

第3学年 電気電子工学実験実習報告書

1 電気電子計測

実験日 令和 4年 6月 2日(木)
令和 4年 6月 9日(木)

班	学生番号	氏名
4	3308	大竹一輝

共同実験者名

提出日			備考	評価
予定日 6/16				
提出日				

1 目的

本実験では

- LabVIEW と MyRIO を使用して、素子の電圧電流特性について自動計測の方法を習得する。
- 測定データから近似直線式の傾き、切片を求める計算方法を習得する。
- 電圧電流特性から抵抗値を求める方法について習得する。

ことを目的とする。

2 原理

2.1 LabVIEW

LabVIEW は、各種計測器や myRIO などを用いて自動計測や制御を実装するためのグラフィカルユーザーインターフェイスのプログラミング言語である。主な特徴は、ビルトインされた仮想計測器（以下 VI）で、オシロスコープやマルチメーターなどの計測器と似た外観や機能をコンピューター上へ作成するというものである。VI は、フロントパネル、ブロックダイアグラム、アイコン-コネクタという 3 つ主要素から構成される。プログラミングは、ブロックダイアグラム上にアイコンを配置し、各アイコン間のコネクタをつなぐ形で行う。

2.2 myRIO

myRIO は、デュアルコアの ARM Cortex-A9 リアルプロセッサとカスタマイズ可能な Xilinx FPGA・アナログプロセッサの駆動するプログラミング言語には、LabVIEW を用いる。LabVIEW と myRIO を用いることにより、制御、ロボット、メカトロニクス、組込などを容易に実現することができる。

2.3 myRIO ブレッドボードアクセサリ

myRIO の拡張ポートに接続可能なブレッドボードアクセサリである。myRIO の 5V、3.3V、GND 端子及び Analog I/O、Digital I/O の端子が、ブレッドボード上に結線した回路とヘッダにマッピングされている。そのため、ブレッドボード上に結線した回路とヘッダとをジャンパ戦で結線することにより、回路への入出力制御および計測が myRIO を用いて容易に実行することができる。

2.4 真値と誤差及び相対誤差（誤差率） [1]

2.4.1 真値

真値とは、測定量（測定値ではない）が単位の何倍であるのかを示している値である。真値は必ず存在すると仮定しても我々は真値そのものは知ることができず、ただその存在する範囲を推定することが出来るだけである。

2.4.2 誤差及び相対誤差

測定値とは、ある量の大きさを知るために計器で測定することで、得られる値である [2]。測定値と真値は必ずしも一致しない。その値のずれを誤差という。誤差は式 (1) で定義される。

$$\text{誤差} = \text{測定値} - \text{真値} \quad (1)$$

また、相対誤差とは真値に対する誤差の比である。[3] 但し真値は分からないので、通常は式 (2) のように誤差が小さいとして真値の代わりに測定値で割る。

$$\text{相対誤差} = \frac{\text{誤差}}{\text{真値}} \simeq \frac{\text{誤差}}{\text{測定値}} \quad (2)$$

2.5 誤差率 (百分率誤差)

相対誤差は百分率で表されることが多い。そのため、誤差率 (百分率誤差) と呼ばれることがある。

$$p = \frac{\varepsilon}{T} \times 100 \% \quad (3)$$

- p : 誤差率 (百分率誤差)
- ε : 誤差 (絶対誤差)
- T : 真値

2.6 統計処理 (正規分布・平均値・標準偏差)

2.6.1 正規分布 [4]

正規分布とは、左右対称の山が一つの単純な形をした曲線で表される値の分布のことをいう。また、ガウス分布と呼ばれることもある。正規分布の基本的な特徴を以下にまとめる。

- 平均値、最頻値、中央値が一致する。
- x 軸が漸近線である。
- 標準偏差が大きくなると、曲線の山が平らになり、小さくなると山が高くなる。
- 平均値と標準偏差により正規分布の形が決まる。
- 山の頂点に平均値がくる。
- 概形を図 1 に示す。

正規分布の曲線は式 (4) で表すことができる。

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right) \quad (4)$$

- μ : 平均値
- σ : 標準偏差
- $\exp(x) = e^x$
- e : ネイピア数

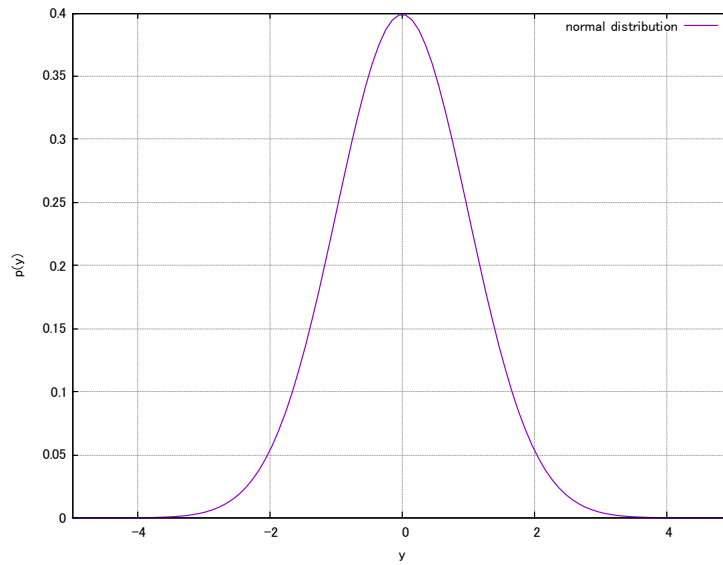


図 1: 正規分布の概形

2.6.2 平均値

平均値とは N 個全てのデータの総和を N 個で割って得られる値で、式 (5) で表すことができる。

$$\bar{y} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i \quad (5)$$

2.6.3 標準偏差

標準偏差とは平均値を基準に各測定量がどれほどのばらついているかを定量的に表す値で、式 (6) で表すことができる。

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2} \quad (6)$$

- σ : 標準偏差
- y_1, y_2, \dots, y_n : n 個の観測データ
- \bar{y} : 標本平均

標本平均とは、サンプルの平均のことである。ある値の全てを計測することが困難な時、ある数だけサンプルを取ったとする。この時、標本平均は式 (7) で表される [3]。

$$\bar{x} = \frac{X_1, \dots, X_n}{n} \quad (7)$$

- n : サンプルの個数
- X_n : サンプル

2.7 近似直線（最小二乗法）

2つの測定データ y, x 間に一次方程式の関係があるとし、

$$y = ax + b \quad (8)$$

の傾き a 、切片 b を測定データから尤もらしい値にすることを考える。その際に、

$$\begin{aligned} E &= \sum_{i=1}^N \varepsilon_i^2 \\ &= \sum_{i=1}^N (y_i - f(x_i))^2 \\ &= \sum_{i=1}^N (y_i - (ax_i + b))^2 \end{aligned} \quad (9)$$

を最小にする a, b を求める。これを最小二乗法といい、誤差を伴う測定値の処理においてその誤差の二乗の和を最小にすることで、最も確からしい関係式を求める方法である [5]。

$$\frac{\partial}{\partial a} E(a, b) = 0 \quad (10)$$

$$\frac{\partial}{\partial b} E(a, b) = 0 \quad (11)$$

から得られる方程式を、それぞれ a, b について解けば良く、それぞれの解を得るための方程式は次の2つを用いることになる。

$$a = \frac{\sum_{n=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum_{n=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (12)$$

$$b = \bar{y} - \frac{\sum_{n=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum_{n=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \bar{x} \quad (13)$$

3 方法

3.1 使用器具

今回の実験で使用した器具を表1に示す。

表 1: 使用器具

使用器具名	製造元	型番	シリアルナンバー
PC	iiyama	NK50SZ	NKNK50SZ0000K00099
組み込みデバイス	NATIONAL INSTRUMENTS	MYRIO-1900	30877F9
ブレッドボードアクセサリ	DEGILENT	MXP Breadboard for NI myRIO	D537697
ソフトウェア	NATIONAL INSTRUMENTS	LabVIEW	LabVIEW2019 19.0.1f3(32-bit)

3.2 実験手順

3.2.1 実習 1-1: 文字列及び数値の入力・表示

LabVIEW 上で数値制御器に与えた数値が数値表示器に渡され、同じ数値が表示されることを確認した。

3.2.2 実習 1-2: 数値演算

- 2つの数値制御器を演算子 (+) に接続し、演算子 (+) を表示器に接続した。
- 2つの数値制御器の値を変え、正しく値が表示されていることを確認した。
- 制御器と演算子 (+) をつなぐワイヤを分岐させ、演算子 (-) を追加し表示器に接続した。
- 2つの表示器にそれぞれの演算子の計算結果が正しく表示されていることを確認した。
- この和と差を計算するプログラムを積と商を計算するよう演算子を置換し、結果が正しく表示されていることを確認した。

3.2.3 実習 1-3: for ループの作成

- カウンタ変数 “i” と数値をつかい for ループが正しく機能することを確認した。
- 0~1 まで 0.1 刻みで計算し、順次表示するプログラムを作成し動作を確認した。

