

# オオカナダモ電池への挑戦

千葉市立稲毛高等学校附属中学校

1年

稲川 翔子

## 1. 研究の概要

以下のような実験を行った。

- ①オオカナダモ電池を作る前に、燃料電池を作ることにした。そこで、中学校2年生で行う水(水酸化ナトリウム水溶液)の電気分解で、水素と酸素を十分に発生させたその実験装置自体が燃料電池として使えることを見出した。
  
- ②オオカナダモが光に当たって、光合成を行い、酸素を出し、息を十分に吹き込んで黄色にした(水+B. T. B液)を青くする原因は、炭酸水素イオンに着目すれば、水酸化物イオンが出来て青色に変化することが説明できることがわかった。
  
- ③オオカナダモによる燃料電池は、作ることはできなかった。
  
- ④オオカナダモの光合成で青色になった水と、オオカナダモの呼吸でより濃い黄色の水を素焼きの容器に入れる。そして、プラスとマイナス極に炭素電極を用いればイオンの移動で継続して発電できることをわかった。この電池を**光合成－呼吸オオカナダモ炭素電極電池**と名付けることにした。オオカナダモが活着している間は、ずっと継続して発電する。植物の光合成と呼吸のサイクルを、同時に体験できる実験として提示したい。
  
- ⑤前述の光合成－呼吸オオカナダモ炭素電極電池の起電力が小さいので、**ボルタ電池**の応用で、**アルミ板と銅板を電極にし、24時間オオカナダモに光合成をさせて、中の水を塩基性(B. T. B液青色)に電極を入れると、1.2Vの大きい起電力が得られることがわかった。**この電池を**アルミ－銅電極オオカナダモ電池**と名付けることにした。
  
- ⑥この電池では、オオカナダモに光合成をさせて、発電し、その電気をコンデンサーに貯められることもわかった。電池セル10個の並列のシステムをつくり、より大量の電気をコンデンサーに貯めさせることができることがわかった。
  
- ⑦最後に光合成－呼吸オオカナダモ電池の電極を炭素板から、アルミ－銅電極に変更したら、安定した起電力を得られることを発見した。水だけでアルミ－銅電極は、0.65Vの起電力があり、オオカナダモの光合成で、0.55Vの電圧を上乗せしている。また、オオカナダモが元気で活性化しているかぎり、1.20Vの電圧を生み出すことができる。

## 2. 研究目的

植物の学習で、オオカナダモが日光に当たると、光合成をして、酸素をつくることを実験した。酸素を発生させると、黄色だった二酸化炭素を吹き込んだB.T.B液入りの水が、青色に変化した。小学校の学習では、B.T.B液が青色ならアルカリ性ということは理解していたので、オオカナダモは、日光に当たると、光合成をして、酸素を発生させて、水をアルカリ性に変えることが実験からわかった。黄色から青色に変わることが、中学1年生の私には、ちょっと理解できず、むずかしいかもしれないが、青色に変わるメカニズムを調べたいと思った。もう一つ自分なりの発見は、オオカナダモの緑色の葉が、太陽電池のように思えたことである。緑色の葉が太陽に当たると、光合成をして、葉緑体にブドウ糖を作って、気孔から酸素を出す。私は、オオカナダモに不思議な無限の力を感じた。

そこで、オオカナダモが出す「酸素」と、何かの他の植物か、自然界で容易に集められる「水素」を使えば、「燃料電池」になるのではないかと気付いた。失敗するかもしれないが、オオカナダモを使った「燃料電池」を作ってみようと思った。

そのためには、電池のことについて、そのしくみを知らなくてならない。そうすれば、オオカナダモによる「燃料電池」がもしも出来なかったら、他の形の「オオカナダモ電池」が出来るとも思えない。こうして、いろいろな事を試しながら、一つずつ解決していく研究を始めた。

## 3. 研究の方法

課題 1. 水素と酸素を用いる燃料電池を作るにはどうしたらよいか。

(仮説 1) パラジウムメッキした電極を用いなくても、水の電気分解で、十分に水素と酸素を貯めれば、その状態そのものが、エネルギーを貯めている燃料電池ではないか。

(実験 1-1) 水酸化ナトリウム水溶液(2mol/L)を入れた簡易電解装置(NaRiKa-EA-2F)に6Vの電圧をかけ、水素を6mL、酸素を3mLのほとんど目いっぱい気体を貯めた状態まで電流を流す。つぎに、プラスとマイナスの導線をテスターにつなげて、燃料電池としての起電力を計り、電流計で電流値(mA)を計る。電子オルゴールにつなげて、音が鳴るか確かめる。

(実験 1-2) 同じ電解装置に、同じ濃度の水酸化ナトリウム水溶液を入れ、マイナス極側の円筒に水素を6mL、プラス側の円筒に酸素を3mL、上部の特殊なゴム栓から注射器で入れて、実験1と同様にテスターにつなげて起電力を計り、電流計で電流値を計る。

**課題 2.** オオカナダモが光合成で、水中の二酸化炭素を消費し、酸素を出して、黄色だった(水+B. T. B液)が、なぜ青色に変化したのか。

(仮説 2) B. T. B液が青くなるには、水酸化物イオンが増えなくてはならないので、息(二酸化炭素)を吹き込んだ水に炭酸水素イオンが存在し、オオカナダモの光合成の働きで、水酸化物イオンが増加したのではないか。

(実験 2) 水に呼気(二酸化炭素)を十分に吹き込み、その後に、1.0mol/L(かなりうすい水酸化ナトリウム水溶液)を4滴入れる。さらに十分に呼気を吹き込む。できた溶液を蒸発皿に入れて、水分を蒸発させる。蒸発皿に、炭酸水素ナトリウムが出来れば、水に二酸化炭素を吹き込んだものに、炭酸水素イオンが存在することになる。

**課題 3.** 簡易電解装置の中に、プラス極側の円筒にオオカナダモを入れて。光合成をさせて、十分な酸素をため、中の水溶液を塩基性(B. T. B液青色)にする。マイナス極側の円筒の上部の特殊なゴム栓から水素を入れれば、生物由来の燃料電池になるのではないか。

(仮説 3) 電解質水溶液が水酸化ナトリウム水溶液ではないが、オオカナダモの光合成で、水酸化物イオンが存在する水溶液になっている。そこに、オオカナダモの光合成の産物としての酸素と、外から水素(酸性の強い温泉水に亜鉛などの金属を入れて、水素を発生させる。)を注入すれば、燃料電池になるであろう。

(実験 3) 簡易電解装置に、黄色の呼気を十分吹き込んだ(水+B. T. B液)を入れる。プラス極側の円筒にオオカナダモを入れて。蛍光灯の光を24時間当てて、円筒の中が青色になるまで十分な酸素をためる。マイナス極側の円筒の上部の特殊なゴム栓から注射器で水素を入れる。つぎに、プラスとマイナスの導線をテスターにつなげて、燃料電池としての起電力を計り、マイクロアンペア計で電流値( $\mu A$ )を計る。電子オルゴールにつなげて、音が鳴るか確かめる。

## 《オオカナダモ燃料電池の失敗から、光合成－呼吸オオカナダモ炭素電極電池を考える》

課題 4. 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。光合成をさせて、十分な酸素をため、中の水溶液を塩基性 (B. T. B 液青色) にする。マイナス極側の素焼きの容器の中にオオカナダモ入れて呼吸を十分にさせる。(B. T. B 液黄色) 電極は、炭素電極にする。この状態で、起電力は小さいものの発電するのではないか。また、光にガラスの円筒に光を当て続ければ、発電を継続するのではないか。

(仮説 4) 一方にオオカナダモの光合成で、塩基性になった水溶液、もう片方にオオカナダモの呼吸で酸性になった水溶液を素焼きの容器に入れて、プラスとマイナス極として炭素の電極板を、それぞれの容器に入れればイオンの移動が起きて、発電するのではないか。また、植物の光合成と呼吸なので、オオカナダモの発電は継続して行うであろう。

(実験 4) 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て、24 時間光合成をさせて、十分な酸素をため、中の水溶液を塩基性 (B. T. B 液青色) にする。pH を pH メーターで計る。マイナス極側の素焼きの容器の中にオオカナダモ入れて呼吸を十分にさせる。(B. T. B 液黄色) 素焼きの中は、光は当たらない。呼吸した側の pH も測定する。電極は、炭素電極にする。つぎに蛍光灯の光に当てながら、5 分おきにプラスとマイナスの導線をテスターにつなげて、燃料電池としての起電力を計り、マイクロアンペア計で電流値 ( $\mu A$ ) を計る。電子オルゴールにつなげて、音が鳴るか確かめる。

次に、使用する電極をステンレス網 (メッシュ)、ニッケル板に変えて、同様に実験するが、あくまでも、起電力や電流値の違いを調べるだけにする。基本にする電極は、金属イオンを水溶液中に出さない炭素電極である。

《光合成と呼吸を利用したオオカナダモ炭素電極電池より起電力の大きい、  
アルミ-銅電極オオカナダモ電池をめざして》

課題 5. ガラスの円筒にオオカナダモを入れる。24 時間光合成をさせて、中の水を塩基性 (B. T. B 液青色) にする。ボルタ電池を応用し、陰極としてアルミ板、陽極として銅板を入れる。B. T. B 液青色の水には、十分な水酸化物イオンが存在するので、電子オルゴールを鳴らすことができるくらいの起電力がある電池になるのではないか。

