

# 電流発生菌を利用した電池の作成

2517 砂場俊輝 2520 竹内千尋 2621 柘植修明 2626 早川涼祐

## 要旨

私たちは電流発生菌を利用した電池の作成を目的とし、身近な土壌に含まれる菌を利用しての発電とその効率化を目的に実験を行った。土壌に細菌が存在することが実験で確認出来たため、安定した起電力の電池の作成を目指した。また真空にすることにより、嫌気細菌であるシュワネラ菌の代謝が促進され発電量が増加した。そして水酸化鉄コロイドを溶液中に混ぜることで発生する電流を安定させた。

## 研究目的

近年日本(及び諸先進国の半数以上)の発電の供給量の大半を石炭や石油、LNG等の火力発電に頼っており、二酸化炭素の排出による地球温暖化や化石燃料の埋蔵量の限界等の問題がある。そこで私たちは代替となるクリーンで持続可能なエネルギーのひとつとして、電流発生菌による発電に注目した。一般に電流発生菌と呼ばれるのはシュワネラ菌という細菌類の一種であり、代謝の産物として電気を発生させる事ができる。また、嫌気細菌の一種であり、代謝の際二酸化炭素を排出しない。電流発生菌による発電が実現できれば、菌に必要な有機物を与えるだけで『電気エネルギーを半永久的に得る』という夢の発電が可能なのではないかと考えたのである。この研究の目的は、シュワネラ菌を利用した電池の効率化を図ることにより電流発生菌による発電の実用化を促進させようというものである。

## 実験準備

シュワネラ菌は身近な土壌中に存在するため、身近に採取できる土壌を利用して発電した。土岐市(研究班員の家があるという理由で深い理由は無い)の畑で採取した。この論文における土壌とは特に指定のない場合これを指す。

## 実験 I

### 1 目的

シュワネラ菌を直接確認する手段が無いため、グラム染色を行った。シュワネラ菌はグラム陰性菌の一種であり、少なくともグラム陰性菌がいるかどうかを実験で確認した。

### 2 使用した器具、装置等

- ・ A 液 (クリスタルバイオレット)
- ・ B 液 (ルゴール液)
- ・ C 液 (サフラニン液)
- ・ 蒸留水
- ・ 95%エタノール
- ・ サンプル(塗抹面;土壌と水を混ぜたものをスライドガラスに滴下し、乾燥させた後に熱殺菌したもので菌の付いた面)



図1 A液、B液、C液

### 3 研究・実験の手順

- (1) A液を滴下し一分間染色する。
  - (2) 水を蛇口から細く静かに流し、スライドガラスの裏側から水をかけて洗い流す。
  - (3) B液を滴下し、一分間染色する。
  - (4) (2)の操作をする。
  - (5) 95%エタノールを滴下し、30~1分間脱色。
  - (6) (2)の操作をする。
  - (7) C液で10秒間、染色する(対比染色)。
  - (8) (2)の操作をする。
  - (9) 自然乾燥させる。
- \* 対照実験として純水でも同じ作業を行う。
- (10) 観察する。

### 4 結果

赤く染色された。グラム陰性菌が存在する。



図2 赤く染色された細菌;光学顕微鏡で観察

### 実験Ⅱ

#### 1 目的

実際に発電を確認するために簡易的な電池を作成する。

#### 2 使用した器具・装置等

- ・ 土壌
- ・ 蒸留水
- ・ ビーカー
- ・ マイクロアンペア計
- ・ 炭素棒×2

### 3 研究・実験の手順

- (1) 土壌、蒸留水を混ぜたものに炭素棒をいれ電極とし、上記のものを繋げる。(図3)
  - (2) 測定し、最大値を記録する。
- \* 同様の操作を蒸留水でも行う(対照実験)。

### 4 結果

土壌水では最大13 $\mu$ アンペア、蒸留水では1 $\mu$ アンペア計測された。



図3 簡易電池

### 5 考察

実験Ⅰより、土壌中にグラム陰性菌がいることが確認できた。また、実験Ⅱよりなんらかの要因による発電が確認された。このことから土壌中にシュワネラ菌が存在し、発電をしたのではないかと考えられる。

