

1 実験の目的

私たちの生活は多様なエネルギー資源に依存しています。これらは一般的に「枯渇性エネルギー」（石炭、石油など）と「再生可能エネルギー」（太陽光、風力など）に大別されます。枯渇性エネルギーは使用に伴い減少し、再生可能エネルギーは使用しても資源が枯渇しないとされています。化石燃料の消費は二酸化炭素を発生させ、これは温室効果ガスとして地球温暖化を引き起こす可能性があります。したがって、持続可能なエネルギー利用と環境保護を両立させるためには、再生可能エネルギーの利用拡大が不可欠です。

2 実験の理論または原理

2.1 太陽電池の特性実験

太陽電池（またはフォトボルタイックセル、ソーラーセル）は、光起電力効果を活用して電力を生成するデバイスです。具体的には、シリコンなどの半導体材料に光を照射すると、材料内部で電荷が発生し、外部回路に接続することで電力を抽出することができます。太陽電池には様々なタイプが存在し、主要なものとして単結晶シリコン型、多結晶シリコン型、アモルファスシリコン型、および色素増感型があります。本実験では、単結晶および多結晶シリコン型の太陽電池を使用します。

光起電力効果とは、光が半導体材料に入射すると、光のエネルギーが電子に転送され、これによって電子が励起されて電流が発生する現象を指します。太陽電池の作動はこの効果に基づいており、入射光に含まれるエネルギーが半導体内の電子を動かし、この電子の動き（電流）を利用して電力を得るのです。

2.2 風力発電の特性実験

風力発電は風の運動エネルギーを利用して電気エネルギーに変換する技術です。風のエネルギーは風車を回転させ、その回転エネルギーが発電機を動かし電力を生成します。風のエネルギーがどれだけ電力生成に寄与するかは、風速の3乗に比例します。これは、風の運動エネルギーが質量と速度の二乗に比例し、質量が風速に比例するため、結果的に風のエネルギーは風速の3乗に比例するからです。

風車には主に2つのタイプがあり、水平軸型は風向に追尾する必要がありますが、大型化が可能です。一方、垂直軸型は風向に左右されないが、軸の長さや保持に課題があります。

3 実験の作業順序

3.1 太陽電池の特性実験

3.1.1 開放電圧および短絡電流の照度依存性試験

使用機器：太陽電池特性実験装置、照度計

実験手順：

1. 以下の設定に注意し、コンセントを電源に差し込みます。
2. 太陽電池を引き抜き、照度計のセンサ部を太陽電池が置かれていた部分に挿入し、セレクトスイッチを「設定」に変更した後、スイッチを ON にします。スライドトランスを調整して、照度が 200 Lux になるように調整します。
3. セレクトスイッチを「計測」に変更し、太陽電池を挿入してスイッチを ON にします。そのときの発生電圧を記録します。
4. 負荷抵抗を最小にして、太陽電池を挿入してスイッチを ON にしたときの発電電流を記録します。
5. 照度をパラメータにして繰り返します（200 Lux から 20,000 Lux まで）。

3.1.2 電流電圧 (I-V) 特性の実験

使用機器：太陽電池特性実験装置、照度計

実験手順：

1. 太陽電池を引き抜き、照度計のセンサ部を太陽電池を置く部分に挿入し、セレクトスイッチを「設定」に変更した後、スイッチを ON にします。スライドトランスを調整して、照度が 20,000 Lux になるように調整します。
2. 太陽電池を挿入し、セレクトスイッチを「計測」に変更します。そのとき、負荷抵抗を変化させたときの (100% から 0%)、発電電圧および発電電流を記録します。
3. 上記を照度を 2,000 Lux に変更して繰り返します。

3.1.3 太陽電池の直列および並列接続の実験

使用機器：工作用太陽電池（2 個）、照度計、デジタルマルチテスタ（2 台）

実験手順：

1. 太陽電池を引き抜き、照度計のセンサ部を太陽電池が置かれていた部分に挿入し、セレクトスイッチを「設定」に変更した後、スイッチを ON にします。スライドトランスを調整して、照度が 20,000 Lux になるように調整します。
2. 工作用太陽電池（1 つ）を受光面に置き、太陽電池に接続する抵抗を変化させながら、発電

電圧と発電電流をデジタルマルチテスタで記録します。

3. 工作用太陽電池を直列接続および並列接続にして、抵抗を変化させたときの発電電圧と発電電流をデジタルマルチテスタで記録します。

3.2 風力発電の特性実験

3.2.1 風速と回転性能試験

結線: 制御盤の電圧・電流端子に電圧計および電流計を接続する。

実験手順:

1. 電圧計・電流計を接続する。負荷スイッチを「負荷」にする。負荷抵抗を $100\ \Omega$ にする。
2. 「始動」ボタンを押す。
3. 風速調整ボリュームを徐々に回し、周波数が $5.0\ \text{Hz}$ になるように設定したときの風速・回転数・発電電圧・消費電流を記録する。
4. 周波数を $5.0\sim 50.0\ \text{Hz}$ まで変更して、各種データを記録する。このとき、風車が回転する周波数・風速を記録すること。
5. 風速調整ボリュームをゼロに戻し、「停止」ボタンを押した後、負荷抵抗を $20\ \Omega$ に変更して、上記 (2)～(5) の実験を繰り返す。
6. 風速調整ボリュームをゼロに戻し、「停止」ボタンを押して停止させる。

