

オオカナダモ電池への挑戦Ⅱ ～その応用と発展～

千葉市立稲毛高等学校附属中学校

2年

稲川 翔子

1. 研究の概要

昨年度光合成－呼吸オオカナダモ電池では、アルミ－銅電極において安定した起電力を得られることを発見した。また、オオカナダモが活性化し、元気であれば長時間連続して、発電することも確認した。今年度は、以下のような実験を行った。

①水だけでの起電力が最も大きい電極の組み合わせであるMg－炭素電極を、10%濃度の食塩水に入れて電池にする。セパレーターの無いマグネシウム空気電池ではあるが、2個直列で4.0V－14mAの起電力があった。LEDが点灯し、太陽電池用プロペラモーターが回った。

②光合成－呼吸オオカナダモ電池は、水から出発して、白色蛍光灯で3時間光を当てると、1.20Vの起電力に達することがわかった。

③純水にいろいろな金属の組み合わせの電極を入れて、水だけの状態での起電力を調べると、マグネシウム－炭素電極の組み合わせが1.05Vで最大であった。また、Mgリボンではなく、比較的安価であるMg合金(AZ-31)でも代用できることがわかった。

④光合成－呼吸オオカナダモ電池のアルミニウム電極(陰極)の表面の黒色の被膜について調べると、アルミニウム電極の黒色の被膜は、水酸化アルミニウムが水の中のいろいろなイオンと結びついたものであることがわかった。

⑤オオカナダモの体の特徴を調べると、オオカナダモには気孔が無いことと、出来た酸素を外に出す孔が茎にあることがわかった。

⑥オオカナダモの原形質流動はどのような時に起きるかを調べると、オオカナダモの原形質流動は、光合成が最も働いた時に起こるもので、いつでも原形質流動はしているわけではないことがわかった。

⑦オオカナダモ電池の光合成が盛んに行われると起電力が増加することを応用して、光の色と光合成の関係について調べた。オオカナダモでは、自然光が最も光合成が盛んになり、2番目が白色蛍光灯であった。LED電球を用いて色を変えて実験をすると、白色、青色、ピンク色、黄色の順で光合成が強くなる結果を得た。また、緑色、紫外線では、光合成は弱くなる結果を得た。したがって、オオカナダモ電池は、リアルタイムで光合成の強さを調べることができることがわかった。

⑧オオカナダモ以外の水草について、オオカナダモと同様な光合成能力があるのかを調べた。オオカナダモはかなり特殊な水草で、光合成能力が非常に高いことがわかった。また、24時間のオオカナダモの朝・昼・夜の光合成のリズムを調べた。

⑨マグネシウム合金(AZ-31)を電極に使用すれば、オオカナダモは電解質水溶液を作り出す役目をして、長時間、マグネシウム空気電池程度の電圧を得られるのではないかと考え、新しい電池を製作した。Mg-オオカナダモ電池として、Mg合金-炭素電極を用いれば、2個直列の電池で、1.75V-0.5mAの高い起電力が得られた。また、コンデンサーを並列に入れば、電気を貯めて、赤色LEDが、長時間点灯できる。さらに、Mg合金は腐食にも強く、1ヶ月以上発電し続ける。

2. 研究の動機

昨年光合成-呼吸オオカナダモ電池で、電子オルゴールが勢い良く音が鳴った時には、叫びたいくらいの大きな感動があった。今年度は、さらに光合成-呼吸オオカナダモ電池が何かに応用できないか、さらに発展させて、起電力を大きくする方法を考えて、研究を進めた。そのためには、オオカナダモ自体の特徴を、文献やインターネットでの検索にとどまらず、実際のオオカナダモを顕微鏡などで観察して、自分なりの発見をしようと考えた。光合成-呼吸オオカナダモ電池は、電流が弱く、地球を救う電池には成り得ない。しかし、オオカナダモが元気に光合成をしている限りは、ずっと発電する。生物の働きとイオンの働きをドッキングした画期的な電池である。植物の光合成と呼吸の働きを身近に感じられる生物学の教材として、また電池のしくみを身近に体験できる化学の教材としての価値は、大きいと考える。今年度もひとつひとつ、ていねいに研究を進めることにした。研究をすすめながら、何かを発見できれば幸いである。

3. 研究の方法

課題 1. LEDを点灯できる電池を作るにはどうしたらよいか。

(仮説 1) イオン化傾向の差が大きいMg-炭素電極を、10%濃度の食塩水に入れれば、かなり起電力の大きい電池になるのではないか。また、2個直列にすれば、さらに大きな起電力を生じ、LEDが点灯するのではないか。

(実験 1-1) Mgリボン(-極)と炭素電極(+極)を10%濃度の食塩水がはいったガラス容器に入れる。次に、プラスとマイナスの導線をテスターにつなげて、起電力を計り、電流計で電流値(mA)を計る。電子オルゴールにつなげて、音が鳴るかを確かめる。さらに太陽電池用プロペラモーターにつなげて回るかどうかを調べる。

(実験 1-2) Mg-炭素電極・NaCl電池を2個直列にして、LEDが点灯するかどうかを確かめる。

課題 2. 光合成-呼吸オオカナダモ電池を、最初から作るにはどうしたら良いか、その作り方を明らかにする。また電子オルゴールの他に動くデバイスはないのか。

(仮説 2) 光合成-呼吸オオカナダモ電池では、中に入れるオオカナダモが最大に活性化していれば、長時間以上電子オルゴールを鳴らすことができるのではないかと。

(実験 2-1) あらかじめオオカナダモに十分に光合成をさせ、 $pH=11.0$ になった水と、純水に呼気(二酸化炭素)を十分に吹き込み、 $pH=5.0$ にした水を用意する。ダニエル電池装置(NaRiKa B10-2040)のガラスの円筒にオオカナダモを入れる。素焼きの容器の中にもオオカナダモを入れる。ガラスの容器には $pH=11.0$ の水を入れ、素焼きの容器には、 $pH=5.0$ の水を入れる。ガラス容器の中に、アルミニウム板(一極)素焼き容器の中には、銅板(+極)を入れる。蛍光灯の光に当てながら、プラスとマイナスの導線をテスターにつなげて、起電力を計り、電子オルゴールとマイクロアンペア計につなげて電流値(μA)を計る。電子オルゴールがどのくらい継続して音が鳴るか時間を計る。

(実験 2-2) 次に、全く同様の実験装置で、中に入れる水をガラス容器と素焼き容器とも純水($pH=7.0$)を入れて、蛍光灯の光に当てて、どのくらいの時間で、前の光合成-呼吸オオカナダモ電池と同様の電圧になるか、15分おきに電圧の値を計る。最終的に電圧 1.2 V、 $pH=11.0$ になるのは、何時間後になるのかを調べる。

(実験 2-3) 1.5Vで動く電卓の電池を取り除き、光合成-呼吸オオカナダモ電池につなげて動くかどうか確かめる。

課題 3. 純水だけでも、2種類の金属電極板を入れれば、起電力を生じることが、昨年の研究からわかっていた。どの電極板の組み合わせが最も起電力が大きいのかを調べる。これによって、光合成-呼吸オオカナダモ電池が、オオカナダモの光合成によって生じる起電力が、金属板のイオン化傾向の差によって生じる起電力の上に付加されて、電子オルゴールを勢い良く鳴らすことができる 1.2Vの電圧になることが確かめられる。

(仮説 3) マグネシウム(一極)・炭素電極(+極)の組み合わせが、最もイオン化傾向の差が大きく、起電力が大きくなるであろう。

(実験 3) ダニエル電池装置(NaRiKa B10-2040)の、ガラスの円筒と素焼き容器に純水($pH=7.0$)を入れる。一極には、新しいアルミニウム板($0.2 \times 45 \times 150$)と表面に黒色の被膜が付いた電極として使用したアルミニウム板とマグネシウムリボン(30cm)。+極は、銅板($0.1 \times 45 \times 150$)と炭素電極(NaRiKa B10-2050-09)と銀板($0.3 \times 15 \times 20$)を使用し、いろいろな組み合わせで電極にする。プラスとマイナスの導線をテスターにつなげて、起電力を計る。最後にマグネシウム合金(AZ-31)と炭素電極の間の起電力を計る。

課題 4. 光合成－呼吸オオカナダモ電池を 48 時間使うと、一極のアルミニウム板の表面が銀色に輝く部分と、広く黒色の被膜のようなものに覆われるものに変化する。黒色になった部分は、電極としての働きを妨げるわけではなく、むしろ起電力をわずかに大きくしている。この黒色の被膜のようなものは何なのか。

(仮説 4) 光合成－呼吸オオカナダモ電池を 48 時間使うと一極のアルミニウム板の周辺に白い結晶(水酸化アルミニウム)が出来てくる。アルミニウムの性質は複雑なので、この水酸化アルミニウムと水の中のその他のミネラル(カルシウムイオン、マグネシウムイオンなど)が化合して、複雑な化合物をつくり黒色のサビのように見えるのではないか。

(実験 4) 光合成－呼吸オオカナダモ電池を、48 時間電子オルゴールを鳴らして、アルミニウム板の変化を調べる。

課題 5. オオカナダモの葉や茎の特徴は何か。オオカナダモに気孔はあるのか、茎に維管束はあるのか。酸素はどうやって葉から外に出されるのか。

(仮説 5) オオカナダモの葉に気孔と葉脈はなく、光合成で作られた酸素は、細胞膜と細胞壁の間を通過して、直接茎の孔(ハスのような孔があいているのではないか)を通過して、外に出るのではないか。

(実験 5) 光合成を盛んにしている状態のオオカナダモの葉を顕微鏡観察し、原形質流動や酸素の移動がないか調べる。また、茎の断面を観察し、そのしくみを明らかにする。

課題 6. オオカナダモの葉の細胞の原形質流動は、いつでも起こっているわけではない。どのようなしくみで原形質流動が起こるのか、実際のオオカナダモの観察から明らかにする。

(仮説 6) オオカナダモが、最も光合成を活発にしている状態(pH=10.5 以上の時)に、酸素を外に出したり、イオンの移動などをしたりして、激しい原形質流動が起こるのではないか。

(実験 6) オオカナダモの葉に光を当てる始めである、水(pH=7.0)の時と、光に 4 時間以上当てて、水(pH=10.5)になった時のオオカナダモの葉の細胞の原形質流動の違いを顕微鏡観察から調べる。また、光合成を盛んにしたオオカナダモの葉を 5℃の水に入れて、水温を徐々に上げる。光合成の働きの強さを、オオカナダモ電池の電圧の大きさによって調べる。オオカナダモの葉の細胞の原形質流動が、水温と関係があるかを調べる。

《オオカナダモ電池を応用して、光の色と光合成の関係を調べる》

課題 7. オオカナダモ電池の光合成が盛んに行われると起電力が増加することを応用して、光の色と光合成の関係について調べる。

(仮説 7) 文部科学省のホームページにある「光と植物—植物工場」には、赤色と青色の光が植物の光合成には有効であるとあった。対象の植物は水草のオオカナダモではあるが、同様の結果が得られるのではないか。

(実験 7) 今回は、KENIS 社のデータロガー(サイエンスキューブ)と電圧センサー、温度センサー、pHセンサーを用意し、実験に臨む。オオカナダモ電池に、純水を入れて水温を計る。次の9種類の光源を用意し、5分おきに4時間電圧を測定する。①自然光②白色蛍光灯③LEDランプ(白色)④LEDランプ(濃赤色)⑤LEDランプ(桃色)⑥LEDランプ(青色)⑦LEDランプ(緑色)⑧LEDランプ(黄色)⑨紫外線ランプ、最後に⑩対照実験として、電池にオオカナダモを入れず水だけにして、白色蛍光灯に当てるものを用意する。また、実験の前に、それぞれ照度計で照度を計っておく。

課題 8. オオカナダモ以外の水草について、オオカナダモと同様に電池が作れるのか。

(仮説 8) オオカナダモと同じ水中で生活する水草の中で、水中にある炭酸水素イオンを使って、水を塩基性(B. T. B液青色)にするものは、電池になるであろう。

(実験 8-1) 市販されているオオカナダモ、カボンバ、オオフサモ、ホテイアオイの4種類の水草を用意し、それぞれ光合成—呼吸オオカナダモ電池の装置の中に入れて、5分おきに4時間白色蛍光灯の光に当てて、光合成をさせる。電圧とpHとを測定し、4つのデータを比較する。

(実験 8-2) オオカナダモについて、10分おきに24時間、外に出し放しにして、気温と電圧とpHとを測定し、朝・昼・夜のオオカナダモの光合成のリズムを調べる。

《Mg合金を電極にして、より高い起電力と安定した動作をする電池を作る》

課題 9. マグネシウム空気電池を応用し、より安価なMg合金と炭素電極を使って、マグネシウムの腐食や溶解が激しい食塩水の代わりに、オオカナダモと水を入れて、光合成をさせ、電解液の代わりにして、1.2V以上の起電力がある電池を作る。

(仮説 9) Mg合金(AZ-31)は、加工もしやすく板状になっているので、電極用として表面積を確保できる。Mgリボンは、純度が高いが、反応性が激しくて腐食し、表面に水素の気泡が付きやすい。Mg合金と炭素電極を電極とし、電解質として、オオカナダモと水を入れて、光合成をさせれば、弱いながらも安定して電解質を確保出来て、1.2V以上の起電力のある電池になるのではないかと。また、LEDも点灯出来るのではないかと。

