

温度センサ調査（電子工作）

【第1位は？】

- ESP32で利用した場合の実践データ
- 40円～480円の温度センサ11個を調査

目次

1. 調査対象の温度センサー一覧
2. ESP32のポート
3. 各センサ性能
4. 測定回路
5. 測定器(温度計)
6. 測定結果

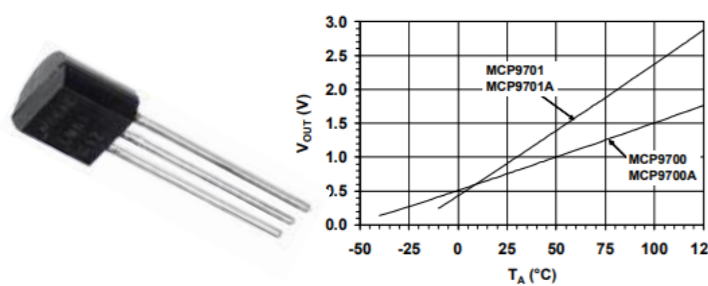
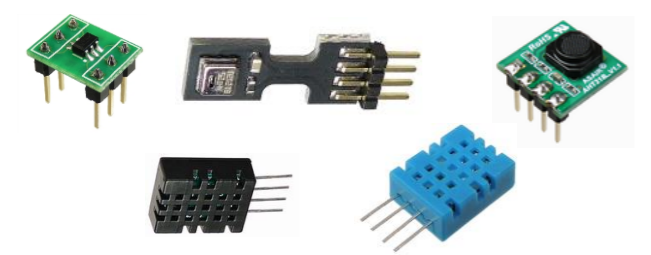
1. 調査する温度センサ

NO	項目	型番	イメージ	URL	価格	入出力電圧	動作温度	温度精度	湿度制度	記事
1	温度センサー I C MCP9700-E/T O	MCP9700-E/T O		https://akizukidenshi.com/catalog/g/g/gI-09692/	40	2.3~5.5V -	-40~ +125°C	±4°C(最大)	-	・ADCに最適: 10.0mV/°C ・低消費電流: 6μA(標準)
2	温度センサー I C MCP9700A-E/T O	MCP9700A-E/T O		https://akizukidenshi.com/catalog/g/g/gI-14300/	100	2.3~5.5V -	-40~ +125°C	±2°C /0~70°C 他±4°C	-	・ADCに最適: 10.0mV/°C ・低消費電流: 6μA(標準)
3	I C温度センサ TMP36GT9Z	TMP36GT9Z		https://akizukidenshi.com/catalog/g/g/gI-14188/	200	2.3~5.7V -	-40~ +125°C	~±3°C /25°C	-	
4	S-5851A使用2ワイヤ デジタル温度センサモジュール	S-5851AAA-M6T1U		https://akizukidenshi.com/catalog/g/g/gM-11575/	110	2.7~5.5V -	-40~ +125°C	±2°C/ -25~85°C 他±3°C	-	センサだけでも購入可[¥100]
5	精密級高精度温度センサー LM335Z	LM335Z		https://akizukidenshi.com/catalog/g/g/gI-11158/	100	5~40V -	-40~ +100°C	±4°C(最大)	-	・出力: 10mV/°K ・動的インピーダンス1Ω以下 ・動作電流: 400μA~5mA
6	高精度 I C温度センサ LM61CIZ	LM61CIZ		https://akizukidenshi.com/catalog/g/g/gI-11160/	120	2.7~10V -	-30~ +100°C	±3°C/ -25~85°C 他±4°C	-	温度係数: +10mV/°C Vo=(+10mV/°C× T°C)+600mV
7	高精度 I C温度センサ LM60BIZ	LM60BIZ		https://akizukidenshi.com/catalog/g/g/gI-02490/	180	2.7~10V -	-25~ +125°C	±3°C/ -25~125°C 他±4°C	-	-25~+125°C 1°C当たり6.25mV
8	温湿度センサ モジュール AHT25	AHT25		https://akizukidenshi.com/catalog/g/g/gM-16731/	350	2.2~5.5V -	-40~ +80°C	±0.3°C	±2%RH	
9	温湿度センサ モジュール DHT20	DHT20		https://akizukidenshi.com/catalog/g/g/gM-16732/	380	2.2~5.5V -	-40~ +80°C	±0.5°C	±3%RH	
10	温湿度センサ AHT21B	AHT21B		https://akizukidenshi.com/catalog/g/g/gK-17394/	400	2.2~5.5V -	-40~ +80°C	±0.5°C	±5%RH	
11	温湿度センサ モジュール DHT11	DHT11		https://akizukidenshi.com/catalog/g/g/gM-07003/	480	3.3~5.5V -	0~ +50°C	±2°C	±5%RH	
総合計					2,460	別途送料が必要				

選定基準(IT太郎調べ)
 ・3.3V/5V対応
 ・室温が測定範囲(0から40度)
 ・価格の安いものから選出

1. 調査する温度センサ(仕様上)

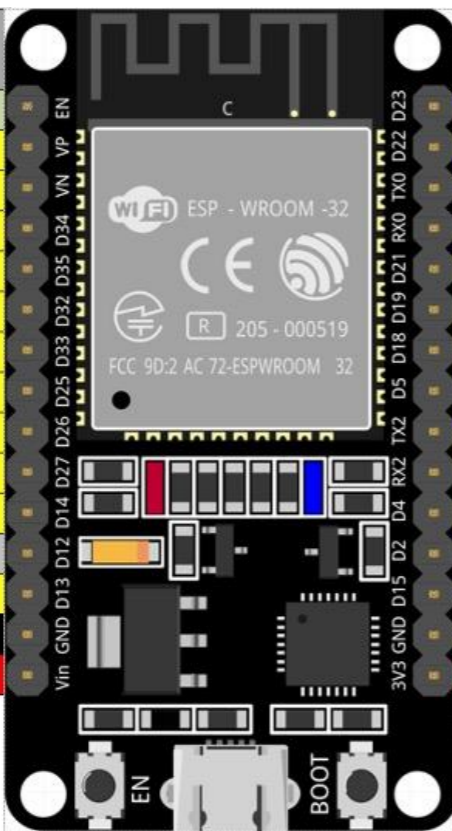
価格では電圧出力タイプ、精度ではデータ出力タイプ。また、電圧出力は回路や算出式を調べるのに困難なケースがあり、データ出力はライブラリが無ければI2Cプログラミングが複雑になる傾向となります。

温度センサ	内容	ESP32 入力端子(ポート)	回路・配線	プログラミング	記事
<p>電圧出力 【温度センサIC】</p>  <p>[MCP9700/9700A,TMP36, LM335Z,LM61,LM60]</p>	<p>温度差を 電圧で出力</p> <p>価格が安価 電圧測定[mV]が必要のため、マイコンでは精度が悪くなる傾向</p>	<p>ADC(電圧測定) (Analog to Digital Converter)</p> <p>ESP32のADC精度 ADC2はWi-Fi併用NG ESP32はADC2つのみ</p>	<p>ポート固定 Wi-Fi考慮必要 精度低</p> <p>抵抗必要 [LM335Z]</p>	<p>電圧から 温度への 計算式</p>	<p>特になし</p>
<p>データ出力</p>  <p>[S-5851A,AHT25,DHT20, AHT21B,DHT11]</p>	<p>センサ内部の 温湿度データを出力</p> <p>電圧出力より高価 マイコンはデータ取得だけなので精度が良い</p>	<p>I2C通信 [S-5851A,AHT25, DHT20,AHT21B]</p> <p>I2Cポート固定</p> <p>GPIO(データ通信) [DHT11]</p>	<p>ポート固定 アドレス衝突 考慮必要</p> <p>自由度高い</p>	<p>I2C通信 難しい</p> <p>ライブラリ [AHT21B]</p> <p>ライブラリ [DHT11]</p>	<p>特になし</p> <p>I2C製品より 精度低い</p>