3.2.2 風速と発電特性の実験

実験手順:

1. 「始動」ボタンを押す。
2. 風速調整ボリュームを徐々に回し、周波数が $35\ \text{Hz}$ になるように設定したときの風速・回転数・発電電圧・消費電流を記録する。
3. 抵抗値を変化させて ($180\sim 10\ \Omega$)、各種データを記録する。
4. 周波数を $50\ \text{Hz}$ に変更して、上記 (3)・(4) の実験を繰り返す。
5. 風速調整ボリュームをゼロに戻し、「停止」ボタンを押して停止させる。

3.2.3 風速と充電特性の実験

結線: 制御盤内部アルミボックスに備え付けられた電圧・電流端子に電圧計および電流計を接続する。

実験手順:

1. 負荷スイッチを「バッテリー」にする。
2. 風速調整ボリュームを徐々に回し、周波数が $5.0\ \text{Hz}$ になるように設定したときの風速・回

転数・発電電圧・消費電流・充電電圧・充電電流を記録する。

3. 周波数を 10.0～60.0 Hz まで変更して、各種データを記録する。このとき、風車が回転する周波数・風速を記録すること。
4. 実験装置を停止させる。
5. 周囲を清掃して実験を終了する。

4 実験の結果

4.1 太陽電池の特性実験

4.1.1 開放電圧および短絡電流の照度依存性試験

このグラフは照度が 0 から約 7,500 lux までの範囲で増加すると、開放電圧も急速に増加することを示しています。照度が約 2,500lux を超えると、開放電圧はほぼ一定の値（約 18V）に飽和している。

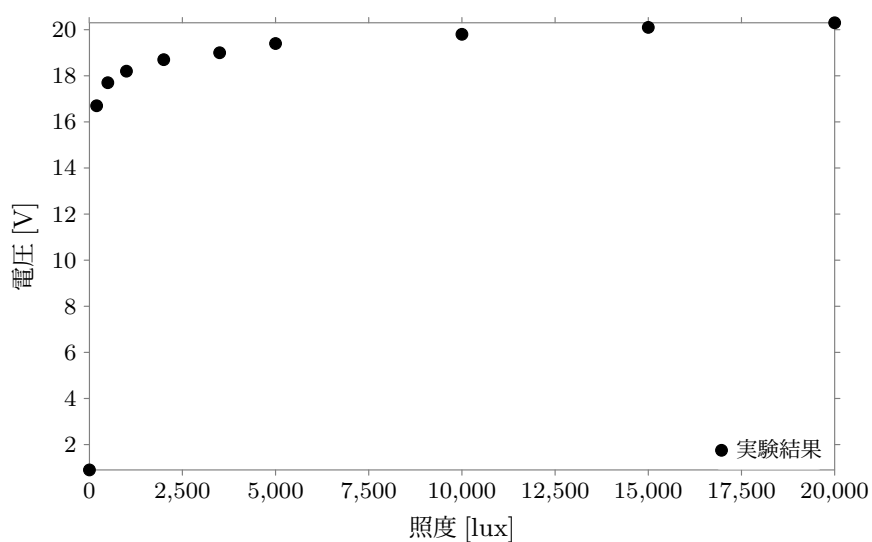


図1 開放電圧と照度の依存関係

照度 [lux]	電圧 [V]
7	0.9
200	16.7
500	17.7
1000	18.2
2000	18.7
3500	19
5000	19.4
10000	19.8
15000	20.1
20000	20.3

表1 開放電圧と照度の依存関係

グラフから、照度が増加するにつれて短絡電流も増加していることが確認できます。2,500lux から線形に推移していることがわかります。

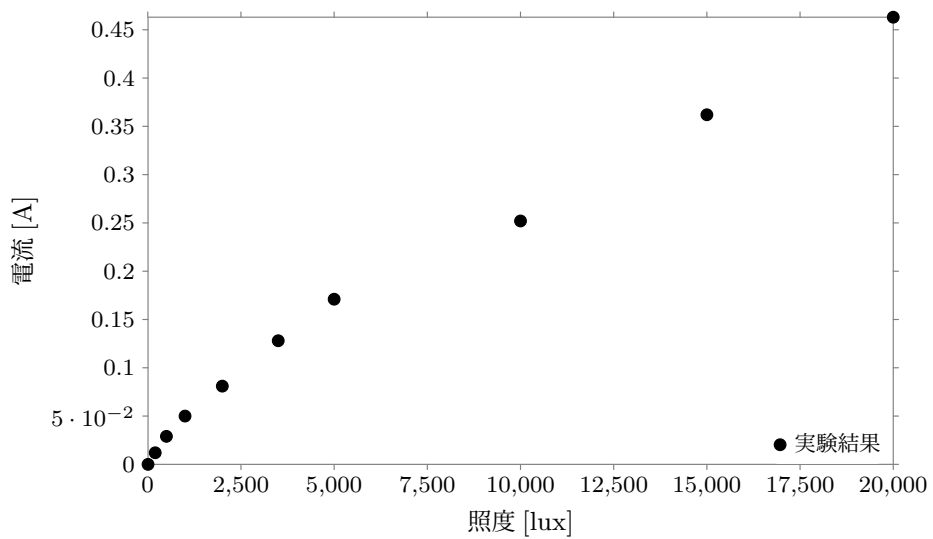


図2 短絡電流と照度の依存関係

照度 [lux]	電流 [A]
7	0
200	0.012
500	0.029
1000	0.05
2000	0.081
3500	0.128
5000	0.171
10000	0.252
15000	0.362
20000	0.463