(仮説 5) オオカナダモの光合成で、十分に塩基性になった水に、ボルタ電池を応用し、陰極にアルミ板、陽極に銅板を入れれば、1.0V 程度の起電力の電池になるであろう。また、蛍光灯の光を当て続ければ、中のオオカナダモの光合成により、水酸化物イオンが常に供給され、発電が継続するであろう。

(実験 5-1) ガラスの円筒に水を入れ、オオカナダモも入れる。十分に呼気(二酸化炭素)を充填し、24 時間蛍光灯の光に当てて光合成させる。中の水が塩基性 (B. T. B 液青色) する。pH を pH メーターで計る。オオカナダモの光合成で十分に塩基性になった水がはいったガラスの円筒に、陰極としてアルミ板、陽極として銅板を入れる。蛍光灯の光に当てながら、5 分おきに、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 (mA) を計る。また、電子オルゴールにつなげて音が鳴るか確かめる。測定後、水の pH を計る。

また、陰極を亜鉛板とマグネシウムリボンに変えて、起電力と電流を計り、アルミ板との値の違いを調べる。

(実験 5-2) アルミ-銅電極オオカナダモ電池に、1 F のコンデンターをつなぎ、2 時間蛍光灯の光を当て続けて、充電する。電気が十分に貯まり、太陽電池用のプロペラモーターがどのくらいの時間回るか計測する。

(実験 5-3) アルミ-銅電極オオカナダモ電池に電子オルゴールをつなぎ、蛍光灯の光を当てながら、72 時間発電を継続させる。陰極のアルミ板からアルミニウムイオンが出て、オオカナダモに影響を与えないか調べる。

《アルミ－銅電極オオカナダモ電池をより実用化を確実にすることをめざして》

課題 6. アルミ－銅電極を太目の金属線に変え、オオカナダモ電池を、試験管に1つまとめ、1個の電池セルとして考え、10個の並列電池システムにすれば、コンデンサーにより大量の電気をためることができるのではないか。

(仮説 6) 実験 5-2 で、長さ 30cm のオオカナダモに2時間の光合成で、0.3C (クーロン) の電気が貯められる。アルミ－銅電極オオカナダモ電池を試験管 1 本にコンパクトにまとめて、それを電池セルと考えて 10 個の並列システムにすれば、より大量の電気がコンデンサーにためられるであろう。

(実験 6) アルミ－銅電極を太目の金属線に変え、アルミ－銅電極オオカナダモ電池を、試験管に1つまとめ、1個の電池セルとして考え、10個の並列電池システムにする。コンデンサーにつなげて、2時間蛍光灯の光に当てて、発電した電気をコンデンサーに貯める。最後に、太陽電池用のプロペラモーターをつなげ、どのくらいの時間回るか計測する。

《光合成－呼吸オオカナダモ炭素電極電池をより高い起電力の電池をめざして》

課題 7. 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。光合成をさせて、中の水溶液を塩基性 (B. T. B 液青色) にする。マイナス極側の素焼きの容器の中にオオカナダモ入れて呼吸を十分にさせる。(B. T. B 液黄色) 電極は、アルミ－銅電極にする。pH の差が大きく、起電力は大きくなるのではないか。

(仮説 7) 光合成をさせて、中の水溶液を塩基性 (B. T. B 液青色) にする。マイナス極側の素焼きの容器の中にオオカナダモ入れて呼吸を十分にさせる。(B. T. B 液黄色) 電極は、アルミ－銅電極にする。pH の差が大きく、起電力は大きくなるのではないか。実験 5-1 のアルミ－銅電極オオカナダモ電池は、光合成だけの力なので、それよりも起電力は高くなり、安定して長時間発電するであろう。

(実験 7-1) 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。光合成をさせて、中の水溶液を塩基性 (B. T. B 液青色) にする。マイナス極側の素焼きの容器の中にオオカナダモ入れて呼吸を十分にさせる。(B. T. B 液黄色) 電極は、アルミ－銅電極にする。5分おきに、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 (mA) を計る。また、電子オルゴールにつなげて音が鳴るか確かめる。測定後、水の pH を計る。

(実験 7-2) 比較実験として、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。オオカナダモは入れない。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。

※ただし、すべての実験で使用する水は、関係のないイオンを排除するために、純水を使用する。

## 4. 結果

### (実験 1-1)

右図のような簡易電解装置に 2.0mol/L の水酸化ナトリウム水溶液を入れて、電極を電源装置につなげ、直流 6V で、2 分程度電流を流す。

水素を 6mL、酸素を 3mL が貯まれば、電源を切る。

つぎに、プラスとマイナスの導線にテスターにつなげて、燃料電池としての起電力を計り、電流計で電流値 (mA) を計る。電子オルゴールにつなげて、音が鳴るか確かめる。

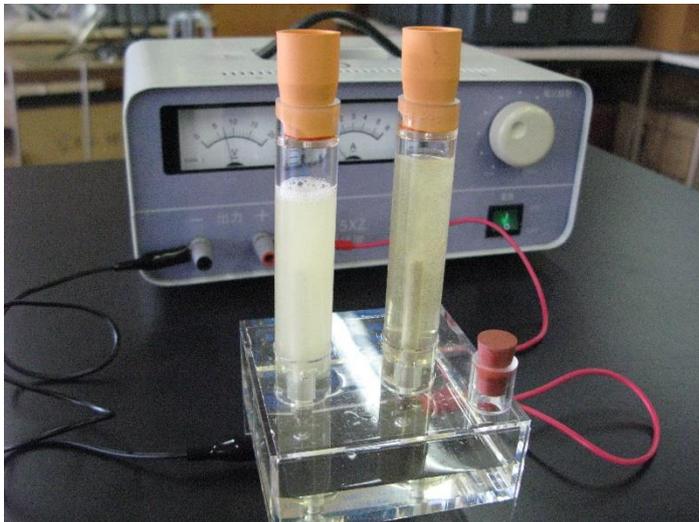
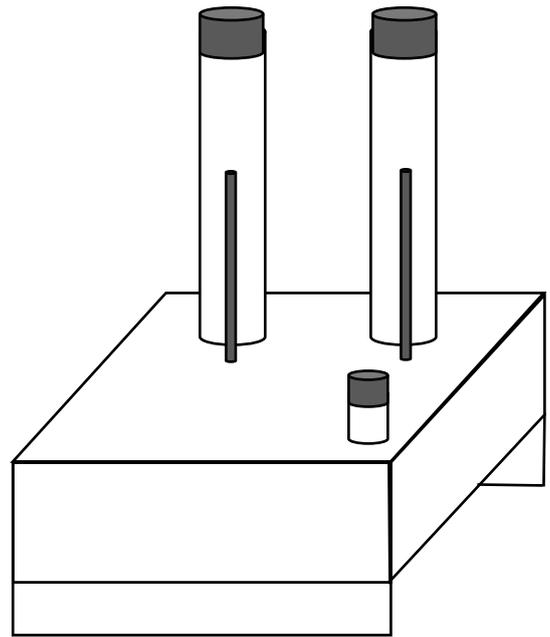


写真 1: 電気分解の様子

### (データ)

回	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	最大
起電力 (V)	1.20	1.20	1.10	1.20	1.20	1.10	1.20	1.10	1.20	1.20	1.20
電流 (mA)	0.25	0.25	0.20	0.25	0.25	0.20	0.25	0.20	0.25	0.25	0.25

結果 起電力は、最大 1.20V、電流は、0.25mA。

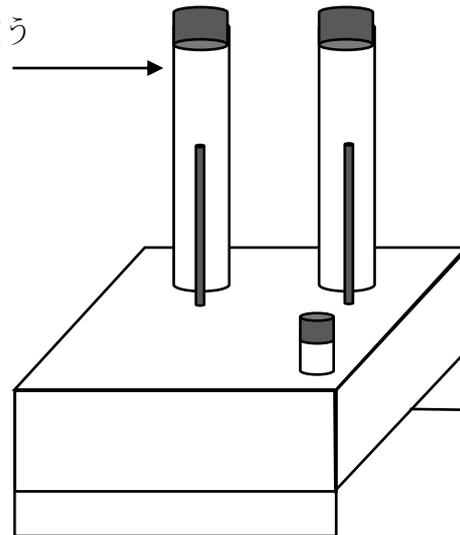
電子オルゴールは、音が鳴ったが、わずか約 30 秒後ですぐに鳴らなくなった。電圧は、0.6V に降下していた。

電圧は低いものの、十分燃料電池として機能した。

### (実験 1-2)

実験 1 と同様の簡易電解装置を用い、気体を集める円筒の上部のゴム栓は、注射器で集めた気体を吸い取るために、逆流防止弁付きの特殊ゴム穴あきゴム栓になっている。これを逆向きに取り付けると、外部から注射器で気体を充填出来る。同じ電解装置に、同じ濃度の水酸化ナトリウム水溶液を入れ、マイナス極側の円筒に水素を 6mL、プラス側の円筒に酸素を 3mL、上部の特殊なゴム栓から注射器で入れて、実験 1 と同様にテスターにつなげて起電力を計り、電流計で電流値を計る。電子オルゴールにつなげて、音が鳴るか確かめる。

