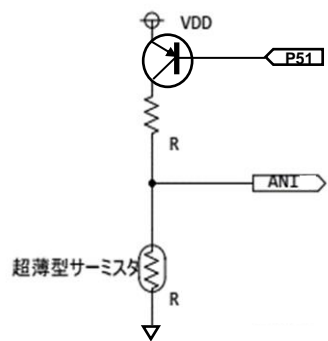
このように得られた結果（4 回分）を加算して、2 ビット右シフトすることで平均値を求めます。

## 2. センサのドライブ方法

使用するセンサは上でも説明したように、値を読み出す約  $70\mu$  秒前にセンサの電源をオンしていますが、ソフトウェアでの処理を統一（0 でオン）するような電源制御の構成にしています。

### 2.1 温度センサ

温度センサ（サーミスタ）のドライブ回路と特性（抜粋）を以下に示します。



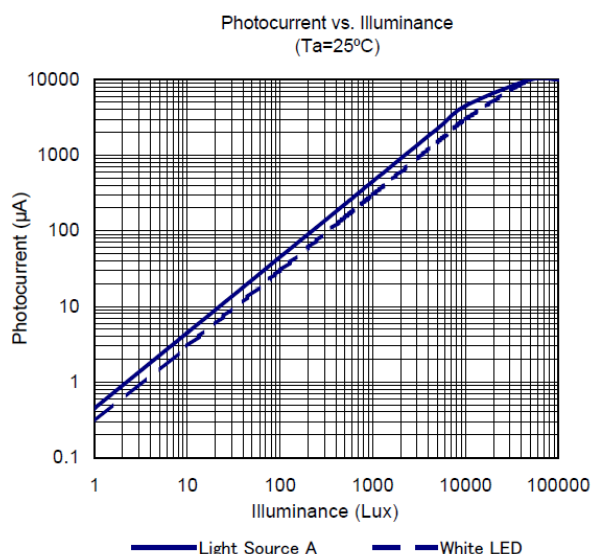
$0^{\circ}\text{C}$ ~ $50^{\circ}\text{C}$ の範囲で使う場合に、サーミスタの抵抗は  $27.7\text{k}\Omega$ ~ $4.15\text{k}\Omega$  となります。このことから、VDD を  $3.3\text{V}$ 、トランジスタの VCE をコレクタ電流が小さいので  $-0.02\text{V}$  で無視するとシリーズ抵抗 R の値は、サーミスタの抵抗が  $27.7\text{k}\Omega$  でも AN1 が 1.37（内部基準電圧  $1.45\text{V}$  の 95%）を越えないように選択する必要があります。計算結果は  $39\text{k}\Omega$  となります。

なお、RL78 の AN1 端子は内部のサンプリング・コンデンサ ( $2.5\text{pF}$ ) を充電する電流が流れるだけなので、ここでは計算から除外しています。

### 2.2 照度センサ

照度センサには、新日本無線の NJL7502L を使いました。明るさは、大阪市立科学館の資料によると、晴天の昼間の太陽光が 100,000 ルクス程度ですが、屋内ではパチンコ店でも 1,000 ルクス以下ようです。

値の幅が広すぎるので、ここでは状況を絞り込みます。



## 照度と明るさの目安

照度(単位:ルクス)と、明るさのおおよその目安を表にしました。

照度(ルクス)	明るさの目安	(ルクス)
100,000	雪山・真夏の海岸 晴天昼太陽光 晴天午前10時太陽光 晴天午後3時太陽光 曇天昼太陽光 曇天午前10時太陽光	>100,000 100,000 65,000 35,000 32,000 25,000
10,000	曇天日出1時間後太陽光	2,000
1,000	晴天日出1時間前太陽光 パチンコ店内 百貨店売場 宝光灯照明事務所 日出入時 30W蛍光灯2灯使用八畳間 夜のアーケード	1,000 1,000 500~700 400~500 300 300 150~200
100	街灯下 ライター@30cm	50~100 15
10	ロウソク@20cm 市民薄明(太陽天頂距離96度)	10~15 5
1	月明り 航海薄明(太陽天頂距離102度) 天文薄明(太陽天頂距離108度)	0.5~1 0.01 0.001