表2 短絡電流と照度の依存関係

4.1.2 電流電圧 (I-V) 特性の実験

このグラフは電圧 (V) と電流 (I) の関係を示すものです。15V の電圧値まで電流は飽和しているが、その後急激に電流が減少することが確認できます。また 2 万 lux と 200lux を比較すると 2 万 lux の方が電流が 5 倍程度多いのがわかる。

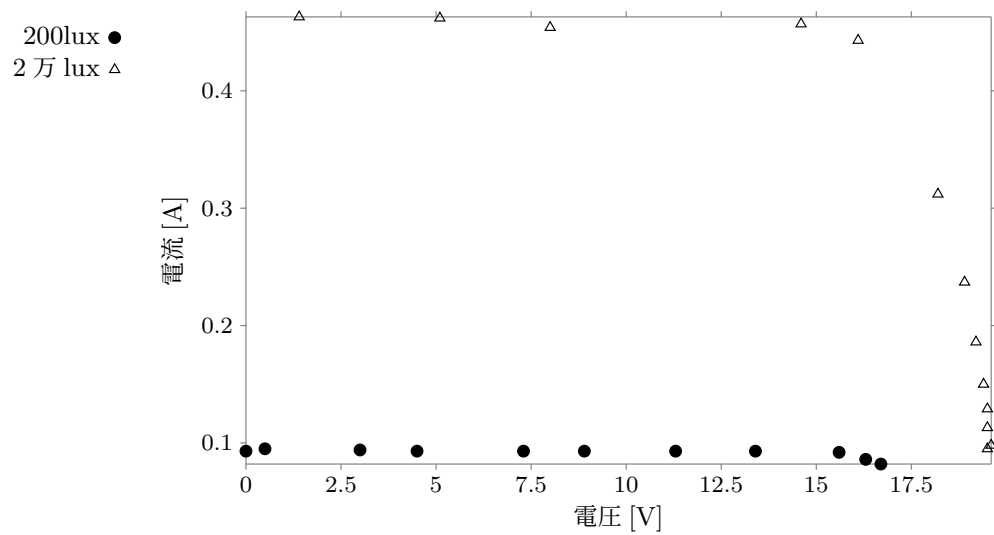


図3 I-V 特性グラフ

表3 I-V 特性データ

電圧 [V]	200lux の電流 [A]	2 万 lux の電流 [A]
0.0	0.093	-
0.5	0.095	-
3.0	0.094	-
4.5	0.093	-
7.3	0.093	-
8.9	0.093	-
11.3	0.093	-
13.4	0.093	-
15.6	0.092	-
16.3	0.086	-
16.7	0.082	-
1.4	-	0.463
5.1	-	0.462
8.0	-	0.454
14.6	-	0.457
16.1	-	0.443
18.2	-	0.312
18.9	-	0.237
19.2	-	0.186
19.4	-	0.150
19.5	-	0.129
19.5	-	0.113
19.6	-	0.098
19.5	-	0.095

