

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 7月 14日(木)
令和 4年 7月 28日(木)

班	学生番号	氏名
2	3322	高橋広旭

共同実験者名

提出日			備考	評価
予定日	7/21	7/28		
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）

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

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。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 [1]。

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

2.5 統計処理（正規分布・平均値・標準偏差）

2.5.1 正規分布

左右対称の釣鐘型に値が分布しているのを正規分布といい、山の頂点に平均値がくる [2]。

2.5.2 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 (3) で表すことができる [1]。

$$\bar{y} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i \quad (3)$$

2.5.3 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 (4) で表すことができる [1]。

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2} \quad (4)$$

2.6 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、

$$y = ax + b \quad (5)$$

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 [1]。その際に、

$$\begin{aligned} E &= \sum_{i=1}^N \varepsilon_i^2 \\ &= \sum_{i=1}^N (y_i - f(x_i))^2 \\ &= \sum_{i=1}^N (y_i - (ax_i + b))^2 \end{aligned} \quad (6)$$

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。

$$\frac{\partial}{\partial a} E(a, b) = 0 \quad (7)$$

$$\frac{\partial}{\partial b} E(a, b) = 0 \quad (8)$$

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。

$$a = \frac{\sum_{n=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum_{n=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (9)$$

$$b = \bar{y} - \frac{\sum_{n=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum_{n=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \bar{x} \quad (10)$$

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

名称	製造元	製品名	製造番号
ノートパソコン	iiyama	IStNXi-15FH040-i5_UHEX	NKNK50SZ0000K00088
ブレットボード	DIGILENT	200-283	D535760
LabVIEW	NATIONAL INSTRUMENTS	LabVIEW2019 myRIO Toolkit	19.0.1f3
myRIO	NATIONAL INSTRUMENTS	MYRIO-1900	308778E

3.2 実験手順

3.2.1 アナログ電圧値の計測と出力

- 1) ブレットボードに図 1 に示す回路を作成した。
- 2) AI0 端子と 5 V 端子を接続した。
- 3) ブレットボードを A ポートに接続した。
- 4) AI0 に入力された電圧を 100 回計測し、スプレッドシート文字列にまとめるプログラムを作成した。
- 5) 同様に AI0 端子と 3.3V 端子や GND 端子接続し、測定した。
- 6) Excel を用いて平均値と標準偏差を求めた。

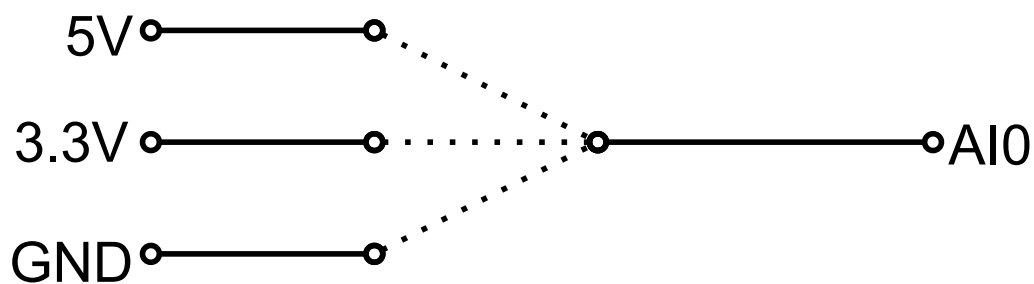


図 1: 電圧測定実験の回路

3.2.2 電圧出力

- 1) ブレッドボードに図 2 に示す回路を作成した。
- 2) ブレッドボードを A ポートに接続した。
- 3) 0 V から 5 V まで 0.5 V 刻みで出力電圧を測定し、出力電圧と計測電圧の差を求め、スプレッドシート文字列に通り番号、出力電圧、計測電圧、電圧の差を表示するプログラムを作成した。
- 4) プログラムを実行し、差から二乗平均平方根誤差を求めた。

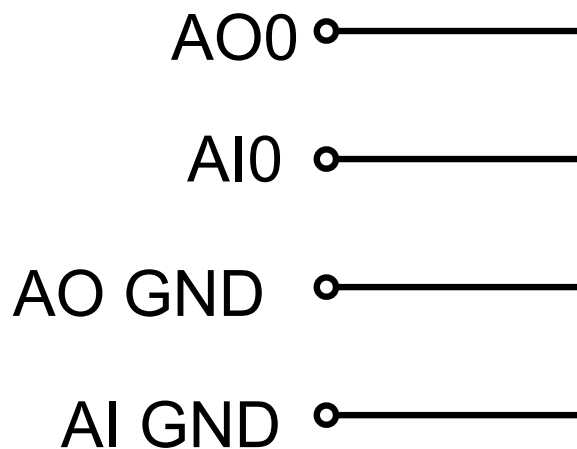


図 2: 電圧出力実験の回路

3.2.3 素子の電圧電流特性

I. 回路とプログラムの作成

- 1) ブレッドボードに図 3 に示す回路を作成した。
- 2) AO0 を 0 V から 5 V まで 0.25 V 刻みで変化させ、 V_{R0} と V_{IN} の値を測定し、電圧電流特性を測定するプログラムを作成した。myRIO は電流を測定できないため、式 (11) を用いて算出した。