ゴム栓を逆にして差し込んで使う  
そうすると、外から注射器で  
水素と酸素を充填できる。



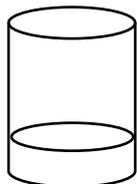
### (データ)

回	1
起電力(V)	0.01
電流 ( $\mu A$ )	0.0

結果 起電力は、ほぼ 0V、電流は、 $0\mu A$ 。  
電子オルゴールは、全く鳴らない。  
この実験装置では、燃料電池にならない。

## (実験 2)

水に呼気(二酸化炭素)を十分に吹き込み、その後に、1.0mol/L(かなりうすい水酸化ナトリウム水溶液)を4滴入れる。さらに十分に呼気を吹き込む。できた溶液を蒸発皿に入れて、水分を蒸発させる。蒸発皿に、炭酸水素ナトリウムが出来れば、水に二酸化炭素を吹き込んだものには、炭酸水素イオンが存在することになる。



①50mL ビーカーに 10mL の水を入れ呼気(二酸化炭素)を十分に吹き込む  
pH=5.0 程度にする。



②1.0mol/L の水酸化ナトリウム水溶液  
(40g の水酸化ナトリウムを水に溶かして  
1L にしたもの)  
4 滴入れる。

③中和点は、わからないが、さらに呼気(二酸化炭素)を十分に吹き込む。

④蒸発皿に③の溶液を適量入れて、ガスバーナーで加熱して、水分を蒸発させ、蒸発皿に残った結晶を観察する。

## (結果)

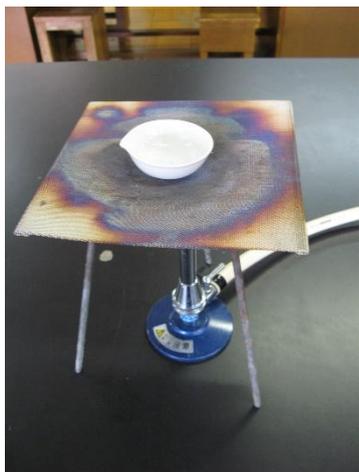
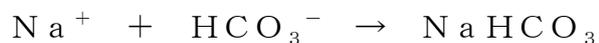


写真 2: 蒸発させている様子



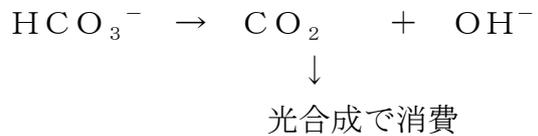
写真 3: 蒸発皿に白い結晶が見える。

蒸発皿に白い結晶(炭酸水素ナトリウム)が残った。



水に二酸化炭素を吹き込んだものには、炭酸水素イオンが存在する。

オオカナダモの光合成のはたらきで、炭酸水素イオン中の二酸化炭素を消費し、酸素を発生させる。その結果、水の中の水酸化イオンが増加し、B.T.B液を入れておくと濃い青色になる。



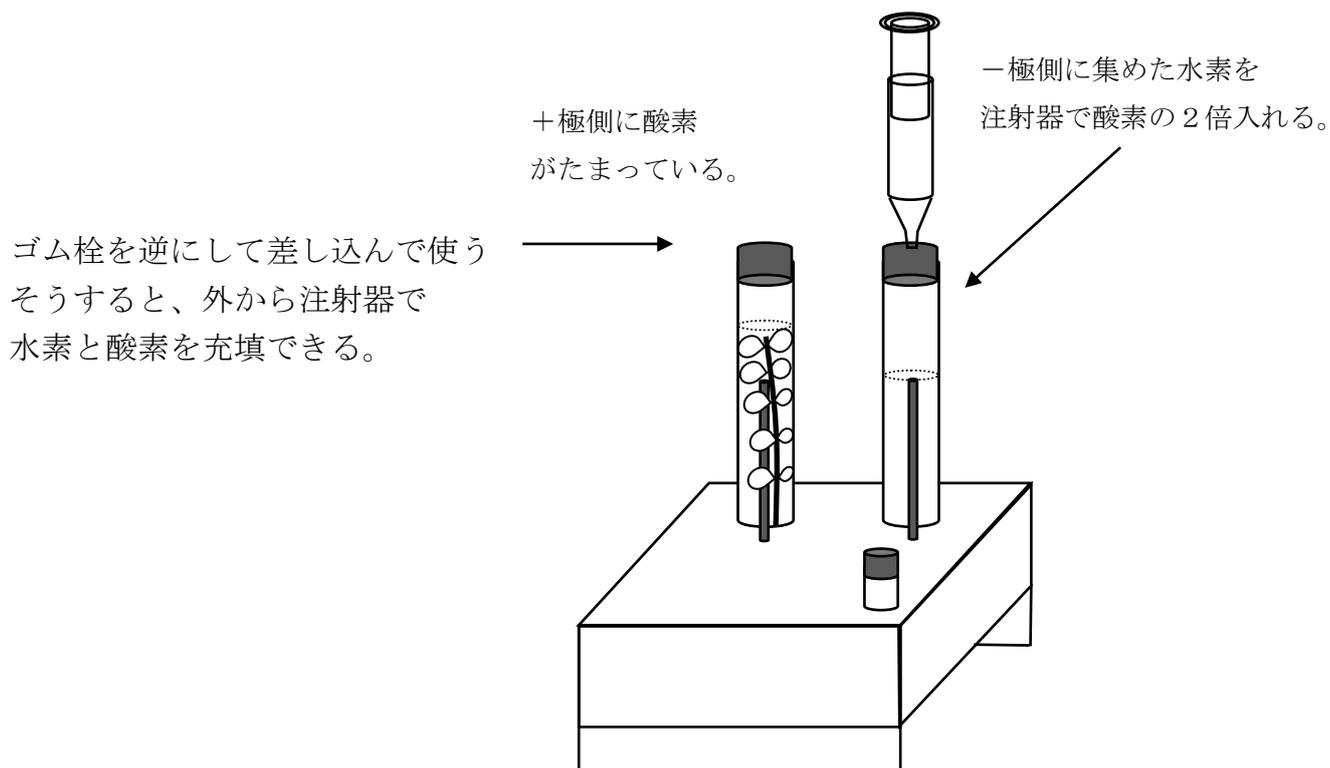
48時間、蛍光灯の光に当てておいた、オオカナダモの入った水は下の写真のようにかなり濃い青色に変化した。pHをpHメーターで測定したら、11.0まで塩基性が強くなった。



写真 4: 48時間オオカナダモに光合成をさせて、青くなった水

静岡県立静岡農業高等学校生物部研究班による「水草の炭酸水素イオン利用の起源を探る」の研究によれば、オオカナダモのように水を塩基性にする水草は、ヤナギモやマリモなどで、すべての水草が同じ働きをするわけではない。したがって、オオカナダモの塩基性の水を作る働きは特殊なものと言える。

(実験 3) 簡易電解装置に、黄色の呼気を十分吹き込んだ(水+B.T.B液)を入れる。プラス極側の円筒にオオカナダモを入れる。蛍光灯の光を 24 時間当てて、円筒の中が青色になるまで十分な酸素をためる。マイナス極側の円筒の上部の特殊なゴム栓から注射器で水素を入れる。つぎに、プラスとマイナスの導線にテスターをつなげて、燃料電池としての起電力を計り、マイクロアンペア計で電流値( $\mu A$ )を計る。電子オルゴールにつなげて、音が鳴るか確かめる。



(データ)

回	1
起電力(V)	0.01
電流 ( $\mu A$ )	0.0

結果 実験 1-2 と同じ結果。  
起電力は、ほぼ 0V、電流は、 $0\mu A$ 。  
電子オルゴールは、全く鳴らない。  
オオカナダモ燃料電池は、完全に失敗。



写真 5: 実際の実験装置の様子

失敗した理由

実験 1-2 と同様と考えられる。

(実験 4) 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。24 時間光合成をさせて、十分な酸素をため、中の水溶液を塩基性(B. T. B液青色)にする。pHをpHメーターで計る。マイナス極側の素焼きの容器の中にオオカナダモ入れて呼吸を十分にさせる。(B. T. B液黄色) 素焼きの中は、光は当たらない。呼吸した側のpHも測定する。電極は、炭素電極にする。つぎに、蛍光灯の光に当てながら、5分おきに、プラスとマイナスの導線にテスターをつなげて、燃料電池としての起電力を計り、マイクロアンペア計で電流値( $\mu A$ )を計る。電子オルゴールにつなげて、音が鳴るか確かめる。

次に、使用する電極をステンレス網(メッシュ)、ニッケル板に変えて、同様に実験するが、あくまでも、起電力や電流値の違いを調べるだけにする。基本にする電極は、金属イオンを水溶液中に出さない炭素電極である。