3.2.4 実習 2-1: 電圧値の計測

- for ループを使い、100 回のデータを計測するプログラムを作成した。
- 図 2 の回路をブレッドボード上に作成した。
- AI0 端子の接続する先を、GND, + 3.3 V, + 5 V に変更し、それぞれにおいて出力電圧 100 回のデータを計測し、平均値と標準偏差を求めた。

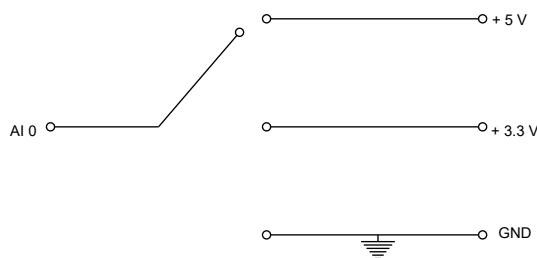


図 2: アナログ電圧計測回路

3.2.5 実験 2-2: 電圧出力

- 図 3 の回路を作成し、AO0 端子と AI0 端子を接続した。
- 0 V から 5 V まで 0.5 V 刻みで出力電圧を変え、出力電圧値を計測するプログラムを作成し、それを用いて計測した。
- 出力電圧表示値と計測電圧値の差から二乗平均平方誤差を求めた。

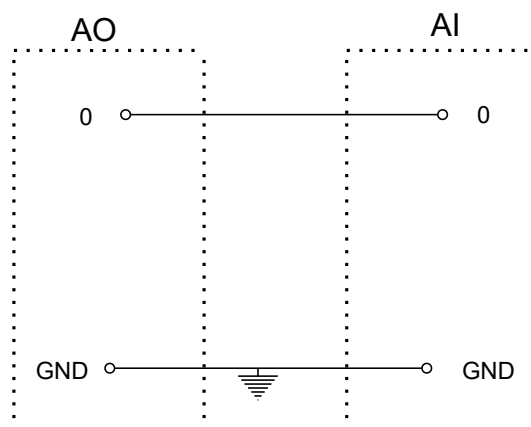


図 3: 出力電圧計測回路

3.2.6 実習 3-1: 固定抵抗の電圧電流特性

- 図 4 の回路を作成した。
- V_{R_0} と V_u を計測し、 $I_u = \frac{V_{R_0}}{R_0}$ として電流を計算値で求めるプログラムを作成した。
- 測定対象素子を $1\text{ k}\Omega$, R_0 の抵抗値を $100\ \Omega$ のものに設定した。
- 出力電圧を 0 V から 10 V まで 0.25 V 刻みで 40 回計測した。
- V_u と I_u の関係を測定対象素子の電圧電流特性としてグラフにまとめた。
- R_0 の抵抗値を $1\text{ k}\Omega$ に変更し同様に計測した。
- R_0 の抵抗値を $10\text{ k}\Omega$ に変更し同様に計測した。
- R_0 の抵抗値を $100\text{ k}\Omega$ に変更し同様に計測した。

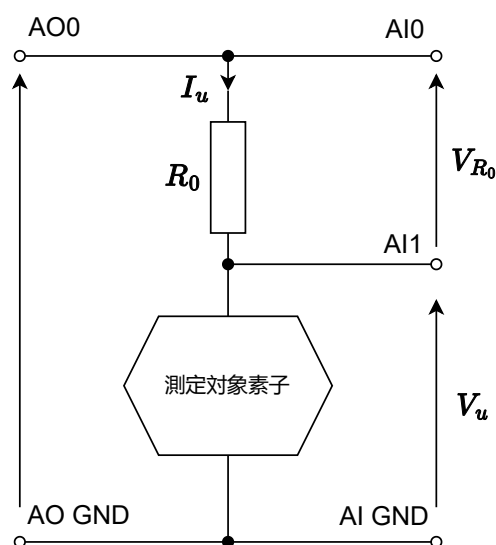


図 4: 測定対象素子の電圧電流特性測定回路

3.2.7 実習 3-2: 可変抵抗 (ポテンションメーター) の電圧電流特性

- 図 4 の R_0 を $1\text{ k}\Omega$ に固定し、測定対象素子を可変抵抗に変更し、測定した。
- 図 5 が可変抵抗の概形である。1-2 端子間で、つまみの平らな部分を A, B, C と順に回転させ、それぞれ測定した。
- 1-3、2-3 のそれぞれの端子間でも同様に測定した。

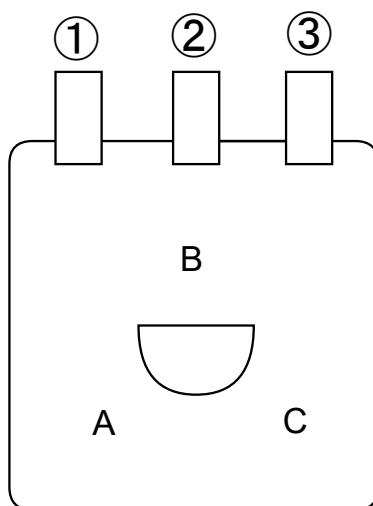


図 5: 可変抵抗

3.2.8 実習 3-3: CdS センサーの電圧電流特性

- 図 4 の測定対象素子を CdS センサーに変更した。
- CdS センサーは光強度に依存して抵抗値が変化する素子である。このセンサを指で覆い暗くした状態で抵抗値を測定した。
- センサーにライトをあて、明るくした状態で抵抗値を測定した。

3.2.9 実習 3-4: 力センサーの電圧電流特性

- 図 4 の測定対象素子を力センサーに変更した。
- 力センサーは加えた力に依存して抵抗値が変化する素子である。通常の状態と指で圧力をかけた状態で、それぞれの抵抗値を測定した。

3.2.10 実習 3-5: 発光ダイオードの電圧電流特性

- 図 4 の測定対象素子を発光ダイオードに変更した。
- 発光ダイオードの色を緑、白、橙、紫に変更し、それぞれの色で測定した。

4 結果

4.1 実習 2-1: 電圧値の計測結果

- 100 回のデータを計測するように、プログラム 1 を作成した。
- 図 6 に結果を表示した。
- AI0 端子を 5 V, 3 V, GND と接続する端子を変更し、電圧値をそれぞれ 100 回計測した。
- GND, 3.3 V, 5 V の出力電圧 100 回のデータの平均値と標準偏差を求めた。
- 測定した GND 電圧を表 2 に示した。
- 測定した 3.3 V 電圧を表 3 に示した。
- 測定した 5 V 電圧を表 4 に示した。

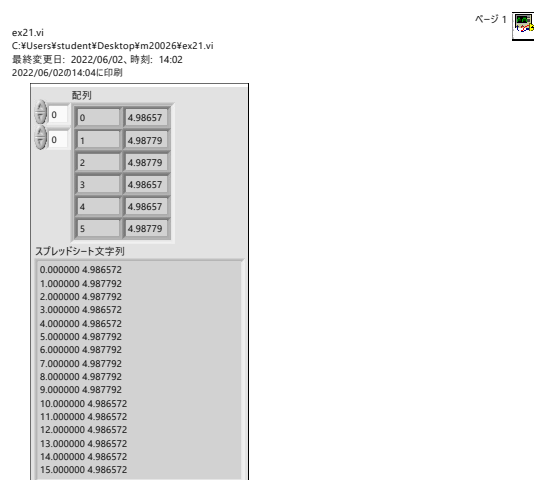
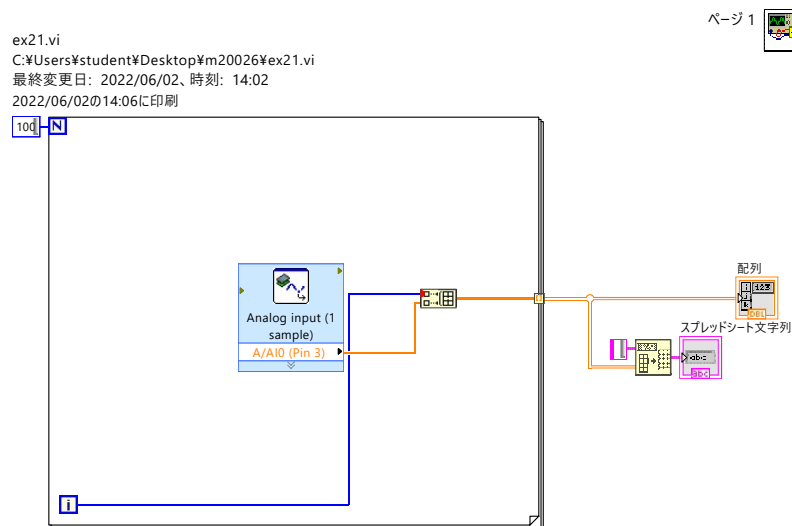