II. 固定抵抗の電圧電流特性

- 1) 測定対象素子の部分に固定抵抗 $1\text{k}\Omega$ を接続した。

- 2) R_0 を 100Ω 、 $1k\Omega$ 、 $10k\Omega$ 、 $100k\Omega$ に変化させたときの V_{R0} と V_{IN} を測定し、電流を計算した。

III. 可変抵抗の電圧電流特性

- 1) R_0 に $1k\Omega$ の抵抗を接続した。
- 2) 測定対象素子の部分に図 4 に示される可変抵抗の 2 端子を接続した。
- 3) つまみが A、B、C の V_{R0} と V_{IN} を測定し、電流を計算した。
- 4) 同様にして他の端子間の測定も行った。

IV. CdS センサの電圧電流特性

- 1) R_0 に $1k\Omega$ の抵抗を接続した。
- 2) 測定対象素子の部分に CdS センサを接続した。
- 3) 指で覆った状態と覆っていない状態の V_{R0} と V_{IN} を測定し、電流を計算した。

V. 力センサの電圧電流特性

- 1) R_0 に $1k\Omega$ の抵抗を接続した。
- 2) 測定対象素子の部分に力センサーを接続した。
- 3) 通常の状態と強く押した場合の V_{R0} と V_{IN} を測定し、電流を計算した。

VI. 発光ダイオードの電流電圧特性

- 1) R_0 に $1k\Omega$ の抵抗を接続した。
- 2) 測定対象素子の部分に黄、赤、緑、青の発光ダイオードを接続した。
- 3) それぞれの V_{R0} と V_{IN} を測定し、電流を計算した。

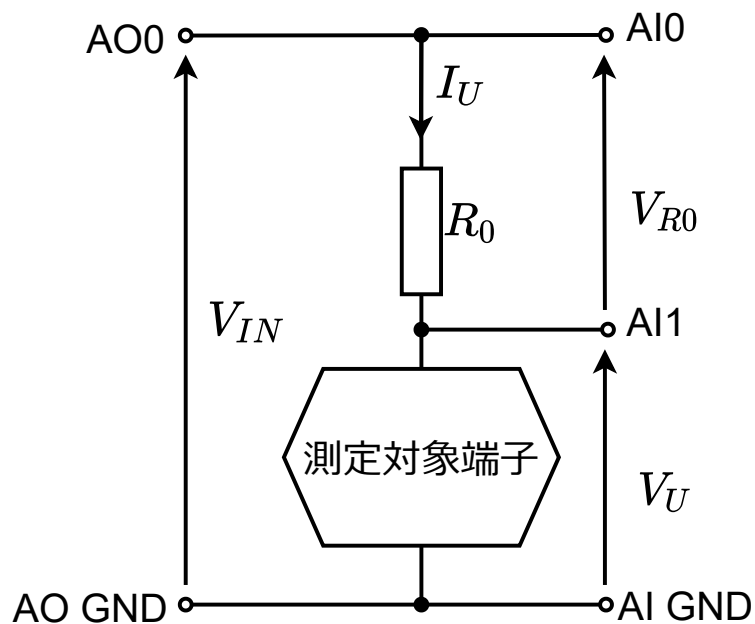


図 3: 素子の電圧電流特性実験の回路

$$\begin{aligned}
 I_U &= \frac{V_{R0}}{R_0} \\
 &= \frac{V_{IN} - V_U}{R_0}
 \end{aligned}
 \tag{11}$$

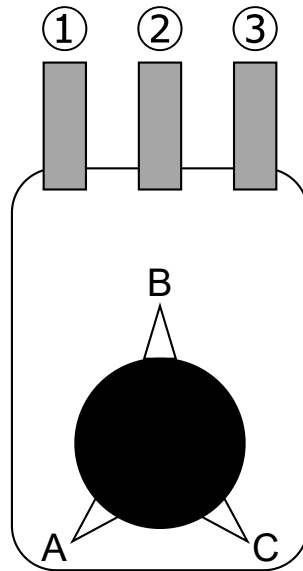
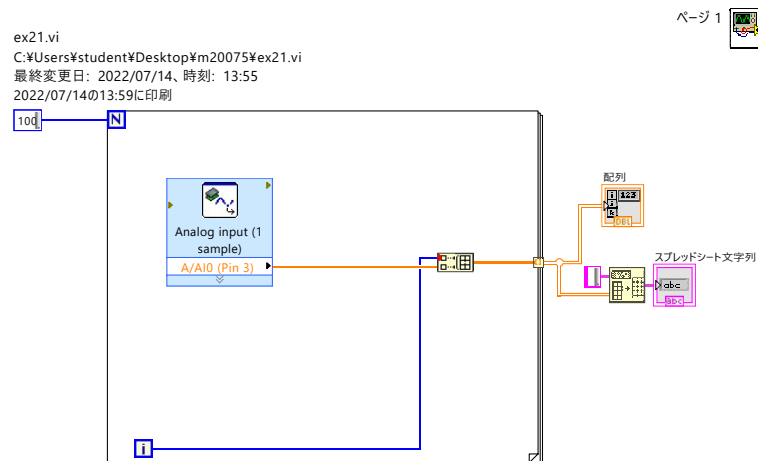