このグラフは電力と電流の関係を示すものです。電力はある抵抗値のところまで上昇しその後減少することがこのグラフからわかる。

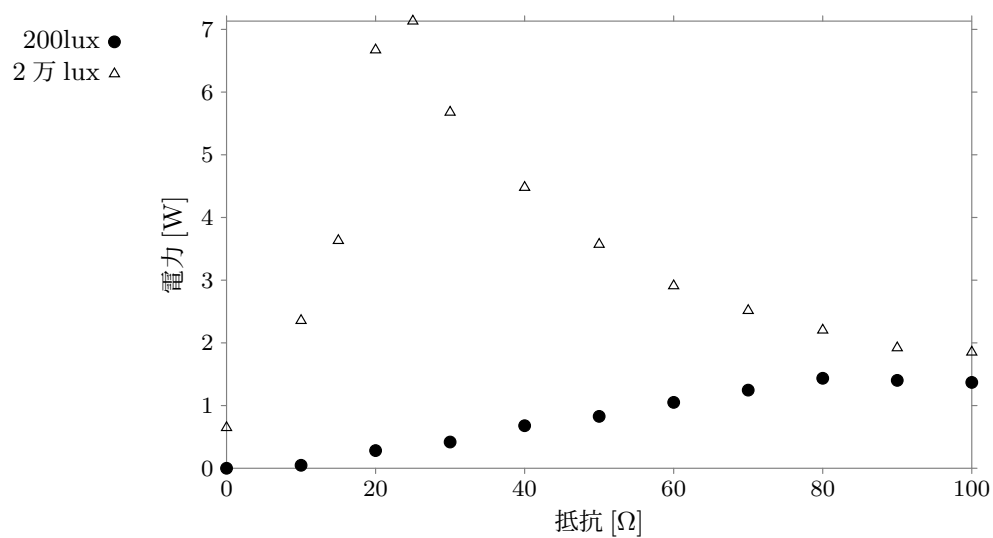


図4 P-R 特性グラフ

表4 P-R 特性データ

抵抗 [Ω]	200lux の電力 [W]	2 万 lux の電力 [W]
0	0.000	0.6482
10	0.0475	2.3562
15	-	3.6320
20	0.2820	6.6722
25	-	7.1323
30	0.4185	5.6784
40	0.6789	4.4793
50	0.8277	3.5712
60	1.0509	2.9100
70	1.2462	2.5155
80	1.4352	2.2035
90	1.4018	1.9208
100	1.3694	1.8525

4.1.3 太陽電池の直列および並列接続の実験

電圧が増加するにつれて電流も増加し、ある電圧でピークを迎えた後、電流が減少する特性を持っています。このピークは、それぞれの条件での最大電流を示しています。

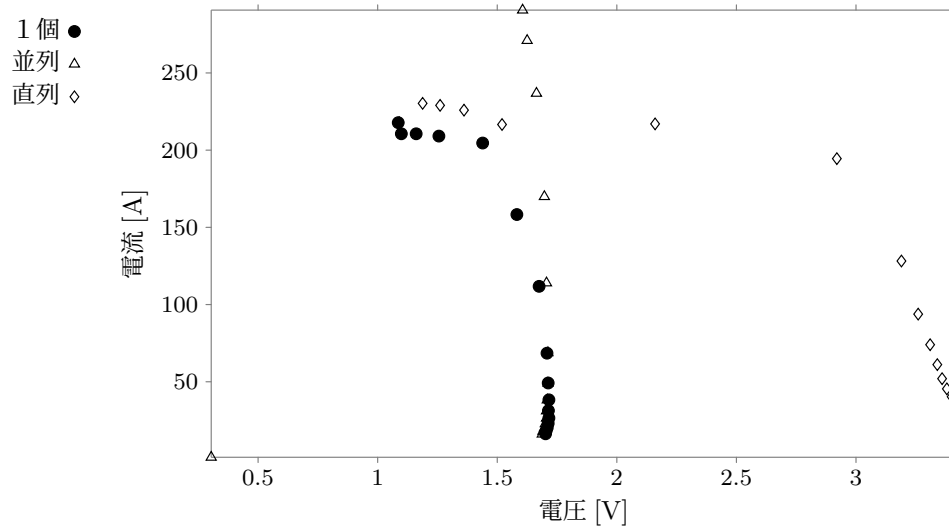


図5 I-V 特性グラフ

表5 I-V 特性データ

電圧 [V]	1 個の電流 [A]	並列の電流 [A]	直列の電流 [A]
1.086	217.8	-	217.8
1.099	210.6	-	230.3
1.161	210.6	-	229.0
1.256	209.1	-	225.9
1.439	204.6	-	216.6
1.582	158.3	-	217.0
1.675	111.8	-	194.5
1.708	68.5	-	128.2
1.713	49.2	-	93.8
1.716	38.3	-	74.0
1.714	31.3	-	61.1
1.716	26.5	-	52.0
1.713	23.0	-	45.4
1.709	20.2	-	40.3
1.704	18.0	-	36.2
1.702	16.3	-	32.7
0.304	-	1.099	-
1.606	-	290.7	-
1.625	-	271.0	-
1.664	-	236.8	-
1.697	-	169.9	-
1.706	-	114.0	-
1.712	-	68.8	-
1.712	-	49.1	-
1.709	-	38.2	-
1.706	-	31.1	-
1.706	-	26.4	-
1.701	-	22.8	-
1.697	-	20.0	-
1.691	-	17.9	-
1.688	-	16.1	-
1.09	-	-	217.8
1.188	-	-	230.3
1.261	-	-	229.0
1.361	-	-	225.9
1.52	-	10	216.6
2.16	-	-	217.0
2.92	-	-	194.5
3.19	-	-	128.2
3.26	-	-	93.8