2. ESP32ポート

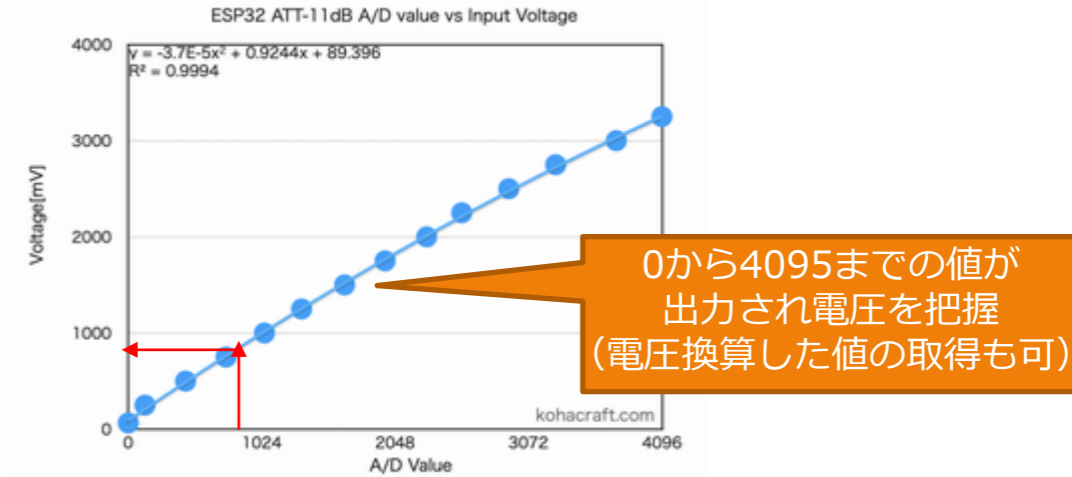
●ESP32 ポート構成

Touch	SPI/ DAC	Analog (ADC)	IO	IO	Analog (ADC)	SPI/ Serial	I2C/ Touch
			EN	GPIO23		VSPID	
		1-0 A0	GPI 36(VP)	GPIO22		VSPWP	SCL
		1-3 A3	GPI 39(VN)	GPIO1		TXD0	
		1-6 A6	GPI 34	GPIO3		RXD0	
		1-7 A7	GPI 35	GPIO21		VSPHD	SDA
T9		1-4 A4	GPIO32	GPIO19		VSPHQ	
T8		1-5 A5	GPIO33	GPIO18		VSPCLK	
	DAC_1	2-8 A18	GPIO25	GPIO5		VSPCS0	
	DAC_2	2-9 A19	GPIO26	GPIO17		TXD2	
T7		2-7 A17	GPIO27	GPIO16		RXD2	
T6	HSPCLK	2-6 A16	GPIO14	GPIO4	A10 2-0	HSPHD	T0
T5	HSPIQ	2-5 A15	GPIO12	GPIO2	A12 2-2	HSPIWP	T2
T4	HSPID	2-4 A14	GPIO13	GPIO15	A13 2-3	HSPCS0	T3
			GND	GND			
			5V	3.3V			



●ADC 端子

- ADC回路は2つ搭載されている。
- 標準で11dBの減衰が設定されているため、0から3.3Vの測定可能
- 分解能は9から12bit。標準で12bitなので0～4095で出力される。
(電圧換算した値を出力も可能。今回はこの関数を利用)
- ADC2利用時はWi-Fi利用不可



<https://kohacraft.com/archives/202202091047.html>

●I2C 端子

フィリップ社が提唱した方式で、同期式シリアル通信のひとつです。SPIと並んでマイコンとセンサ間のデータ通信によく使われます。

- I2Cインタフェースは以下のとおり。
SCL : GPIO22
SDA : GPIO21
- 接続するデバイスはアドレスが決まっており、複数接続も可能。

3-1/2. MCP9700/9700A

[参考URL]

<https://akizukidenshi.com/download/mcp9700.pdf>

<http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/20001942g.pdf>



MCP9700



MCP9700A

- ・広い動作温度仕様：-40~+125°C
- ・精度：~±2°C/0~70°C ~±4°C/-40~125°C
- ・出力電圧：500mV/0°C
- ・ADCに最適：10.0mV/°C(標準)
- ・広い動作電圧範囲：2.3~5.5V
- ・低消費電流：6µA(標準)

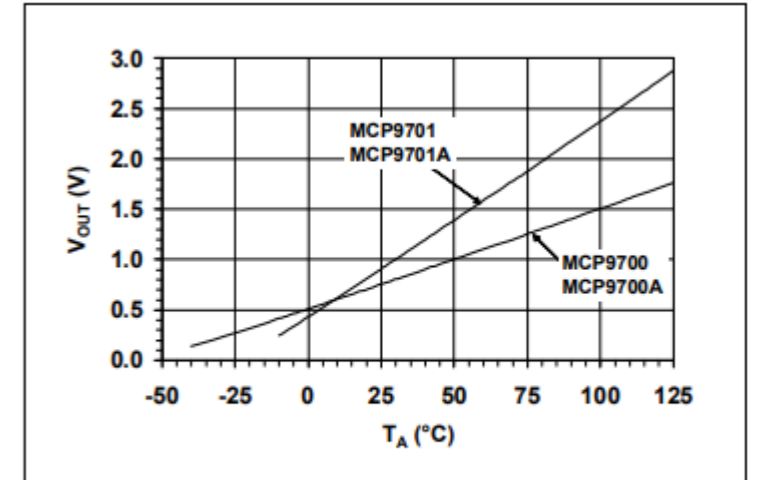
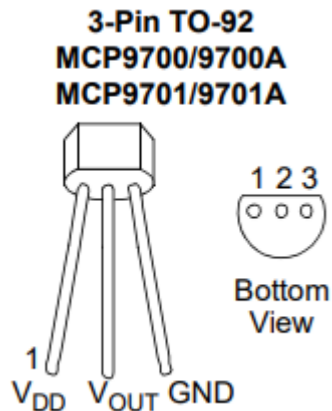


FIGURE 2-16: Output Voltage vs. Ambient Temperature.

$$T = (V[\text{mV}] - 500) / 10$$



Typical Application Circuit

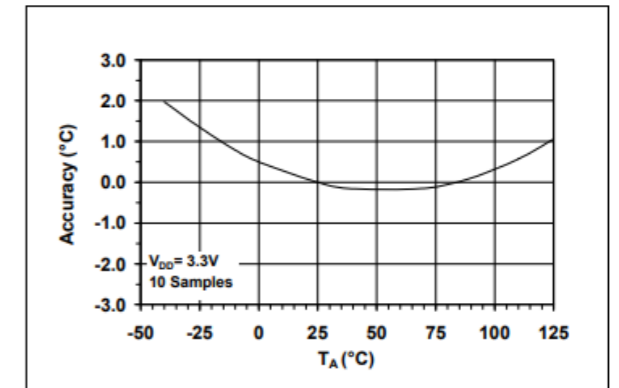
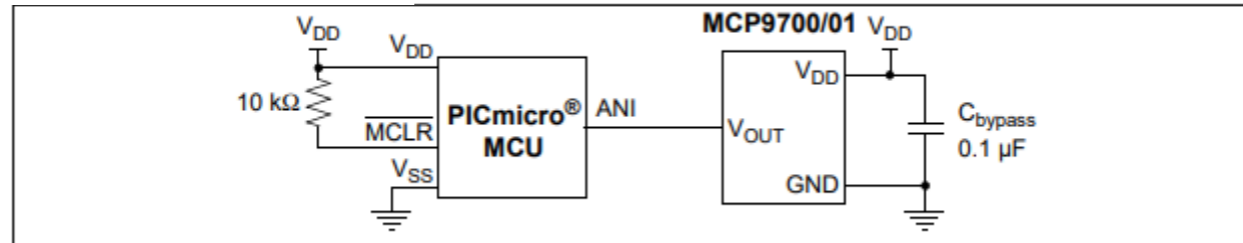


FIGURE 4-2: Relative Accuracy to +25°C vs. Temperature.