図 6: 計測した数値の表示

表 2: 実習 2-1 の GND 電圧値計測結果

測定回目 [回]	出力電圧 [V]	測定回目 [回]	出力電圧 [V]	測定回目 [回]	出力電圧 [V]	測定回目 [回]	出力電圧 [V]
0	0.007324	25	0.007324	50	0.007324	75	0.006104
1	0.007324	26	0.007324	51	0.007324	76	0.006104
2	0.007324	27	0.007324	52	0.007324	77	0.007324
3	0.007324	28	0.007324	53	0.007324	78	0.007324
4	0.007324	29	0.007324	54	0.007324	79	0.007324
5	0.007324	30	0.007324	55	0.006104	80	0.007324
6	0.007324	31	0.007324	56	0.006104	81	0.007324
7	0.007324	32	0.007324	57	0.007324	82	0.007324
8	0.007324	33	0.007324	58	0.007324	83	0.007324
9	0.007324	34	0.007324	59	0.007324	84	0.007324
10	0.007324	35	0.007324	60	0.007324	85	0.007324
11	0.007324	36	0.007324	61	0.007324	86	0.007324
12	0.007324	37	0.007324	62	0.007324	87	0.007324
13	0.007324	38	0.007324	63	0.007324	88	0.007324
14	0.007324	39	0.007324	64	0.007324	89	0.007324
15	0.006104	40	0.007324	65	0.007324	90	0.007324
16	0.006104	41	0.007324	66	0.007324	91	0.007324
17	0.006104	42	0.007324	67	0.007324	92	0.007324
18	0.007324	43	0.007324	68	0.007324	93	0.007324
19	0.007324	44	0.007324	69	0.007324	94	0.007324
20	0.007324	45	0.007324	70	0.007324	95	0.007324
21	0.007324	46	0.007324	71	0.007324	96	0.007324
22	0.007324	47	0.007324	72	0.007324	97	0.007324
23	0.007324	48	0.007324	73	0.007324	98	0.007324
24	0.007324	49	0.007324	74	0.007324	99	0.007324

表 3: 実習 2-1 の 3.3 V 電圧値計測結果

測定回目 [回]	出力電圧 [V]	測定回目 [回]	出力電圧 [V]	測定回目 [回]	出力電圧 [V]	測定回目 [回]	出力電圧 [V]
0	3.267822	25	3.267822	50	3.267822	75	3.267822
1	3.267822	26	3.267822	51	3.267822	76	3.267822
2	3.267822	27	3.267822	52	3.267822	77	3.267822
3	3.266601	28	3.267822	53	3.267822	78	3.267822
4	3.266601	29	3.267822	54	3.267822	79	3.267822
5	3.267822	30	3.267822	55	3.267822	80	3.267822
6	3.267822	31	3.267822	56	3.267822	81	3.267822
7	3.267822	32	3.267822	57	3.267822	82	3.267822
8	3.267822	33	3.267822	58	3.267822	83	3.267822
9	3.267822	34	3.267822	59	3.267822	84	3.269043
10	3.267822	35	3.267822	60	3.267822	85	3.269043
11	3.267822	36	3.267822	61	3.267822	86	3.269043
12	3.267822	37	3.267822	62	3.267822	87	3.267822
13	3.267822	38	3.267822	63	3.267822	88	3.267822
14	3.267822	39	3.267822	64	3.267822	89	3.267822
15	3.267822	40	3.267822	65	3.267822	90	3.267822
16	3.267822	41	3.267822	66	3.267822	91	3.267822
17	3.267822	42	3.267822	67	3.267822	92	3.267822
18	3.267822	43	3.267822	68	3.267822	93	3.267822
19	3.267822	44	3.267822	69	3.267822	94	3.267822
20	3.267822	45	3.267822	70	3.267822	95	3.267822
21	3.267822	46	3.267822	71	3.267822	96	3.267822
22	3.267822	47	3.267822	72	3.267822	97	3.267822
23	3.267822	48	3.267822	73	3.267822	98	3.267822
24	3.267822	49	3.267822	74	3.267822	99	3.267822

表 4: 実習 2-1 の 5 V 電圧値計測結果

測定回目 [回]	出力電圧 [V]	測定回目 [回]	出力電圧 [V]	測定回目 [回]	出力電圧 [V]	測定回目 [回]	出力電圧 [V]
0	4.986572	25	4.986572	50	4.987792	75	4.986572
1	4.987792	26	4.986572	51	4.987792	76	4.986572
2	4.987792	27	4.986572	52	4.987792	77	4.987792
3	4.986572	28	4.986572	53	4.987792	78	4.987792
4	4.986572	29	4.986572	54	4.987792	79	4.986572
5	4.987792	30	4.986572	55	4.986572	80	4.986572
6	4.987792	31	4.986572	56	4.986572	81	4.986572
7	4.987792	32	4.986572	57	4.986572	82	4.986572
8	4.987792	33	4.987792	58	4.986572	83	4.986572
9	4.987792	34	4.987792	59	4.986572	84	4.986572
10	4.986572	35	4.987792	60	4.987792	85	4.986572
11	4.986572	36	4.987792	61	4.987792	86	4.986572
12	4.986572	37	4.987792	62	4.986572	87	4.986572
13	4.986572	38	4.986572	63	4.986572	88	4.986572
14	4.986572	39	4.986572	64	4.986572	89	4.986572
15	4.986572	40	4.986572	65	4.986572	90	4.986572
16	4.986572	41	4.986572	66	4.986572	91	4.986572
17	4.986572	42	4.986572	67	4.987792	92	4.986572
18	4.986572	43	4.986572	68	4.987792	93	4.986572
19	4.987792	44	4.986572	69	4.986572	94	4.986572
20	4.987792	45	4.986572	70	4.986572	95	4.986572
21	4.986572	46	4.986572	71	4.986572	96	4.986572
22	4.986572	47	4.986572	72	4.986572	97	4.986572
23	4.986572	48	4.986572	73	4.986572	98	4.986572
24	4.986572	49	4.986572	74	4.986572	99	4.986572

表 3,4 より、有効数字を 3 桁とすれば全て指定通りの電圧を出力していることが読み取れる。しかし、表 2 のみ、3 桁目以降を切り捨てなければ 0 V にならない結果となった。

4.2 実験 2-2: 電圧出力測定結果

- プログラム 2 を作成し、それを用いて測定した。
- プログラム 2 は、0 V から 5 V まで 0.5 V 刻みで出力電圧を変え、出力電圧値を計測するプログラムである。
- プログラムによる結果を図 7 に表示した。
- プログラムによって表示した図 7 のデータをまとめた結果を、表 5 に示した。

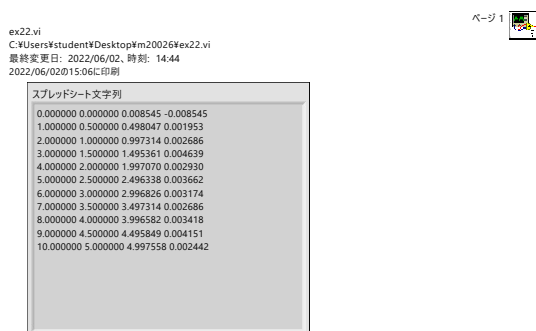
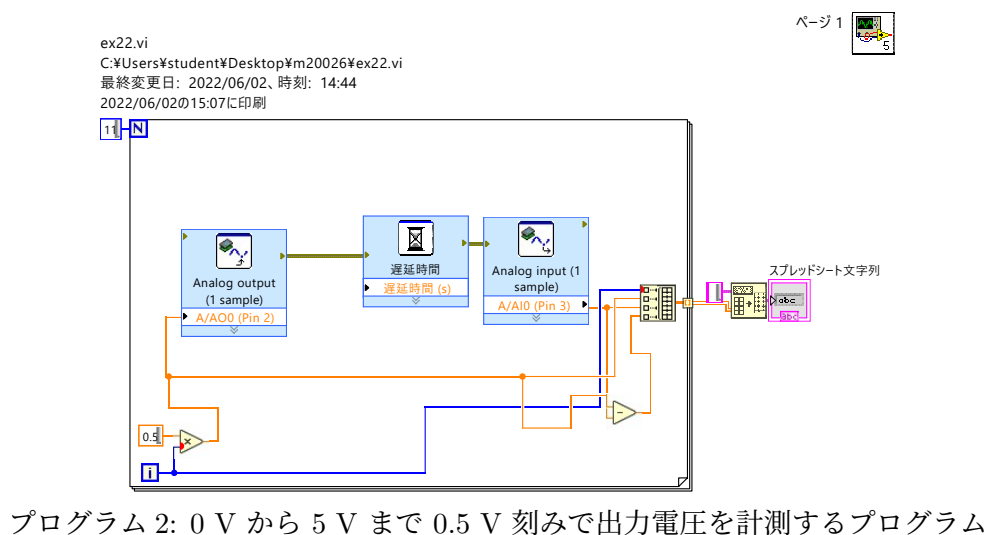


図 7: 計測した数値の表示

表 5: 実習 2-1 の 5 V 電圧値計測結果

計測回数 目 [回]	出力電圧 [V]	計測電圧 [V]	電圧の差 [V]
0	0	0.008545	-0.008545
1	0.5	0.498047	0.001953
2	1	0.997314	0.002686
3	1.5	1.495361	0.004639
4	2	1.99707	0.00293
5	2.5	2.496338	0.003662
6	3	2.996826	0.003174
7	3.5	3.497314	0.002686
8	4	3.996582	0.003418
9	4.5	4.495849	0.004151
10	5	4.997558	0.002442