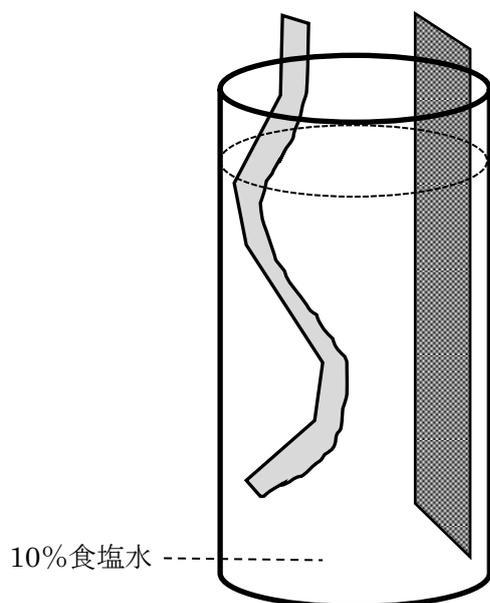
(実験 9) ダニエル電池装置(NaRiKa B10-2040)のガラスの円筒にオオカナダモと純水を入れる。Mg合金(AZ-31:1×40×150)と炭素電極(10×40×150)を入れる。また、負荷として電子オルゴールを直列につなげておく。白色蛍光灯の光に当てて、テスターで、電圧と電流を計る。次に、同様の電池をもう1つ作り、2個直列にして、直列部分に1Fのコンデンサーと赤色LEDを並列につなぐ。こうして、電気を貯めながら、LEDを継続して点灯させる。2個直列の電池についても、テスターで、電圧と電流を計る。最後に、対照実験として、オオカナダモを入れず、純水だけの電池にして、電圧と電流を計る。

4. 結果

(実験 1-1)

マグネシウムリボン(一極)と炭素電極(+極)を10%濃度の食塩水がはいったガラス容器に入れる。次に、プラスとマイナスの導線をテスターにつなげて、起電力を計り、電流計で電流値(mA)を計る。電子オルゴールにつなげて、音が鳴るかを確認する。さらに太陽電池用プロペラモーターにつなげて回るかどうかを調べる。また、10分間1Fコンデンサーに電気をためて、太陽電池プロペラモーターが何秒回るかを調べる。

マグネシウムリボン(陰極) 炭素電極(陽極)



ガラスの容器

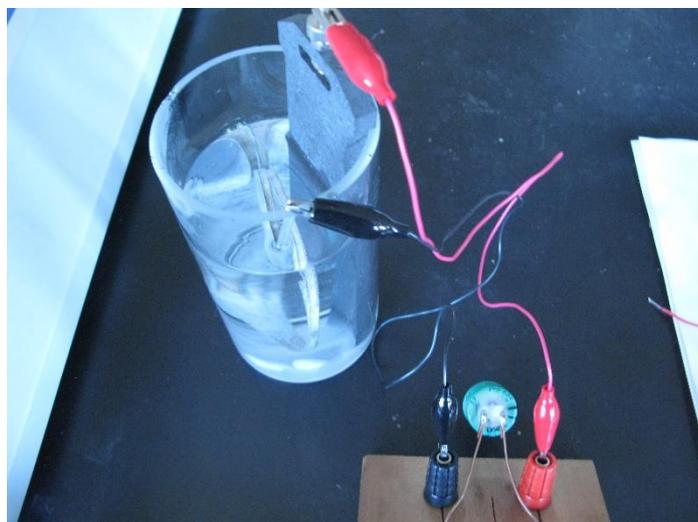


写真 1: 実際の装置の写真

(データ)

回	1
起電力(V)	2.05
電流 (mA)	20

結果 起電力は、最大 2.05V、電流は、20mA。

電子オルゴールは、大きな音で鳴る。太陽電池用プロペラモーターも勢い良く回る。LEDは点灯しない。10分間1Fコンデンサーに電気を貯めて、太陽プロペラモーターにつないだら、58秒間回り続けた。

10分間で貯めた電気量は、 $0.02\text{A} \times 58\text{秒} = 1.16\text{C}$ (クーロン)

一極では、マグネシウムが溶けて水素の泡が盛んに発生する。

マグネシウムが手に入れにくいことと、マグネシウムが最後にはなくなってしまう欠点がある。今まで作った電池の中で、最も起電力が大きい。

(実験 1-2)

Mg-C・NaCl 電池を 2 個直列にして、LED が点灯するかどうか確かめる。

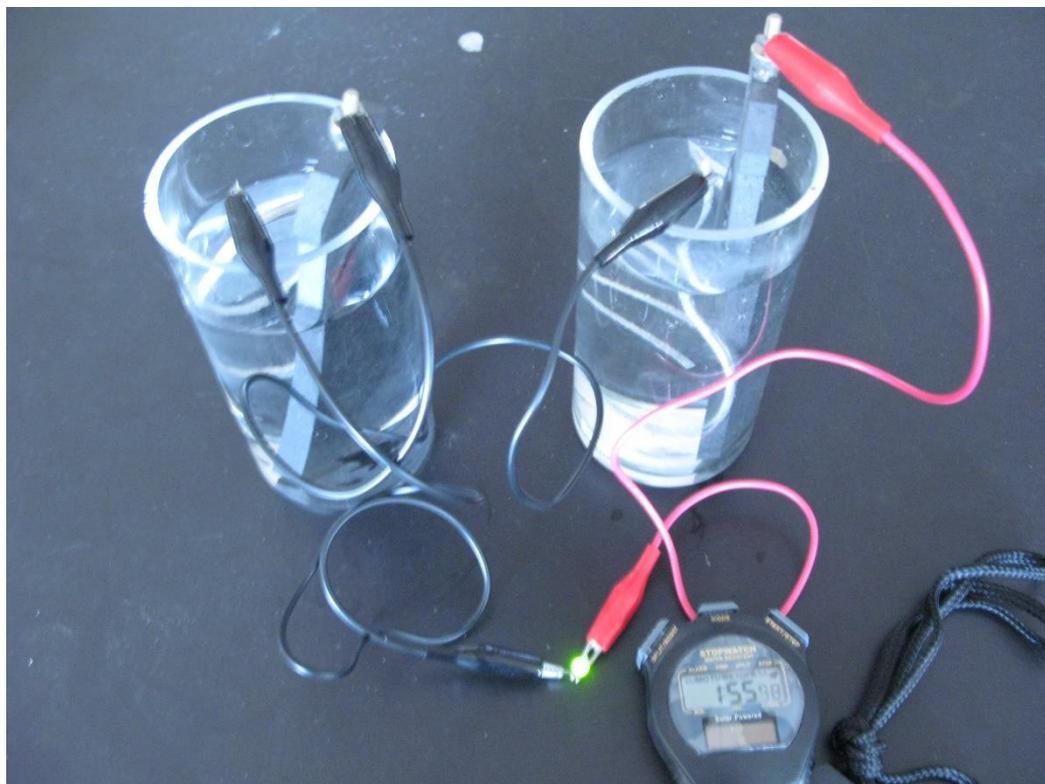


写真 2 : 電池を 2 直列にして、緑色の LED が点灯している様子。

(データ)

2 個直列	1 回
起電力 (V)	4.0
電流 (mA)	14

結果 2 直列で起電力は、4.0V、電流は、14mA。

今まで作った電池で、2 個直列ではあるが、初めて LED が点灯した。

実際に、マグネシウム空気電池として既に発売されているが、十分電圧・電流とも高く、実用に耐えうる。

ただし、24 時間連続して発電させ続けると、Mg リボンの腐食と発生する水素による分極が進み、電圧が 1.0V に降下した。

(実験 2-1)

あらかじめ作り置きしていたオオカナダモが十分に光合成をして pH=11.0 になった水(写真 3 参照)と、純水に呼気(二酸化炭素)を十分に吹き込み、pH=5.0 にした水を用意する。ダニエル電池装置(NaRiKa B10-2040)の中に、ガラスの円筒にオオカナダモを入れる。素焼きの容器の中にもオオカナダモ入れる。ガラスの容器には pH=11.0 の水を入れ、素焼きの容器には、pH=5.0 の水を入れる。ガラス容器の中に、アルミニウム板(一極)を入れ、素焼き容器の中には、銅板(+極)を入れる。蛍光灯の光に当てながら、プラスとマイナスの導線をテスターにつなげて、起電力を計り、電子オルゴールとマイクロアンペア計につなげて電流値(μA)を計る。電子オルゴールがどのくらい継続して音が鳴るか時間を計る。

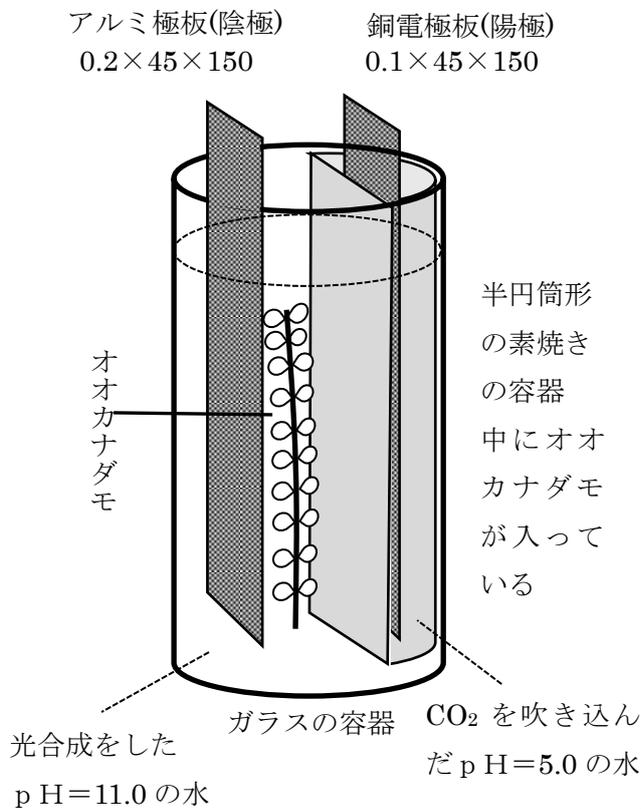


写真 3 : オオカナダモに光合成をさせ pH=11.0 の水を作っている様子

(データ)

回	1
起電力(V)	1.20
電流(μA)	100

結果 電子オルゴールは勢い良く音が鳴る。2時間、そのまま音が鳴り続けた。オオカナダモが十分に活性化していれば、48 時間以上継続する。

(実験 2-2)

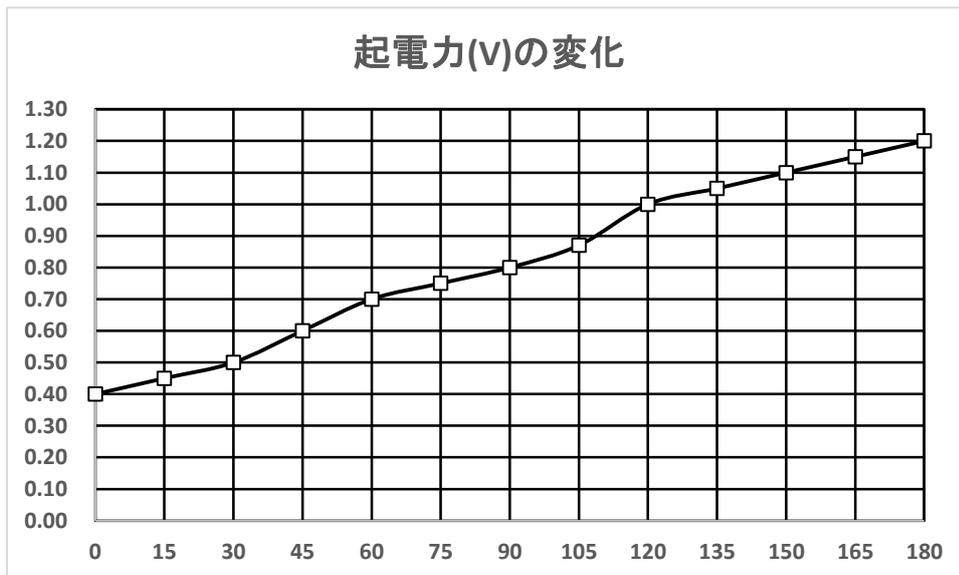
全く同様の実験装置で、中に入れる水をガラス容器と素焼き容器とも純水(pH=7.0)を入れて、蛍光灯の光に当てて、どのくらいの時間で、前の光合成-呼吸オオカナダモ電池と同様の電圧になるか、15分おきに電圧の値を計る。最終的に電圧1.2V、pH=11.0になるのは、何時間後になるのかを調べる。

(データ)

純水から出発した光合成-呼吸オオカナダモ電池の起電力とpH変化

時間(分)	0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150
起電力(V)	1.15	1.15	1.15	1.20	1.15	1.20	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15
pH	7.0	7.5	8.0	8.5	9.0	9.5	10.0	10.3	10.5	10.7	10.9

時間(分)	165	180	最大
起電力(V)	1.15	1.20	1.20
pH	11.0	11.2	11.2



結果 純水(pH=7.0)から出発すると、約3時間、蛍光灯の光に当てて、十分な発電ができる。

しかし、あくまでもオオカナダモは植物なので、すべてこの結果になるとは言い切れない。十分に元気なオオカナダモを使った場合の結果と言える。

(実験 2-3) 1.5Vで動く電卓の電池を取り除き、光合成-呼吸オオカナダモ電池につなげて動くかどうか確かめる。

結果

電卓は安定して動作した。ON・OFFもきちんと動作する。

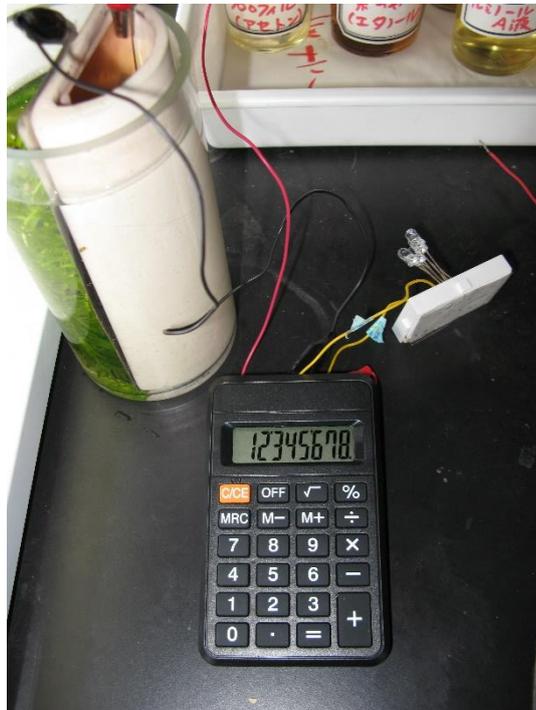


写真 4 : 光合成-呼吸オオカナダモ電池に電卓をつなげて、動作している様子。

(実験 3)