抵抗が増加するにつれて電力が減少する傾向が示されています。このグラフは抵抗と電力の関係を示しています。

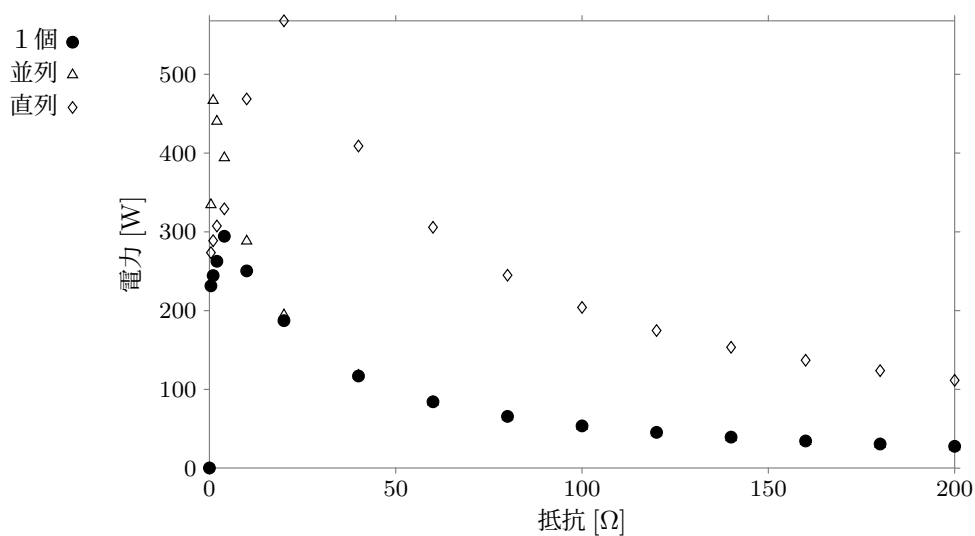


図6 P-R 特性グラフ

表6 抵抗と電力の関係

抵抗 [Ω]	1 個の電力 [W]	並列の電力 [W]	直列の電力 [W]
0	0.2365308	0.237402	0.2365308
0.4	231.4494	334.4257	273.5964
1	244.5066	466.8642	288.769
2	262.6296	440.375	307.4499
4	294.4194	394.0352	329.232
10	250.4306	288.3203	468.72
20	187.265	194.484	567.94
40	116.998	117.7856	408.958
60	84.2796	84.0592	305.788
80	65.7228	65.2838	244.94
100	53.6482	53.0566	204.074
120	45.474	45.0384	174.72
140	39.399	38.7828	153.452
160	34.5218	33.94	137.02
180	30.672	30.2689	123.804
200	27.7426	27.1768	111.507

4.2 風力発電の特性実験

4.2.1 風速と回転性能試験

このグラフは風速と電圧の関係を表しています。負荷抵抗に関わらず風速に対して電圧が線形に推移しています。

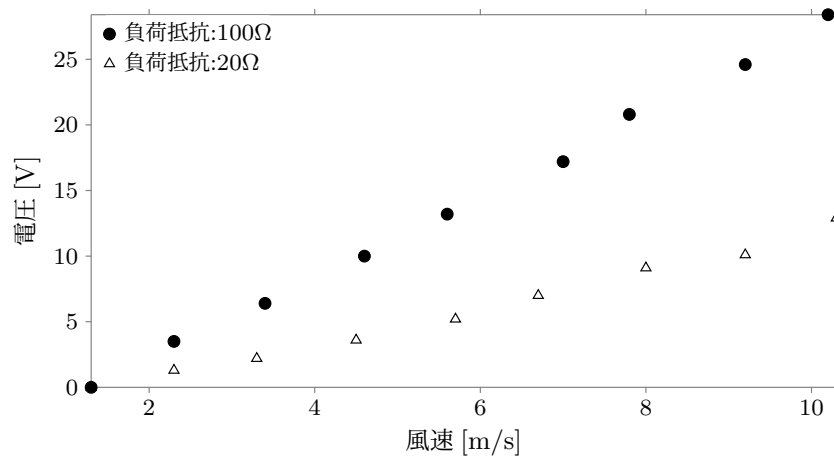


図7 風速と電圧の特性グラフ

表7 風速と電圧の特性データ

風速 [m/s]	負荷抵抗:100Ω の電圧 [V]	負荷抵抗:20Ω の電圧 [V]
1.3	0	0
2.3	3.5	1.3
3.4	6.4	2.2
4.6	10	3.6
5.6	13.2	5.2
7.0	17.2	7
7.8	20.8	9.1
9.2	24.6	10.1
10.2	28.4	12.9