図 4: 可変抵抗の端子とつまみの位置

4 結果

4.1 アナログ電圧値の計測と出力

プログラム 1 は電圧計測に使用したブロックダイアグラム、図 5 はプログラム実行後のフロントパネルである。また、測定値の平均値と標準偏差を表 2 に示す。表 2 より、平均値は出力電圧に近い値で、GND 以外は出力電圧より低い値になっていることがわかる。また、標準偏差は、どの電圧の場合でも 0 に近い値となった。



プログラム 1: 電圧計測実験のブロックダイアグラム

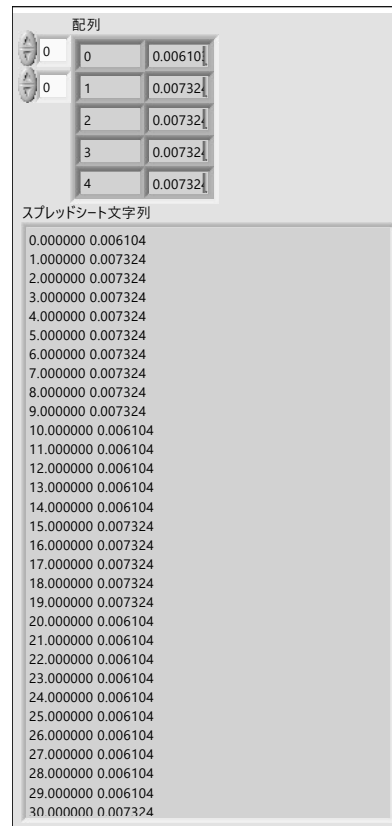


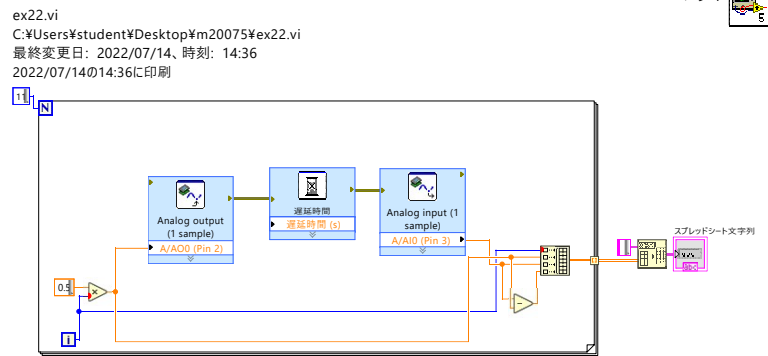
図 5: 電圧計測実験のフロントパネル

表 2: 各電圧の平均値と標準偏差

出力電圧 [V]	平均値 [V]	標準偏差 [V]
5 V	4.964184	2.9347×10^{-3}
3.3 V	3.262939	4.440892×10^{-16}
GND	0.0066408	6.0599×10^{-4}

4.2 電圧出力

プログラム 2 は電圧出力に使用したブロックダイアグラム、図 6 はプログラム実行後のフロントパネルである。また、測定値と理論値とその差を表 3 に示す。二乗平均平方根誤差は 0.00332891658597262 V であった。