ダニエル電池装置 (NaRiKa B10-2040) の、ガラスの円筒と素焼き容器に純水 (pH=7.0) を入れる。一極には、新しいアルミニウム板 (0.2×45×150) と表面に黒色の被膜が付いた電極として使用したアルミニウム板とマグネシウムリボン (30cm)。+極は、銅板 (0.1×45×150) と炭素電極 (NaRiKa B10-2050-09) と銀板 (0.3×15×20) を使用し、いろいろな組み合わせで電極にする。プラスとマイナスの導線をテスターにつなげて、起電力を計る。最後にマグネシウム合金 (AZ-31) と炭素電極の間の起電力を計る。

(データ)

純水だけの、各電極での組み合わせの起電力 (V) の大きさは、次のようになった。

電極の組み合わせ	起電力 (V)
新しい Al 板 - Cu 板	0.40
古い Al 板 - Cu 板	0.65
新しい Al 板 - 炭素電極	0.50
Mg リボン - Cu 板	0.85
Mg リボン - 炭素電極	1.05
Mg リボン - Ag 板	0.80
Mg 合金 - 炭素電極	1.05

結果 純水だけで、アルミ - 銅電極では、0.40V の起電力がある。したがって、光合成 - 呼吸オオカナダモ電池の起電力が 1.20V なので、オオカナダモの光合成の働きは、 $1.20 - 0.40 = 0.80$ V 分の電圧を作り出していることになる。

また、Mg リボン - 炭素電極は、純水だけで 1.05V の起電力があり、実際電子オルゴールを鳴らすことが出来た。この結果は、前の実験 1 の結果の裏付けとなっている。

最後に、Mg 合金 (AZ-31) を手に入れて、起電力を計ったが、Mg リボンと同様の結果を得た。Mg 合金は、比較的安価であり、加工も安く、純度の高い Mg リボンより腐食もしないので、Mg リボンの代用になる。

(実験 4)

光合成－呼吸オオカナダモ電池を、48 時間電子オルゴールを鳴らして、アルミ板の変化を調べる。

下の写真のように、アルミニウム板電極の表面の様子が変化した。

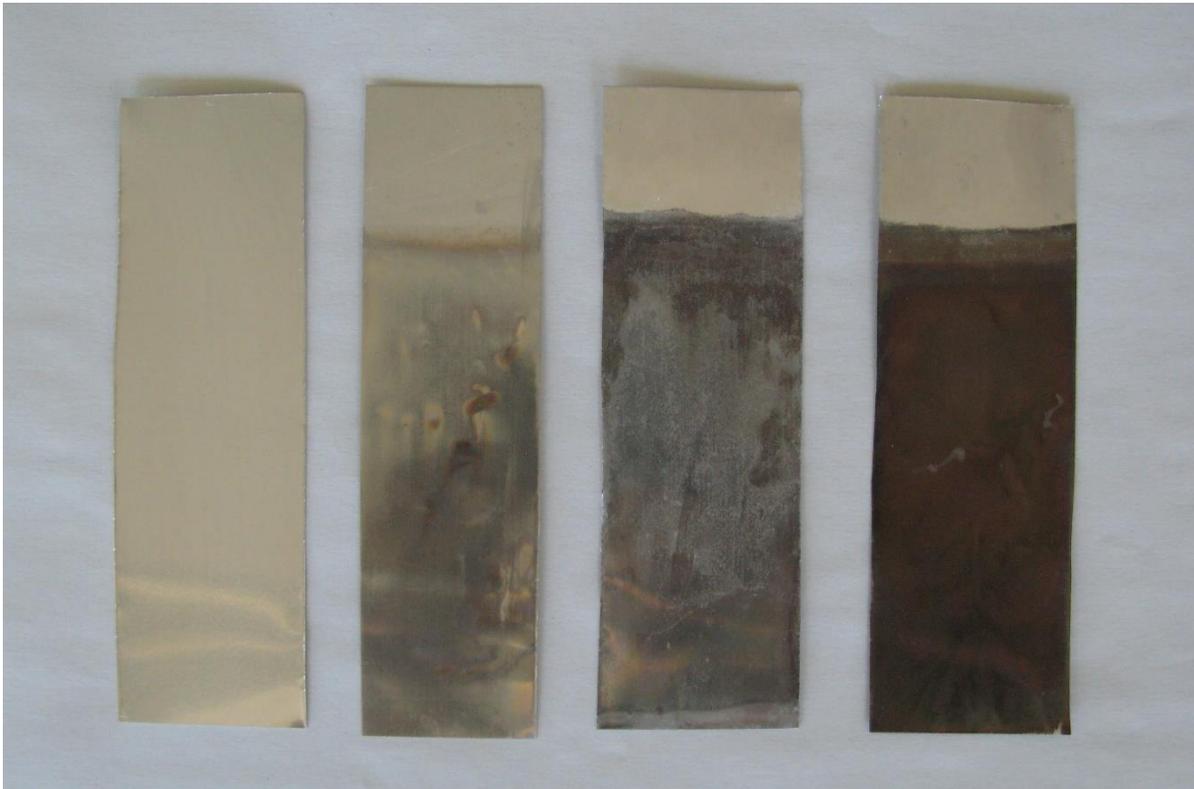


写真 5 : 左から、最初のアルミ板、24 時間後、36 時間後、48 時間後の表面の様子

結果 写真でわかるように、白色に光っている部分と黒色または、こげ茶色になっている部分とがある。これらは、アルミ電極が電極として働いて、オルゴールを鳴らしていたので、電流を流しにくくしているわけではない。どのような変化が起こったかについては、考察でまとめることにする。

(実験 5)

光合成を盛んにしている状態のオオカナダモの葉を顕微鏡観察し、原形質流動や酸素の移動がないか調べる。また、茎の断面を観察し、そのしくみを明らかにする。

デジタル顕微鏡を使って、写真と動画を撮影したが、写真を貼付する。

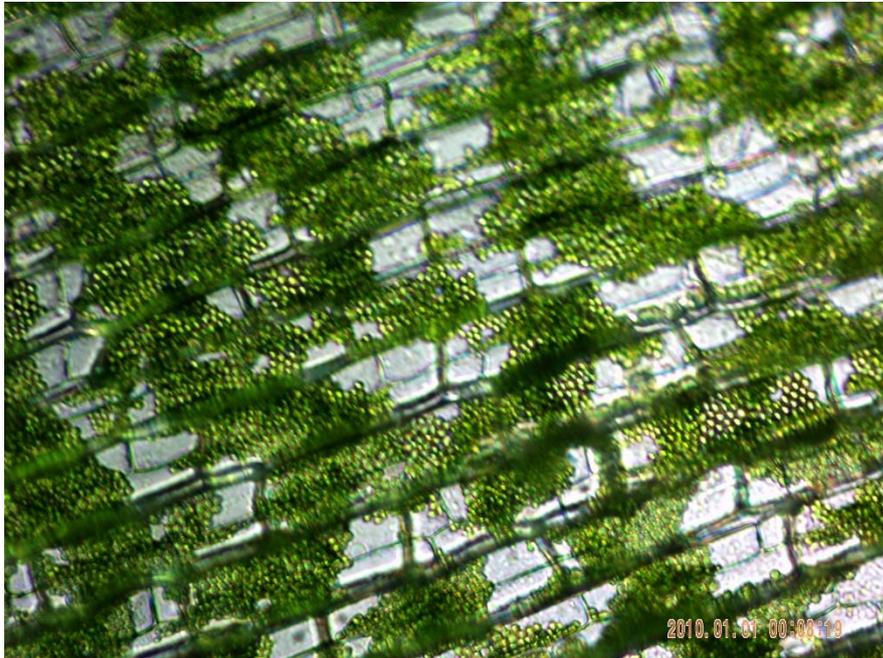


写真6：まだ、光合成をしていないオオカナダモの葉の様子。葉の色は葉緑体がまとまっているので、緑色が濃く見える。

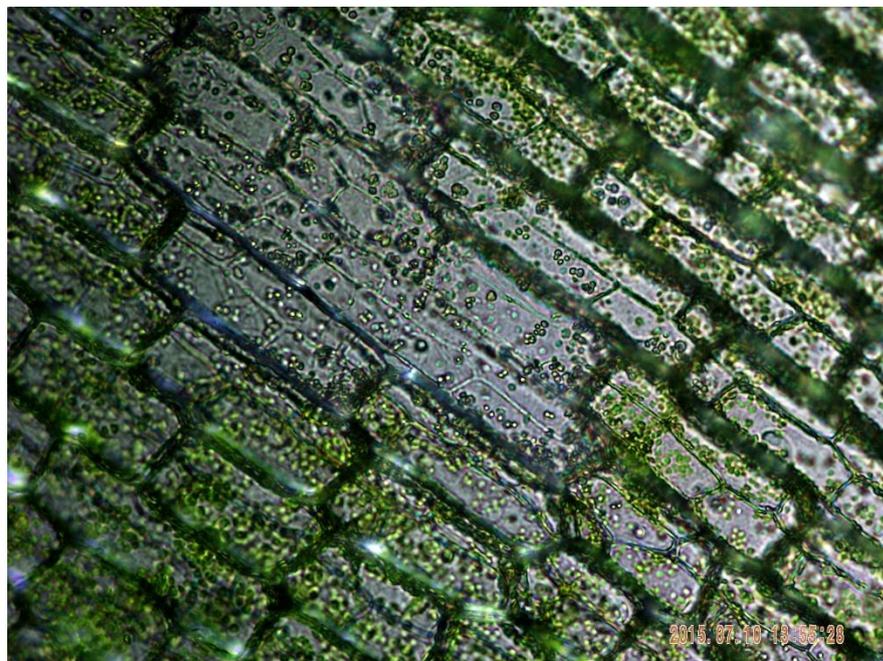


写真7：2時間ほど光に当たって光合成をして、原形質流動を始めた様子。細胞膜と細胞壁の間を緑色の葉緑体の粒が移動している。また、オオカナダモでは、気孔は全く見当たらない。

オオカナダモの茎の断面

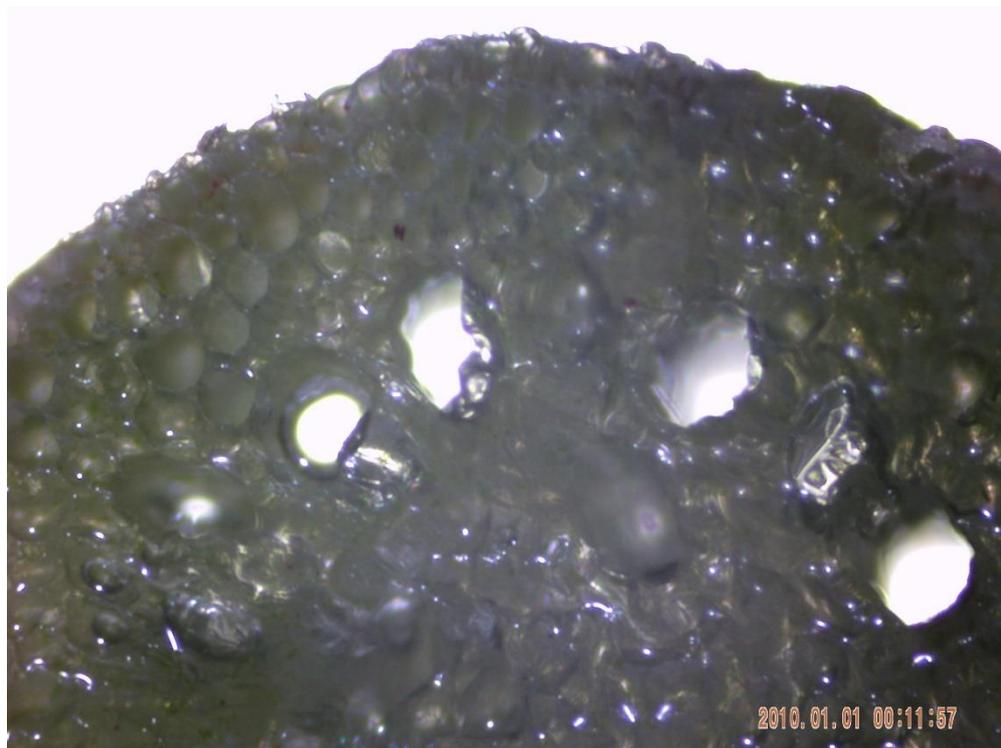


写真8：いくつかハスのように孔が開いているの見える。

結果 この孔を通して、光合成で出来た酸素を排出している。実際のオオカナダモを観察すると、酸素の小さい気泡は、折った茎、若い葉が集まった先端、葉と茎の境目から出てくる。

(実験 6)