このグラフは風速と電流の関係を表しています。負荷抵抗に関わらず風速に対して電流が線形に推移しています。

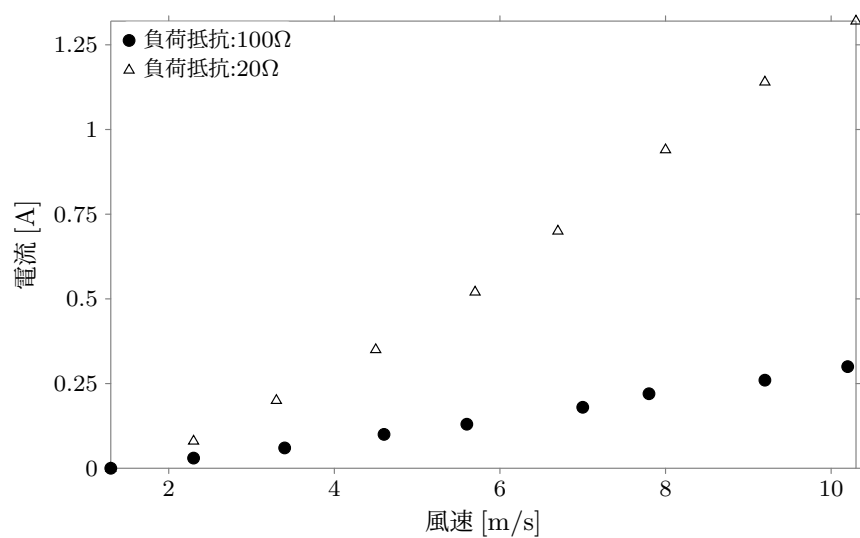


図8 風速と電流特性グラフ

表8 風速と電流の特性データ

風速 [m/s]	負荷抵抗:100Ω の電流 [A]	負荷抵抗:20Ω の電流 [A]
1.3	0	0
2.3	0.03	0.08
3.4	0.06	0.2
4.6	0.1	0.35
5.6	0.13	0.52
7.0	0.18	0.7
7.8	0.22	0.94
9.2	0.26	1.14
10.2	0.3	1.32

このグラフは風速と電力の関係を表しています。負荷抵抗に関わらず風速に対して電力が X^n の形になることがわかります。

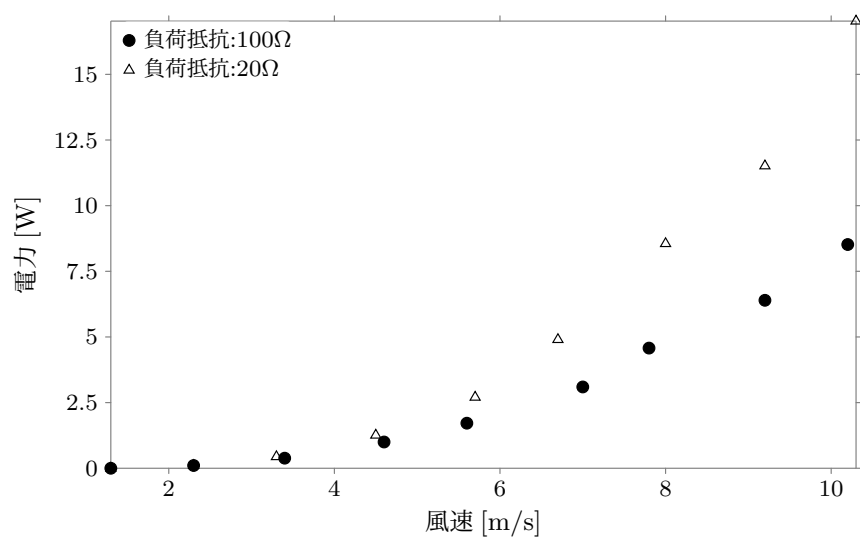


図9 風速と電力の特性グラフ

表9 風速と電力の特性データ

風速 [m/s]	負荷抵抗:100Ω の電力 [W]	負荷抵抗:20Ω の電力 [W]
1.3	0	0
2.3	0.105	0.104
3.4	0.384	0.44
4.6	1	1.26
5.6	1.716	2.704
7.0	3.096	4.9
7.8	4.576	8.554
9.2	6.396	11.514
10.2	8.52	17.028

4.2.2 風速と発電特性の実験

このグラフは負荷抵抗と発電電力の関係を風の強さ別に表したグラフです。30% 付近で電力が最大となりその後減少していきます。

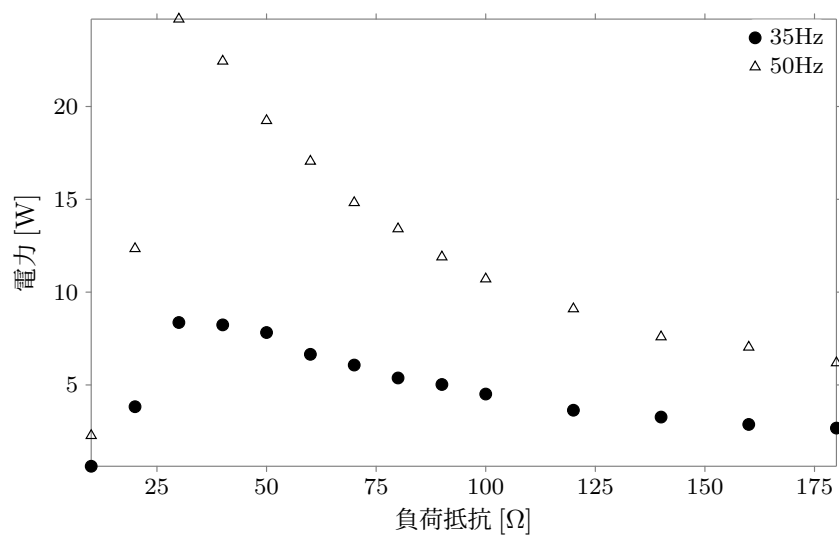


図10 風速と発電特性の特性グラフ

表10 負荷抵抗と電力の特性データ

負荷抵抗 [Ω]	35Hz の電力 [W]	50Hz の電力 [W]
10	0.62	2.272
20	3.828	12.342
30	8.364	24.708
40	8.236	22.442
50	7.824	19.24
60	6.65	17.05
70	6.072	14.82
80	5.376	13.41
90	5.025	11.895
100	4.51	10.71
120	3.638	9.1
140	3.27	7.59
160	2.873	7.035
180	2.676	6.192