3-1/2. MCP9700/9700A プログラミング

●グローバル定義

```
10 #define ADC1_PIN 34
11 #define ADC2_PIN 15
```

ADCポート定義

●setup関数内

```
25 pinMode(ADC1_PIN, ANALOG);
26 pinMode(ADC2_PIN, ANALOG);
```

ADCポート設定

●loop関数内

```
42 // ADC1[MCP9700]
43 uint16_t analog1_adc = analogRead(ADC1_PIN);
44 uint32_t analog1_mv = analogReadMilliVolts(ADC1_PIN);
45 double temprature1 = double(analog1_mv - 500) / 10.0;
46 Serial.printf("[%ld] MCP9700 ADC=%d, mV=%d[mV], temprature=%2.2f[°]\n", loopCount, analog1_adc, analog1_mv, temprature1);
47 // ADC2[MCP9700A]
48 uint16_t analog2_adc = analogRead(ADC2_PIN);
49 uint32_t analog2_mv = analogReadMilliVolts(ADC2_PIN);
50 double temprature2 = double(analog2_mv - 500) / 10.0;
51 Serial.printf("[%ld] MCP9700A, ADC=%d, mV=%d[mV], temprature=%2.2f[°]\n", loopCount, analog2_adc, analog2_mv, temprature2);
```

ADC測定(mV)
測定電圧を温度に換算

$$T = (V[\text{mV}] - 500) / 10$$

計算結果をシリアルモニタに表示

電圧出力タイプのセンサは、同様にプログラミングが可能

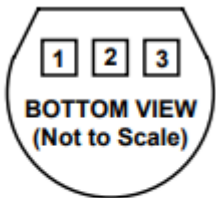
3-3. TMP36GT9Z

[参考URL]

https://akizukidenshi.com/download/ds/analog/tmp35_36_37_jp.pdf

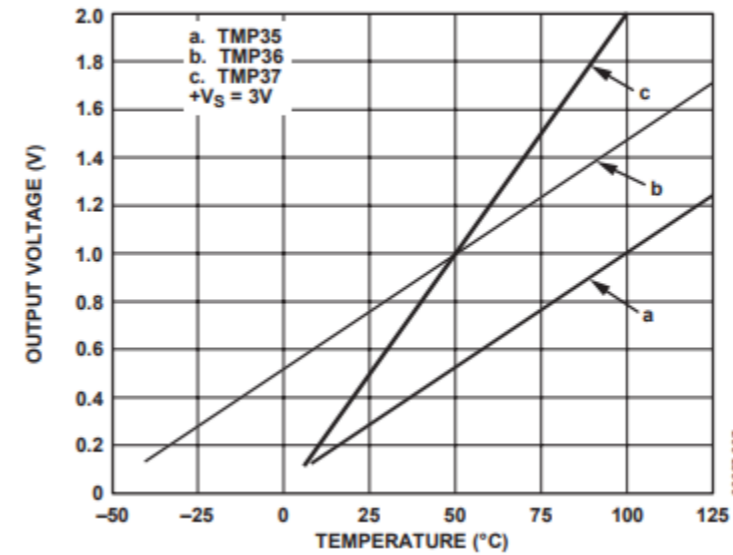
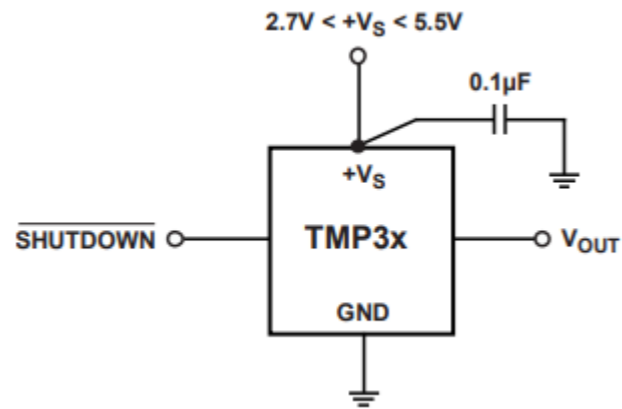


- ・電源電圧：2.7~5.5V
- ・出力タイプ：アナログ出力
- ・測定温度範囲：-40~125℃
- ・出力電圧：750mV/25℃
- ・スケールファクタ：10mV/℃
- ・精度：~±3℃/25℃
- ・直線性：±0.5℃
- ・消費電流：~50μA



PIN 1, +V_S; PIN 2, V_{OUT}; PIN 3, GND

図 4.T-3 (TO-92)



$$T = (V[\text{mV}] - 500) / 10$$

3-4. S-5851AAA-M6T1U

[参考URL]

https://www.ablic.com/jp/doc/datasheet/temperature_sensor/S5851A_J.pdf

<https://playground.arduino.cc/Main/I2cScanner/>

<https://www.denshi.club/cookbook/arduino/spresense/spresensel-18-wire-s-5851a.html>

電源電圧 2.7~5.5V

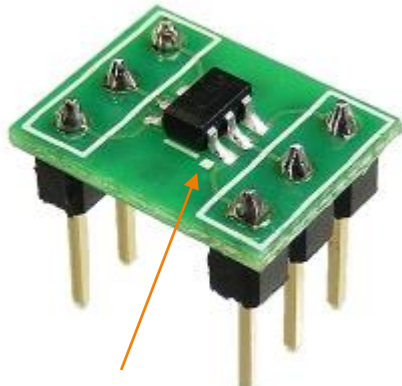
消費電流 45uA。スタンバイ時1uA

測定温度範囲 -40~125℃。0.0625℃の分解能（12ビット）で±0.5℃（-25~+85℃）の確度

インターフェース I2C（最大400kHz）

データ長 2の補数形式の12ビット

スレーブ・アドレス AD0とAD1端子で設定



点で上下を確認

表 2

端子番号	端子記号	端子説明
1	AD1	アドレス入力端子
2	VSS	GND端子
3	SCL	シリアルクロック入力端子
4	SDA	シリアルデータ入出力端子
5	AD0	アドレス入力端子
6	VDD	電源端子