JIS の照度基準表を以下に示します。これから 1、000～10 ルクス程度を対象にすることにします。

JISの照度基準表

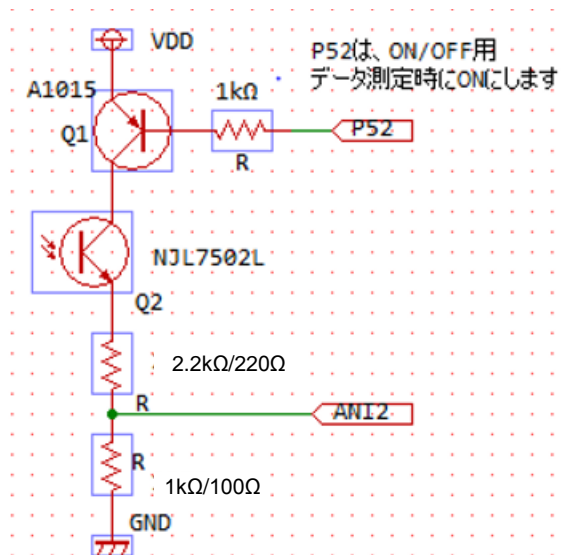
照度lx	2000	1500	1000	750	500	300	200	150	100	75	50	30	20	10	5	2	1
居間	手芸 <sup>※</sup> ／裁縫 <sup>※</sup>			読書 <sup>※</sup> ／化粧 <sup>※</sup>		図らん <sup>※</sup> ／読書 <sup>※</sup>					全体						
書斎				勉強 <sup>※</sup> ／読書 <sup>※</sup>						全体							
子供室／勉強室				勉強 <sup>※</sup> ／読書 <sup>※</sup>		遊び <sup>※</sup>			全体								
応接間／(洋間)						テーブル <sup>※</sup> ／ソファ <sup>※</sup> ／飾り物 <sup>※</sup>					全体						
座敷						座卓 <sup>※</sup> ／床の間 <sup>※</sup>					全体						
食堂／台所						食卓 <sup>※</sup> ／調理台 <sup>※</sup> ／流し台 <sup>※</sup>				全体							
寝室					読書 <sup>※</sup> ／化粧 <sup>※</sup>								全体				深夜
家事室／作業室	手芸 <sup>※</sup> ／裁縫 <sup>※</sup> ／ミシン <sup>※</sup>			工作 <sup>※</sup>		洗濯 <sup>※</sup>			全体								
浴室／脱衣室					ひげ剃り <sup>※</sup> ／化粧 <sup>※</sup> ／洗面 <sup>※</sup>				全体								
便所										全体							深夜
階段／廊下											全体						深夜
納戸／物置												全体					
玄関／(内側)				鏡 <sup>※</sup>		靴脱ぎ <sup>※</sup> ／飾り棚 <sup>※</sup>			全体								
門・玄関(外側)											靴入れ <sup>※</sup> ／郵便受け／押しボタン <sup>※</sup>			通路 <sup>※</sup>			防犯
車庫					掃除 <sup>※</sup> ／点検 <sup>※</sup>						全体						
庭										バーベキュー <sup>※</sup> ／食卓 <sup>※</sup>				通路 <sup>※</sup>			防犯
照度lx	2000	1500	1000	750	500	300	200	150	100	75	50	30	20	10	5	2	1

※印は補助照明を使用してもよい

NJL7502L の 1、000 ルクスでの電流値は、表から 1、000  $\mu$ A (1mA) と見積もれます。このときの電圧が 1.45V を越えないようにすることを考えると 1k $\Omega$  で 1V にするのが簡単です。ただし、これ以上明るくなった場合のことを考慮して 1mA 以上流さないように、2.2k $\Omega$  の抵抗をシリーズにいらておきます。

(屋外で使用する場合には、10mA 程度になる可能性があることから、100 $\Omega$  の電圧を測定するようにして、220 $\Omega$  をシリーズに接続しておきます。)

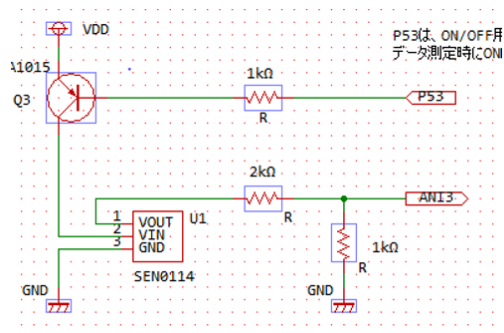
これを実際の回路にすると、以下のような回路になります。



## 2.3 土壌湿度センサ

最後は土壌湿度センサです。秋月電子で販売している Arduino 用 土壌湿度センサを利用します。

接続回路を以下に示します。



このセンサは電極が電源とベースの間に入っている構成になっています。湿度が高くなり、抵抗が小さくなれば、ベース電流が増加してエミッタ電流が増加することで、出力（エミッタ）電圧は高くなります。

このセンサの特性は下記のようになっているだけです。どうも、10bit での A/D 変換結果について示しているだけのようです。

Value range:

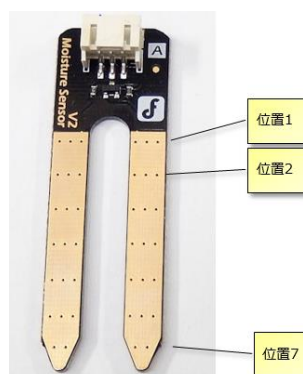
0 ~300 : dry soil

300~700 : humid soil

700~950 : in water

そこで、右の写真の各位置までを水につけた結果を下の表に示します。

それほどの精度は期待できないことから、得られる出力電圧は電源電圧にほぼ比例するとして、A/D 変換結果を電源電圧で補正したものを保存することにします。ここでは、電源電圧が 3V のときの値に補正します。



### 平均値

位置	1	2	3	5	6	平均値	差
VIN[V]	Vout[mV]	Vout[mV]	Vout[mV]	Vout[mV]	Vout[mV]	Vout[mV]	電圧値[mV]
3.6	900	900	880	800	760	848	—
3.4	840	840	820	740	700	788	60
3.2	780	760	740	680	640	720	68
3.0	720	700	680	600	600	660	60
2.8	640	640	620	560	540	600	60
2.6	580	560	540	500	480	532	68
2.4	500	500	480	440	420	468	64
2.2	420	420	420	380	360	400	68
2.0	360	360	360	320	320	344	56
1.8	320	320	300	280	260	296	48
1.6	260	260	240	220	220	240	56
1.4	200	200	200	180	160	188	52
1.2	160	140	160	120	120	140	48

### 3. センサの値の補正方法（データの持ち方）

#### 3.1 電源電圧

電源電圧は、他のセンサの補正で使用するののでできるだけ有効数字を確保します。ただし、3V では変換結果は 7bit 以下になります。

電源電圧は、3V 以上になるので途中の計算では 10mV 単位の 16bit で処理します。保存する場合には、10mV 単位では 8bit では表せないなので、20mV 単位にして 8bit で保存します。

電源電圧（Vdd）と内部基準電圧（Vref）及び変換結果（ADCR）の関係は以下のようになります。

$$ADCR = (Vref / Vdd) \times 255$$

ここから、10mV 単位での電源電圧は以下のよう to 得られます。

$$\begin{aligned} Vdd &= (Vref / ADCR) \times 255 \\ &= 145 \times 255 / ADCR \end{aligned}$$

#### 3.2 温度センサ値

サーミスタの抵抗値を R (kΩ) とすると、ANI の電圧は以下のようになります。

$$Vin = R \times Vdd / (39 + R)$$

これから、

$$R = (Vin \times 39) / (Vdd - Vin)$$

となります。また、ADCR（変換結果）と Vin の関係は

$$Vin = (ADCR / 255) \times Vref$$

となります。これを単純に計算すると、

$$R = (ADCR \times Vref \times 39) / \{ (Vdd \times 255) - (Vref \times ADCR) \}$$

となります。ここで、電源電圧測定で得られた結果（ここでは、ADCRV と示します）を加味すると、以下のようになります。

$$R = (ADCR \times ADCRV \times 39) / \{ 65025 - (ADCRV \times ADCR) \}$$

この R の値も 0℃では 25.5kΩを超えるので、1/2 した値を保存することにします。

#### 3.3 土壌湿度センサ値

土壌湿度センサの値は、今回は A/D 変換結果をそのまま保存します。ローカルに判断するような場合には、単に閾値（30%程度か）を設定しておいてその値との比較で「水分が少ない」や「水分は十分」の結果を LED で点灯できるようにすれば、十分でしょう。もっと正確な値が必要なら、環境センサからの値を受け取った先で処理するのが妥当だと思います。

#### 3.4 照度センサ値

照度の値はダイナミックレンジが広いので、単純な A/D 変換では対応が難しいものがあります。できるなら、アナログ回路で対数変換を行ってから A/D 変換を行うべきでしょう。

しかしながら、今回はできるだけ消費電力を抑えることがメインなので、使用する環境（屋外か屋内か）に応じた抵抗値の組み合わせだけを行います。その結果は MAX1mA の場合には 0.01mA 単位の数値で保存しておくことにします。

A/D 変換結果は内部基準電圧（1.45V）を基準にした電圧なので、

$$V_{in} (V) = ACDR \times 1.45 / 255$$

$$V_{in} (10mV) = ADCR \times 145 / 255$$

となり、1k $\Omega$ の抵抗を用いていると、10 $\mu$ A 単位の電流値となります。

今回は、測定方法に重点を置いた説明になりました。

次回は、この検討結果を実際プログラムに実装します。今回、まとめた結果から測定方法を少し見直す（内部基準電圧を基準にした A/D 変換から Vdd を基準にした A/D 変換に変更）ことも考慮）

続く