### 実験Ⅲ

#### 発電装置の作成

より正確なデータ収集のため、実験Ⅱよりも大がかりな発電装置(以後電池)を作成する。

#### 材料

- ・ 寸動鍋
- ・ アクリル板
- ・ 汎用真空計
- ・ ボールバルブ×2
- ・ チーズ
- ・ ニップル
- ・ 銅板×2



図4 電池完成品

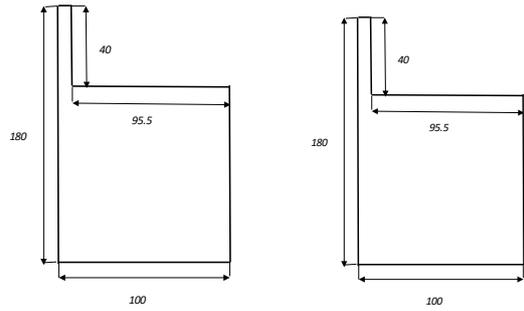


図8 電池設計

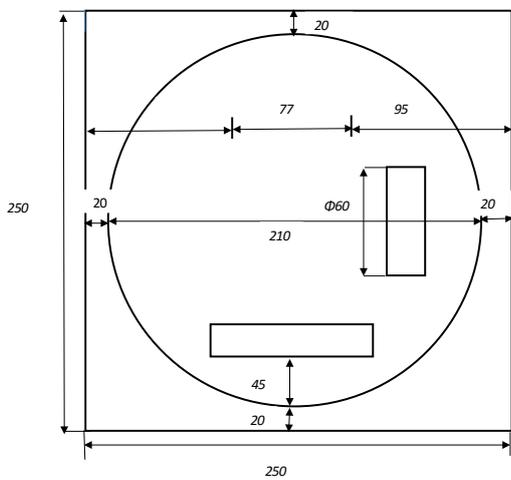


図5 電池設計

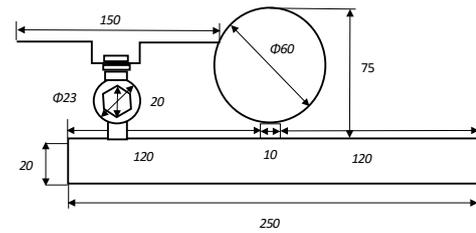


図9 電池設計

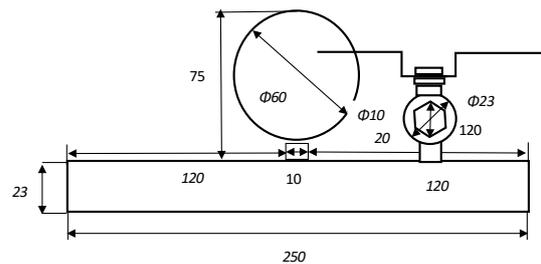


図10 電池設計

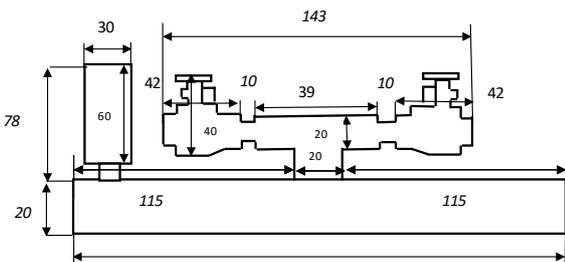


図6 電池設計

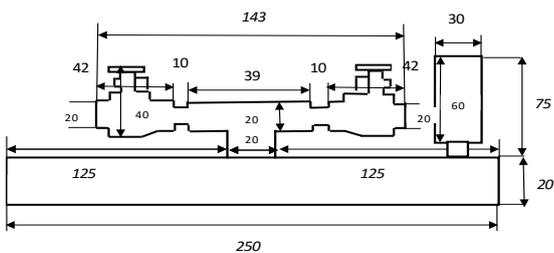


図7 電池設計

1 目的

実験データ収集のため、作成した電池を利用して安定した電流を取り出せるようにするため実際に発電するかを確認する。

2 使用した器具・装置等

- ・電池
- ・銅線
- ・土壌
- ・蒸留水
- ・ビーカー
- ・マイクロアンペア計
- ・炭素棒×2

### 3 研究・実験の手順

- (1) 電池に土壌水、有機物を入れる。24時間放置する。
- (2) 電流計で発電した量を測定し、最大値を記録する。

### 4 結果

4  $\mu$  アンペアとあまり発電がされなかった。しかし、毎回4  $\mu$  アンペアと安定した発電量だった。