備考 形状については「外形寸法図」を参照してください。

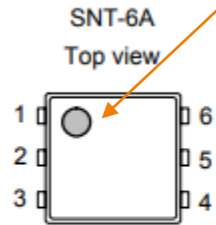


図 2

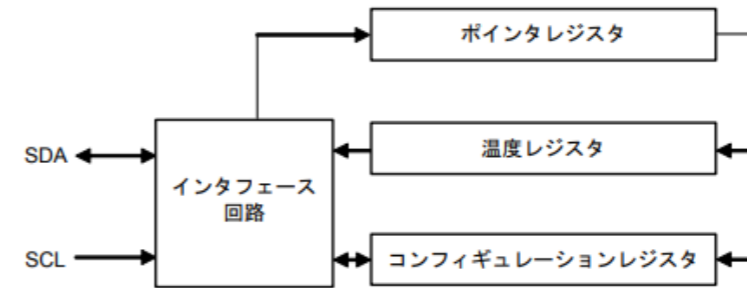


図 11 レジスタ構成

表 11 アドレス入力端子設定とスレーブアドレス

アドレス入力端子の設定		スレーブアドレス			
AD1端子	AD0端子	デバイスコード	A2	A1	A0
0	0	1001	0	0	0
0	オープン		0	0	1
0	1		0	1	0
1	0		1	0	0
1	オープン		1	0	1
1	1		1	1	0
オープン	0		0	1	1
オープン	1		1	1	1

I2C Address 0x48

Data 4bit shift

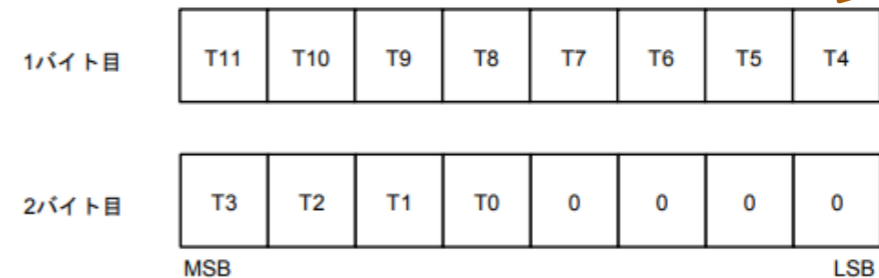


図 13 温度レジスタ構成

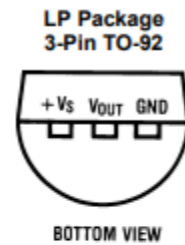
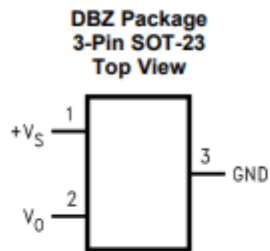
3-6. LM61CIZ

[参考URL]

<https://www.tij.co.jp/jp/lit/ds/symlink/lm61.pdf>



- ・測定範囲：-30℃~100℃
- ・温度係数：+10mV/℃
- ・動作電圧範囲：+2.7~+10V
- ・出カインピーダンス：800Ω
- ・ $V_o = (+10\text{mV}/^\circ\text{C} \times T^\circ\text{C}) + 600\text{mV}$

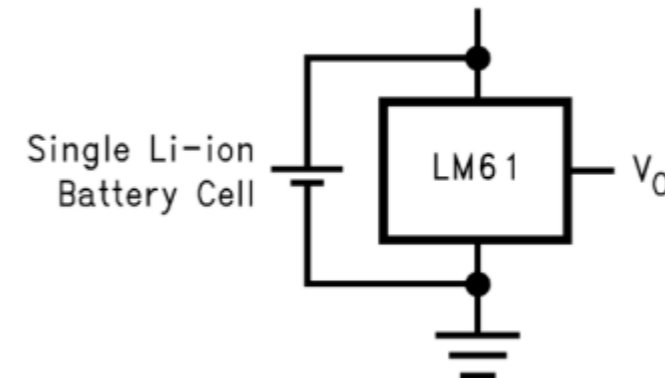


Pin Functions

PIN		TYPE	DESCRIPTION
NAME	NO.		
+VS	1	Power	Positive power supply pin.
VOUT	2	Output	Temperature sensor analog output.
GND	3	Ground	Device ground pin, connected to power supply negative terminal.

代表的なアプリケーション

+V_S (+2.7V to +10V)



Copyright © 2016, Texas Instruments Incorporated
 $V_o = (10\text{mV}/^\circ\text{C} \times T^\circ\text{C}) + 600\text{mV}$

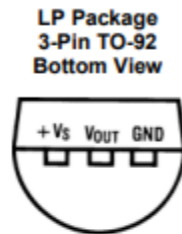
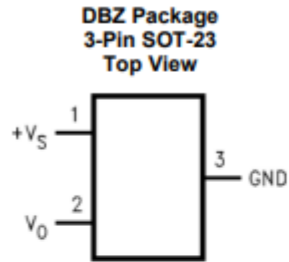
$$T = (V[\text{mV}] - 600) / 10$$

3-7. LM60BIZ

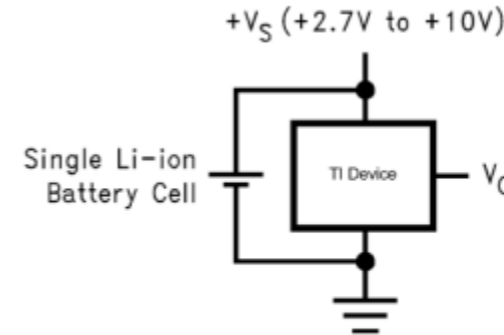
[参考URL]

<https://www.tij.co.jp/jp/lit/ds/symlink/lm60.pdf>

- 出力形式：アナログ
- 動作電圧：DC2.7V~10V
- 測定範囲：-25~+125℃ **1℃当たり6.25mV**
- 誤差：±2℃(@25℃)

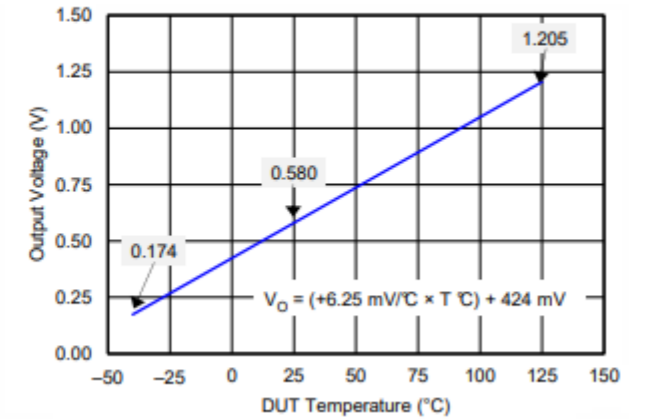


概略回路図



Copyright © 2017, Texas Instruments Incorporated

全範囲の摂氏温度センサ
(-40℃~+125℃)



Pin Functions

NAME	PIN		TYPE	DESCRIPTION
	SOT-23	TO92		
GND	3	3	GND	Device ground, connected to power supply negative terminal
V _{OUT}	2	2	O	Temperature sensor analog output
+V _S	1	1	POWER	Positive power supply pin

$$T = (V[\text{mV}] - 424) / 6.25$$

3-8. AHT25



[参考URL]

<https://akizukidenshi.com/download/ds/aosong/AHT25.pdf>
<https://qiita.com/ayakix/items/69cf14e57dec86f4415a>

- ・電源電圧：3.3V (2.2~5.5V)
- ・消費電流：980μA (測定時)、250nA (非測定時)
- ・測定間隔：2秒毎以上推奨
- ・湿度測定範囲：0~100%RH
- ・湿度分解能：0.024%
- ・湿度精度：±2%RH
- ・温度測定範囲：-40~80℃
- ・温度精度：±0.3℃
- ・出力形式：I2C (100kHz/400kHz) **0x38** (7bitアドレス)
- ・出力データ：湿度20bit、温度20bit

Pins	Name	Describe
1	VDD	Power supply(2.2v to 5.5v)
2	SDA	Serial Data Bidirectional port
3	GND	Ground
4	SCL	Serial clock Bidirectional port