二乗平均平方誤差は式 (14) で求まる。

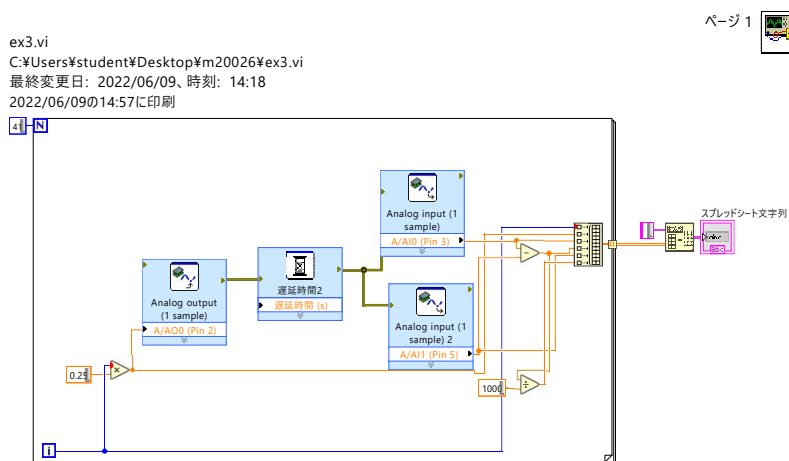
$$RMSE = \sqrt{\frac{x_0^2 + \cdots + x_n^2}{n}} \quad (14)$$

- $RMSE$: 二乗平均平方誤差
- x_0 : 0 個目のデータ
- n : データの個数

表 5 で求めた結果、値は 0.004042131 V となった。

4.3 実習 3-1: 固定抵抗の電圧電流特性測定結果

- 図 4 の回路の測定対象素子の電圧電流特性を計測するプログラム 3 を作成した。
- 測定した結果を図 8 に示した。
- 図 8 を、元に電圧電流特性を図 9 にグラフとしてまとめた。



プログラム 3: 固定抵抗の電圧電流特性を測定するプログラム

ex3.vi
 C:\Users\student\Desktop\m20026\ex3.vi
 最終変更日: 2022/06/09, 時刻: 14:18
 2022/06/09 14:56に印刷

ページ 1

スプレッドシート文字列			
0.000000	0.000000	0.007324	0.000000
1.000000	0.250000	0.249023	0.002441
2.000000	0.500000	0.498047	0.002441
3.000000	0.750000	0.747070	0.002441
4.000000	1.000000	0.996094	0.001221
5.000000	1.250000	1.245117	-0.001221
6.000000	1.500000	1.497803	0.004883
7.000000	1.750000	1.746826	0.000000
8.000000	2.000000	1.997070	0.003662
9.000000	2.250000	2.244873	0.000000
10.000000	2.500000	2.497558	0.007324
11.000000	2.750000	2.747802	0.037842
12.000000	3.000000	2.996826	0.153809
13.000000	3.250000	3.243408	0.349121
14.000000	3.500000	3.492431	0.566406
15.000000	3.750000	3.739013	0.789795
16.000000	4.000000	3.986816	1.016846
17.000000	4.250000	4.237060	1.251221
18.000000	4.500000	4.482421	1.481933
19.000000	4.750000	4.731445	1.717529
20.000000	5.000000	4.979248	1.953125
21.000000	5.250000	5.225000	2.188721
22.000000	5.500000	5.470753	2.424317
23.000000	5.750000	5.716505	2.659913
24.000000	6.000000	5.962257	2.895509
25.000000	6.250000	6.208009	3.131105
26.000000	6.500000	6.453761	3.366701
27.000000	6.750000	6.699513	3.602297
28.000000	7.000000	6.945265	3.837893
29.000000	7.250000	7.191017	4.073489
30.000000	7.500000	7.436769	4.309085
31.000000	7.750000	7.682521	4.544681
32.000000	8.000000	7.928273	4.780277
33.000000	8.250000	8.174025	5.015873
34.000000	8.500000	8.419777	5.251469
35.000000	8.750000	8.665529	5.487065
36.000000	9.000000	8.911281	5.722661
37.000000	9.250000	9.157033	5.958257
38.000000	9.500000	9.402785	6.193853
39.000000	9.750000	9.648537	6.429449
40.000000	10.000000	9.894289	6.665045

図 8: 計測した数値の表示

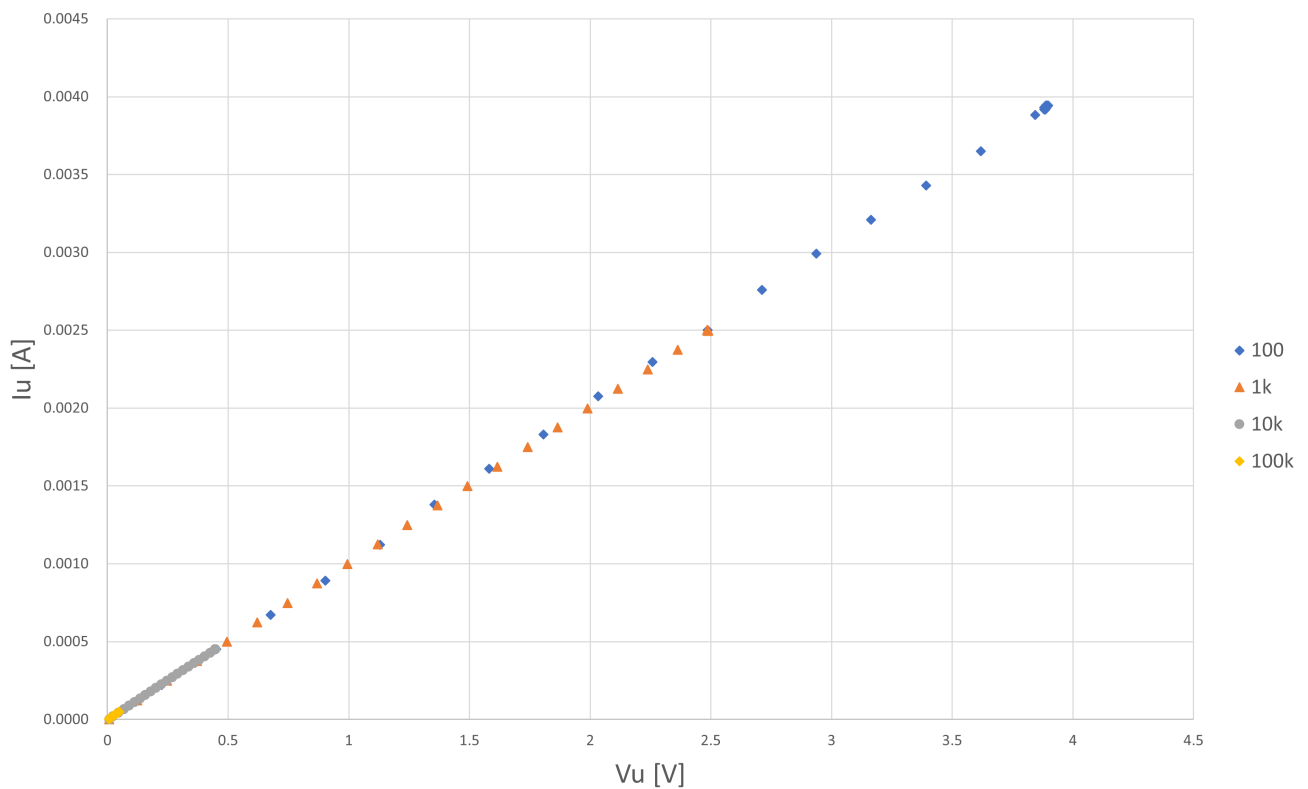


図 9: 固定抵抗の電流電圧特性

図 9 より、どの抵抗素子が直列に接続していても、傾きが一定であることが読み取れる。つまり、直列につないだ抵抗素子は測定対象素子の電圧電流特性には影響を与えないことが分かる。

4.4 実習 3-2: 可変抵抗の電圧電流特性

- 図 4 の回路の測定対象素子を可変抵抗に変更し、プログラム 3 を使用した。
- 手順通りに、計 9 つの可変抵抗の状態ですべて、測定を行った。
- 測定結果を図 8 のように表示した。
- 結果をもとに図 10, 図 11, 図 12 のグラフを作成した。