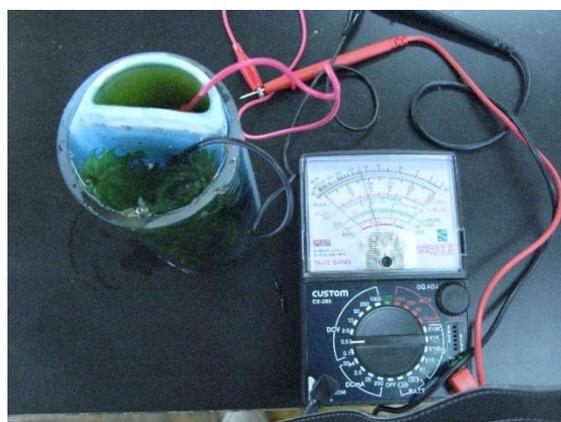
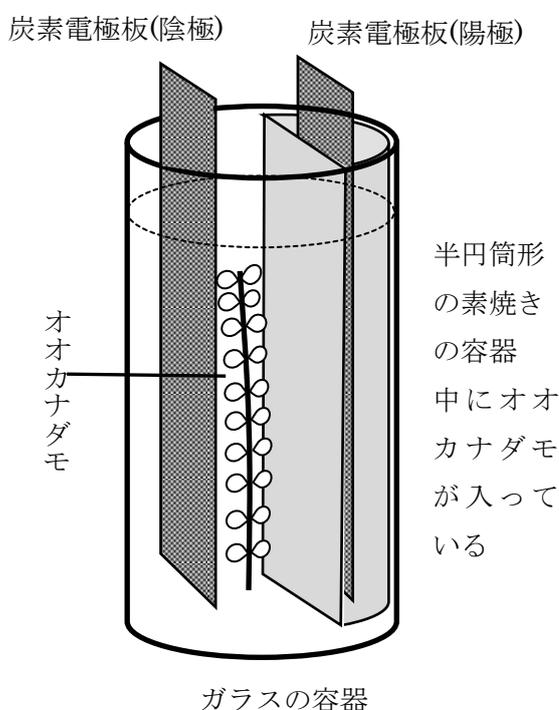


写真 6: 実際の装置にテスターをつなげた様子

(データ)

① pHの値(最大)      光合成側(青色) pH=11.0      呼吸側(黄色) pH=5.0

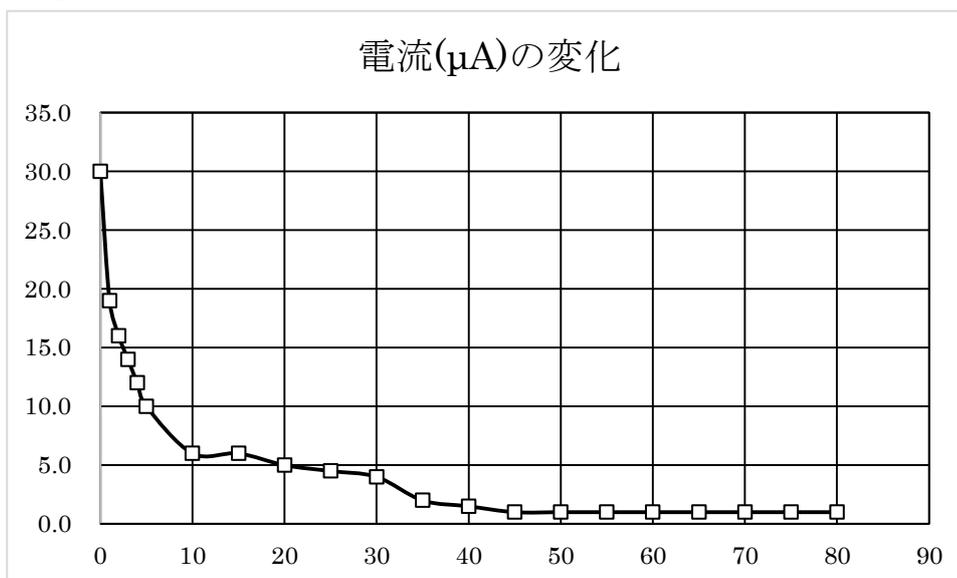
②炭素極板を使用した時の起電力と電流

時間(分)	0	1	2	3	4	5	10	15	20	25	30
起電力(V)	0.100	0.080	0.060	0.040	0.028	0.025	0.012	0.012	0.010	0.009	0.008
電流 ( $\mu A$ )	30	19	16	14	12	10	6	6	5	4.5	4

時間(分)	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	最大
起電力(V)	0.004	0.003	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.100
電流 ( $\mu A$ )	2	1.5	1	1	1	1	1	1	1	1	30

③終了時のpHの値      光合成側(青色) pH=10.4      呼吸側(青色) pH=9.5

④電流の変化のグラフ



⑤ステンレス網極板とニッケル極板を使用した時の起電力と電流

回	ステンレス網	ニッケル板
起電力(V)	0.07	0.04
電流 ( $\mu A$ )	5	4

結果 起電力は、最大 0.100V、電流は、30 $\mu$ A。

電子オルゴールは、音が鳴らなかった。

電圧は低いものの、オオカナダモの光合成と呼吸で発電できることがわかった。

素焼きからは小さな泡(水素)が出ていた。

すぐに電圧が低下したのは、陽極(呼吸側)のpHの変化が大きく、塩基性に変わったためと考えられる。

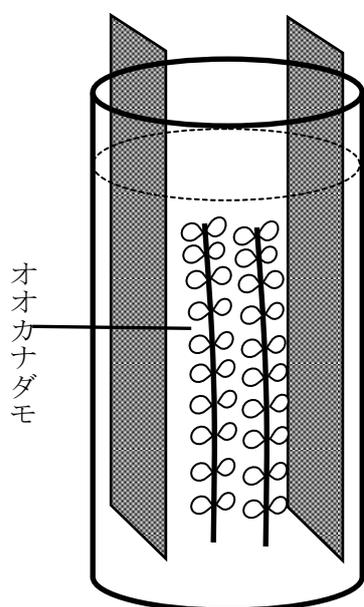
つまり、蛍光灯の光を当てていたので、光合成の方が強く。陽極(呼吸側)での二酸化炭素の供給が小さいためと考えられる。考えようによっては、植物の光合成と呼吸の関係をそのまま反映していると言える。

(実験 5-1) ガラスの円筒に水を入れ、オオカナダモも入れる。十分に呼気(二酸化炭素)を充填し、24 時間蛍光灯の光に当てて光合成させる。中の水が塩基性(B. T. B液青色)する。pHをpHメーターで計る。オオカナダモの光合成で十分に塩基性になった水がはいったガラスの円筒に、陰極としてアルミ板、陽極として銅板を入れる。蛍光灯の光に当てながら、5分おきに、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(mA)を計る。また、電子オルゴールにつなげて音が鳴るか確かめる。測定後、水のpHを計る。

また、陰極を亜鉛板とマグネシウムリボン(30cm)に変えて、起電力と電流を計り、アルミ板との値の違いを調べる。

0.2×45×150  
アルミ極板(陰極)

0.1×45×150  
銅電極板(陽極)



ガラスの容器



写真 7: 実際の実験装置に電子オルゴールをつなげた様子

(データ)

① pHの値 24 時間光合成(青色) pH=10.8

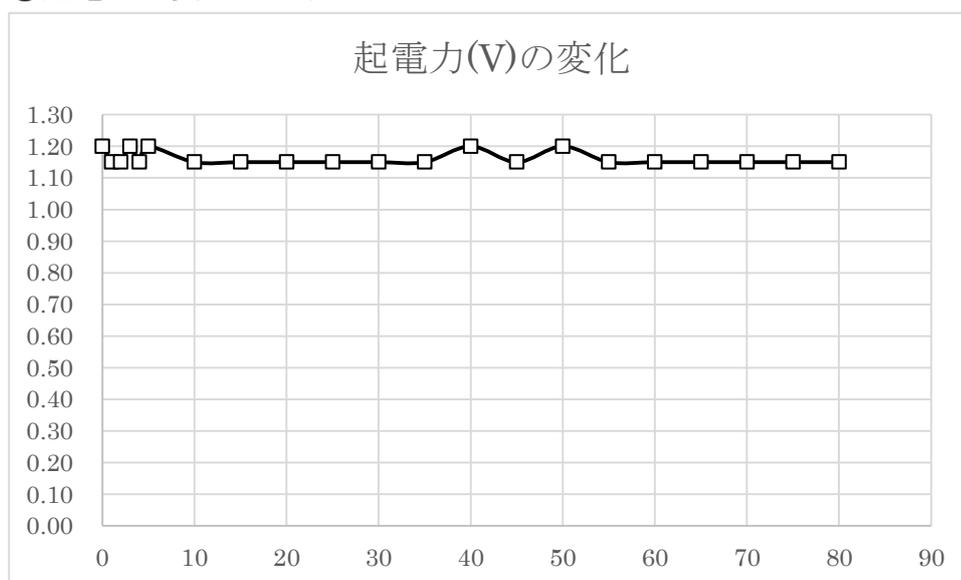
② Al-Cu電極板を使用した時の起電力と電流

時間(分)	0	1	2	3	4	5	10	15	20	25	30
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
電流 (mA)	0.70	0.70	0.70	0.75	0.70	0.75	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70

時間(分)	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	最大
起電力(V)	1.15	1.20	1.15	1.20	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.20
電流 (mA)	0.70	0.75	0.70	0.75	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.75

③終了時のpHの値 (青色) pH=10.3

④起電力の変化のグラフ



⑤亜鉛板電極(陰極)を使用した時の起電力と電流

	亜鉛板	マグネシウムリボン
起電力(V)	0.80	1.50
電流 (mA)	1.25	1.00

※マグネシウムリボン電極は、アルミ板電極より電子オルゴールを勢いよく鳴らした。しかし、マグネシウムリボンは、高価であり、どこでも手に入る金属ではない。また、電圧が高いのは、マグネシウムが水に溶けて、水素を発生し、水酸化物イオンを作るので、生物の力ではない。アルミ板(アルミホイルでも良い)を選択することにした。