### 5 考察

発電が以前の実験よりも安定したのは、水中の酸素濃度が低下することにより嫌気細菌であるシュワネラ菌の代謝が促進されたためだと考えられる。この電池で濾過済みの液のほうが電流を多く発電しているのは、シュワネラ菌の代謝によってできた電子が土壌中ではなく水中に放出されるため銅板に付着しやすいこと、また土壌と水を一緒に入れたため、不純物が多く発電が妨げられたのではないかと考えられる。また、有機物が足りず発電できなかったのではと考えられる。

### 実験IV

#### 1 目的

発電量を上げるため、正電荷を帯びた水酸化鉄コロイド [Fe(OH)<sub>3</sub>] を土壌水中に入れ発電量を調べた。これはコロイドを入れる事によってプラスの電荷を帯びているコロイドが存在する事で効率的に電子の移動ができるのではと考えたからである。シュワネラ菌に対して無害であり、入手が比較的容易であると考えたため水酸化鉄コロイドを選んだ。

#### 2 使用した器具・装置等

- ・電池
- ・銅線
- ・土壌
- ・蒸留水
- ・ビーカー
- ・マイクロアンペア計

- ・銅板×2
- ・水酸化鉄コロイド [Fe(OH)<sub>3</sub>]

### 3 研究・実験の手順

- (1) 土壌、蒸留水を混ぜたものに銅板をいれ電極とし、上記のものを繋げ、水酸化鉄コロイドを入れる。
- (2) 測定し、最大値を記録する。  
\*同様の操作を蒸留水でも行う

### 4 結果

| 溶液 \ 時間 | 直後        | 入れる前      |
|---------|-----------|-----------|
| A       | 6 $\mu$ A | 2 $\mu$ A |
| B       | 7 $\mu$ A | 2 $\mu$ A |
| C       | 2 $\mu$ A | 0 $\mu$ A |

※なお、表中のABCとは次のものを指す。最大の発電量を示す。

- A…土壌入り水
- B…濾過済み水
- C…蒸留水 (対象実験)