Table 5. ATH21B pin distribution (top view)

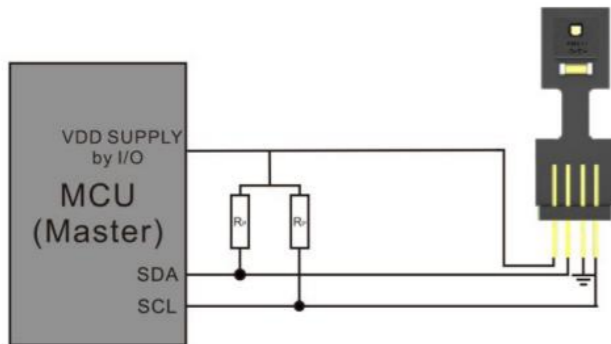
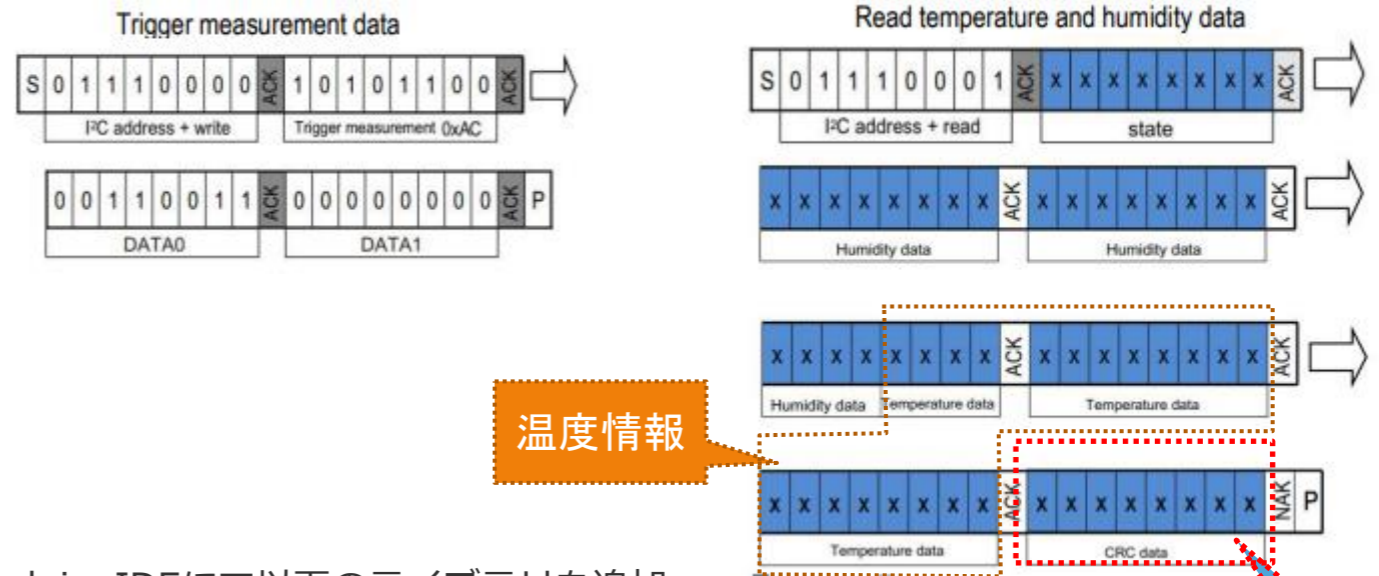
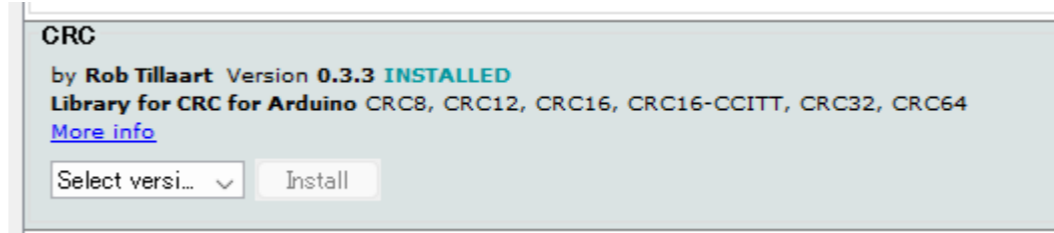


Figure 8. Typical application circuit

ArduinoIDEにて以下のライブラリを追加



CRC

3-9. AHT21B



[参考URL]

<https://akizukidenshi.com/download/ds/aosong/AHT21B.pdf>

- 電源電圧 : 3.3V(2.2~5.5V)
- 消費電流(測定時) : 980 μ A
- **インタフェース : I2C**
- 分解能(湿度) : 0.024%RH
- 精度(湿度) : $\pm 3\%$ RH
- 動作範囲(湿度) : 0~100%RH
- 分解能(温度) : 0.01 $^{\circ}$ C
- 精度(温度) : $\pm 0.5^{\circ}$ C
- 動作範囲(温度) : -40~+80 $^{\circ}$ C

5 Interface Definition

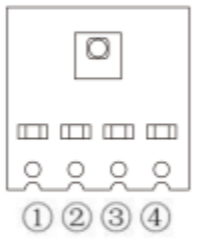
Pins	Name	Describe	
1	VDD	Power supply(2.2v to 5.5v)	
2	SDA	Serial Data Bidirectional port	
3	GND	Ground	
4	SCL	Serial clock Bidirectional port	

Table 5. AHT21B pin distribution (top view)

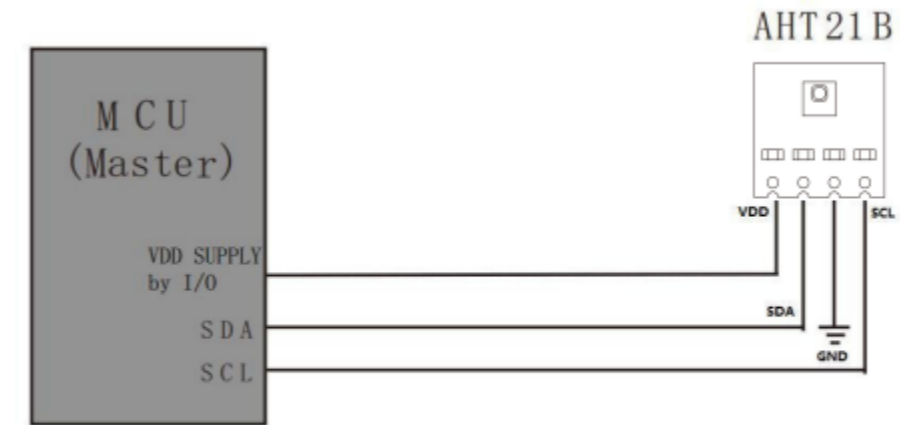


Figure 8. Typical application circuit

ArduinoIDEにて以下のライブラリを追加

Adafruit AHTX0

by **Adafruit** Version 2.0.3 **INSTALLED**

Arduino library for the AHT10 and AHT20 sensors in the Adafruit shop Arduino library for the AHT10 and AHT20 sensors in the Adafruit shop

[More info](#)

3-10. DHT20



[参考URL]

<https://akizukidenshi.com/download/ds/aosong/DHT20.pdf>
<https://hatakekara.com/dht20-arduino/>