プログラム 2: 電圧出力実験のブロックダイアグラム

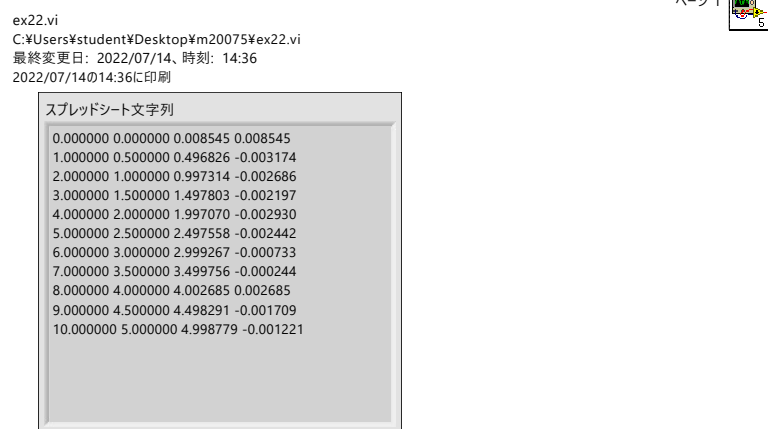


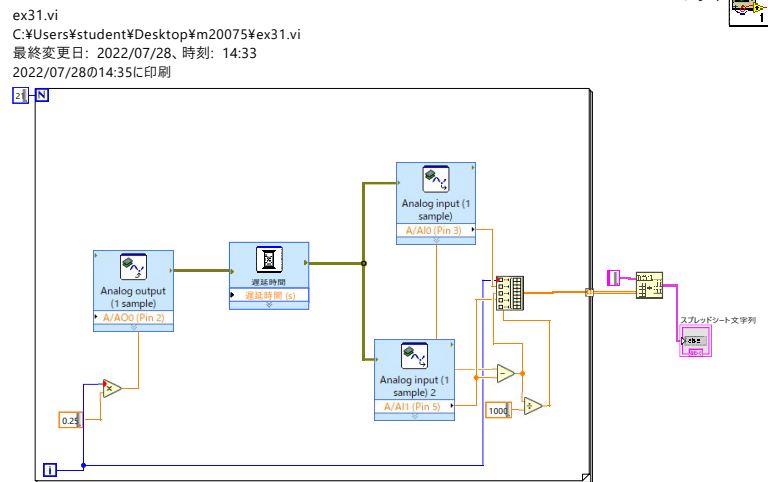
図 6: 電圧出力実験のフロントパネル

表 3: 出力電圧と計測電圧の比較

通し番号	出力電圧 [V]	計測電圧 [V]	差 [V]
0	0	0.008545	0.008545
1	0.5	0.496826	-0.003174
2	1	0.997314	-0.002686
3	1.5	1.497803	-0.002197
4	2	1.99707	-0.00293
5	2.5	2.497558	-0.002442
6	3	2.999267	-0.000733
7	3.5	3.499756	-0.000244
8	4	4.002685	0.002685
9	4.5	4.498291	-0.001709
10	5	4.998779	-0.001221