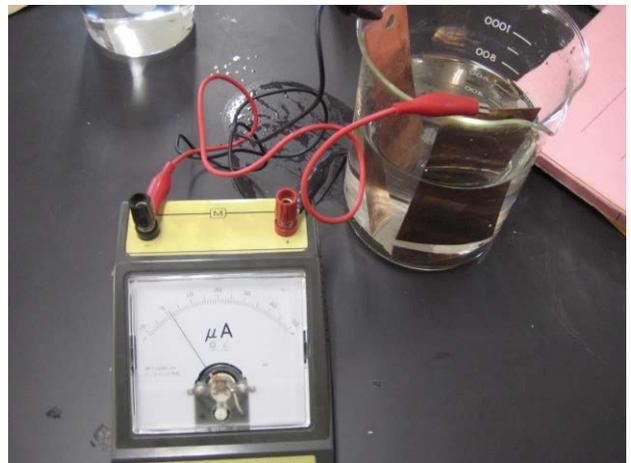


図 11 蒸留水での発電

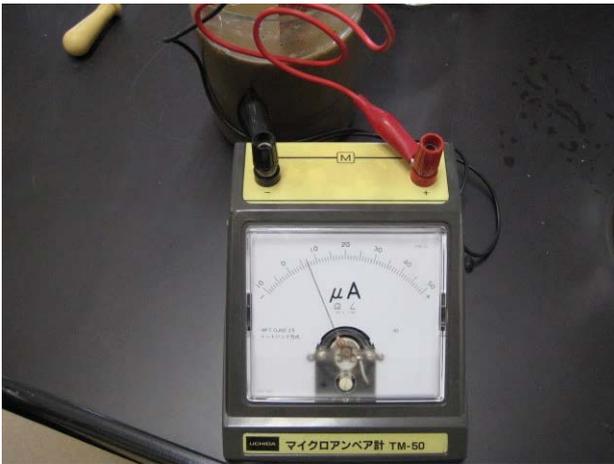


図 12 土壌入り水での発電



図 13 濾過済み水での発電

### 5 考察

水酸化鉄コロイドを使用していない電池より使用した電池の方が、発電量が多いため水酸化鉄コロイドが影響して発電量を増加させていると考えられる。水酸化鉄コロイドはシュワネラ菌に対して毒性がないことが確認できた。水酸化鉄コロイドが正電荷を帯びており、電子を放出するシュワネラ菌に付着し負極に行くからだと考えられる。その濃度と発電する電流の量との相関も調べたい。

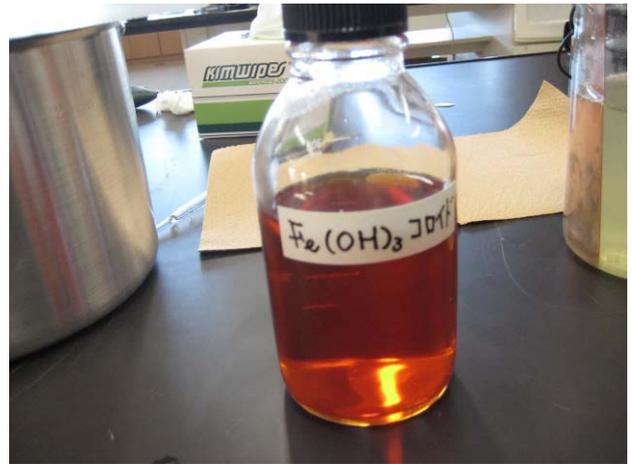


図 14 水酸化鉄コロイド

### 実験IV-2

#### 1 目的

発電量が予想より少なかった為、液体肥料を入れた後、定期的な計測を行った。

#### 2 使用した器具・装置等

実験IVと同じ。

#### 3 研究実験の手順

実験IVと同じ。なお、定期的に計測を行った。

#### 4 結果

表 1 に実験IVと共にまとめた。

表 1

| 溶液 \ 時間 | 直後   | 2日後  | 7日後  | 12日後 | 21日後 |
|---------|------|------|------|------|------|
| A       | 6 μA | 6 μA | 7 μ  | 7 μ  |      |
| B       | 7 μA | 7 μA | 27 μ | 15 μ | 14 μ |
| C       | 2 μA |      |      |      |      |

※なお、表中のABCとは次のものを指す。最大の発電量を示す。

A…土壌入り水

B…濾過済み水

C…蒸留水（対象実験）

7日後のBは最大27 μアンペアを測定したのち22 μアンペアと5 μアンペアと下がっていったがその後長い時間安定した測定値だった。12日後のBは一瞬だけ30 μアンペアとなった。