- ・電源電圧：3.3V(2.2~5.5V)
- ・消費電流：980 μ A(待機時250nA)
- ・測定間隔：2秒毎推奨
- ・寸法：16.1mm (ピン長含まず：ピン長7.2mm) x 12.6mm x 5.8mm
- ・ピンピッチ：2.54mm
- ・湿度測定範囲：0~100%RH
- ・湿度分解能：0.024%RH
- ・湿度精度： \pm 3%RH
- ・湿度繰り返し精度：0.1%RH
- ・湿度レスポンス時間：8秒以内
- ・温度測定範囲：-40~80 $^{\circ}$ C
- ・温度分解能：0.01 $^{\circ}$ C
- ・温度精度： \pm 0.5 $^{\circ}$ C
- ・温度繰り返し精度： \pm 0.1 $^{\circ}$ C
- ・温度レスポンス時間：5~30秒
- ・**出力形式：I2C** (100kHz/400kHz)、**0x38** (7bitアドレス)
- ・**出力データ：湿度20bit、温度20bit**

5 Interface Definition

Pins	Name	Describe
1	VDD	Power supply(2.2v to 5.5v)
2	SDA	Serial Data Bidirectional port
3	GND	Ground
4	SCL	Serial clock Bidirectional port

Table 5. ATH21B pin distribution (top view)

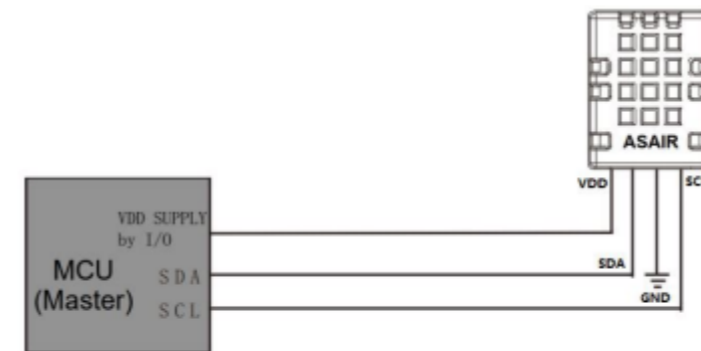


Figure 8. Typical application circuit

3-11. DHT11

[参考URL]

https://akizukidenshi.com/download/ds/aosong/DHT11_20180119.pdf

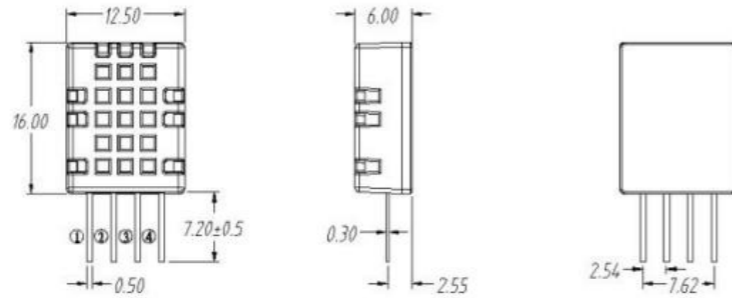
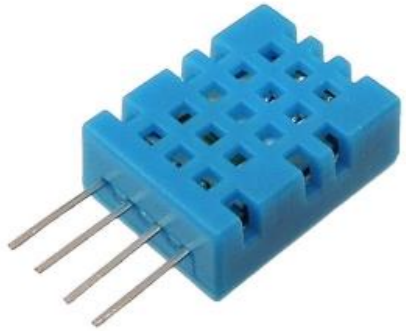


FIG. 1 product dimension diagram

Pin description

1. VDD power supply 3.3 ~ 5.5V DC
2. DATA serial DATA, single bus
3. NC empty feet
4. GND grounding, power supply negative

Typical circuits

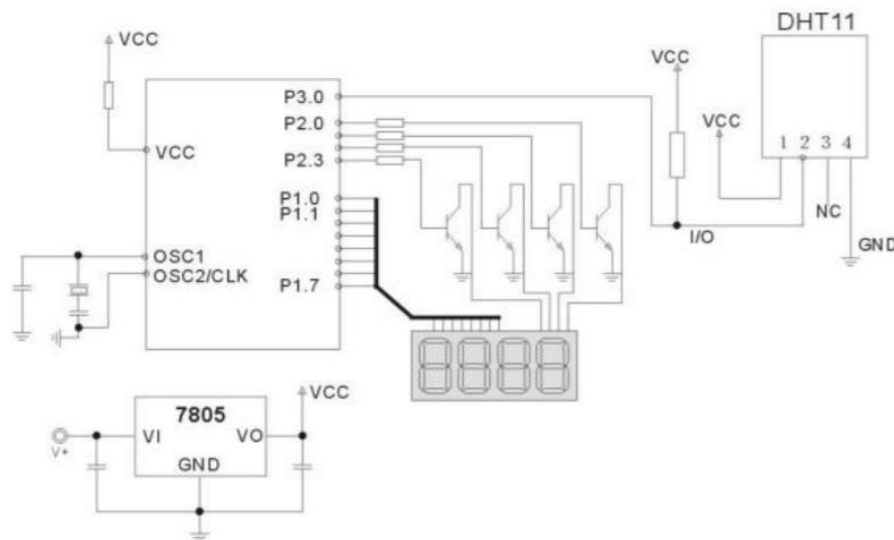


FIG. 1.2 DHT11

◆主な仕様

- ・電源電圧：DC3.3V~5.5V
- ・消費電流：0.3mA(測定時)、60μA(スタンバイ時)
- ・サンプリング間隔：2秒以上
- ・内部ADコンバータ：各16bit
- ・サイズ：12×15.5×5.5mm(ピン含まず)

◆湿度センサ部

- ・センサ：有機ポリマー
- ・精度：±5% RH(@25℃)
- ・繰り返し精度：±1% RH
- ・レスポンス：6秒以内(1/e (63%)、@25℃、風速1m/s)

◆温度センサ部

- ・センサ：NTCサーミスタ
- ・精度：±2℃(@25℃)
- ・繰り返し精度：±0.2℃
- ・レスポンス：10秒以内(1/e (63%))

◆シリアル通信部

- ・形式：単線バス(双方向)、シリアル40bit構成
- ・出力データ：湿度8bit(分解能：1%RH)、温度8bit(分解能：1℃)
- ・出力：オープンドレイン
- ・通信距離：20m max(@5.1kΩプルアップ)