4.3 素子の電圧電流特性

プログラム 3 は電圧出力に使用したブロックダイアグラム、図 7 はプログラム実行後のフロントパネルである。



プログラム 3: 素子の電圧電流特性実験のブロックダイアグラム

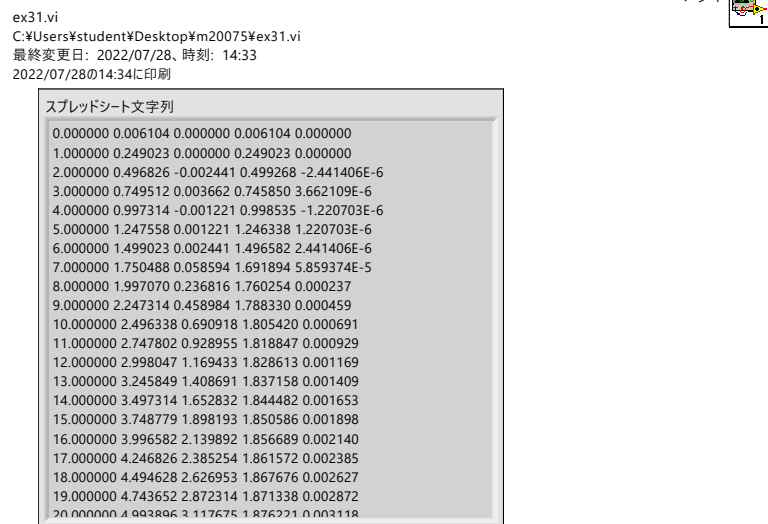


図 7: 素子の電圧電流特性実験のフロントパネル

4.3.1 固定抵抗の電圧電流特性

固定抵抗の電圧電流特性の測定結果を図 8 に示す。図 8 より、 R_0 の値に関係なく、電圧と電流は比例の関係にあることがわかる。

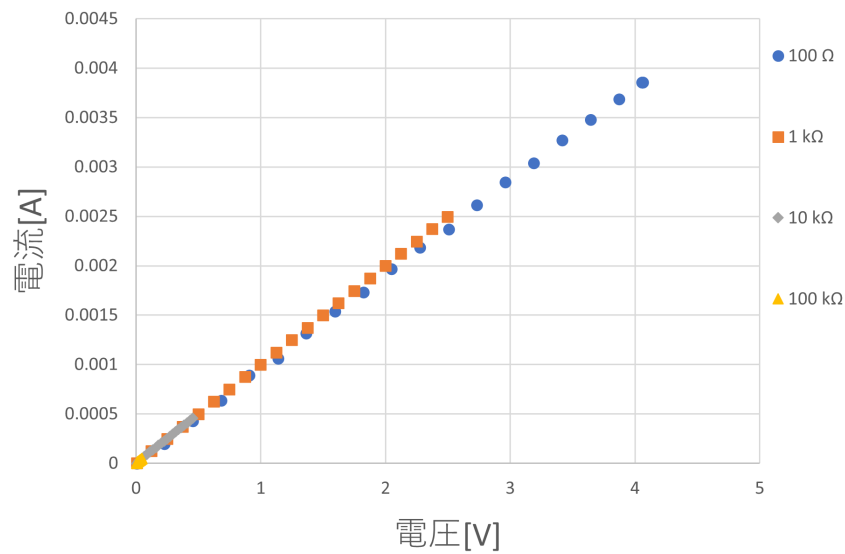


図 8: 固定抵抗の電圧電流特性

4.3.2 可変抵抗の電圧電流特性

1-2 端子間の可変抵抗の電圧電流特性の測定結果を図 9 に示す。また、2-3 端子間のときは図 10、3-1 端子間のときは図 11 に示す。これらの図より、どの場合でも電圧と電流は比例の関係にあることがわかる。また、図 9 と図 10 より、1-2 端子間と 2-3 端子間では位置 A と位置 C の値が入れ替わっていることがわかる。また、図 11 より、3-1 端子間ではつまみの位置に関係なく電圧電流特性の傾きは一定であることがわかる。