4.2.3 風速と充電特性の実験

発電電圧と充電電圧の特性を表したグラフです。

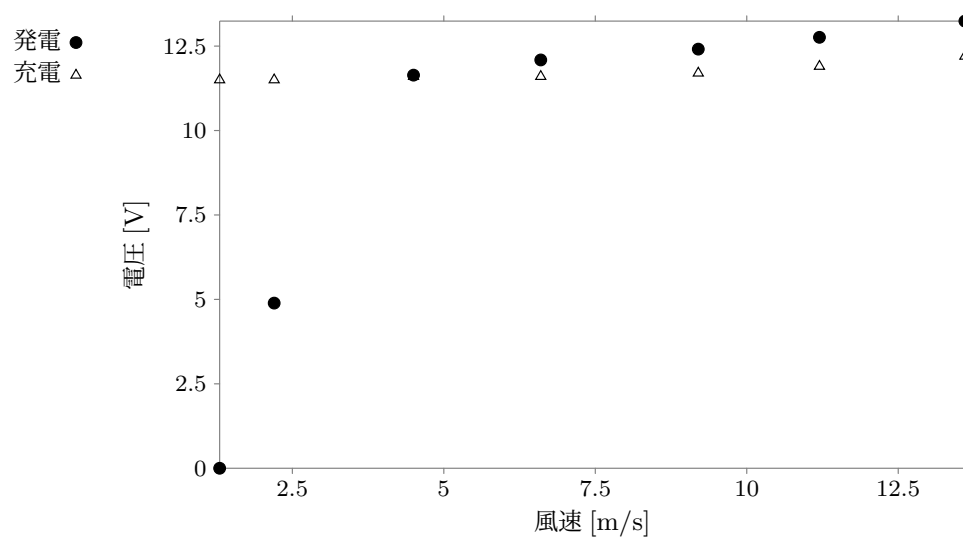


図11 発電電圧と充電電圧の特性グラフ

表11 発電電圧と充電電圧の特性データ

風速 [m/s]	発電電圧 [V]	充電電圧 [V]
1.3	0	11.5
2.2	4.89	11.5
4.5	11.64	11.6
6.6	12.09	11.6
9.2	12.41	11.7
11.2	12.76	11.9
13.6	13.24	12.2

発電電流と充電電流の特性を表したグラフです。

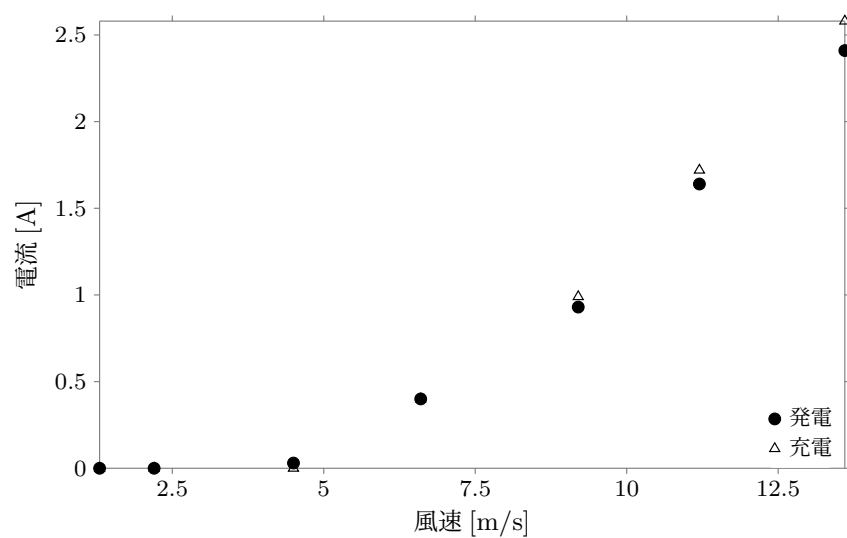


図12 発電電流と充電電流の特性グラフ

表12 発電電流と充電電流の特性データ

風速 [m/s]	発電電流 [A]	充電電流 [A]
1.3	0	0
2.2	0	0
4.5	0.03	0
6.6	0.4	0.4
9.2	0.93	0.99
11.2	1.64	1.72
13.6	2.41	2.58