ArduinoIDEにて以下のライブラリを追加

DHT sensor library

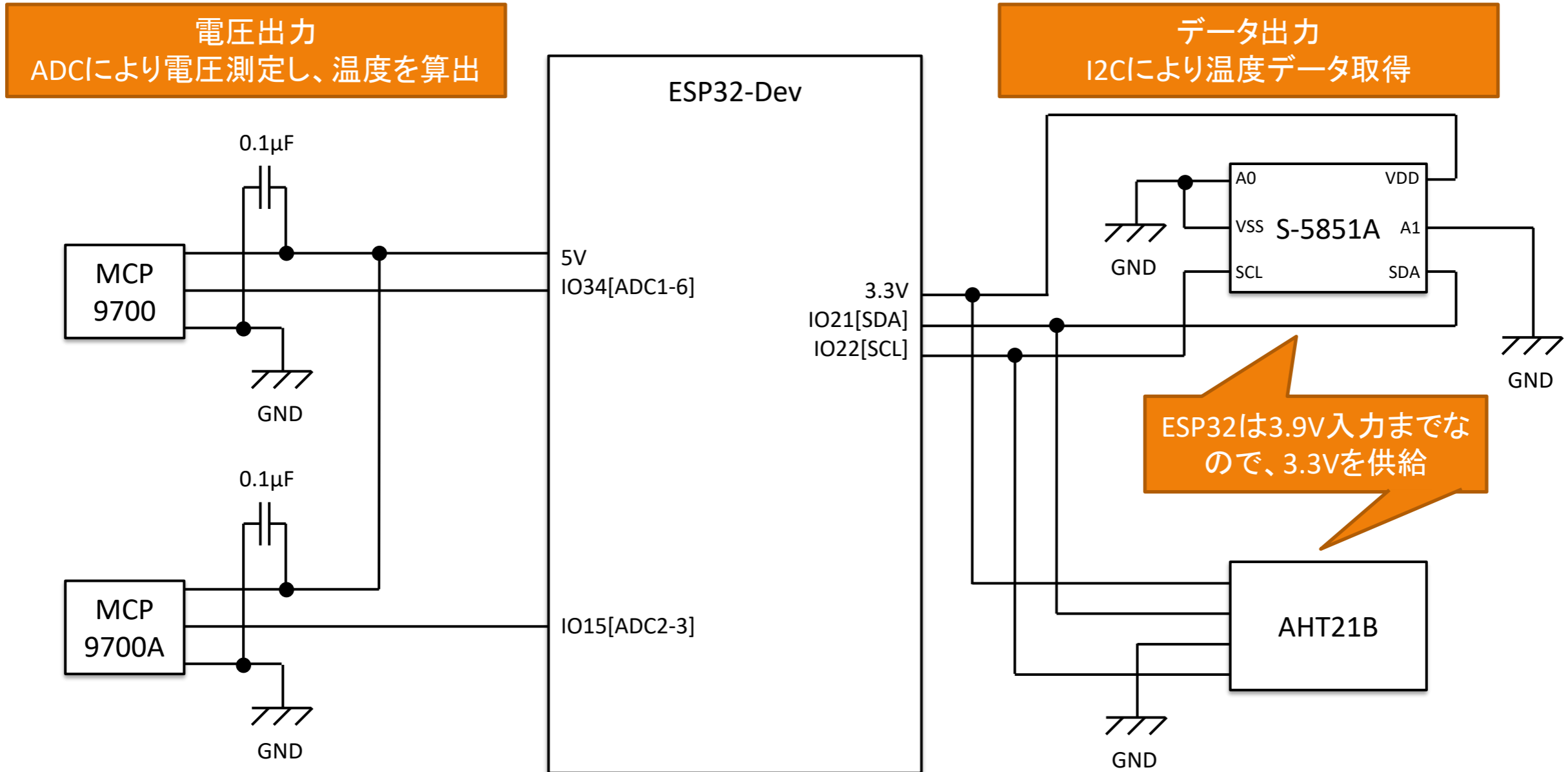
by Adafruit Version 1.4.4 **INSTALLED**

Arduino library for DHT11, DHT22, etc Temp & Humidity Sensors Arduino library for DHT11, DHT22, etc Temp & Humidity Sensors

[More info](#)

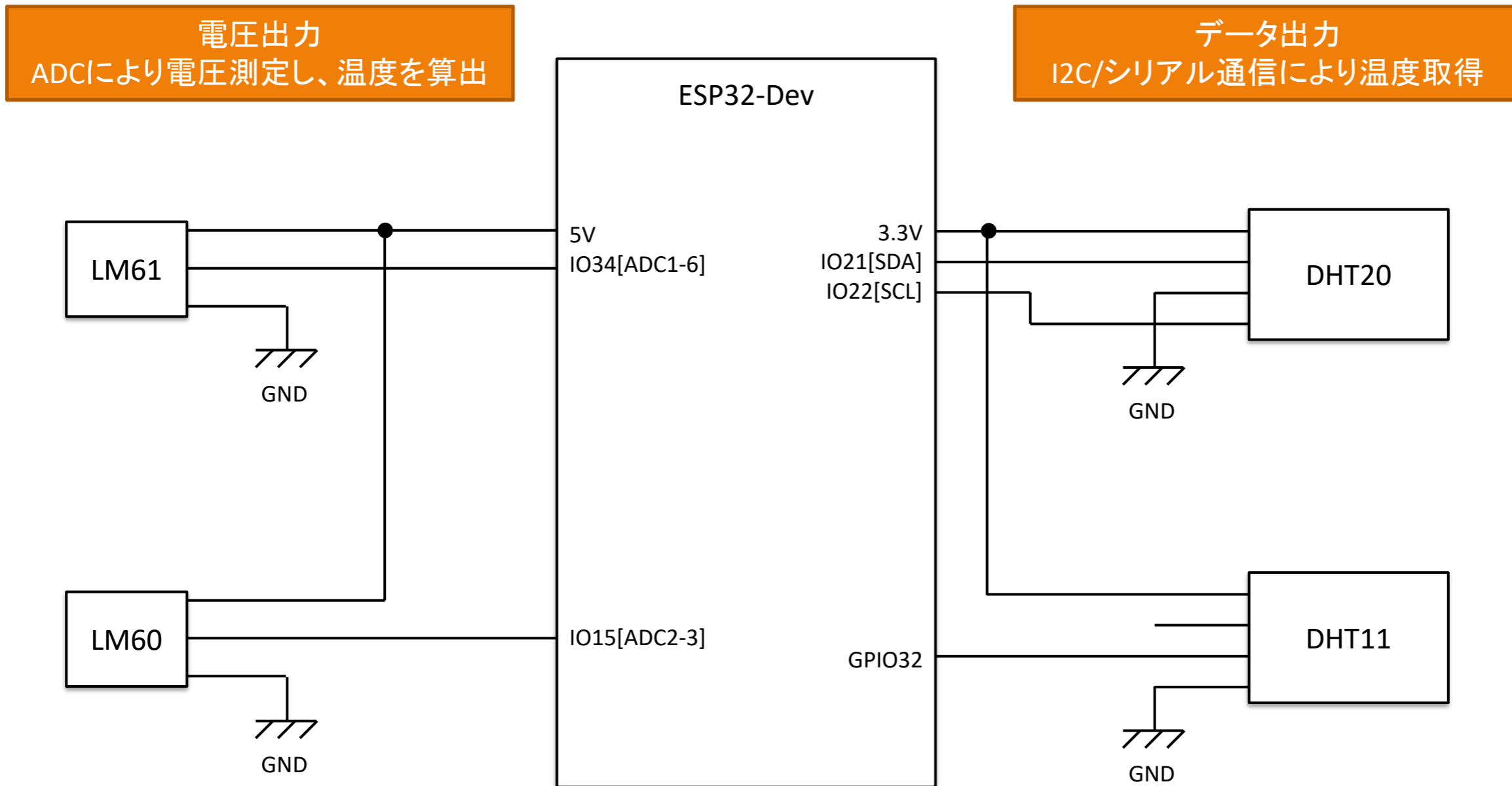
4-1. 回路1

MCP9700/9700AをADC1,2で電圧測定し温度を計算。S-5851A,AHT21BはI2Cバス配線し温度データ取得。



4-3. 回路3

LM60/LM61をADC1,2で電圧測定し温度を計算。DHT20はI2Cで、DHT11はGPIO32を用いて、温度データ取得。



5. 測定器(温度計)