オオカナダモの葉に光を当てる始めである、水(pH=7.0)の時と、光に4時間以上当てて、水(pH=10.5)になった時のオオカナダモの葉の細胞の原形質流動の違いを顕微鏡観察から調べる。また、光合成を盛んにしたオオカナダモの葉を5℃の水に入れて、水温を徐々に上げる。光合成の働きの強さを、オオカナダモ電池の電圧の大きさによって調べる。オオカナダモの葉の細胞の原形質流動が、水温と関係があるかを調べる。

pH=10.5の時のオオカナダモの葉の原形質流動の様子をデジタル顕微鏡で撮影する。

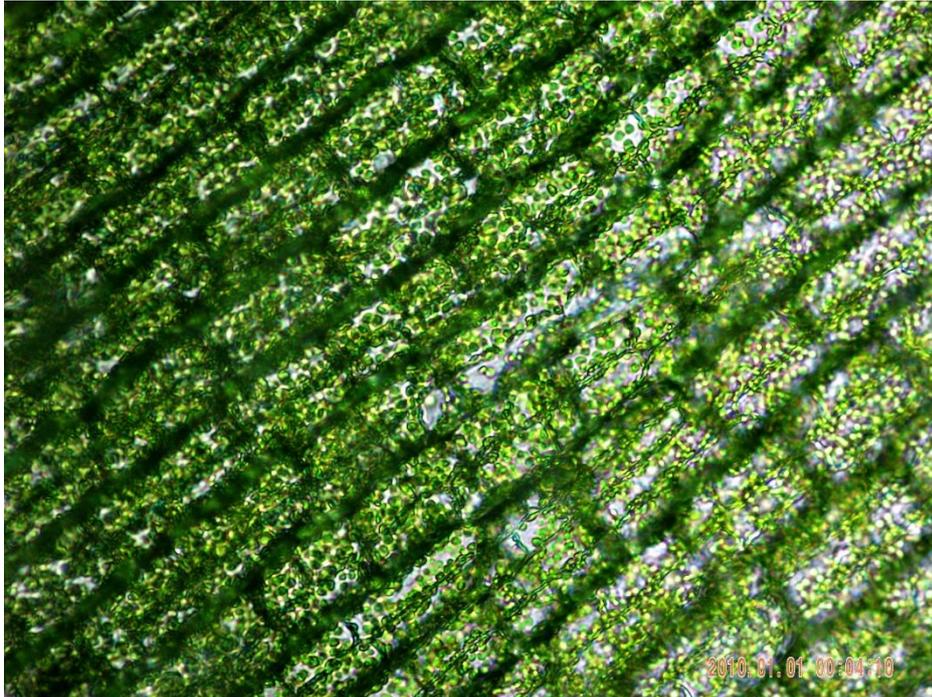


写真9：オオカナダモの葉緑体が細胞膜、細胞壁に沿って原形質流動をしている様子。

(データ) 水温5℃～25℃までの、光合成－呼吸オオカナダモ電池の電圧変化

水温(℃)	5	10	15	20	25	28(その日の気温)
電圧(V)	0.35	0.40	0.45	0.50	0.50	0.50

※このまま3時間継続したが、電圧は0.50Vのままで上がらなかった。

結果 オオカナダモの原形質流動は、いつでも顕微鏡で観察できるわけではない。緑色の濃い葉の方が、原形質流動が見やすいと考えられたが、十分に光合成をして、少し緑色が薄くなっている葉の方が見やすい。水がpH=10.5以上になっていれば、十分に光合成をしているので、酸素を排出したり、光から与えられた熱を逃がしたりするために、激しい原形質流動がおこるのではないかと考えられる。

また、いったん水温が下がってしまうと、細胞の活性化が下がり、光合成の働きも低下し、動物で言う冬眠のような状態になると考えられる。

(実験 7)

KENIS 社のデータロガー(サイエンスキューブ)と電圧センサー、温度センサー、pHセンサーを用意し、実験に臨む。オオカナダモ電池に、純水を入れて水温を計る。次の9種類の光源を用意し、5分おきに4時間電圧を測定する。①自然光②白色蛍光灯③LEDランプ(白色)④LEDランプ(濃赤色)⑤LEDランプ(桃色)⑥LEDランプ(青色)⑦LEDランプ(緑色)⑧LEDランプ(黄色)⑨紫外線ランプ、最後に⑩対照実験として、電池にオオカナダモを入れず水だけにして、白色蛍光灯に当てるものを用意する。また、実験の前に、それぞれ照度計で照度を計っておく。



①自然光 ②白色蛍光灯 ③LEDランプ(白色) ④LEDランプ(濃赤色)⑤LEDランプ(桃色)



⑥LEDランプ(青色) ⑦LEDランプ(緑色)⑧LEDランプ(黄色)⑨紫外線ランプ ⑩水のみ(対照実験)



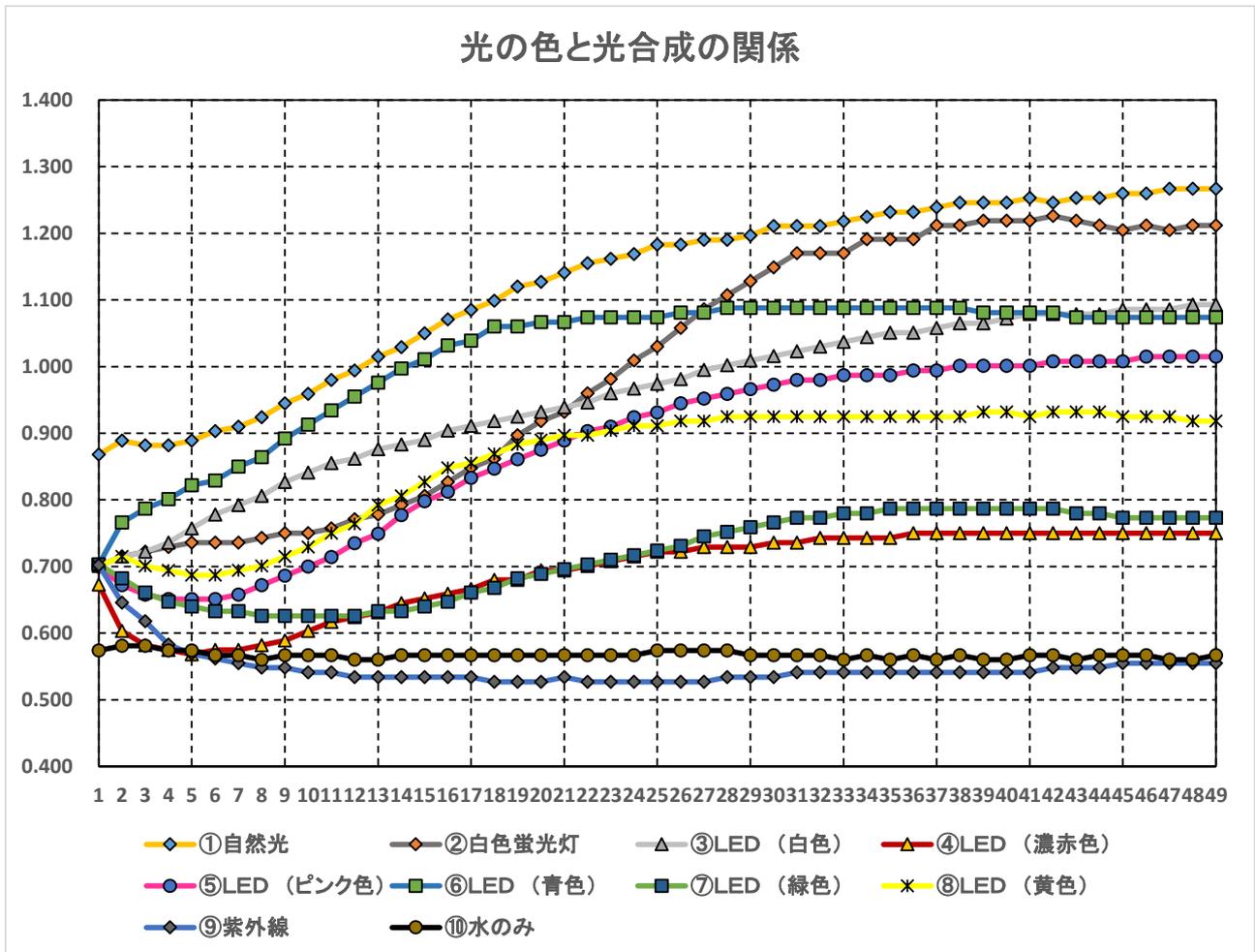
写真 10-11 : 実際にデータロガーで自動計測している様子。LEDランプは箱を被せた。

データ表

光の色と光合成の関係
 光の種類①自然光②白色蛍光灯③LED(白色)④LED(濃赤色)⑤LED(ピンク色)
 光の種類⑥LED(青色)⑦LED(緑色)⑧LED(黄色)⑨紫外線(ブラックライト)⑩水のみ(比較対照・白色蛍光灯
 使用機材①AI-Cuオオカナダモ電池②KENIS社サイエンスキューブ(デタロガー)+電圧センサー(60秒おき4時間)

水温(23.0~24.0)		①自然光	②白色蛍光灯	③LED(白色)	④LED(濃赤色)	⑤LED(ピンク色)	⑥LED(青色)	⑦LED(緑色)	⑧LED(黄色)	⑨紫外線	⑩水のみ
照度 (lx)	30000	5850	12160	560	4150	1650	6730	7600	0.750	5850	
紫外線 (nW/cm ₂)	1650								198		
最終値	14400	1.267	1.212	1.093	0.750	1.015	1.074	0.773	0.918	0.555	0.567
番号	時間(s)	電圧(V)	電圧(V)	電圧(V)	電圧(V)	電圧(V)	電圧(V)	電圧(V)	電圧(V)	電圧(V)	電圧(V)
0	0	0.868	0.701	0.701	0.673	0.700	0.703	0.703	0.701	0.702	0.574
1	300	0.889	0.715	0.715	0.603	0.672	0.766	0.682	0.715	0.646	0.581
2	600	0.882	0.722	0.722	0.582	0.658	0.787	0.661	0.701	0.618	0.581
3	900	0.882	0.729	0.736	0.575	0.651	0.801	0.647	0.694	0.583	0.574
4	1200	0.889	0.736	0.757	0.568	0.651	0.822	0.640	0.687	0.569	0.574
5	1500	0.903	0.736	0.778	0.575	0.651	0.829	0.633	0.687	0.562	0.567
6	1800	0.910	0.736	0.792	0.575	0.658	0.850	0.633	0.694	0.555	0.567
7	2100	0.924	0.743	0.806	0.582	0.672	0.864	0.626	0.701	0.548	0.560
8	2400	0.945	0.750	0.827	0.589	0.686	0.892	0.626	0.715	0.548	0.567
9	2700	0.959	0.750	0.841	0.603	0.700	0.913	0.626	0.729	0.541	0.567
10	3000	0.980	0.757	0.855	0.617	0.714	0.934	0.626	0.750	0.541	0.567
11	3300	0.994	0.771	0.862	0.624	0.735	0.955	0.626	0.764	0.534	0.560
12	3600	1.015	0.778	0.876	0.631	0.749	0.976	0.633	0.792	0.534	0.560
13	3900	1.029	0.792	0.883	0.645	0.777	0.997	0.633	0.806	0.534	0.567
14	4200	1.050	0.806	0.890	0.652	0.798	1.011	0.640	0.827	0.534	0.567
15	4500	1.071	0.827	0.904	0.659	0.812	1.032	0.647	0.848	0.534	0.567
16	4800	1.085	0.848	0.911	0.666	0.833	1.039	0.661	0.855	0.534	0.567
17	5100	1.099	0.862	0.918	0.680	0.847	1.060	0.668	0.869	0.527	0.567
18	5400	1.120	0.897	0.925	0.680	0.861	1.060	0.682	0.883	0.527	0.567
19	5700	1.127	0.918	0.932	0.694	0.875	1.067	0.689	0.890	0.527	0.567
20	6000	1.141	0.932	0.939	0.694	0.889	1.067	0.696	0.897	0.534	0.567
21	6300	1.155	0.960	0.946	0.701	0.903	1.074	0.703	0.897	0.527	0.567
22	6600	1.162	0.981	0.960	0.708	0.910	1.074	0.710	0.904	0.527	0.567
23	6900	1.169	1.009	0.967	0.715	0.924	1.074	0.717	0.911	0.527	0.567
24	7200	1.183	1.030	0.974	0.722	0.931	1.074	0.724	0.911	0.527	0.574
25	7500	1.183	1.058	0.981	0.722	0.945	1.081	0.731	0.918	0.527	0.574
26	7800	1.190	1.086	0.995	0.729	0.952	1.081	0.745	0.918	0.527	0.574
27	8100	1.190	1.107	1.002	0.729	0.959	1.088	0.752	0.925	0.534	0.574
28	8400	1.197	1.128	1.009	0.729	0.966	1.088	0.759	0.925	0.534	0.567
29	8700	1.211	1.149	1.016	0.736	0.973	1.088	0.766	0.925	0.534	0.567
30	9000	1.211	1.170	1.023	0.736	0.980	1.088	0.773	0.925	0.541	0.567
31	9300	1.211	1.170	1.030	0.743	0.980	1.088	0.773	0.925	0.541	0.567
32	9600	1.218	1.170	1.037	0.743	0.987	1.088	0.780	0.925	0.541	0.560
33	9900	1.225	1.191	1.044	0.743	0.987	1.088	0.780	0.925	0.541	0.567
34	10200	1.232	1.191	1.051	0.743	0.987	1.088	0.787	0.925	0.541	0.560
35	10500	1.232	1.191	1.051	0.750	0.994	1.088	0.787	0.925	0.541	0.567
36	10800	1.239	1.212	1.058	0.750	0.994	1.088	0.787	0.925	0.541	0.560
37	11100	1.246	1.212	1.065	0.750	1.001	1.088	0.787	0.925	0.541	0.567
38	11400	1.246	1.219	1.065	0.750	1.001	1.081	0.787	0.932	0.541	0.560
39	11700	1.246	1.219	1.072	0.750	1.001	1.081	0.787	0.932	0.541	0.560
40	12000	1.253	1.219	1.079	0.750	1.001	1.081	0.787	0.925	0.541	0.567
41	12300	1.246	1.226	1.079	0.750	1.008	1.081	0.787	0.932	0.548	0.567
42	12600	1.253	1.219	1.079	0.750	1.008	1.074	0.780	0.932	0.548	0.560
43	12900	1.253	1.212	1.079	0.750	1.008	1.074	0.780	0.932	0.548	0.567
44	13200	1.260	1.205	1.086	0.750	1.008	1.074	0.773	0.925	0.555	0.567
45	13500	1.260	1.212	1.086	0.750	1.015	1.074	0.773	0.925	0.555	0.567
46	13800	1.267	1.205	1.086	0.750	1.015	1.074	0.773	0.925	0.555	0.560
47	14100	1.267	1.212	1.093	0.750	1.015	1.074	0.773	0.918	0.555	0.560
48	14400	1.267	1.212	1.093	0.750	1.015	1.074	0.773	0.918	0.555	0.567