**結果** 起電力は、最大 1.20V、電流は、0.75mA (750 $\mu$ A)  
 電子オルゴール(動作電圧 1.2V、最低動作電流 40 $\mu$ A)はしっかりと音が鳴り続けた。  
 80分後も、電子オルゴールは音が鳴った。  
 起電力は、ボルタ電池より大きく、5分を過ぎると陽極に水素の泡がつくことによる電圧降下を起こすが、電極を揺らし水素を取り除くと、すぐに復活する。  
 このアルミ-銅電極オオカナダモ電池は、起電力も大きく、オオカナダモに光に当て続け、光合成をさせれば、60分以上長い時間、化学電池として十分な性能を持つことがわかった。

(実験 5-2) アルミ-銅電極オオカナダモ電池に、コンデンサーをつなげて、2時間蛍光灯の光に当てて、発電した電気をコンデンサーに貯める。最後に、太陽電池用のプロペラモーターをつなげ、どのくらいの時間回るか計測する。

(結果)

	太陽電池用のプロペラモーター
動作電流 (mA)	20
回転時間 (秒)	15
発電電気量 (C)	0.02A × 15 秒 = 0.30C



写真 8: コンデンサーにつなげて充電している様子

(実験 5-3) アルミ-銅電極オオカナダモ電池に電子オルゴールをつなぎ、蛍光灯の光を当てながら、72 時間発電を継続させる。陰極のアルミ板からアルミニウムイオンが出て、オオカナダモに影響を与えないか調べる。

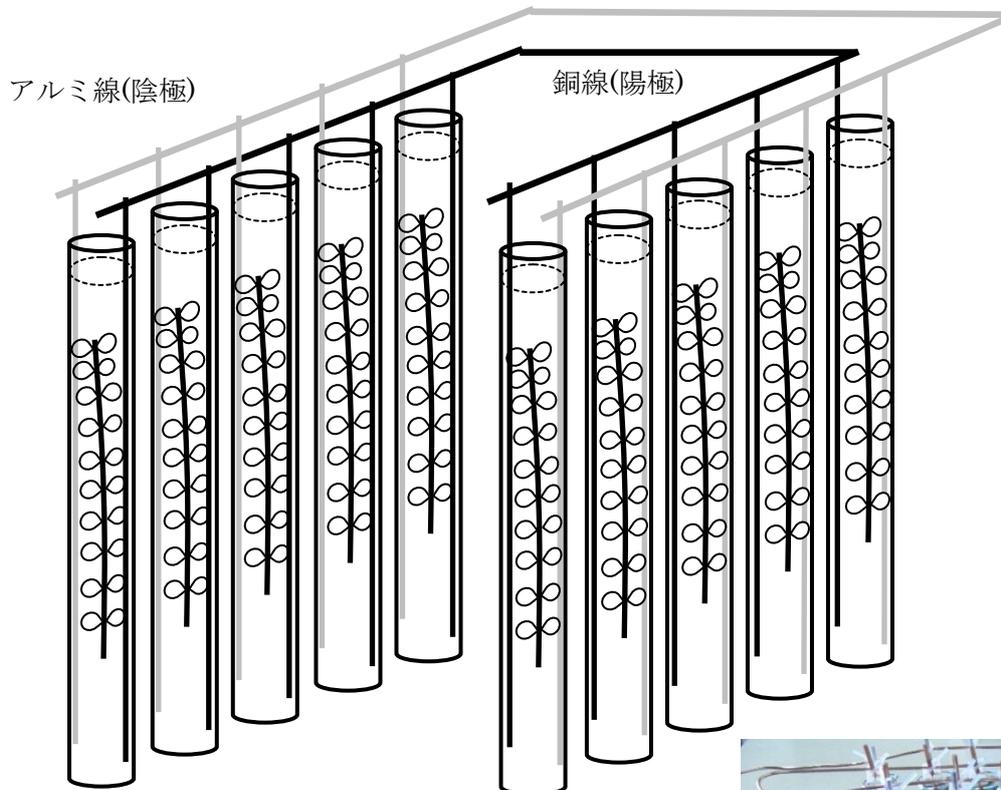
(結果)

オオカナダモに変化した様子は、見られなかった。アルミニウムイオンは、ミョウバンなどにも含まれるので、植物には、大きな影響は与えないと考えられる。



写真 9: 72 時間後、花を咲かせて元気な様子

(実験 6) アルミ-銅電極を太目の金属線に変え、アルミ-銅電極オオカナダモ電池を、試験管に1つまとめ、1個の電池セルとして考え、10個の並列電池システムにする。コンデンサーにつなげて、2時間蛍光灯の光に当てて、発電した電気をコンデンサーに貯める。最後に、太陽電池用のプロペラモーターをつなげ、どのくらいの時間回るか計測する。



太めの試験管 10 本を並列につなぐ。  
1 F のコンデンサーにつなげ、  
充電する。

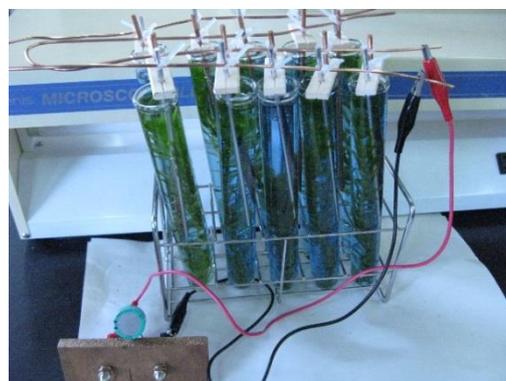


写真 10: 電池セル 10 個をつなげた様子

(結果)

	太陽電池用のプロペラモーター
動作電流 (mA)	20
回転時間 (秒)	16
発電電気量 (C)	$0.02A \times 16 \text{ 秒} = 0.32C$

これにより、1本 15cm のオオカナダモ 10 本の光合成により、発電した電気が、コンデンサーに蓄えた電気量は 0.32 C (クーロン)。これをオオカナダモ 1 本の発電量に換算すると 0.032 C (クーロン)。予想より少ない発電量であった。原因は、電極を表面積の小さい棒にしたこと。試験管にしたため、移動するイオンの量が少ないためと考えられる。

(実験 7-1) 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。光合成をさせて、中の水溶液を塩基性 (B. T. B 液青色) にする。マイナス極側の素焼きの容器の中にオオカナダモ入れて呼吸を十分にさせる。(B. T. B 液黄色) 電極は、アルミ-銅電極にする。5分おきに、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 (mA) を計る。

アルミ極板(陰極)      銅電極板(陽極)  
 $0.2 \times 45 \times 150$        $0.1 \times 45 \times 150$

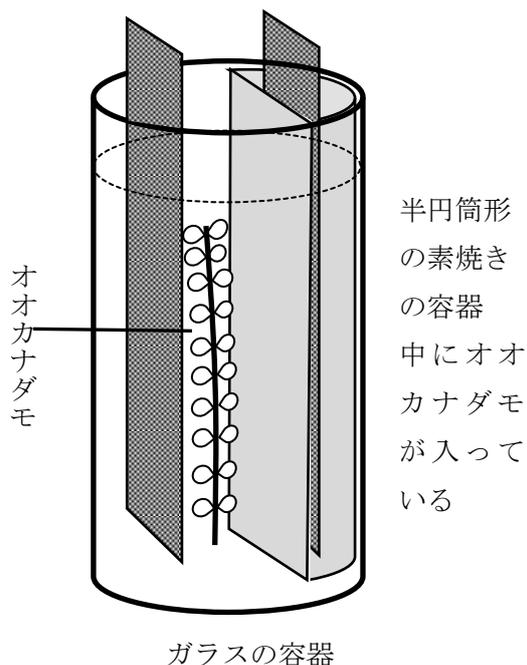


写真 11: 実際の実験装置に電子オルゴールをつなげた様子

(データ)

① pHの値      24時間光合成側(青色) pH=11.0    呼吸側(黄色) pH=5.0

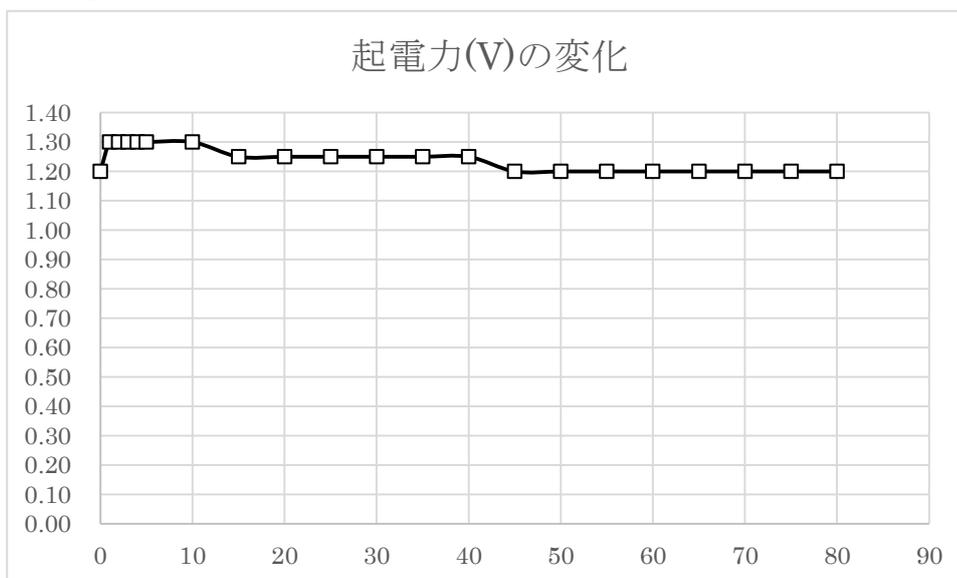
② Al-Cu電極板を使用した時の起電力と電流

時間(分)	0	1	2	3	4	5	10	15	20	25	30
起電力(V)	1.20	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30	1.25	1.25	1.25	1.25
電流(mA)	0.70	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.95	0.95	0.95	0.95