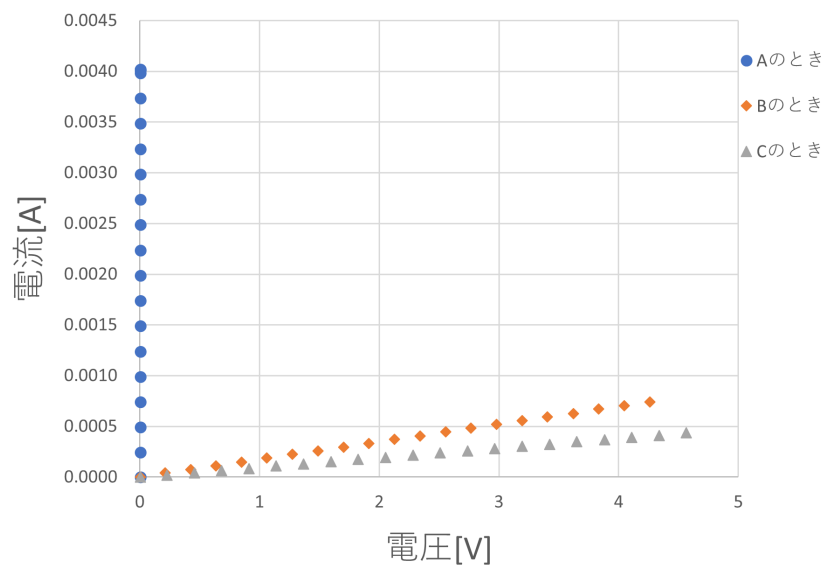


図 9: 1-2 端子間の可変抵抗の電圧電流特性

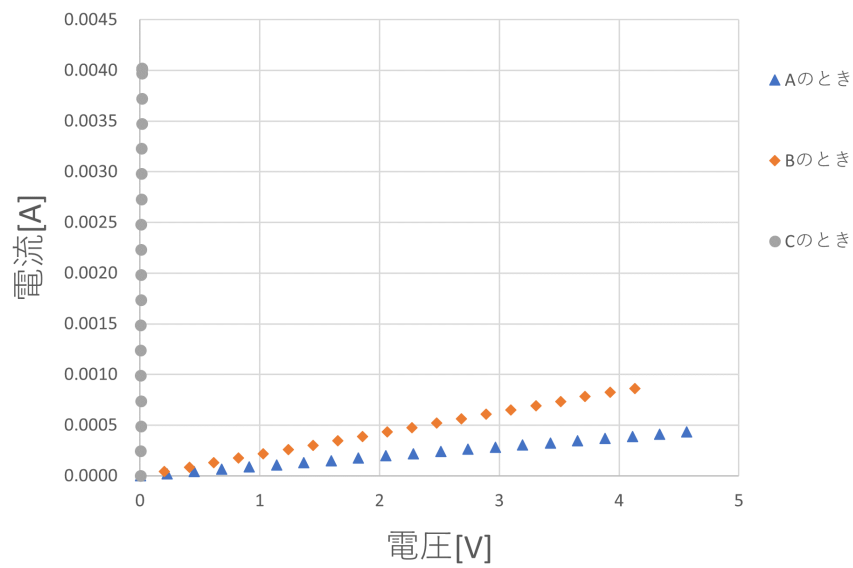


図 10: 2-3 端子間の可変抵抗の電圧電流特性

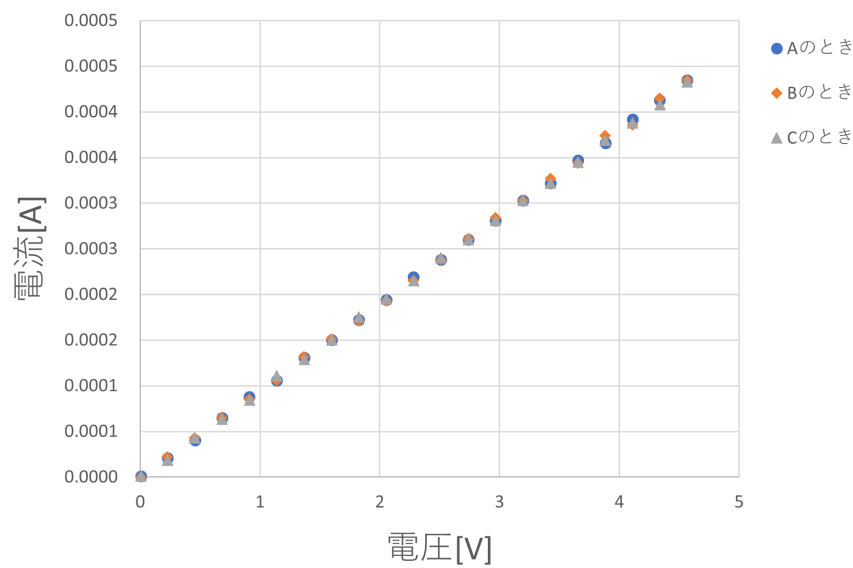


図 11: 3-1 端子間の可変抵抗の電圧電流特性

4.3.3 CdS センサの電圧電流特性

CdS センサの電圧電流特性の測定結果を図 12 に示す。図 12 より、暗い場合でも明るい場合でも電圧と電流は比例の関係にあることがわかる。また、暗い場合より明るい場合のほうが電圧電流特性の傾きが大きいたことがわかる。

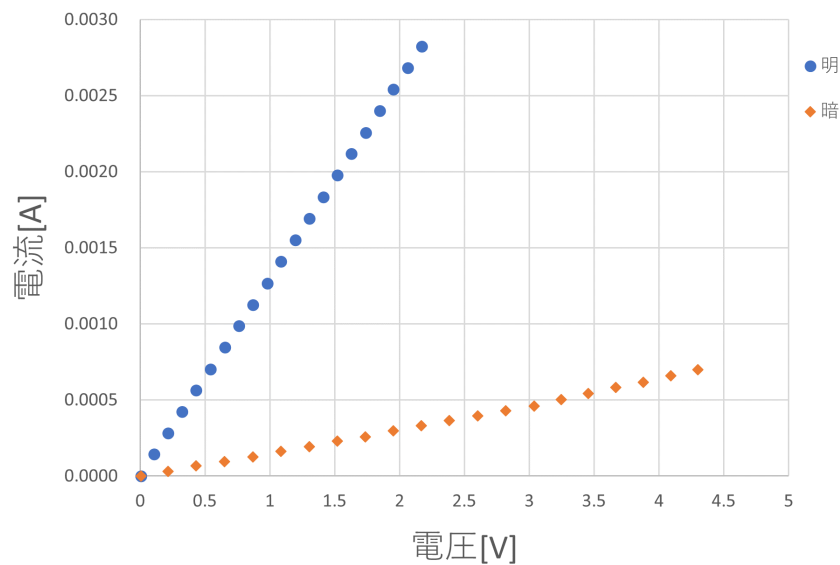


図 12: CdS センサの電圧電流特性

4.3.4 カセンサの電圧電流特性

カセンサの電圧電流特性の測定結果を図 13 に示す。図 13 より、カセンサに力を加えた状態では電圧と電流は比例の関係にあることがわかる。また、力を加えていない状態ではほぼ電流が流れないことがわかる。

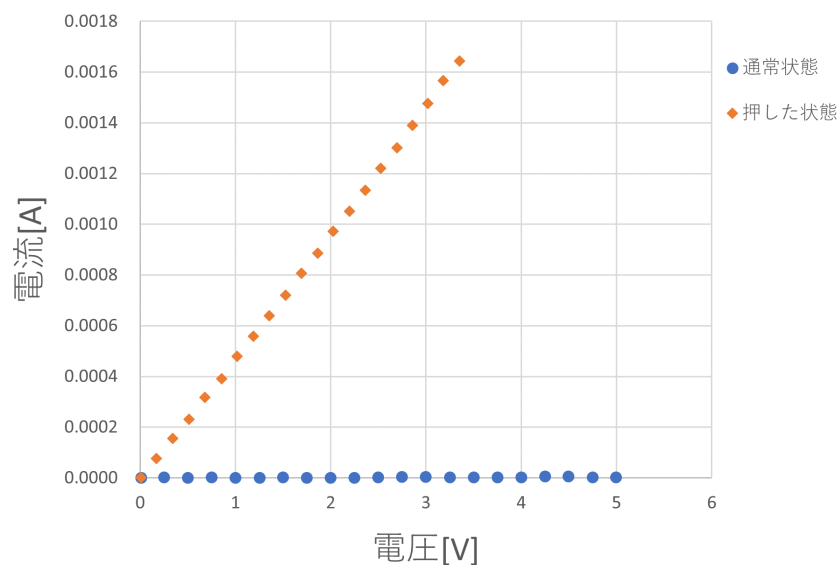


図 13: カセンサの電圧電流特性

4.3.5 発光ダイオードの電圧電流特性

発光ダイオードの電圧電流特性の測定結果を図 14 に示す。図 14 より、赤色の立ち上がり電圧は約 1.7 V、黄色は約 1.8 V、緑色は約 2.5 V、青色は緑色より僅かに高い電圧であることがわかる。