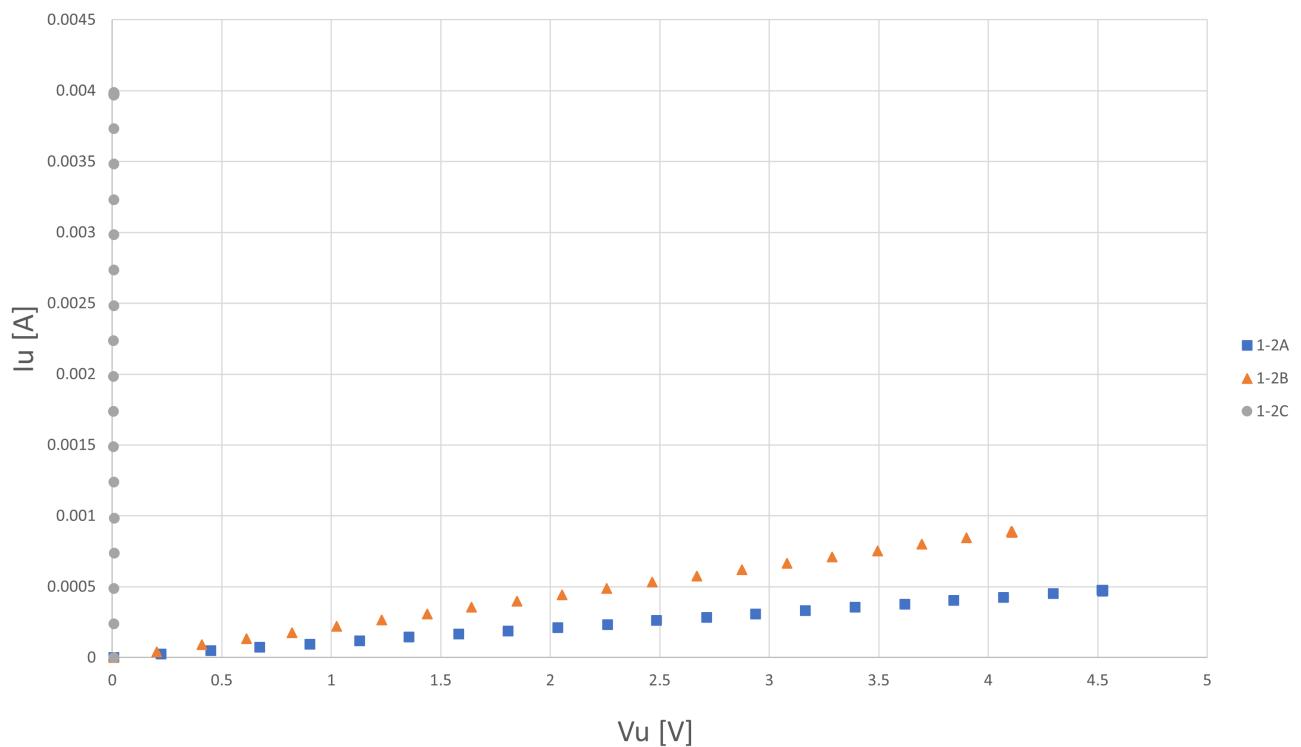


図 10: 可変抵抗の 1-2 端子間での電圧電流特性

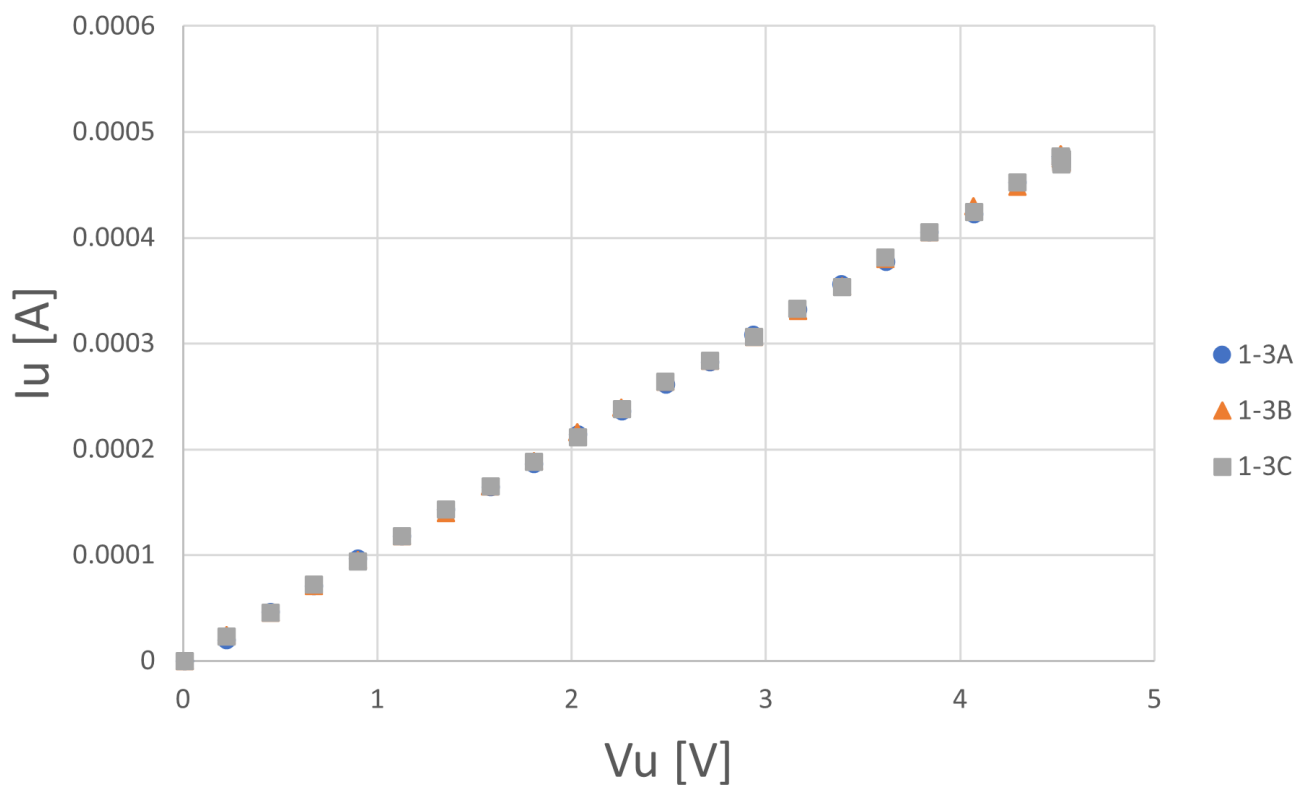


図 11: 可変抵抗の 1-3 端子間での電流電圧特性

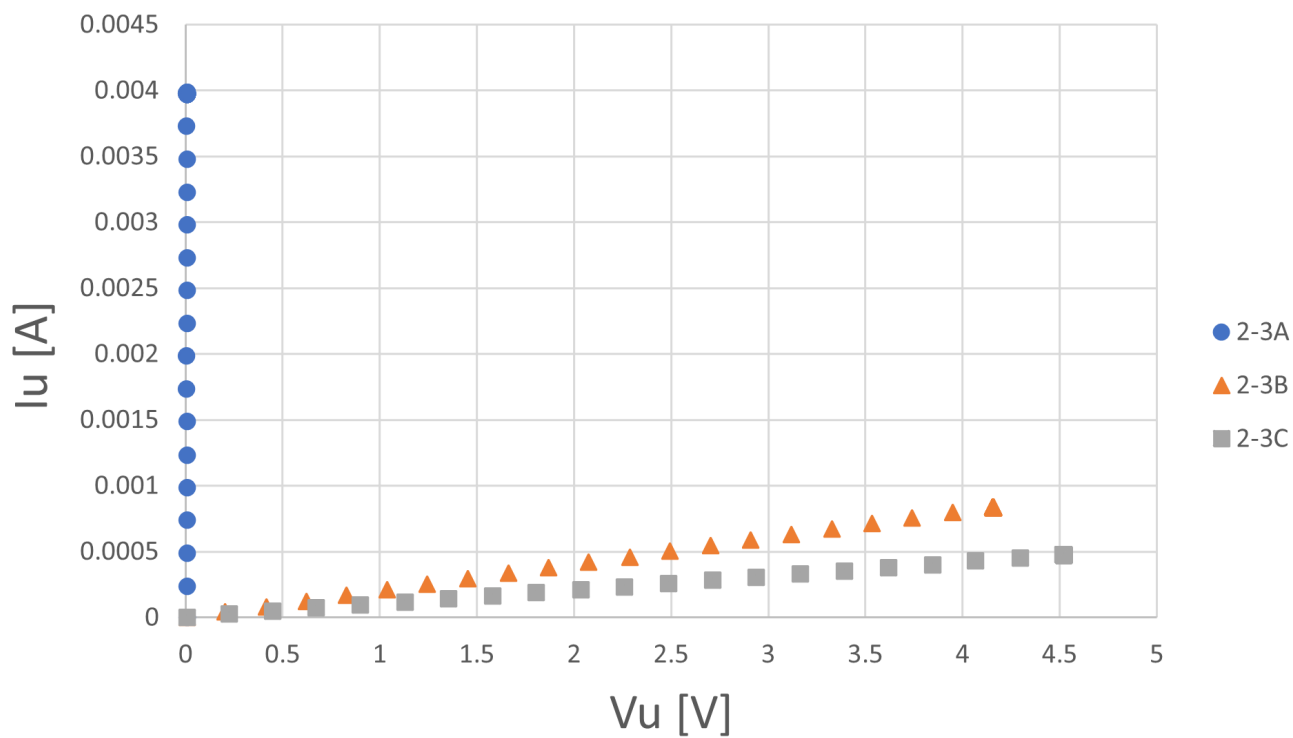


図 12: 可変抵抗の 2-3 端子間での電流電圧特性

図 10, 図 11, 図 12 より、どの端子間でもつまみが B を向いた状態では、電圧と電流が関係しない $V = 0$ の式が成り立たないことが読み取れる。また、図 11 より、1-3 端子間ではつまみの向きが抵抗値に影響しないことが読み取れる。