(グラフ 1)



結果

オオカナダモでは、自然光が最も光合成が盛んになり、2番目が白色蛍光灯であった。LED電球を用いて色を変えて実験をすると、白色、青色、ピンク色、黄色の順で光合成が強くなる結果を得た。最も弱いのは、緑色であった。また、紫外線では、光合成が抑制される結果を得た。

LED (濃赤色) は、照度が低すぎるために、十分に光合成ができなかったと考えられる。オオカナダモでは、青色の光に強く反応していることがグラフからわかる。このことからオオカナダモは、普通の植物と違って、かなり特殊な植物かもしれない。

また、水だけでは、光に当たっても、全く電圧が変わらなかったのので、オオカナダモの光合成の働きで、電圧が増すことが実証された。したがって、ほぼ予想どおりの結果になり、オオカナダモ電池は、リアルタイムで光合成の強さを調べることができるとわかった。

(実験 8-1)

市販されているオオカナダモ、カボンバ、オオフサモ、ホテイアオイの4種類の水草を用意し、それぞれ光合成-呼吸オオカナダモ電池の装置の中に入れて、4時間蛍光灯の光に当てて、光合成をさせる。電圧とpHを測定し、4つのデータを比較する。

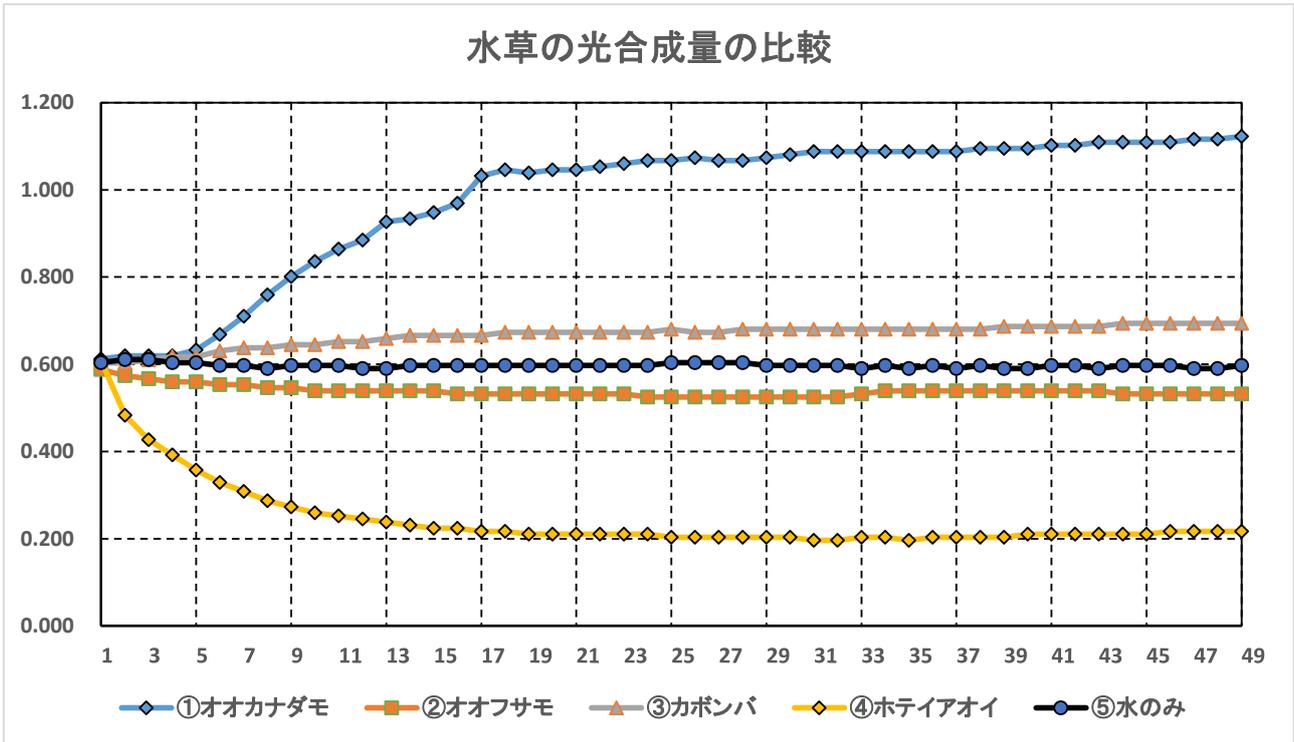


写真 12 : 用意した水草 (上左 : オオカナダモ 上右 : カボンバ
下左 : オオフサモ 下右 : ホテイアオイ)

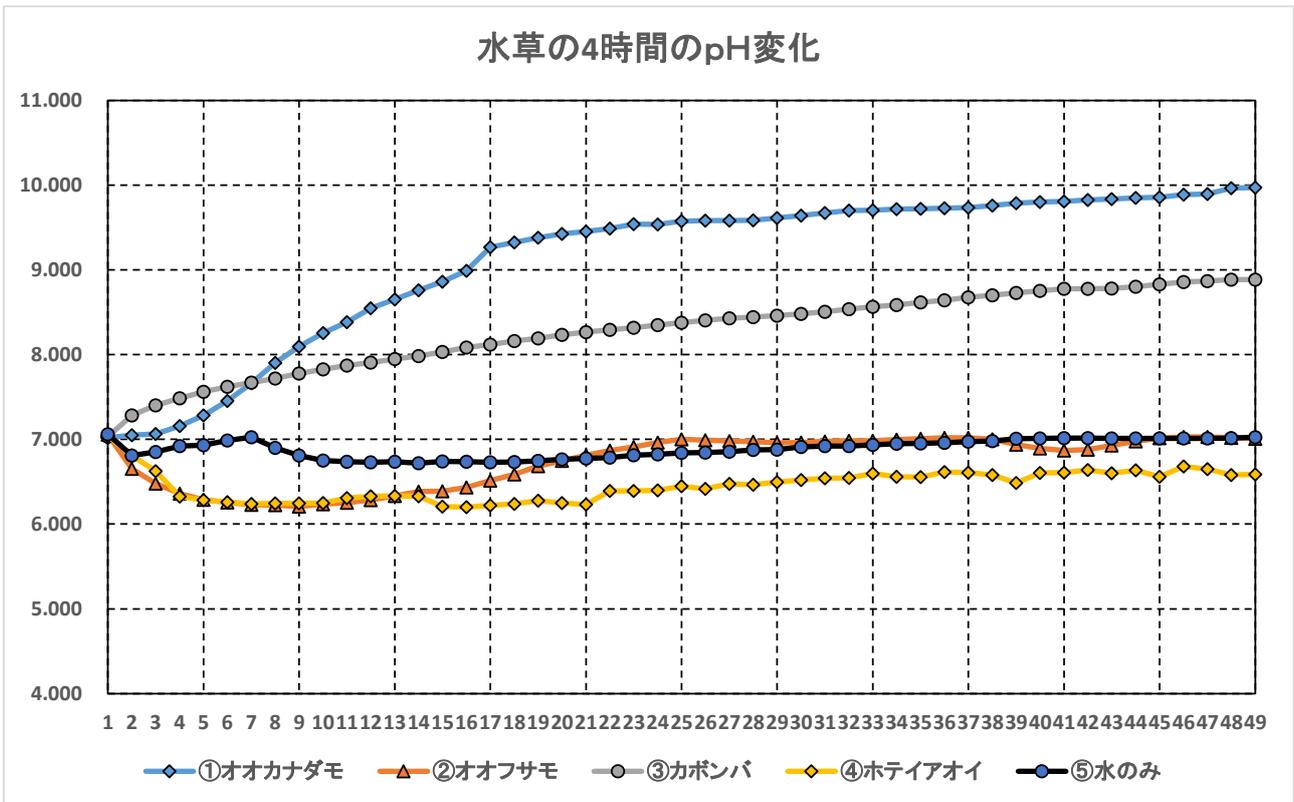
データ表

水草の光合成量の比較											
使用水草①オオカナダモ②オオフサモ③カボンバ④ホテイアオイ⑤水のみ											
使用機材①Al-Cuオオカナダモ電池②KENIS社サイエンスキューブ(データロガー)+電圧センサー+pHセンサー											
照明器具①白色蛍光灯(10cm-5850lx) 60秒おき、4時間(14400秒)測定											
		①オオカナダモ		②オオフサモ		③カボンバ		④ホテイアオイ		⑤水のみ	
最終値	14400	1.123	9.972	0.532	7.008	0.694	8.884	0.217	6.588	0.597	7.024
番号	時間(s)	電圧(V)	pH	電圧(V)	pH	電圧(V)	pH	電圧(V)	pH	電圧(V)	pH
0	0	0.612	7.020	0.588	7.056	0.603	7.032	0.609	7.040	0.604	7.060
1	300	0.619	7.048	0.574	6.652	0.603	7.284	0.483	6.808	0.611	6.808
2	600	0.619	7.064	0.567	6.480	0.610	7.400	0.427	6.624	0.611	6.852
3	900	0.619	7.156	0.560	6.360	0.617	7.484	0.392	6.324	0.604	6.920
4	1200	0.633	7.284	0.560	6.288	0.617	7.560	0.357	6.284	0.604	6.930
5	1500	0.668	7.452	0.553	6.256	0.631	7.620	0.329	6.260	0.597	6.988
6	1800	0.710	7.664	0.553	6.228	0.638	7.668	0.308	6.240	0.597	7.025
7	2100	0.759	7.904	0.546	6.224	0.638	7.720	0.287	6.244	0.590	6.900
8	2400	0.801	8.096	0.546	6.208	0.645	7.776	0.273	6.246	0.597	6.808
9	2700	0.836	8.256	0.539	6.236	0.645	7.828	0.259	6.248	0.597	6.752
10	3000	0.864	8.384	0.539	6.252	0.652	7.872	0.252	6.308	0.597	6.736
11	3300	0.885	8.548	0.539	6.284	0.652	7.908	0.245	6.328	0.590	6.728
12	3600	0.927	8.652	0.539	6.332	0.659	7.948	0.238	6.332	0.590	6.736
13	3900	0.934	8.760	0.539	6.384	0.666	7.984	0.231	6.328	0.597	6.720
14	4200	0.948	8.860	0.539	6.388	0.666	8.032	0.224	6.208	0.597	6.740
15	4500	0.969	8.988	0.532	6.432	0.666	8.084	0.224	6.200	0.597	6.736
16	4800	1.032	9.268	0.532	6.512	0.666	8.120	0.217	6.220	0.597	6.728
17	5100	1.046	9.324	0.532	6.588	0.673	8.160	0.217	6.240	0.597	6.732
18	5400	1.039	9.380	0.532	6.684	0.673	8.192	0.210	6.276	0.597	6.748
19	5700	1.046	9.424	0.532	6.748	0.673	8.232	0.210	6.248	0.597	6.764
20	6000	1.046	9.452	0.532	6.812	0.673	8.264	0.210	6.232	0.597	6.776
21	6300	1.053	9.488	0.532	6.868	0.673	8.292	0.210	6.392	0.597	6.784
22	6600	1.060	9.540	0.532	6.912	0.673	8.316	0.210	6.392	0.597	6.812
23	6900	1.067	9.536	0.525	6.964	0.673	8.348	0.210	6.400	0.597	6.824
24	7200	1.067	9.576	0.525	7.000	0.680	8.376	0.203	6.448	0.604	6.840
25	7500	1.074	9.580	0.525	6.992	0.673	8.404	0.203	6.416	0.604	6.844
26	7800	1.067	9.580	0.525	6.980	0.673	8.428	0.203	6.476	0.604	6.856
27	8100	1.067	9.584	0.525	6.972	0.680	8.444	0.203	6.464	0.604	6.876
28	8400	1.074	9.612	0.525	6.960	0.680	8.460	0.203	6.496	0.597	6.880
29	8700	1.081	9.640	0.525	6.964	0.680	8.480	0.203	6.520	0.597	6.912
30	9000	1.088	9.672	0.525	6.976	0.680	8.504	0.196	6.540	0.597	6.920
31	9300	1.088	9.700	0.525	6.984	0.680	8.536	0.196	6.544	0.597	6.920
32	9600	1.088	9.704	0.532	6.984	0.680	8.564	0.203	6.596	0.590	6.936
33	9900	1.088	9.716	0.539	6.996	0.680	8.584	0.203	6.560	0.597	6.948
34	10200	1.088	9.720	0.539	7.008	0.680	8.616	0.196	6.556	0.590	6.952
35	10500	1.088	9.728	0.539	7.020	0.680	8.640	0.203	6.616	0.597	6.960
36	10800	1.088	9.736	0.539	7.020	0.680	8.676	0.203	6.608	0.590	6.972
37	11100	1.095	9.760	0.539	7.000	0.680	8.700	0.203	6.580	0.597	6.980
38	11400	1.095	9.788	0.539	6.940	0.687	8.728	0.203	6.484	0.590	7.008
39	11700	1.095	9.800	0.539	6.892	0.687	8.752	0.210	6.604	0.590	7.012
40	12000	1.102	9.808	0.539	6.868	0.687	8.776	0.210	6.608	0.597	7.016
41	12300	1.102	9.824	0.539	6.880	0.687	8.776	0.210	6.640	0.597	7.016
42	12600	1.109	9.836	0.539	6.928	0.687	8.780	0.210	6.600	0.590	7.012
43	12900	1.109	9.848	0.532	6.976	0.694	8.800	0.210	6.636	0.597	7.012
44	13200	1.109	9.856	0.532	7.016	0.694	8.828	0.210	6.560	0.597	7.012
45	13500	1.109	9.888	0.532	7.028	0.694	8.856	0.217	6.680	0.597	7.012
46	13800	1.116	9.896	0.532	7.028	0.694	8.868	0.217	6.648	0.590	7.012
47	14100	1.116	9.964	0.532	7.020	0.694	8.884	0.217	6.580	0.590	7.016
48	14400	1.123	9.972	0.532	7.008	0.694	8.884	0.217	6.588	0.597	7.024