発電電力と充電電力の特性を表したグラフです。

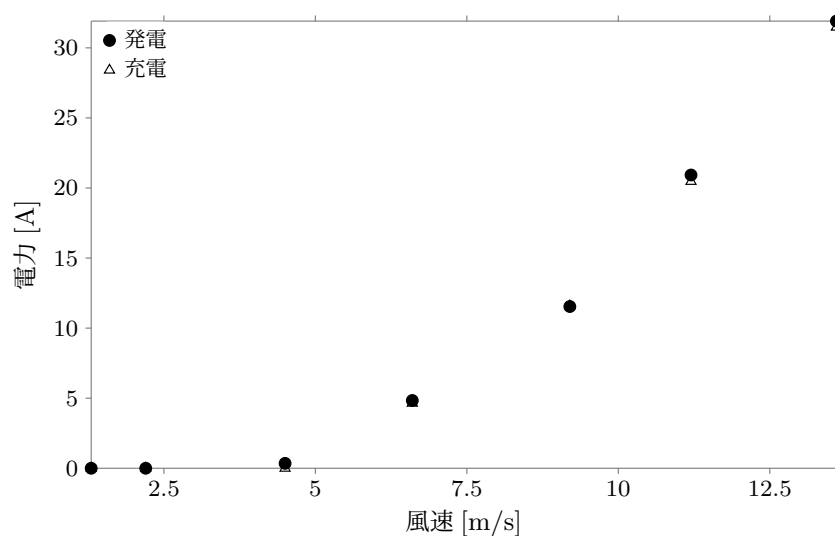


図13 発電電力と充電電力の特性グラフ

表13 発電電力と充電電力の特性データ

風速 [m/s]	発電電力 [A]	充電電力 [A]
1.3	0	0
2.2	0	0
4.5	0.3492	0
6.6	4.836	4.64
9.2	11.5413	11.583
11.2	20.9264	20.468
13.6	31.9084	31.476

5 実験の考察およびまとめ

5.1 太陽電池の特性実験

5.1.1 開放電圧および短絡電流の照度依存性試験

実験から、照度と開放電圧、短絡電流の間に明確な依存関係が存在することが確認されました。具体的には、開放電圧に関しては、半導体を持つ特定の閾値照度を超えると、その電圧は急激に上昇し、18V 程度に安定する特性が観測されました。この挙動は半導体の特性として、一定のエネルギー（照度）を超えると電子が励起されやすくなり、それに伴い電圧が急激に上昇することを示していると考えられます。そして、その電圧が一定の値で安定するのは、励起される電子の数が飽和するためと推測されます。

一方、短絡電流に関しては、照度の増加に伴い、直線的に増加する傾向が確認されました。これ

は、照度が高まるにつれて、半導体に入射する光子の数が増加し、それに伴って励起される電子の数が増えることを示唆しています。その結果、電流が比例的に増加することが確認されたのです。

5.1.2 電流電圧 (I-V) 特性の実験

15V までの電圧値では、電流はほとんど変化していないとのことです。これは、太陽電池がその電圧範囲内で定電流モードで動作していることを示唆しています。しかし、15V を超えると急激に電流が減少する現象は、太陽電池の飽和領域に達したことを意味しています。

電力が特定の抵抗値まで上昇し、その後減少することが観測されたということは、太陽電池が最大電力点 (MPP: Maximum Power Point) を持っていることを示しています。MPP は太陽電池が最大の出力を提供できる点を指します。

5.1.3 太陽電池の直列および並列接続の実験

太陽電池を並列接続すると、各太陽電池の電流が合算されるため、電流がおおよそ 2 倍に増加します。しかし、並列接続の際、各太陽電池からの電圧はそのまま出力となるので、電圧の変化は見られません。一方、太陽電池を直列接続すると、各太陽電池の電圧が合算される結果、出力電圧が倍増します。しかし、直列接続された回路内では流れる電流は一定のため、電流は太陽電池の数に関わらず変わらないことが確認されます。

5.2 風力発電の特性実験

5.2.1 風速と回転性能試験

風力発電は風の運動エネルギーを電気エネルギーに変換する技術で、風速の増加は電圧と電流に線形の影響を与えます。しかし、電力と風速の関係は特定の X_n の形を取ることが実験で確認され、これは風のエネルギーが風速の 3 乗に比例する特性を反映していると考えられます。

5.2.2 風速と発電特性の実験

実験の結果から、風力発電の特性において、特定の負荷抵抗で発電電力が最大となる点、すなわち Maximum Power Point (MPP) が存在することが確認されました。この MPP は風の強さによって変動するため、風力発電の効率を最大化するには、この点を継続的に追跡し最適化する必要があることが示唆されます。

5.2.3 風速と充電特性の実験

風力発電の特性実験では、バッテリーの充電が開始するまでの電圧が低いこと、発電電流と充電電流、発電電力と充電電力の特性がほぼ一致していることが確認されました。これは、風力発電システムの効率が高く、生成された電力の大部分が充電に利用されていることを示しています。

5.3 事前課題

太陽電池では、光エネルギーが電気エネルギーに変換されます。これは、p 型と n 型の半導体が接合された場所で起こり、太陽光によって電子が励起され、起電力が生じます。一方、風力発電の発電量は風速の 3 乗に比例し、ローターの半径の 2 乗にも影響されます。風速が 2 倍になると発電量は 8 倍になりますが、実際の発電量は風車の設計や効率によっても変わります。

5.4 まとめ

太陽電池は、光起電力効果を用いて電力を生成し、特に単結晶と多結晶シリコン型を本実験で使用しました。一方、風力発電は風の運動エネルギーを電気に変換する技術で、風速の 3 乗に比例してエネルギーが生成されることが確認されました。さらに、風力発電の詳細実験では、風速と発電量の関係や、最大発電電力点（MPP）の存在、および電力の効率的な充電特性が確認されました。