4.5 実習 3-3: CdS センターの電圧電流特性測定結果

- 図 4 の回路の測定対象素子を CdS センサーに変更し、プログラム 3 を使用し、電圧電流特性を測定した。
- 測定した結果を図 8 のように表示した。
- 結果をもとに図 13 のグラフを作成した。

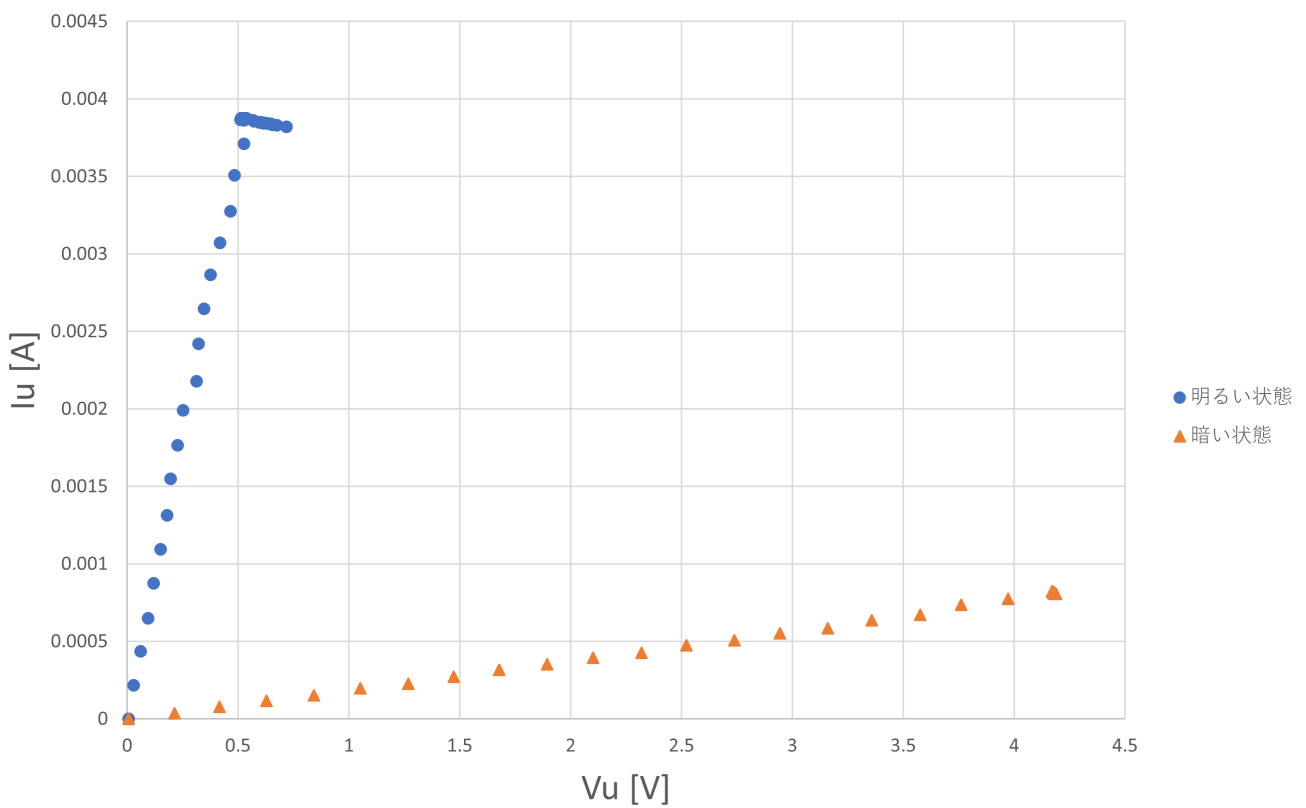


図 13: CdS センサの電流電圧特性

図 13 より、CdS センサは明るい光、すなわち、強い光を検知すると抵抗値が大きくなることが読み取れる。

4.6 実習 3-4: カセンタの電圧電流特性測定結果

- 図 4 の回路の測定対象素子をカセンサーに変更し、プログラム 3 を使用し、電圧電流特性を測定した。
- 測定した結果を図 8 のように表示した。
- 結果をもとに図 14 のグラフを作成した。

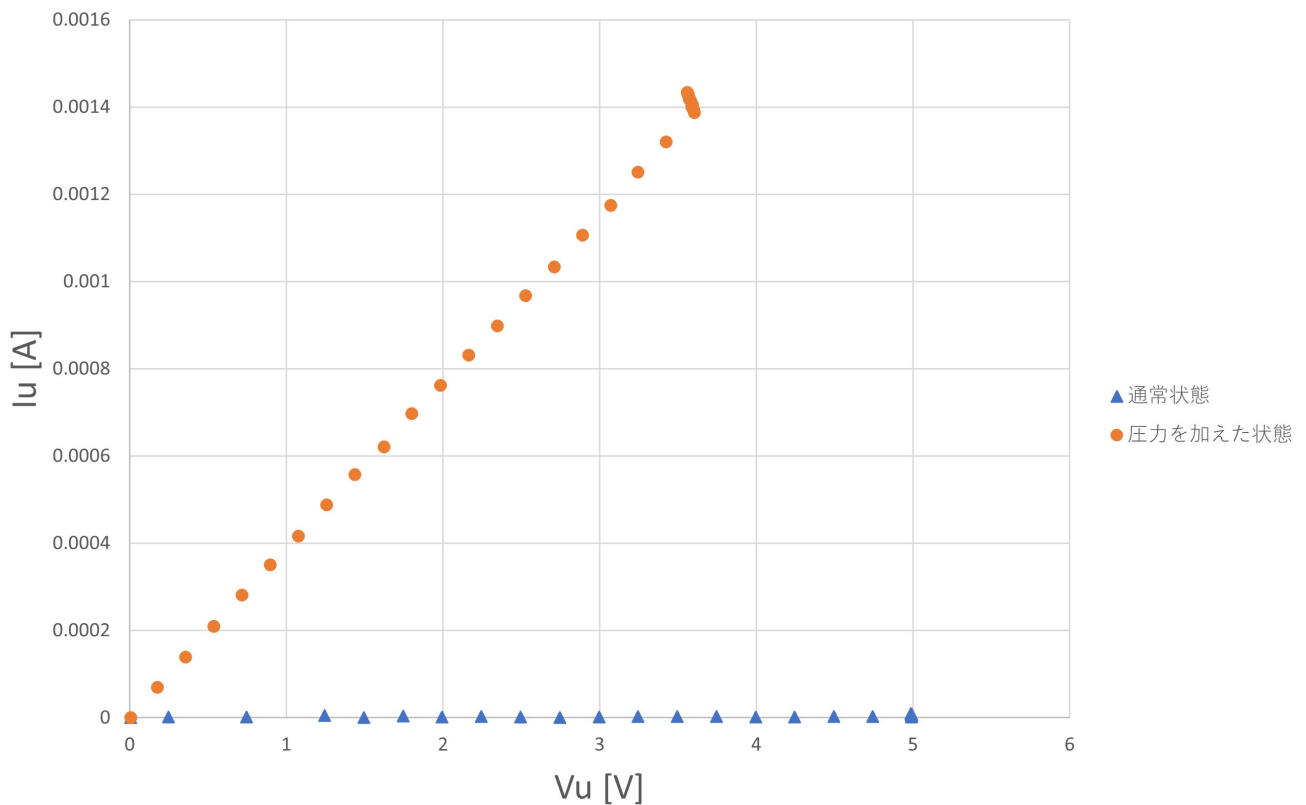


図 14: カセンサの電流電圧特性

図 14 より、力センサは力を加えると抵抗値が大きくなることが読み取れる。

4.7 実習 3-5: 発光ダイオードの電圧電流特性結果

- 図 4 の回路の測定対象素子を発光ダイオードに変更し、プログラム 3 を使用し、電圧電流特性を測定した。
- 測定した結果を図 8 のように表示した。
- 結果をもとに図 15 のグラフを作成した。