(グラフ 2)



(グラフ 3)



結果 オオカナダモは沈水性の水草であるが、他の水草に比べて、光合成能力が非常に高いことがわかる。ホテイアオイは、根だけ水中にあるので、光合成の効果は、根がある水中には及ばないと思われる。

(実験 8-2) オオカナダモについて、10 分おきに 24 時間、外に出し放しにして、気温と電圧と pH とを測定し、朝・昼・夜のオオカナダモの光合成のリズムを調べる。

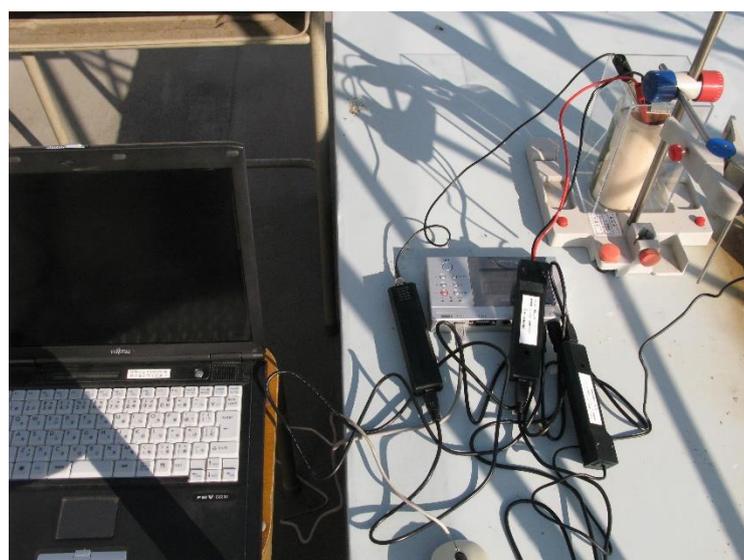
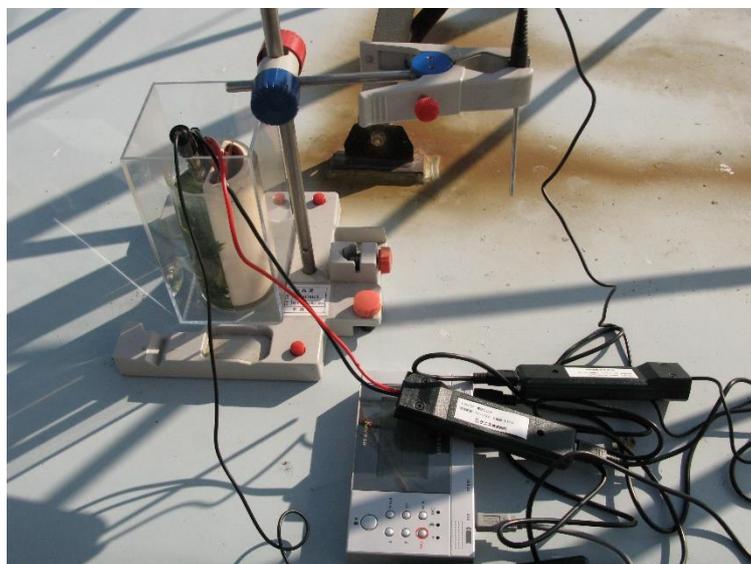


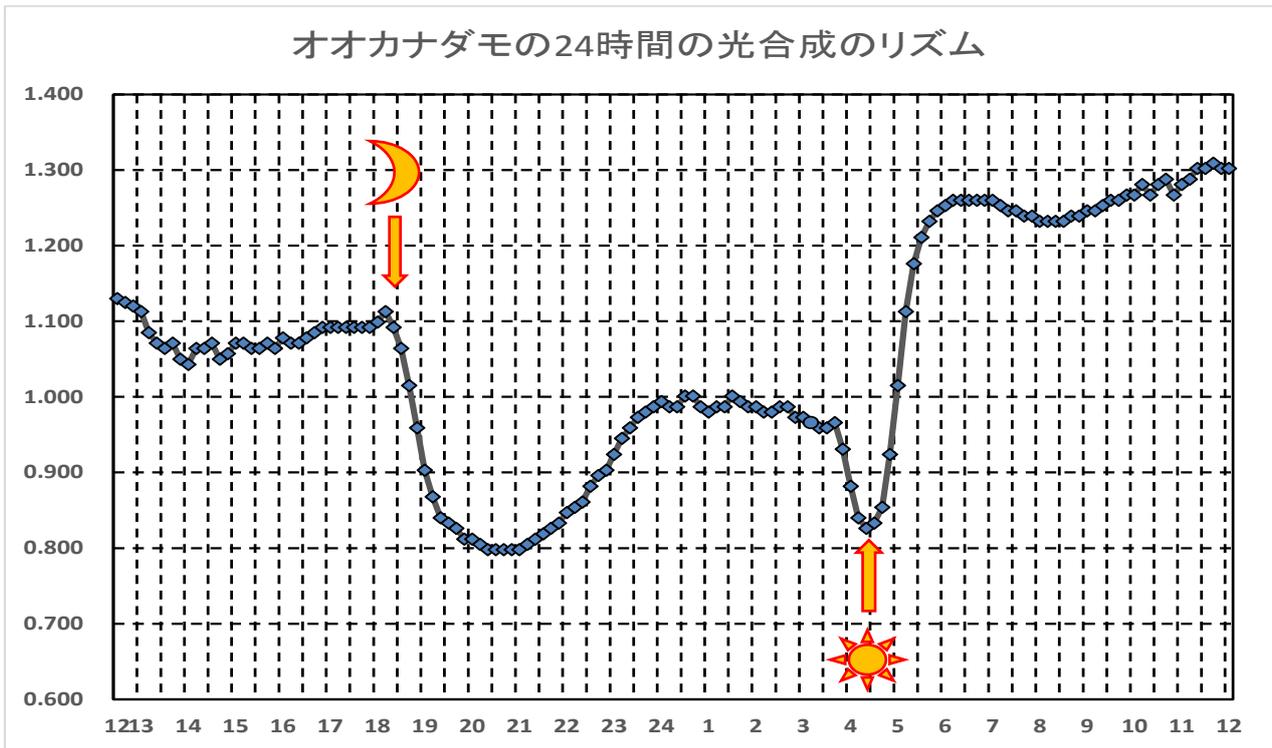
写真 13 : サイエンスキューブを使って、24 時間測定をしている様子。

データ表

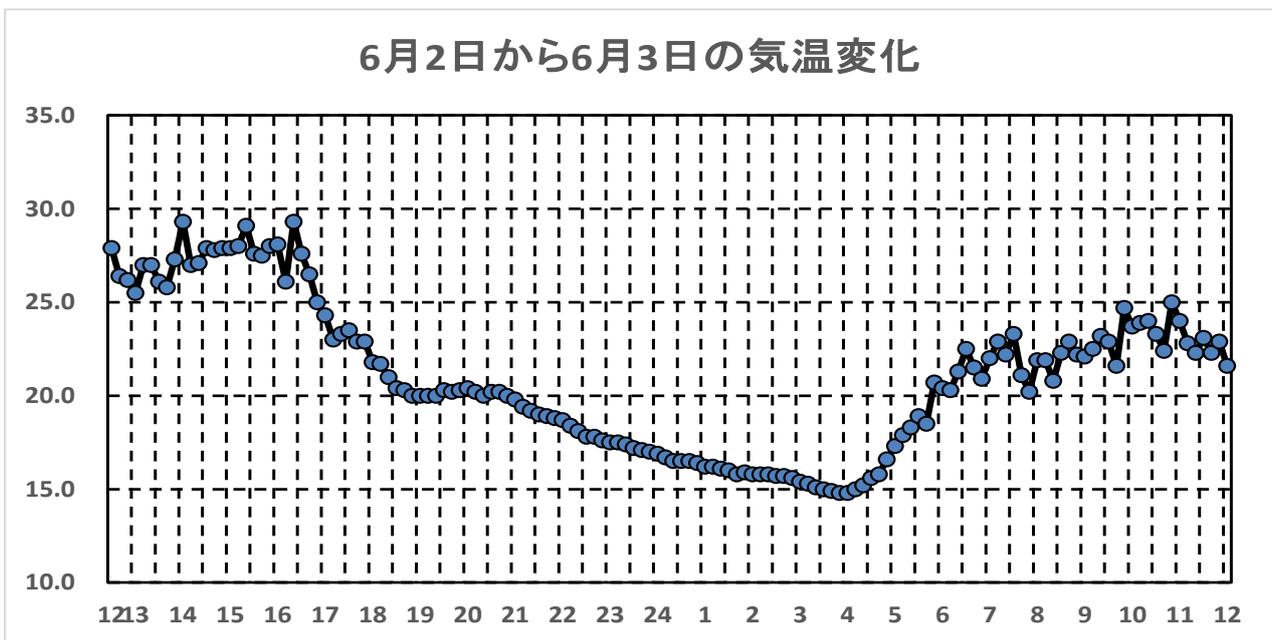
オオカナダモの24時間の光合成のリズム
 使用機材①Al-Cuオオカナダモ電池②KENIS社サイエンスキューブ(デタログー)(60秒おき24時間測定)
 ②電圧センサー+③pHセンサー+④温度センサー(ステンレス)
 測定日時 平成28年6月2日(快晴)12時30分~6月3日(晴れのち曇り)12時30分
 日没 18時53分 日出 4時25分

時刻	時間(s)	電圧(V)	pH	気温(°C)	時刻	時間(s)	電圧(V)	pH	気温(°C)	時刻	時間(s)	電圧(V)	pH	気温(°C)
12	0	1.130	8.884	27.9		28800	0.798	8.144	20.2		59400	0.833	8.612	15.6
	600	1.125	8.924	26.4		29400	0.798	8.152	20.2		60000	0.854	8.884	15.8
	1200	1.120	9.088	26.2		30000	0.798	6.080	20.0		60600	0.924	8.956	16.6
13	1800	1.113	9.128	25.5	21	30600	0.798	5.776	19.8	5	61200	1.015	9.072	17.3
	2400	1.085	9.176	27.0		31800	0.805	5.956	19.4		61800	1.113	9.216	17.9
	3000	1.071	9.156	27.0		32400	0.812	6.312	19.2		62400	1.176	9.288	18.3
	3600	1.064	9.068	26.1		33000	0.819	5.824	19.0		63000	1.211	9.364	18.9
	4200	1.071	9.104	25.8		33600	0.826	6.184	18.9		63600	1.232	9.440	18.5
	4800	1.050	9.052	27.3		34200	0.833	5.848	18.8		64200	1.246	9.460	20.7
14	5400	1.043	9.040	29.3	22	34800	0.847	6.200	18.7	6	64800	1.253	9.476	20.4
	6000	1.064	8.984	27.0		35400	0.854	5.980	18.4		65400	1.260	9.500	20.3
	6600	1.064	9.100	27.1		36000	0.861	5.560	18.1		66000	1.260	9.516	21.3
	7200	1.071	9.048	27.9		36600	0.882	5.724	17.8		66600	1.260	9.512	22.5
	7800	1.050	9.104	27.8		37200	0.896	6.296	17.8		67200	1.260	9.504	21.5
	8400	1.057	9.112	27.9		37800	0.903	5.644	17.6		67800	1.260	9.492	20.9
15	9000	1.071	9.104	27.9	23	38400	0.924	5.496	17.5	7	68400	1.260	9.500	22.0
	9600	1.071	9.108	28.0		39000	0.945	5.380	17.5		69000	1.253	9.496	22.9
	10200	1.064	9.132	29.1		39600	0.959	5.668	17.4		69600	1.246	9.476	22.2
	10800	1.064	9.152	27.6		40200	0.973	5.668	17.2		70200	1.246	9.452	23.3
	11400	1.071	9.140	27.5		40800	0.980	5.564	17.1		70800	1.239	9.416	21.1
	12000	1.064	9.204	28.0		41400	0.987	5.168	17.0		71400	1.239	9.392	20.2
16	12600	1.078	9.212	28.1	24	42000	0.994	5.104	16.9	8	72000	1.232	9.380	21.9
	13200	1.071	9.228	26.1		43200	0.987	6.396	16.7		72600	1.232	9.388	21.9
	13800	1.071	9.232	29.3		43800	0.987	4.840	16.5		73200	1.232	9.400	20.8
	14400	1.078	9.260	27.6		44400	1.001	4.912	16.5		73800	1.232	9.368	22.3
	15000	1.085	9.232	26.5		45000	1.001	5.816	16.5		74400	1.239	9.332	22.9
	15600	1.092	9.240	25.0		45600	0.987	6.196	16.4		75000	1.239	9.364	22.2
17	16200	1.092	9.280	24.3	1	46200	0.980	5.360	16.2	9	75600	1.246	9.428	22.1
	16800	1.092	9.316	23.0		46800	0.987	5.624	16.2		76200	1.246	9.396	22.5
	17400	1.092	9.320	23.3		47400	0.987	4.900	16.1		76800	1.253	9.368	23.2
	18000	1.092	9.340	23.5		48000	1.001	5.100	16.0		77400	1.260	9.424	22.9
	18600	1.092	9.336	22.9		48600	0.994	5.968	15.8		78000	1.260	9.388	21.6
	19200	1.092	7.704	22.9		49200	0.987	6.628	15.9		78600	1.267	9.396	24.7
18	19800	1.099	6.764	21.8	2	49800	0.987	7.784	15.8	10	79200	1.267	9.368	23.7
	20400	1.113	5.340	21.7		50400	0.980	7.808	15.8		79800	1.281	9.416	23.9
	21000	1.092	5.116	21.0		51000	0.980	7.720	15.8		80400	1.267	9.368	24.0
	21600	1.064	5.124	20.4		51600	0.987	7.308	15.7		81000	1.281	9.396	23.3
	22200	1.015	5.416	20.3		52200	0.987	7.680	15.7		81600	1.288	9.420	22.4
	22800	0.959	5.612	20.0		52800	0.973	7.232	15.6		82200	1.267	9.304	25.0
19	23400	0.903	6.060	20.0	3	54000	0.973	7.080	15.4	11	82800	1.281	9.372	24.0
	24000	0.868	6.300	20.0		54600	0.966	7.448	15.3		83400	1.288	9.396	22.8
	24600	0.840	6.444	20.0		55200	0.959	6.780	15.1		84000	1.302	9.452	22.3
	25200	0.833	7.020	20.3		55800	0.959	5.756	15.0		84600	1.302	9.452	23.1
	25800	0.826	6.728	20.2		56400	0.966	5.720	14.9		85200	1.309	9.476	22.3
	26400	0.812	7.388	20.3		57000	0.931	5.576	14.8		85800	1.302	9.500	22.9
20	27000	0.812	8.100	20.4	4	57600	0.882	6.536	14.8	12	86400	1.302	9.484	21.6
	27600	0.805	6.920	20.2		58200	0.840	8.084	15.0					
	28200	0.798	7.724	20.0		58800	0.826	8.380	15.2					