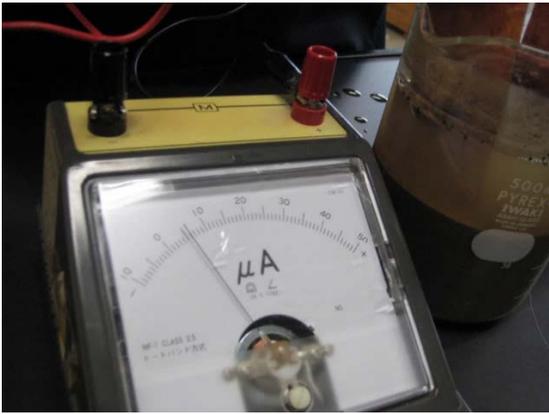


図 15 2日後 A



図 16 2日後の B

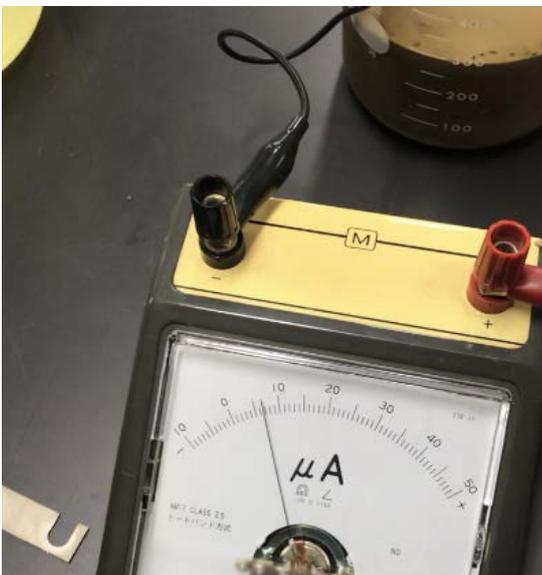


図 17 7日後 A

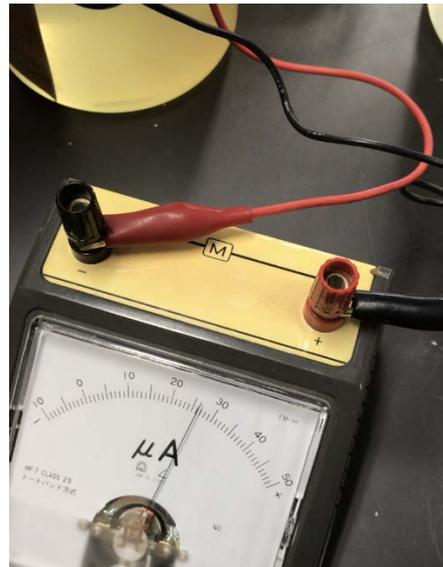


図 18 7日後 B

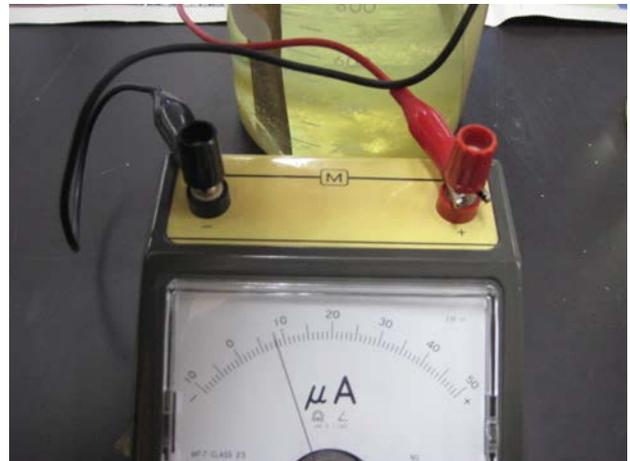


図 19 21日後 B

## 5 考察

経過観察より、一定の時間が経つと安定した発電ができると考えられる。しかし同時に液体肥料を投入したため、発電量の増加ではなくシュワネラ菌の繁殖状態に影響を与えていたことも否定できないため、液体肥料だけの条件を変えた実験の必要がある。

また計測値が12日以降から低下したのは、気温の低下によって細菌の活動能力が低下したためであると考えられる(図 20、21)。グラフより、11月11日を境に急激に気温が低下している。実験する上で気温は考慮に入れていなかったため、冬は気温を一定(細菌が活発になる温度に関しては実験研究の必要有)にしなければならないこともわかった。