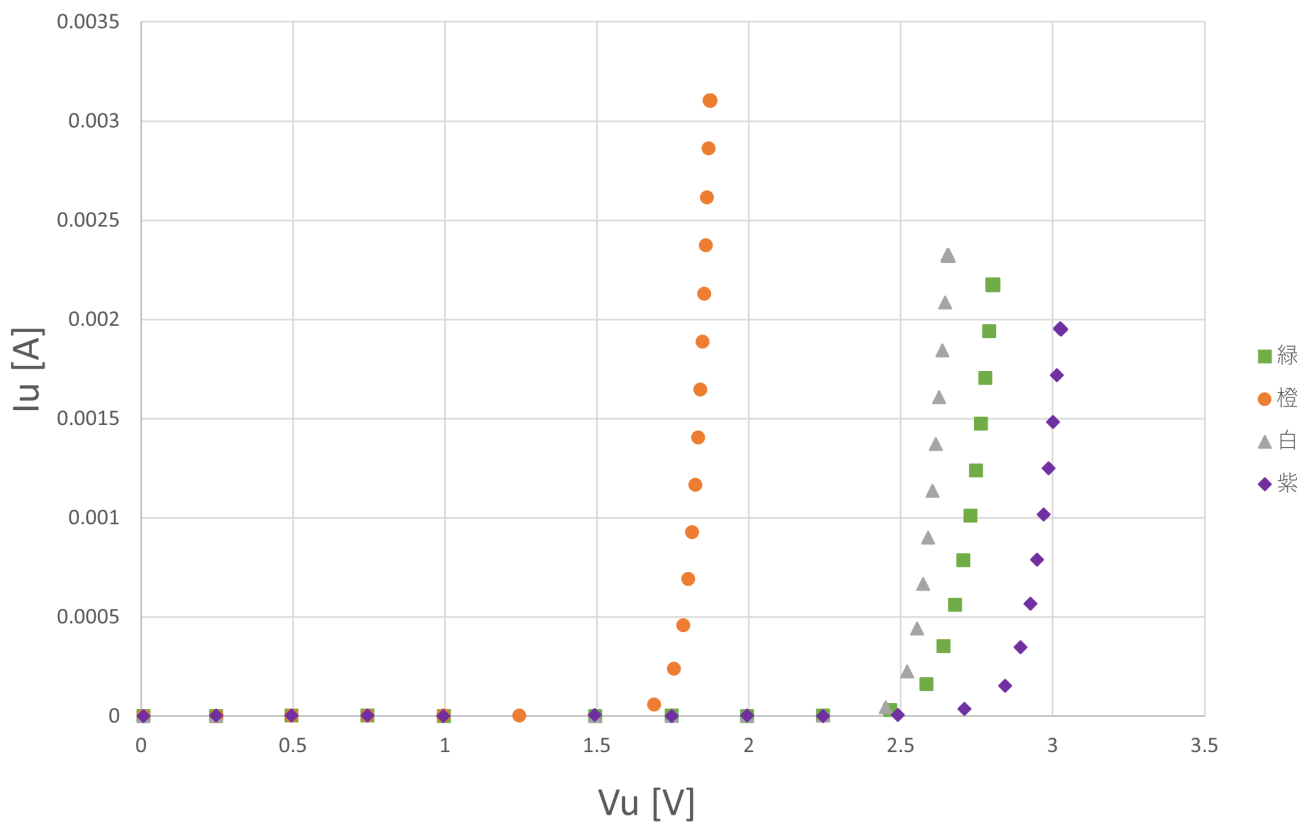


図 15: 発光ダイオードの電流電圧特性

図 15 より、全ての LED で、電流を流すのに一定以上の電圧が必要なことが読み取れる。つまり、発光するのに必要な電圧を読み取れる。また、色の違いにより、発光するのに必要な電圧が違ってくる。よって、橙、白、緑、紫の順に必要な電圧が大きい。

5 考察

5.1 実習 2-1：理想の“平均値”と“標準偏差”はそれぞれどのような値かを理由とともに考察せよ。

理想の平均値と標準偏差を得るためには、理想の測定結果のデータが得られることが前提にあると考えられる。このとき、理想の測定データとは測定による誤差がないとき得られると考えられる。それにより、同じ測定を何度繰り返しても、同じ値を得られると考えられる。そして、得られたその値が理想であると考えられる。つまり、測定を繰り返しても、平均値は一定であることが理想であると考えられる。また、平均値にばらつきがないことになるため、標準偏差は 0 になるよって、得られたデータと平均値が等しく、標準偏差が 0 であることが理想であると考えられる。

5.2 実習 2-2：出力電圧表示値 (Analog Output に入力した値) と計測電圧値 (Analog Input から出力された値) の関係をグラフにし、近似曲線を求めよ。傾きと切片の (理想の) 値を予想し実際の値と比較し考察せよ。)

図 16 に AO-AI の関係による近似曲線を示した。概形より、このグラフは傾きが“1”、切片が“0”であることが理想であると予測できる。また、Excel により、近似曲線の傾きは“0.9989”、切片は“0.0007”であることが求めた。よって、予測値と計算値がほぼ同じであることから、出力電圧と計測電圧がほぼ等しいことが理想であると考えられる。

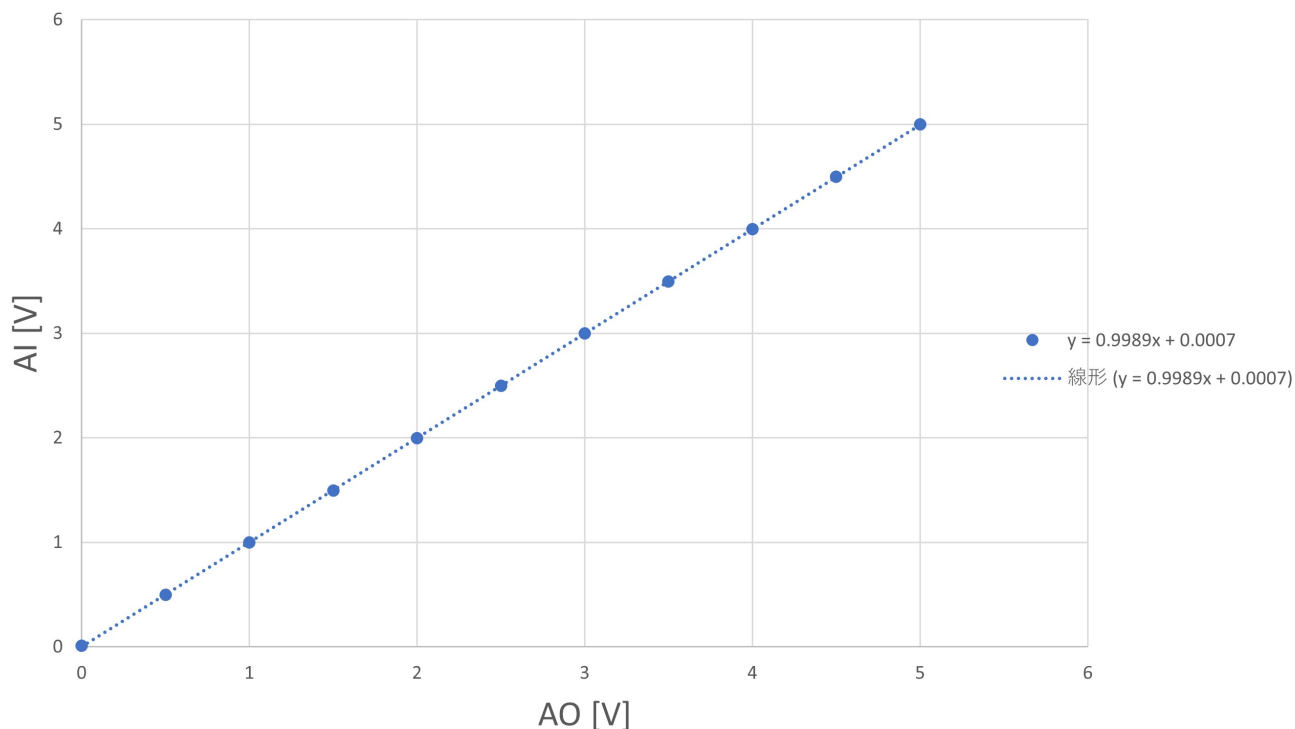


図 16: AO-AI 関係による近似曲線

5.3 実習 3-1: R_0 の値を変更したときのそれぞれの電圧電流特性の傾きから抵抗値を求め、公称値と比較せよ。また R_0 の変化が算出した抵抗値にどのような影響を及ぼすのかについて考察せよ。

表 6 は実験 3-1 の結果の図 9 をもとに必要な値をまとめたものである。グラフの傾きは Excel を使い求めた。

表 6: R_0 を変更したときの測定素子と公称値の誤差の変化

$R_0[\Omega]$	公称値 $[\Omega]$	傾き $[1/\Omega]$	傾きから求めた抵抗値 $[\Omega]$	誤差 $[\Omega]$
100	1k	0.001012	987.524	12.475
1k	1k	0.001005	994.520	5.4794
10k	1k	0.001016	984.025	15.974
100k	1k	0.001076	929.133	70.866

図 9 の概形からは読み取れなかったが図 4 の測定回路では、表 6 より、測定対象素子と R_0 の抵抗値の差が大きいと測定したい値の誤差が大きくなってしまいうことが明らかになった。

5.4 実習 3-2: 各端子間のつまみ位置による電圧電流特性の変化の仕方から、使用した可変抵抗器の内部構造を推察せよ。

図 11 より、傾きは 1-3 端子間の抵抗値の逆数であるが、A, B, C のどのつまみの位置でも傾きが変わらないことから、1-3 端子間では抵抗値が一定であることが読み取れる。そこで Excel を使い、傾きを導出した。結果を表 7 にまとめた。

表 7: 1-3 端子間での抵抗値

つまみ	傾き $[1/\Omega]$	抵抗値 $[\Omega]$
A	0.00010	10,000
B	0.00010	10,000
C	0.00010	10,000