(グラフ 4)



(グラフ 5)



結果 グラフ 4 を見ると、6 月 2 日の日没 18 時 53 分頃に対応して、電圧が急激に下がり、6 月 3 日の日出 4 時 25 分から電圧が急激に上昇して 2 時間近くで飽和状態になっている。この事から、オオカナダモには、1 日の光合成のリズムがあることがわかる。

(実験 9) ダニエル電池装置(NaRiKa B10-2040)のガラスの円筒にオオカナダモと純水を入れる。Mg合金(1×40×150)と炭素電極(10×40×150)を入れる。また、負荷として電子オルゴールを直列につなげておく。白色蛍光灯の光に当てて、テスターで、電圧と電流を計る。次に、同様の電池をもう1つ作り、2個直列にして、直列部分に1Fのコンデンサーと赤色LEDを並列につなぐ。こうして、電気を貯めながら、LEDを継続して点灯させる。2個直列の電池についても、テスターで、電圧と電流を計る。最後に、対照実験として、オオカナダモを入れず、純水だけの電池にして、電圧と電流を計る。

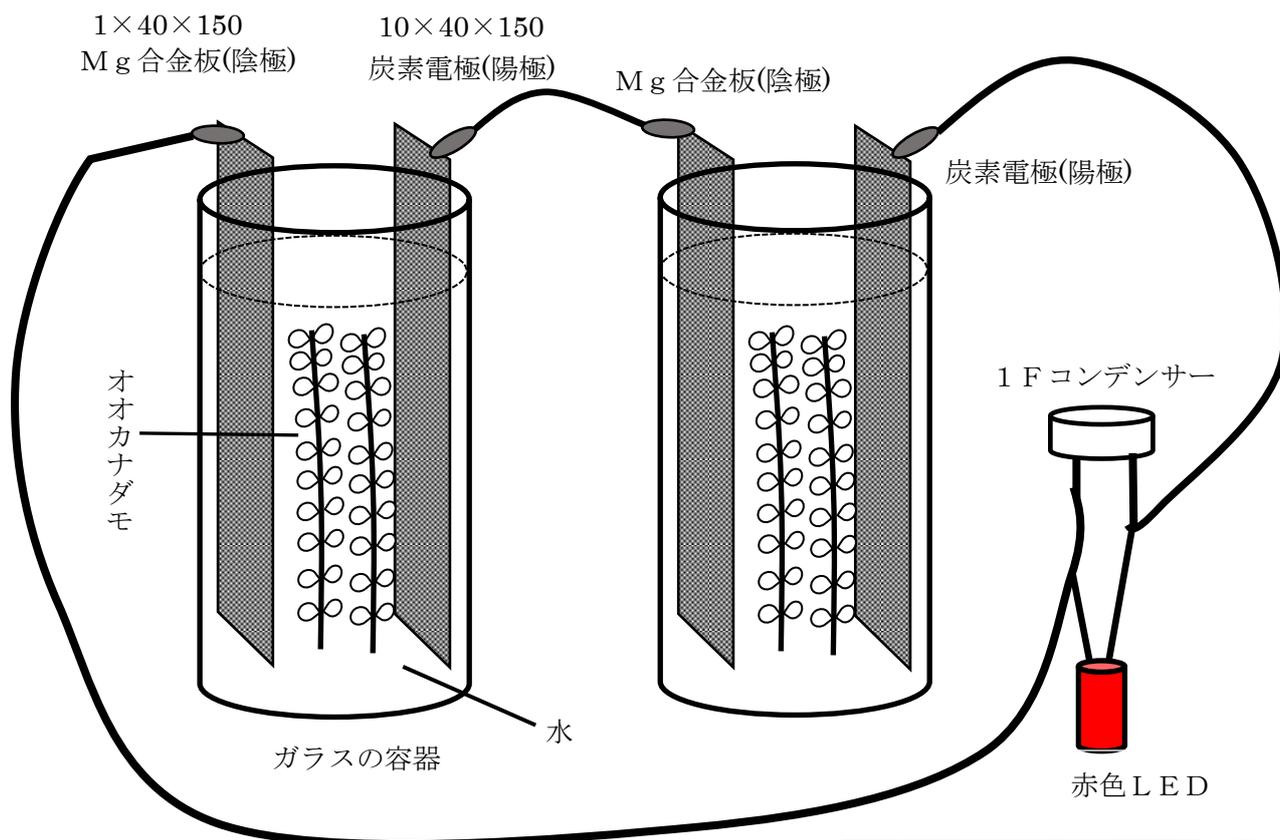


写真 14 : 実際のMg - オオカナダモ電池の様子

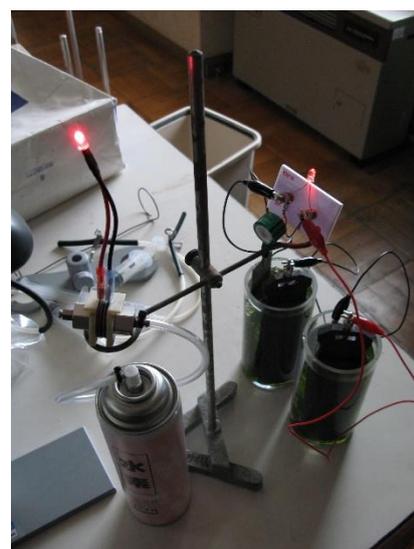


写真 15 : 水素電池と変わらない
明るさで赤色 LED が点灯する

(データ)

	1 個	2 個直列	水のみ 1 個列	水のみ 2 個直列
電圧(負荷付き) V	1.25	1.75	1.05	0.75
電流(負荷付き) mA	0.25	0.50	0.10	0.10

結果 2 個直列の Mg-オオカナダモ電池は、電子オルゴールが、目いっぱい大きな音で鳴り、コンデンサーを並列でつなげておくと、15 分くらいで、赤色 LED が点灯する。ただし、太陽電池用のプロペラモーターは、回らない。しかし、オオカナダモが元気であれば、2 個直列で 1.75V を維持し、1 ヶ月以上昼夜を問わず赤色 LED は点灯し続ける。水のみ 2 個直列の電池の電圧が低いのは、水なので内部抵抗が増すためである。

また、Mg 合金電極は、多少黒いサビのようなものができるが、Mg リボンのようにボロボロにならない。電圧は、LED を点灯できる程度の電圧であるが、長時間発電するので、新しいタイプの電池として応用できるのではないかと考える。

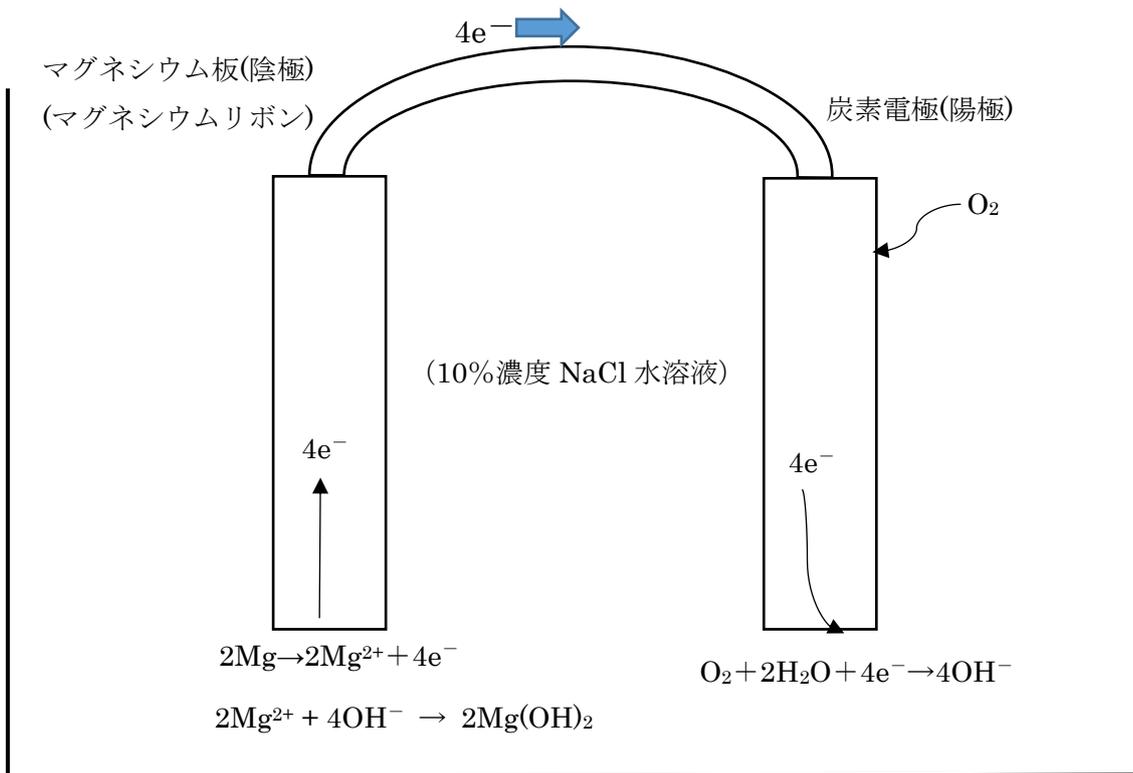


写真 16 : 左 最初の Mg 合金電極板 重さ 10.68 g 右 1 ヶ月連続使用の Mg 合金電極板 重さ 10.63 g

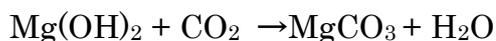
5. 考察

①実験 1-1、実験 1-2 について

Mg-C 電極 NaCl 電池は、非常用マグネシウム空気電池「Mg BOX」として、古河電池(株)から市販されている。基本的な発電のしくみは同じである。その発電のしくみを下図にまとめてみた。



電池を使い続けると水酸化マグネシウムができるが、二酸化炭素を加えると、



Mg イオンは、滑り止めや化粧品、歯科材料などに使用できる炭酸マグネシウムとして回収できるが、手間がかかる。

②実験 2 について

光合成-呼吸オオカナダモ電池の実際の作り方をまとめた。ここで最も重要なのは、**最も活性化したオオカナダモを選ぶ**ことである。市販されているオオカナダモ(アナカリス)は、葉も小さく、電池にはなるが、最大起電力が 1.0V と小さく、1 時間くらいで電圧が降下する。学校の池で飼育している葉の大きなオオカナダモを使用すると、起電力は 1.2V になり、長い期間連続して、電子オルゴールを鳴らすことができる。

つまり、光合成-呼吸オオカナダモ電池は、より大きい光合成をするオオカナダモを見つけることがポイントになる。

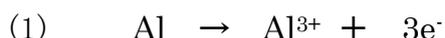
③実験 3 について

ガラスの円筒と素焼き容器に純水(pH=7.0)を入れる。純水だけで、いろいろな一極と+極の電極の組み合わせで、どれが一番大きな起電力を生み出すか調べた。その結果予想通り一極にはマグネシウムリボン(30cm)。+極は、炭素電極が1.05Vの起電力になり、純水だけで、電子オルゴールを鳴らすことが出来た。この結果は、実験1-1と実験1-2の結果の裏付けとなっている。また、Mg合金は、電池の電極として加工もしやすく、腐食にも強い。Mgリボンの代用となりうる。

④実験 4 について

光合成-呼吸オオカナダモ電池を、48時間電子オルゴールを鳴らして、アルミ板の変化を調べた。アルミニウムの化学変化については、たいへん複雑である。次の2つの資料「アルミニウムの腐食のおはなし」古河スカイ(株) 児島 洋一と「Q&Aガイド:アルミニウム」遠藤商事(株)からまとめると次のようになる。

アルミニウム電極では、2つの反応が起こっている。



これは、アルミニウム特有の反応である。

アルミニウム板の表面では、3つの反応が見られる。

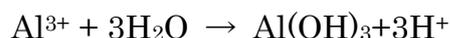
(1) 中性に近い水の中では、アルミの腐食反応として、アルミ電極表面で、酸化反応が起こる。