時間(分)	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	最大
起電力(V)	1.25	1.25	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.30
電流(mA)	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.90	1.00

③ 終了時のpHの値      光合成側(青色) pH=10.5    呼吸側(黄色) pH=6.0

④ 起電力の変化のグラフ



結果 起電力は、最大 1.30V、電流は、1.00mA (1000 $\mu$ A) 負荷なし。  
電子オルゴール(動作電圧 1.2V、最低動作電流 40 $\mu$ A)はしっかりと音が鳴り続けた。  
蛍光灯の光に当てなくても 24 時間後も、電子オルゴールは音が鳴り続けた。  
起電力は、アルミ-銅電極オオカナダモ電池より大きく、陰極や陽極に水素の泡がついているが、電圧降下は、小さく電極を揺らし水素を取り除く必要もない。  
この電池を再び、光合成-呼吸オオカナダモ電池と名前を付けることにした。起電力も大きく、今までの電池の中で一番安定している。

(実験 7-2) 比較実験として、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。オオカナダモは入れない。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。

#### (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-C(炭素)電極	0.50
Mg板-Cu板	0.85
Mg板-C(炭素)電極	1.05
Mg板-Ag板	0.80

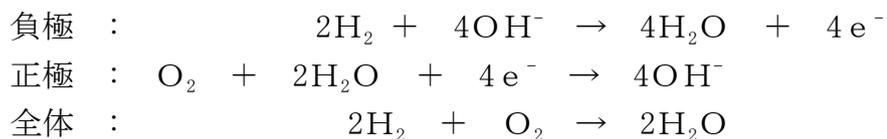
結果 純水だけで、アルミ-銅電極では、古いAl板では0.65Vの起電力がある。したがって、光合成-呼吸オオカナダモ電池の起電力が1.20Vなので、オオカナダモの光合成の働きは、 $1.20 - 0.65 = 0.55$ V分の電圧を作り出していることになる。

また、マグネシウム板-C(炭素)電極は、純水だけで1.05Vの起電力があり、実際これだけで電子オルゴールを鳴らすことが出来る。この結果は、市販されているマグネシウム空気電池の起電力の大きさの裏付けとなっている。

## 5. 考察

### ①実験 1-1、実験 1-2 について

アルカリ型の燃料電池では、電極には正負どちらも白金触媒をつけた多孔質電極を用いる。この簡易電解装置の電極は、単にステンレス(鉄)棒なので、おそらく電子の受け渡しができないのだろうと考えられる。通常電子の受け渡しの式は、次の通りである。



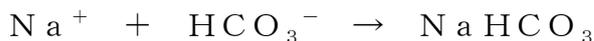
負極側では、 $\text{H}_2$  が極板に電子を受け渡し、一部  $\text{H}^+$  になり、 $\text{OH}^-$  と反応して、中和し水が生成する。実験 1-1 の電気分解をして、エネルギーをたくわえた状態では、 $\text{H}^+$  があるが、電気分解をしないで外部から、水素と酸素を充填した実験 1-2 では、ステンレス棒電極では、 $\text{H}^+$  は出来ないと考えられる。

### ②実験 2 について

実験 2 では、オオカナダモが光合成で、水中の二酸化炭素を消費し、酸素を出して、黄色だった(水+B. T. B液)が、なぜ青色に変化したのかを調べる重要な実験である。

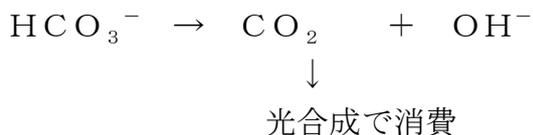
水に呼気(二酸化炭素)を十分に吹き込み、その後に、1.0mol/L(かなりうすい水酸化ナトリウム水溶液)を4滴入れる。さらに十分に呼気を吹き込む。できた溶液を蒸発皿に入れて、水分を蒸発させる。蒸発皿に、炭酸水素ナトリウムが出来れば、水に二酸化炭素を吹き込んだものには、炭酸水素イオンが存在することになる。

実験後、写真3のように、蒸発皿に白い結晶(炭酸水素ナトリウム)が残った。



水に二酸化炭素を吹き込んだものには、炭酸水素イオンが存在することが確認できた。

オオカナダモの光合成のはたらきで、炭酸水素イオン中の二酸化炭素を消費し、酸素を発生させる。その結果、水の中の水酸化物イオンが増加し、B. T. B液を入れておくと濃い青色になる。



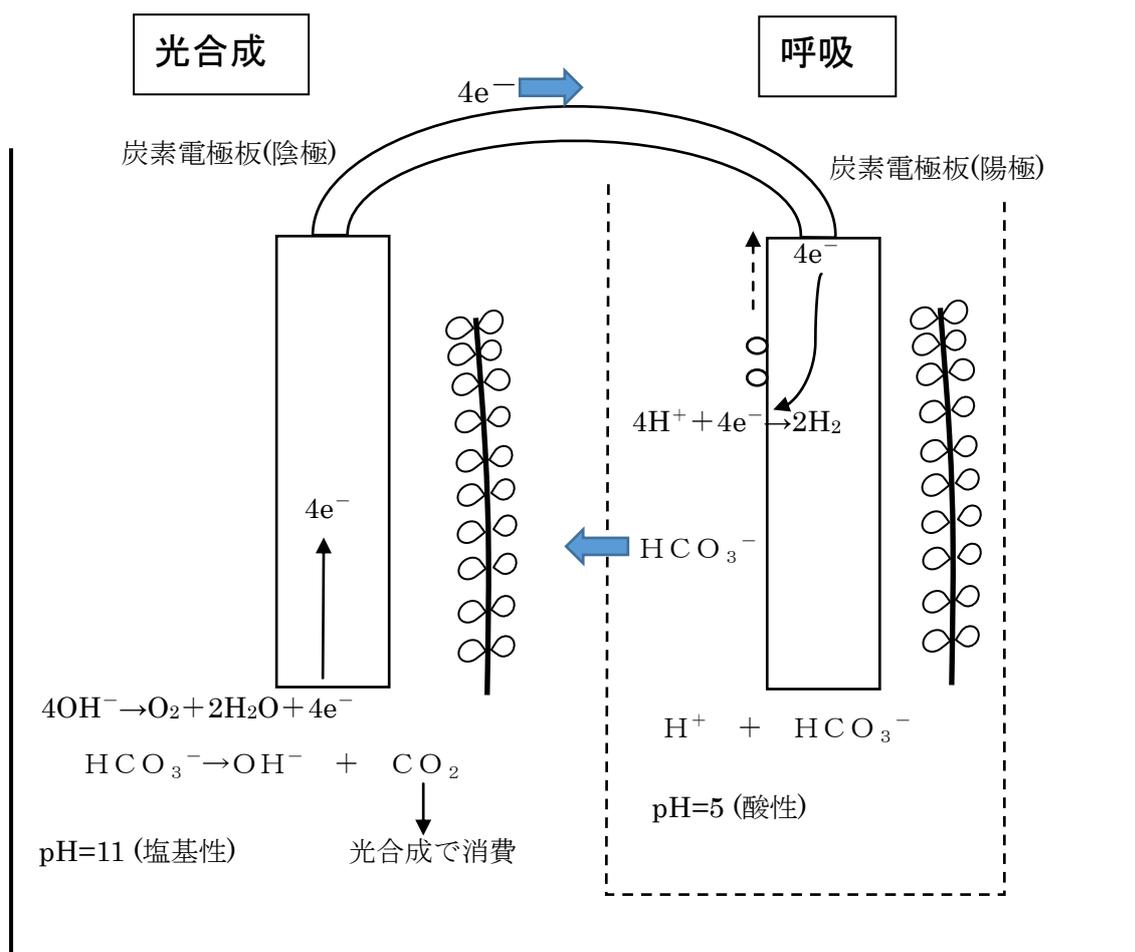
48時間、蛍光灯の光に当てておいた、オオカナダモの入った水は下の写真のようにかなり濃い青色に変化した。pHをpHメーターで測定したら、11.0まで塩基性が強くなった。今後の課題としては、オオカナダモの他に同じ働きをする水草があるかどうかを調べることである。