出来るだけ正確な温度を測るため、4つの温度計を用意し、大きくズレた特定値は除外し平均値を利用。

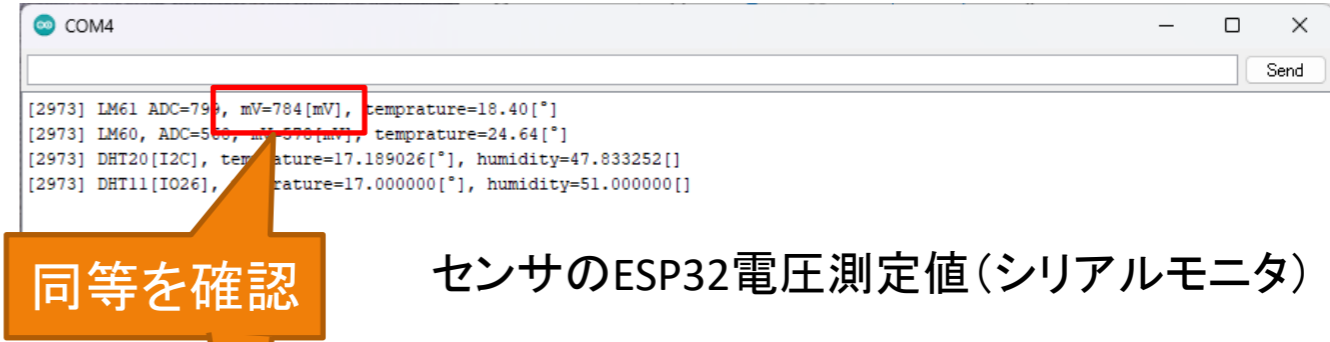
	メーカー	型番		測定範囲 (温度/湿度)	精度 (温度/湿度)
1	TANITA	デジタル温湿度計 TT-558		-5~50°C 20~95%	0~40°C ±1°C (Other ±2°C) 35~75% ±5% (Other ±10%)
2					
3		デジタル温湿度計 TT-585		-5~50°C 20~95%	0~40°C ±2°C (Other ±3°C) 35~75% ±5% (Other ±10%)
4	シンワ測定	72669 温湿度計 U-3 (丸形6.5cm)		-24~50°C 10~90%	-20~40°C ±2°C (Other ±4°C) 35~75% ±5% (Other ±10%)

6. 測定結果

センサの電圧出力がESP32のADC測定結果と、テスター測定が同等であることを確認。



電圧測定



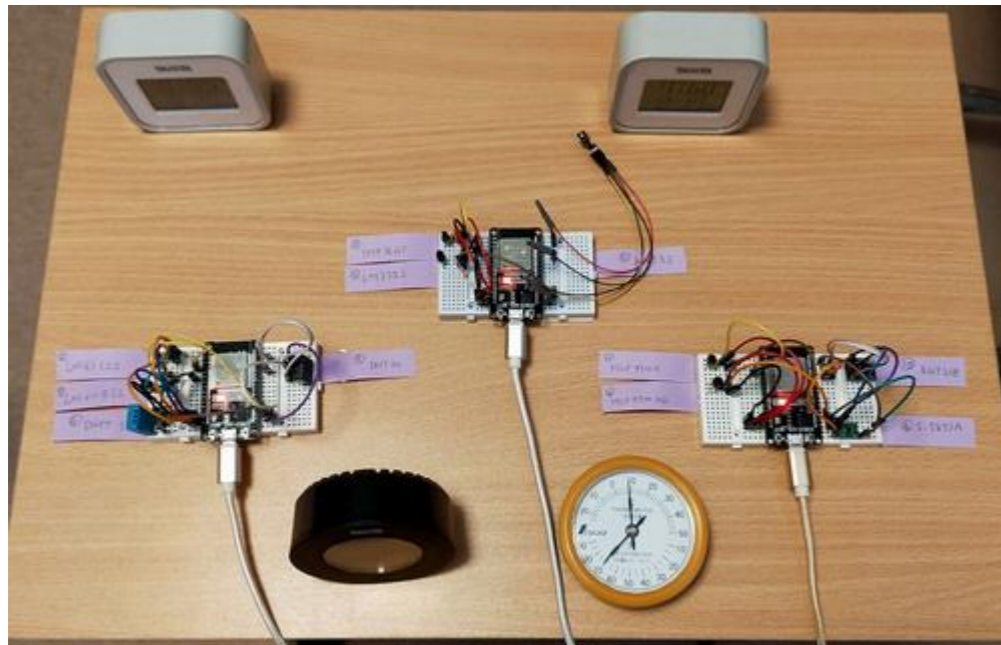
同等を確認

センサのESP32電圧測定値(シリアルモニタ)

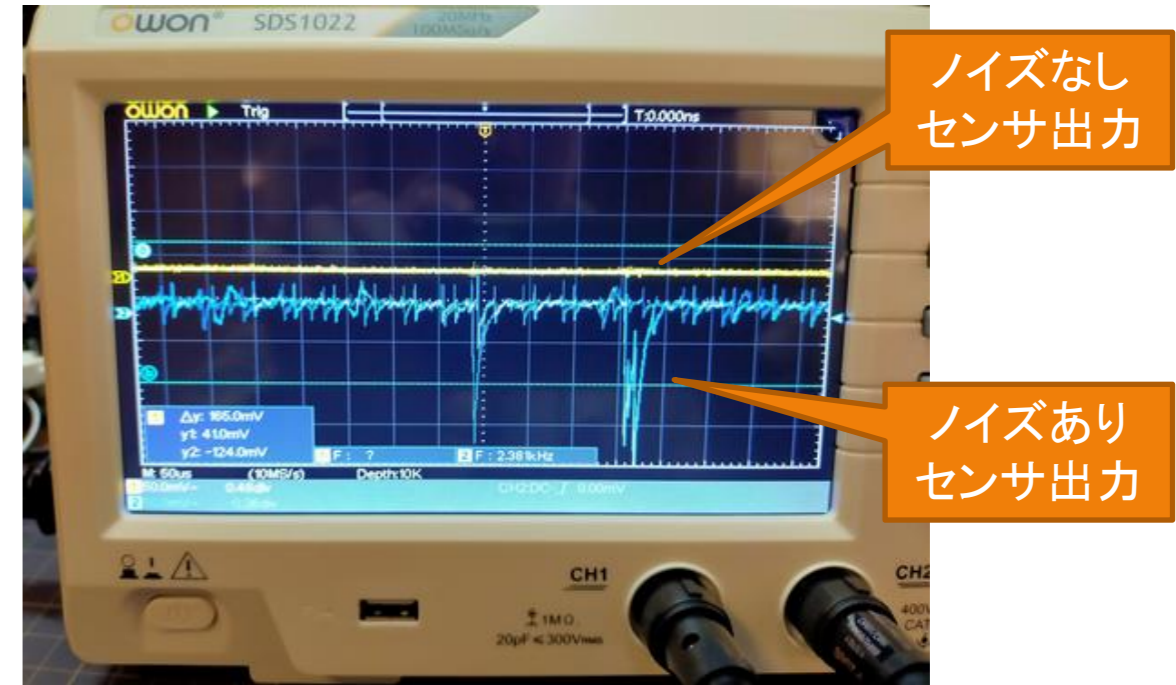


6. 測定結果

ADCの測定結果には多少のばらつきがあるため、大きくずれた特定値は除外し2回の平均で測定



温度計を4つで囲む形で設置し温度を測定



温度センサICの電圧出力は多少のノイズがみられる
(ノイズがほぼないセンサもある)

6. 測定結果

- 温度測定は仕様通りの許容誤差内になった。(LM335Z/LM60は除外)
- 電圧出力センサよりデータ出力センサ(I2C/シリアル)の方が誤差が小さくなる傾向
- 誤差が最も少ない 第1位:AHT21B 第2位:AHT25 第3位:DHT11