Al_2O_3 (アルマイト)ができる。見た目は銀白色に見える。

(2) 水酸化アルミニウム $\text{Al}(\text{OH})_3$ と水の中のミネラル (Ca^{2+} 、 Mg^{2+} など) が反応して、茶色から黒色のサビのような被膜ができる。

化学反応式については不明。

(3) Alの加水分解反応で、水素イオンが作られる。

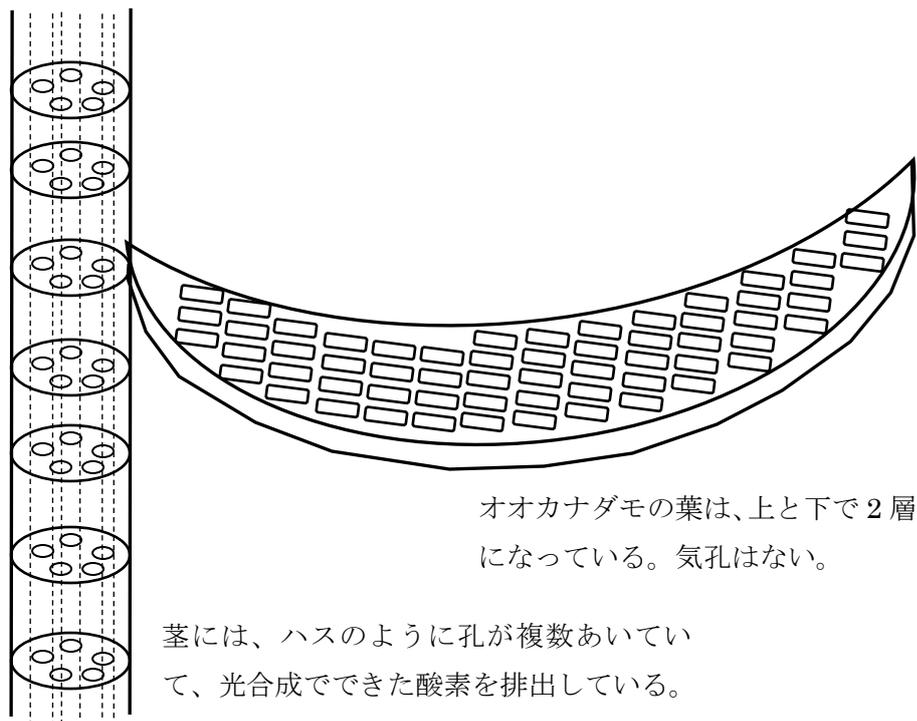


⑤実験 5 について

光合成を盛んにしている状態のオオカナダモの葉と茎の断面の顕微鏡観察したことを、オオカナダモのからだのつくりとして模式的にまとめると下図のようになる。



写真 17：オオカナダモの全体の様子



オオカナダモの葉は、上と下で 2 層構造になっている。気孔はない。

茎には、ハスのように孔が複数あいていて、光合成でできた酸素を排出している。

⑥実験 6 について

オオカナダモの原形質流動は、いつでも顕微鏡で観察できるわけではない。緑色の濃い葉の方が、原形質流動が見やすいと考えられたが、十分に光合成をして、少し緑色が薄くなっている葉の方が見やすい。水が pH=10.5 以上になっていれば、十分に光合成をしているので、酸素を排出したり、光から与えられた熱を逃がしたりするために、激しい原形質流動がおこるのではないかと考えられる。また、いったん水温が下がってしまうと、細胞の活性化が下がり、光合成の働きも低下し、動物で言う冬眠のような状態になると考えられる。

⑦実験7について

文部科学省のホームページにある「光と植物—植物工場」には、赤色と青色の光が植物の光合成には有効であるとあった。赤色は、葉緑体にあるクロロフィルの弱光反応。青色は強光反応と説明されていた。実験7の結果は、ほぼそれに近い結果であった。最も弱いのは、緑色であることもわかった。また、紫外線では、光合成が抑制される結果を得た。本来、反応するはずである、LED(濃赤色)は、照度が低すぎるために、十分に光合成ができなかったと考えられる。また、水だけでは、光に当たっても、全く電圧が変わらなかったのも、オオカナダモの光合成の働きで、電圧が増すことが実証された。したがって、**ほぼ予想どおりの結果になり、オオカナダモ電池は、リアルタイムで光合成の強さを調べることができることがわかった。**

⑧実験8-1、実験8-2について

市販されているオオカナダモ、カボンバ、オオフサモ、ホテイアオイの4種類の水草を用意し、それぞれ光合成—呼吸オオカナダモ電池の装置の中に入れて、4時間蛍光灯の光に当てて、光合成をさせる。電圧とpHを測定し、4つのデータを比較した。沈水性のオオカナダモが、最も炭酸水素イオンを利用して、水を塩基性にし、電池にするのに適している結果になった。これについて、「水草の炭酸水素イオンの利用の起源を探る」静岡県静岡農業高等学校生物部研究班の研究の中に詳細なデータがある。

実験7同様、光合成—呼吸オオカナダモ電池の装置の中に、資料の植物を入れれば、電圧を計ることによって、容易に光合成の強さを比較できるので光合成の研究に役立つのではないかと考える。また、その事を応用して、オオカナダモの24時間の光合成のリズムも捉えることが出来た。

⑨実験9について

Mg—オオカナダモ電池の発電するしくみは、実験1-1と同様である。しかし、マグネシウム空気電池は、電解質として食塩を使っており、長時間発電するのには限界があるし、マグネシウムの回収に問題があるとされている。Mg—オオカナダモ電池は、確かにMg合金を電極に使用しているが、かなりの長い期間電極として使用できるのではないかと考える。また、電解質溶液は、オオカナダモの光合成の働きでまかなっているので、その意味では自然に優しいと言えるかもしれない。

電圧は、LEDを点灯できる程度の電圧であるが、長時間発電するので、新しいタイプの電池として応用できるのではないかと考える。

6. 結論

下記のように、箇条書きでまとめた。

<<①実験 1-1、実験 1-2 から>>

Mg-C 電極 NaCl 電池 1 個の起電力は、2.05V-20mA。太陽電池用プロペラモーターが勢い良く回る。2 個直列で起電力は、4.0V-14mA。LED を点灯できる。

ただし、この電池は、長時間使用すると、Mg 電極がボロボロになり、また、水素による分極が進んで、動かなくなることもわかった。

<<②実験 2 から>>

光合成-呼吸オオカナダモ電池の起電力を大きくするには、**最も活性化したオオカナダモを選ぶことである**。光合成-呼吸オオカナダモ電池は、より大きい光合成をするオオカナダモを見つけることがポイントになる。また、電子オルゴールの他に **1.5V の電卓が動くことが確認できた**。

<<③実験 3 から>>

純水だけで、いろいろな-極と+極の金属電極の組み合わせでは、-極には Mg リボン (30cm)。+極は、炭素電極の組み合わせが 1.05V の起電力がある。純水だけで、電子オルゴールを鳴らすことができる。また、**Mg 合金は、電池の電極として加工もしやすく、腐食にも強い。Mg リボンの代用となりうる**。

<<④実験 4 から>>

アルミニウム板の表面では、3 つの反応が見られる。

(1) 中性に近い水の中では、アルミの腐食反応として、アルミ電極表面で、酸化反応が起こる。 Al_2O_3 (アルマイト) ができる。見た目は銀白色に見える。

(2) 水酸化アルミニウム $\text{Al}(\text{OH})_3$ と水の中のミネラル (Ca^{2+} 、 Mg^{2+} など) が反応して、茶色から黒色のサビのような被膜ができる。化学反応式については不明。

(3) Al の加水分解反応で、水素イオンが作られる。 $\text{Al}^{3+} + 3\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Al}(\text{OH})_3 + 3\text{H}^+$

<<⑤実験 5 から>>

オオカナダモの葉は、上と下で 2 層構造になっている。気孔はない。茎には、ハスのように孔が複数あいていて、光合成でできた酸素を排出している。実際のオオカナダモを観察すると、酸素の小さい気泡は、折った茎、若い葉が集まった先端、葉と茎の境目から出てくる。

<<⑥実験 6 から>>

オオカナダモの原形質流動は、いつでも顕微鏡で観察できるわけではない。緑色の濃い葉の方が、原形質流動が見やすいと考えられたが、十分に光合成をして、少し緑色が薄くなっている葉の方が見やすい。水が pH=10.5 以上になっていれば、十分に光合成をしているので、酸素を排出したり、光から与えられた熱を逃がしたりするために、激しい原形質流動がおこるのではないかと考えられる。また、いったん水温が下がってしまうと、細胞の活性化が下がり、光合成の働きも低下し、動物で言う冬眠のような状態になると考えられる。

<<⑦実験 7 から>>

文部科学省のホームページにある「光と植物—植物工場」に記載されている結果と、実験 7 の結果は、ほぼ同様の結果になった。最も弱いのは、緑色であることもわかった。また、紫外線では、光合成が抑制されることがわかった。また、オオカナダモは青色の光に強く反応し、普通の植物とは違ってかなり特殊な植物であると思われる。以上の事から、オオカナダモ電池は、リアルタイムで光合成の強さを調べることができる。

<<⑧実験 8-1、実験 8-2 から>>

市販されているオオカナダモ、カボンバ、オオフサモ、ホテイアオイの 4 種類の水草の中では、沈水性のオオカナダモが、最も炭酸水素イオンを利用して、水を塩基性にする。この実験では、光合成—呼吸オオカナダモ電池の装置の中に、水草などの植物を入れれば、電圧を計ることによって、容易に光合成の強さを比較できる。オオカナダモには、24 時間、光合成のリズムがあることがわかった。

<<⑨実験 9 から>>

2 個直列の Mg—オオカナダモ電池は、電圧 1.75V—電流 0.50mA で、長時間安定して発電できる。コンデンサーを並列でつなげておくと、電気が貯まって 15 分くらいで、赤色 LED が点灯する。オオカナダモが元気であれば 1 ヶ月以上昼夜を問わず赤色 LED は点灯し続ける。また、Mg 合金電極は、多少黒いサビのようなものができるが、Mg リボンのようにボロボロにならない。電圧は、LED を点灯できる程度の電圧であるが、長時間発電するので、新しいタイプの電池として応用できるのではないかと考える。

7. 今後の課題

本研究の今後の課題は以下の3点が考えられる。

①オオカナダモの原形質流動は、いつでも顕微鏡で観察できるわけではない。緑色の濃い葉の方が、原形質流動が見やすいと考えられたが、十分に光合成をして、少し緑色が薄くなっている葉の方が見やすい。今後、水温と光合成の関係や冬になるとなぜ光合成量が減るのか、光合成を促進したり、抑制したりする物質(ホルモン)などが考えられるが、中学生レベルでも研究できるように、工夫をして追究したい。

②オオカナダモ電池の水の中にあるオオカナダモの光合成の働きが起電力を大きくするという応用して、電圧を計ることでリアルタイムに光合成の強さを計れることがわかった。「光の色と光合成の関係」や「水草の光合成量の比較」以外に応用できないか、追究したい。

③Mg-オオカナダモ電池に用いると、2個直列で、電圧が常時1.75V、電流が0.5mAで動かす、コンデンサーを並列につなげて電気を貯め、赤色LEDを点灯させ続けられる。オオカナダモの光合成の働きで、水を十分電離していくので、長時間動かすことができる。このMg-オオカナダモ電池をさらに発展させ、もっと大きな電流を生み出す工夫をして追究したい。

8. 研究の感想

1年生の時、いろいろな実験をして、オオカナダモのことを学びながら、最終的に、『光合成-呼吸オオカナダモ電池』を見つけることが出来た。第59回日本学生科学賞で、環境大臣賞を頂きこの上ない大きな喜びがあった。また、植物の力で電気が作れ、改めて植物の生命力は凄いと実感した。

今年度は、Mg-C電極NaCl電池(マグネシウム空気電池)を作るところから研究を始めたが、今までの様々なタイプの電池に挑戦して来たので、文献にあるようなセパレーターを使わなくても、大きな起電力を得ることが簡単に出来るMg-オオカナダモ電池にたどり着いたのは、大きな成果であった。また、去年のオオカナダモ電池を応用して、光の色と光合成の関係を綿密に調べることが出来たのも、もう1つの大きな成果であった。

最後に、Mg-オオカナダモ電池を応用し、ビオトープの池で発電し、電気を貯め、夜灯を点灯できるようなシステムを作り出せたらと考えている。まだまだ、研究は完成していないので、あきらめずにいろいろなことを考えて、実験をして探して行きたい。

9. 参考文献

特に②と⑧の資料は、本研究の方向性を考えたり、実験装置を作ったりするのに、たいへん参考になり役に立った。深く、感謝したい。

①非常用マグネシウム空気電池「Mg Box」古河電池（株）

<http://www.furukawadenchi.co.jp/mgbox/>

②「空気マグネシウム電池の製作と活用」群馬県新里村立新里中学校 小林 明郎

③「水草の炭酸水素イオン利用の起源を探る」静岡県静岡農業高等学校生物部研究班

④「アルミニウムの腐食のおはなし」古河スカイ（株） 児島 洋一

⑤「Q&Aガイド：アルミニウム」遠藤商事（株）

<http://www.endoshoji.co.jp/QA/QA/30.html>

⑥「原形質流動はなぜ起きるのか」

<http://detail.chiebokuro.yahoo.co.jp/qa/question-detail/q1050348125>

⑦「いろいろな細胞の観察」北海道立理科教育センター 理科教育指導資料 第33集

⑧「文部科学省：第2章 豊かなくらしに寄与する光 2 光と植物－植物工場」

http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/gyutu/gijutu3/toushin/attach/1333537.html

⑨Mg合金(AZ-31)の入手先：(株)スタンダードテストピース:1×40×150(1枚435円)

<http://standard-testpiece.com>