### ③実験 3 について

実験 3 をやる前から、実験 1-2 の結果である程度予想はついていた。オオカナダモ燃料電池が電池として成り立たなかった理由は、実験 1-2 と同様である。

### ④実験 4 について

オオカナダモの光合成と呼吸作用を利用した**光合成-呼吸オオカナダモ炭素電極電池**について、その発電のしくみを下図にまとめてみた。

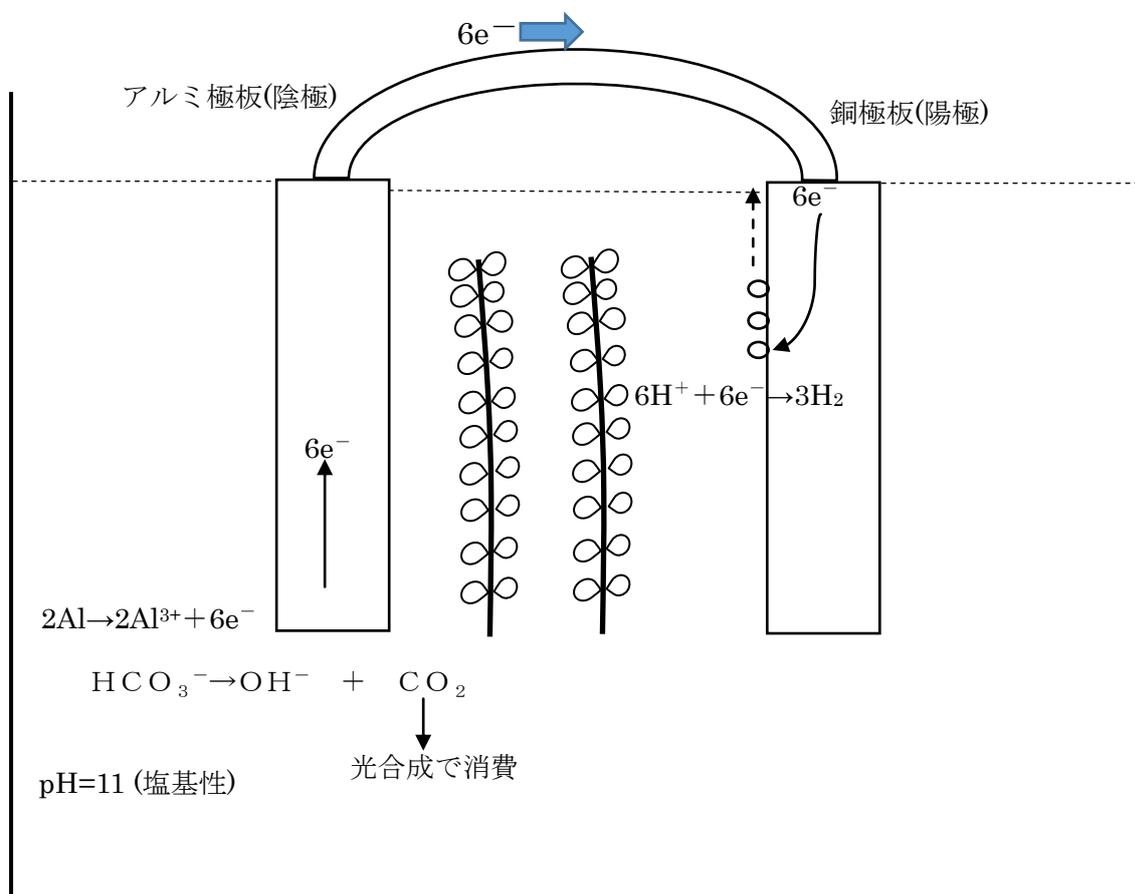


電圧は低いものの、オオカナダモの光合成と呼吸で発電できることがわかった。素焼きからは小さな泡(水素)が出る。すぐに電圧が低下したのは、陽極(呼吸側)のpHの変化が大きく、塩基性になったためと考えられる。つまり、蛍光灯の光を当てていたので、光合成の方が強く。陽極(呼吸側)での二酸化炭素の供給が小さいためと考えられる。考えによっては、植物の光合成と呼吸の関係をそのまま反映していると言える。

しかし、**植物の光合成と呼吸の関係を1つ実験装置の中で観察できるものとしての意義は大変大きい**のではないかと考える。これも、オオカナダモの光合成が、二酸化炭素を消費し、酸素を出すだけでなく、中の炭酸水素イオンを使って、塩基性(青色)にするという働きが非常に大きいということに関連している。

⑤実験 5-1、5-2、5-3 について

アルミ-銅電極オオカナダモ電池について、その発電のしくみを下図にまとめてみた。



実験 5-1 では、起電力は、最大 1.20V、電流は、0.75mA (750 $\mu$ A) に達し、電子オルゴールは、音が鳴り続けた。予想に反して、80 分後も、電子オルゴールは音が鳴った。起電力は、ボルタ電池(1.1V) より大きく、5 分を過ぎると陽極に水素の泡がつくことによる電圧降下を起こすが、電極を揺らし水素を取り除くと、すぐに復活した。

このアルミ-銅電極オオカナダモ電池は、起電力も大きく、オオカナダモに光に当て続け、光合成をさせれば、60 分以上長い時間、化学電池として十分な性能を持つことがわかった。

実験 5-2 では、2 時間、オオカナダモの光合成で発電した、電気をコンデンサーに蓄えられることがわかった。

発電電気量は、0.020A $\times$ 15 秒=0.30C (クーロン)

電子オルゴールを 2 時間鳴らす電気量 0.00004A $\times$ 7200 秒=0.288C とほぼ一致する。わずかな電気量であるが、植物のオオカナダモが光合成で発電した電気をコンデンサーに貯められる意味はたいへん大きいと言える。

実験 5-3 では、長い時間電池として動かしても、金属板からイオンが出て影響がないことがわかった。この事もたいへん大きな意味を持つと言える。

## ⑥実験 6 について

実験 6 では、アルミ-銅電極オオカナダモ電池を、試験管に 1 つまとめ、1 個の電池セルとして考え、10 個の並列電池システムにすると、2 時間、オオカナダモの光合成で発電した電気をコンデンサーに蓄えられると、

発電電気量は、 $0.020\text{A} \times 16 \text{ 秒} = 0.32\text{C}$  (クーロン)であった。試験管 10 本とガラスの円筒容器の発電量は変わらなかった。

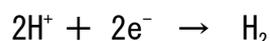
しかし、工夫をすれば、発電量を増やすことはできる可能性はある。そして、このアルミ-銅電極オオカナダモ電池をシート状の電池にする試作をしてみたいと思う。

アルミ-銅電極オオカナダモ電池の発電を利用し、その電気をコンデンサーに貯めて、実用的な水槽に使えるエアポンプなどを動かすシステムを考えて、試作品を作ることに挑戦したいと思う。

実験 5-1 で、しばらくするとアルミ-銅電極のオオカナダモ電池の電圧が下がることと、アルミ電極(一極)を 3 日くらい使うと、起電力が 0.8V まで落ちる原因について