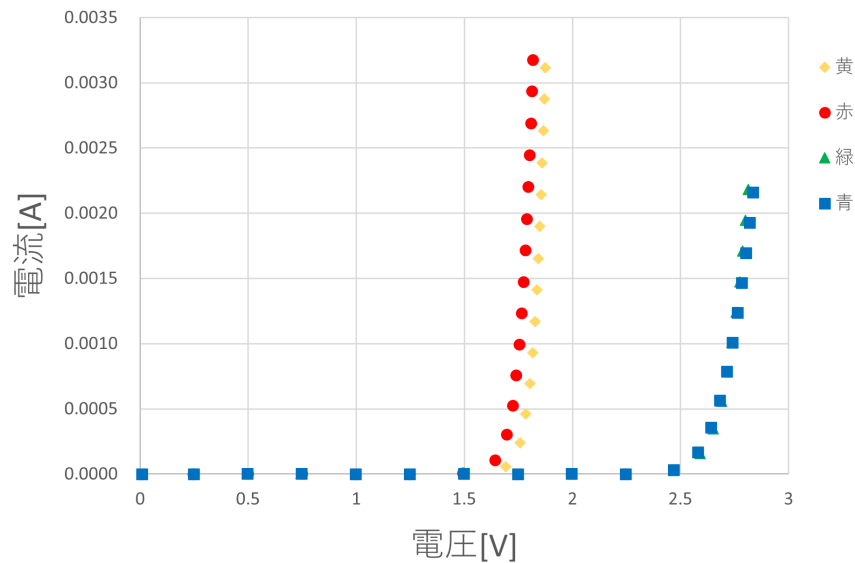


図 14: 発光ダイオードの電圧電流特性

5 考察

5.1 理想の平均値と標準誤差

平均値は、式 (3) より、 N 個全てのデータの総和を N 個で割って得られる値である。従って、データが全て同じ値であれば平均値も同じ値となるため、理想の平均値は出力電圧が 5 V のとき 5 V 、 3.3 V のとき 3.3 V 、 GND のとき 0 V になると考えられる。また、標準偏差は、式 (4) より、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ある。理想状態では平均値と測定値の値が変わらないため、ばらつきは 0 になる。従って、標準偏差は 0 になると考えられる。

5.2 出力電圧と計測電圧の関係

図 15 は、出力電圧と計測電圧の関係をグラフに表したものである。図 15 より、出力電圧と計測電圧は比例の関係にあると言える。計測電圧が理想値であれば、図 15 の直線の傾きが 1 で切片は 0 になる。しかし、実際の直線は式 (12) のようになっている。傾きが 1 より小さくなるのは、ブレットボードとジャンパ栓の接触抵抗が原因だと考えられる。また、切片が 0 でないのは回路内のノイズが影響していると考えられる。この現象は、表 2 より GND が 0 V でないことから確認できる。

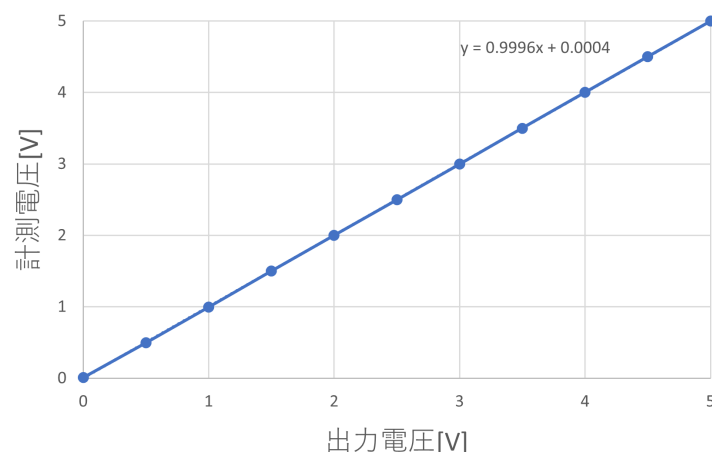


図 15: 出力電圧と計測電圧の関係

$$y = 0.9996x + 0.0004 \quad (12)$$

5.3 公称値と比較

電流 I 、電圧 V 、抵抗 R の関係はオームの法則を用いて式 (13) と表せる。このときの電圧電流特性の傾きを a とすると式 (14) のように。式 (14) を用いて測定対象素子の部分に接続した抵抗の値を算出し、公称値との差を求めたものを表 4 に示す。表 4 より、誤差が一番大きくなったのは R_0 が 100 k Ω のときであることがわかる。一般的に固定抵抗は誤差を持っている。抵抗の誤差率が同一の場合、抵抗の値が大きいほうが誤差は大きくなる。従って、 R_0 の抵抗値が一番大きい 100 k Ω のときに誤差が一番大きくなったと考えられる。

$$I = \frac{V}{R} \quad (13)$$

$$a = \frac{1}{R} \quad (14)$$

表 4: 公称の抵抗値と計算した抵抗値の比較

抵抗値 [Ω]	傾き [S]	計算した抵抗値 [k Ω]	誤差 [k Ω]
100	0.0009536	1.0486577	0.0486577
1k	0.0009994	1.0006004	0.0006004
10k	0.0010038	0.9962144	-0.003786
100k	0.001084	0.9225092	-0.077491