表 7 より、1-3 端子間では 10 k Ω の抵抗が接続されていることが分かった。そして、図 10 のグラフの傾きより、1-2 端子間だが、つまみによる抵抗値の大きさの関係は $C < B < A$ である。また、図 12 のグラフの傾きより、2-3 端子間では、つまみによる抵抗値の大きさの関係は $A < B < C$ である。

可変抵抗器は内部にある抵抗体のしゅう動子と、抵抗体の接続している端子のうち、回路に接続している端子との距離、つまり、抵抗体に流れる電流が通る距離が長くなると抵抗値が大きくなる素子である [8]。よって、内部構造は図 17 になると、予測できる。

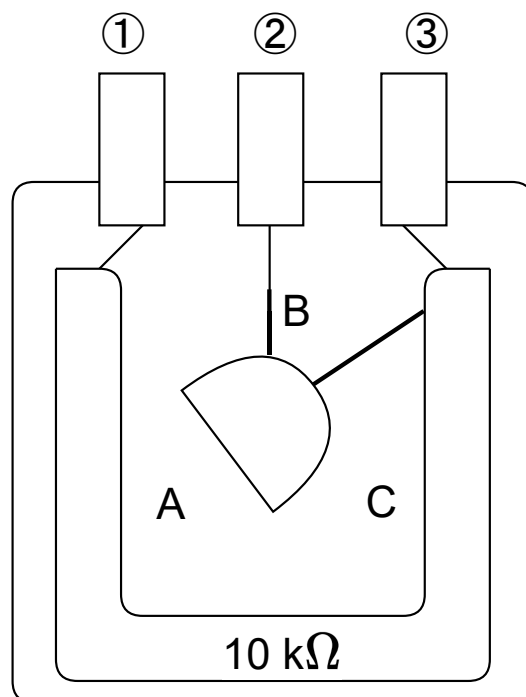


図 17: 可変抵抗の内部構造予測

図 17 より、1-3 端子間での抵抗値はつまみ影響されないこと、及び 2-3 端子間でつまみを A にしたとき、電流が最短距離で抵抗体を通ることから、抵抗値が最も小さくなることが分かる。さらに、つまみを変動させ他のつまみによる抵抗値の大きさの条件に当てはめても矛盾がないことが確認できた。よって、図 11、図 10 及び、図 12 による抵抗値の大きさに矛盾しないことから内部構造は図 17 であると考えられる。

5.5 実習 3-3：電圧電流特性の変化から、CdS センサの抵抗値と光強度について考察せよ。またその (CdS セルの) 原理を調査し、実験結果が正しいか確認せよ。

CdS セルはカドミウム (Cd) と硫黄 (S) による化合物半導体である。この化合物半導体のもつ光電効果を利用した素子が CdS センサである。光電効果とは、光の量によって放出する自由電子の量が増減し、抵抗値が変化することである [9]。そして、半導体の特性より、光をあてたとき、自由電子が多く放出され、光をあてなかったとき、自由電子が少ないことが分かる。よって、自由電子が多いとき電流がながれやすくなるため、抵抗値が小さくなり、自由電子が少ないとき電流が流れにくいため、抵抗値が大きくなる。これにより、図 13 のグラフの傾きと比較すると原理と一致しているため、実験結果は正しいといえる。

5.6 実習 3-4：電圧電流特性の変化から、力の強さに依存して力センサの抵抗値がどのように変化するか考察せよ。またその (感圧センサ) の原理を調査し、実験結果が正しいか確認せよ。[10]

感圧センサ特殊電動部材と電極で構成され、圧力の大きさに応じて接触面積が増減することにより電気抵抗値が変化する素子である。調べにより、図 18 のグラフの関係が分かった。図 18 より、圧力を加えると抵抗値が小さくなることが分かる。図 14 のグラフの傾きより、圧力を加えると抵抗値が小さくなっていた。よって、実験結果は正しいといえる。

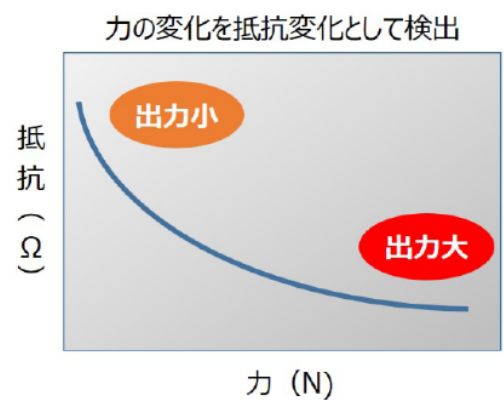
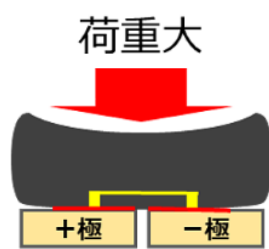
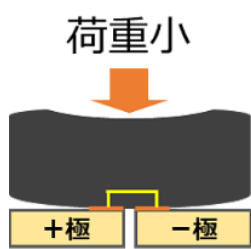


図 18: 感圧センサの検出原理と圧力と抵抗値の変化の関係

5.7 実習 3-5:発光の色が異なるということは物理量として何が異なっているのかを示し、LEDの色に応じて電圧電流特性の特徴(立ち上がり電圧、傾き)にどのような違いがあるのか考察せよ。[11]

LEDの発光の色が異なるのは、LEDチップに使われる化合物の違いにより、放出される光の波長が異なるためである。発光の色と光の波長の関係を図19に示した。図15より、今回の実験で使用したLED







	紫	380-450 nm
	青	450-495 nm
	緑	495-570 nm
	黄	570-590 nm
	橙	590-620 nm
	赤	620-750 nm

図 19: 光の波長による色の違い

のうち緑、橙、紫の立ち上がり電圧と光の波長を比較すると赤に近いほど立ち上がり電圧が小さく、紫に近い程立ち上がり電圧が大きいことが分かる。このとき、白を除外した理由は、白の光は可視光線を含む全ての光の波長がまんべんなく含んでいるため、波長と色の関係を見い出すのが困難だと予測できたためである。よって、光の波長が小さいほど立ち上がり電圧が大きく、光の波長が大きいほど立ち上がり電圧が小さいという関係を見い出すことができた。

図15より、 I_u が0.0005 A以下の区画で見ると紫、緑、橙、の順で傾きが急になっていることが分かる。つまり、光の波長が大きいほど抵抗値が小さいといえるであろう。

6 結論

今回の実験で、LabVIEWとMyRIOを使用して、素子の電圧電流特性について自動計測の方法を習得できた。また、測定データから近似直線式の傾き、切片を求める計算方法を習得することが出来た。そして、電圧電流特性から抵抗値を求める方法について習得できた。よって、本実験の目的は全て達成された。

参考文献

- [1] 阿部 武雄/村山 実, “電気・電子計測 [第 4 版]”, 森北出版, 2019 年
- [2] “資格とるなら.tokyo”, <https://shikakutorunara.tokyo/2019/01/21/post-502/>, 最終アクセス日 2022/5/29
- [3] “具体例で学ぶ数学”, <https://mathwords.net/>, 最終アクセス日 2022/5/29
- [4] IMIN, “AVILEN AI Trend”, 株式会社 AVILEN, <https://ai-trend.jp/basic-study/>, 最終アクセス日 2022/5/29
- [5] “Sci-pursuit.com”, <https://sci-pursuit.com/math/statistics/least-square-method.html>, 最終アクセス日 2022/5/29
- [6] “総合情報センター教育支援 Edu@Web Site”, 中部大学, <https://edu.isc.chubu.ac.jp/hsuzuki/iip/2020-katsuyou/w5p/lms1.html>, 最終アクセス日 2022/5/29
- [7] “線形回帰”, wikipedia, <https://ja.wikipedia.org/wiki/%E7%B7%9A%E5%BD%A2%E5%9B%9E%E5%B8%B0>, 最終アクセス日 2022/5/29
- [8] “可変抵抗器とは”, alpsalpine, <https://go.alpsalpine.jp/l/506151/2020-02-20/33dk7t>, 最終アクセス日 2022/6/13
- [9] “CdS セルの原理”, アイアール技術者教育研究所, <https://engineer-education.com/cds-cell/#:~:text=%EF%BC%92%EF%BC%8ECdS%E3%82%BB%E3%83%AB%E3%81%AE%E5%8E%9F%E7%90%86,-CdS%E3%82%BB%E3%83%AB%E3%81%AF&text=%E3%82%AB%E3%83%89%E3%83%9F%E3%82%A6%E3%83%A0%EF%BC%88Cd%EF%BC%89%E3%81%AF%E6%AF%92%E6%80%A7%E3%81%AE,%E5%B0%8E%E4%BD%93%E3%81%AB%E5%A4%89%E5%8C%96%E3%81%97%E3%81%BE%E3%81%99%E3%80%82>, 最終アクセス日 2022/6/13
- [10] “感圧センサユニット”, キヤノン株式会社, <https://kasei.canon/ja/product/sensor-unit.html>, 最終アクセス日 2022/6/13
- [11] “LED の発光原理”, Panasonic, <https://www2.panasonic.biz/jp/lighting/led/basics/principle.html>, 最終アクセス日 2022/6/13