このことについては、しばらく原因が全くわからなかったが、「アルミニウムの腐食のおはなし」古河スカイ (株) 児島 洋一 を参考にして、はじめてわかった。

アルミ電極では、2 つの反応が起こっている。



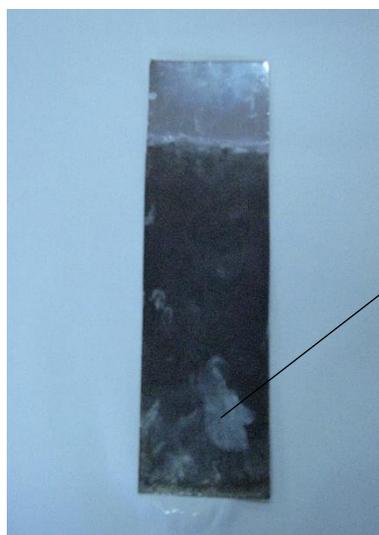
これは、アルミニウム特有の反応らしい。

また、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。

$\text{Al}_2\text{O}_3$  (アルマイト) ができる。

その他に、写真 12 のようにアルミ電極表面に褐色の被膜のようなものができるが、電池の起電力には関係しない。

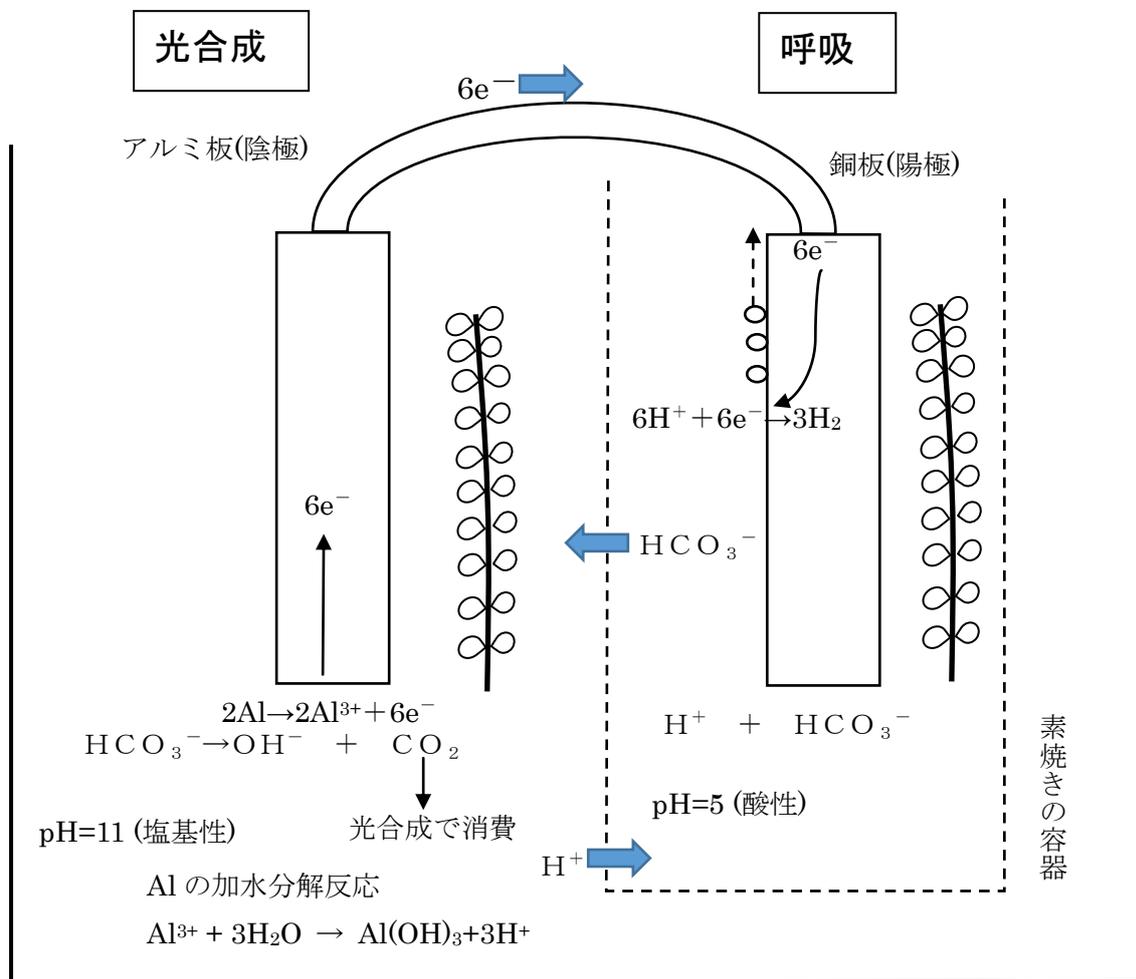
写真 12 :  
72 時間  
使用した  
アルミ電極  
の様子



白く光っている部分が  
アルマイト

⑦実験 7-1、7-2 について 《なぜ光合成-呼吸オオカナダモ電池は動くのか》

炭素電極からアルミ-銅電極にし、ダニエル電池型にした光合成-呼吸オオカナダモ電池について、その発電のしくみを下図にまとめてみた。



アルミ-銅電極オオカナダモ電池に比べて、起電力も高く、発電量も大きい。今のところ究極の植物由来の電池と呼べるかもしれない。オオカナダモという特殊な植物ではあるが、光合成と呼吸という植物が 35 億年続けてきた生物の営みを電池という形で、誰でも、どこでも見ることができるのは、大変意義深い。実験 7-2 より、アルミ-銅電極では、純水だけで 0.65V の起電力がある。オオカナダモの光合成で 0.55V 上乗せしている。また、上の図のアルミの加水分解反応で、水酸化アルミニウムと水素イオンができることが、オオカナダモの呼吸とは別に水素イオンが供給されるので、24 時間以上オルゴールを鳴らし続けるのかもしれない。



写真 13 : 24 時間後ガラス容器の底に見えた白い沈殿  $Al(OH)_3$

## 6. 結論

下記のようにわかりやすく、箇条書きでまとめた。

### <<①実験 1-1、実験 1-2 から>>

水の電気分解で、電流を流して、水素と酸素を貯めた状態、そのものが燃料電池になる。電極をステンレス棒から別のものに変えれば、発電効率は良くなると思われる。しかし、そのままだと、水の電気分解と水素-酸素の燃料電池が、逆の関係であることを簡単に示せるので、意味のある実験と思われる。

### <<②実験 2 から>>

オオカナダモが二酸化炭素を十分に吹き込んだ水(B. T. B液黄色)が、光合成により、酸素を出し、水が(B. T. B液青色)になる理由は、オオカナダモが光合成により、炭酸水素イオンの中の二酸化炭素を消費し、水酸化イオンを作り出すからである。

この働きは、特にオオカナダモは、強く、どの水草でも行っているわけではない。さらに詳しく調べる必要がある。

### <<③実験 3 から>>

オオカナダモが光合成で作成し酸素を利用し、外から酸に金属を入れて発生させた水素を注入して、オオカナダモ燃料電池を考えて、実験したが、電極等の問題が大きく、全く発電しなかった。

### <<④実験 4 から>>

陰極に光合成をするオオカナダモ、陽極に呼吸をするオオカナダモを入れて、素焼きの容器でイオンの移動が可能にしておく。電極に炭素板電極を入れると、発電することが確認できた。光を当て続けると、光合成の力が強く、電圧がすぐに降下する。しかし、この光合成-呼吸オオカナダモ炭素電極電池は、光合成と呼吸のはたらきを同時に、一つの実験装置の中で見ることができる。このことは、たいへん意義があると思われる。

### <<⑤実験 5-1、実験 5-2、実験 5-3 から>>

ガラスの円筒に水を入れ、オオカナダモも入れる。十分に呼気(二酸化炭素)を充填し、24時間蛍光灯の光に当てて十分光合成させる。陰極としてアルミ板、陽極として銅板を入れると起電力1.2Vのアルミ-銅電極オオカナダモ電池になる。

1時間以上電圧は下がらない性能を持つ。オオカナダモが光合成をして活性化した状態ならば、発電する。また、発電した電気を少ないながらも、コンデンサーに貯めることも可能である。

3日間、電池として動かし続けても、アルミ板から出るアルミニウムイオンは、オオカナダモの細胞に影響を与えることはなかった。オオカナダモは、普通に光合成をしながら、酸素を出し、かつ発電もすることが確認できた。

## <<⑥実験 6 から>>

アルミ-銅電極オオカナダモ電池をコンパクトにまとめ、試験管電池セル 10 個の並列電池にすると、円筒のガラス容器とほぼ同じ電気量をコンデンサーに貯められた。

## <<⑦実験 7-1、実験 7-2 から>>

光合成-呼吸オオカナダモ電池は、起電力も高く、安定した電池であることがわかった。水だけでアルミ-銅電極は、0.65Vの起電力があり、オオカナダモの光合成で、0.55Vの電圧を上乗せしている。また、オオカナダモが元気で活性化しているかぎり、1.20Vの電圧を生み出すことができる。

## 7. 課題

本研究の今後の課題は以下の 6 点が考えられる。

- ①オオカナダモが最も活性化した状態で光合成をした時に、発電量が最大になるのは、わかっているので、オオカナダモを活性化させる方法を探る。
- ②オオカナダモと同じ働き(水中の炭酸水素イオンを使って、光合成により、水酸化物イオンを生産する)をもつ水草を探す。光合成の強さは、アルミ-銅電極オオカナダモ電池を応用して、テスターで起電力を計って調べる。
- ③光合成-呼吸オオカナダモ電池を水だけの状態から出発して、発電の変化を調べ、継続して発電できる条件を探る。
- ④オオカナダモの葉緑体の原形質流動のしくみや発生した酸素の移動を顕微鏡観察から探る。
- ⑤アルミ-銅電極のオオカナダモ電池の発電を利用し、電子オルゴール以外の定電圧・定電流で動くデバイスを探し、試作品を作ることに挑戦する。
- ⑥オオカナダモ電池は、発電をする過程で、酸素と水素を作り出している。それらは、全く使わないで捨てている。特にこの捨てている水素を集めて活用すれば、燃料電池へと発展するのではないかと考える。再度オオカナダモ燃料電池に挑戦したい。

## 8. 研究の感想

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、『オオカナダモ電池』が出来たことをとても嬉しく思う。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。

研究の終盤、アルミ電極をマグネシウム電極に変えたら、起電力が 1.5V 起り、電子オルゴールが勢い良く鳴ったが、マグネシウム自身が溶けて、水酸化物イオンを生じることがわかり、オオカナダモの光合成の力で発電しているわけではないので、マグネシウム電極は採用しないことにした。この事は少し悩んだ。また、アルミ電極にも欠点があり、 $Al_2O_3$  (アルマイト) の被膜ができるために、電圧が下がる。このため、アルミ板(一極)を縦にゆすらないといけない。また、使い古したアルミ電極の方が、新しいアルミ電極よりも起電力が大きいこともわかった。化学の奥深さを改めて実感した。

しかし、いろいろ試行錯誤をしながらも、最後に**光合成－呼吸オオカナダモ電池**を見出して、電子オルゴールを勢いよく、しかも長時間鳴らすことができたので、とてもうれしかった。オオカナダモの光合成の力には十分な魅力を感じたので、今後の課題に挑戦していき、『オオカナダモ電池』を進化させていきたい。

## 9. 参考文献と謝辞

特に③と④と⑤の研究は、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電池に関する実験 1. ボルタ電池

<http://www.la.knct.ac.jp/shiryuu/oldtext/H17/kiden/1text/denti.pdf>

②化学魔の還元－電池電解編－5. 燃料電池

<http://kagakuma.iza-yoi.net/denti/denti5.html>

③「ヨーグルトによる発電の機構」屋代高等学校 堀内 遥加

④「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

⑤「アルミニウムの腐食のおはなし」古河スカイ (株) 児島 洋一

⑥「電気分解した後が、燃料電池になっているは、本当？」兵庫県神戸高校教諭  
中澤 克行