5.4 可変抵抗の内部構造

図 9、図 10、図 11 より、1-2 端子間でつまみの位置が C のときと 2-3 端子間でつまみの位置が A のとき、3-1 端子間の電圧電流特性の傾きと等しくなっていることがわかる。従って、抵抗値も等しいと考

えられる。また、1-2 端子間でつまみの位置が A のときと 2-3 端子間でつまみの位置が C のとき抵抗値がほぼ 0 であることがわかる。また、1-2 端子間と 2-3 端子間でつまみの位置が B のとき 3-1 端子間の電圧電流特性の傾きより急なため、抵抗値は 3-1 端子間より小さくなることがわかる。これらの特徴から、3-1 端子間に一定の抵抗があり、端子 1 と端子 3 の間に自由に動ける端子 2 があると推測される。これを図に表すと図 16 のように表せる。

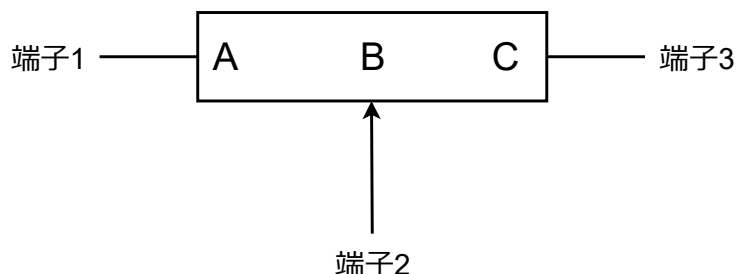


図 16: 可変抵抗の内部構造

5.5 CdS センサの抵抗値と光強度

図 12 より、光を当てた場合のほうが電圧電流特性の傾きが急である。従って、光を当てると抵抗値が小さくなる特性があると考えられる。CdS セルはカドミウムと硫黄の化合物である。カドミウムの最外殻の電子は原子核との結合が弱く、自由電子となり導電性である。これに硫黄を結合させるとカドミウムの自由電子を硫黄原子が捕捉して絶縁体に変化する。この自由電子の捕捉力は非常に弱く、光があたると自由電子を放出して導体に変化する。従って、光の量によって放出する自由電子の量が変わり、抵抗値が変化する [3]。実験でも同様の結果を得ることができたため、正しい実験ができたといえる。

5.6 カセンサの抵抗値

図 13 より、力を加えると電流が流れ、加えないと電流がほぼ流さないことがわかる。従って、力センサは力を加えると抵抗値が減少し、電流を流す特性があると考えられる。力センサは圧力を加えることにより上下の電極の接触面積が増加し、抵抗が減少する [4]。実験でも同様の結果を得ることができたため、正しい実験ができたといえる。

5.7 発光ダイオードの発光色と電圧電流特性の関係

発光ダイオードの立ち上がり電圧は低い方から赤、黄、緑、青の順であった。これは光の波長を大きい順に並べたときと同一である。また、光子エネルギー E は波長 λ 、光速 c 、プランク定数 h 、振動数 ν を用いて式 (15) のように表せる [5]。従って、波長が小さくなるとエネルギーは大きくなるため、発光ダイオードを点灯させるために必要なエネルギーも大きくなると考えられる。よって、青色などの波長の小さい色の発光ダイオードは点灯するために高い電圧を必要にしていると考えられる。

$$E = h\nu = h\frac{c}{\lambda} \quad (15)$$

6 結論

本実験の目的は、以下の 3 項目であった。

- 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。

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ことができた。また、Excel を用いて測定データから近似直線式の傾きや切片を求める方法を習得し、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ができた。従って、実験の目的を全て達成することができた。

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, 2022 年
- [2] 島根県統計調査課, “分布・平均・分散”, 島根県統計調査課, <https://pref.shimane-toukei.jp/index.php?view=15564>, 2022 年 7 月 20 日
- [3] 日本アイアール株式会社, “3 分でわかる技術の超キホン CdS セルとは? 原理と電子回路での使い方を解説!”, 日本アイアール株式会社, <https://engineer-education.com/cds-cell/>, 2022 年 8 月 10 日
- [4] NISSHA 株式会社, “フィルム型圧力センサーの利点と用途を知る”, NISSHA 株式会社, https://connect.nissha.com/filmdevice/filmdevice_column/advantages_film_pressure-sensor, 2022 年 8 月 10 日
- [5] 和達 三樹 小暮 陽三, 高専の物理 [第 5 版], 森北出版, 2020 年