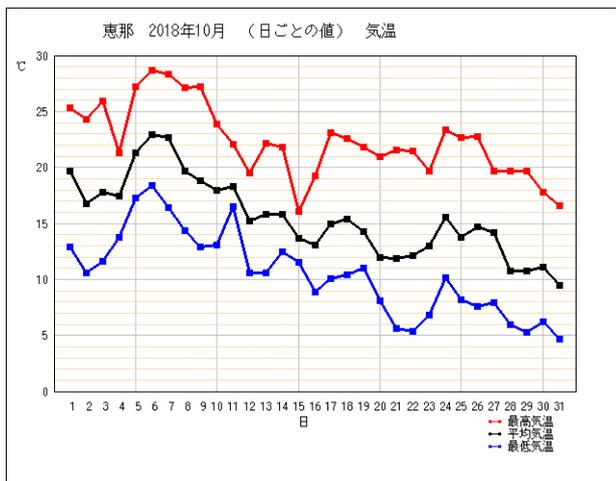


図 20 気象庁サイトより転載

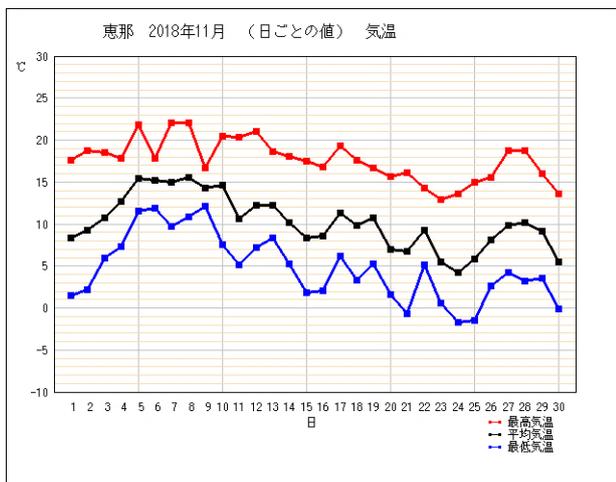


図 21 気象庁サイトより転載

## 実験 V

### 1 目的

電池を利用した発電 真空にすることで嫌気細菌であるシュワネラ菌の生育状態に影響を与えるか調べる。

### 2 使用した器具・装置

- ・上記で作成した実験Ⅲの電池
- ・土壌

### 3 研究・実験の手順

- (1) 電池を利用 (土壌水を入れる)
- (2) 電極を刺す
- (3) 真空にし、最大値を記録

## 4 結果

毎回 5  $\mu$  アンペアで安定していた。

## 5 考察

5  $\mu$  アンペアと弱い電力だが簡易電池より電流が大分長く計測された。真空状態にすることで電子の供給が安定したのではないかと考えられる。

## 実験 V-2

### 1 目的

上記で行った実験では、不純物が多く発電の妨げとなると考えたため、水分を蒸発させることによって土壌を粘土状にし、発電量を調べた。

### 2 使用した器具・装置

- ・上記で作成した実験Ⅲの電池
- ・土壌

### 3 研究・実験の手順

- (1) 電池を利用する。(粘土上にした土壌を入れる)
- (2) 電極を刺す。
- (3) 真空にし、最大値を記録する。

## 4 結果

15 分以上 7  $\mu$  アンペアと安定している。

## 5 考察

15 分経っても 7  $\mu$  アンペアと安定しているためこのまま続くと考えられる。前回よりも発電量が多いのは、不純物がなく電子を通しやすいためだと考えられる。また、シュワネラ菌が前回より生育したのだと考えられる。

## 6 結論

これらの研究から以下の結論に至った。第一にシュワネラ菌は土壌中に存在し、発電をするということ。ただしビーカーに土壌と水を入れるだけでは不十分であり、安定した電流を得ることはで

きなかった。第二に電流を安定させるためには真空にすることが有効であること。これは容器内を真空にして水中の酸素濃度は下げることにより、嫌気細菌であるシュワネラ菌が代謝しやすくなるからである。第三に、水酸化鉄コロイドを入れることで発電する電流の量を増やすことができる。これは正の電荷をもつ分子が溶液中に存在することでシュワネラ菌が電極につきやすくなったからである。

## 7 参考文献

- ・「自然水中における鉄の化学種と生物利用性—鉄と有機物の動態からみる森・川・海のつながり—」  
[https://www.jstage.jst.go.jp/article/jswe/39/6/39\\_197/\\_pdf](https://www.jstage.jst.go.jp/article/jswe/39/6/39_197/_pdf)
- ・「海洋の生物生産を支える鉄」  
[http://www.chikyu.ac.jp/AMORE/2003.4FS/kuma\\_030419.pdf](http://www.chikyu.ac.jp/AMORE/2003.4FS/kuma_030419.pdf)
- ・「Pyruvate and Lactate Metabolism by *Shewanella oneidensis* MR-1 under Fermentation, Oxygen Limitation, and Fumarate Respiration Conditions」  
<https://aem.asm.org/content/77/23/8234>
- ・気象庁ホームページ  
[http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/view/daily\\_a1.php?prec\\_no=52&block\\_no=0493&year=2018&month=10&day=&view=g\\_tem](http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/view/daily_a1.php?prec_no=52&block_no=0493&year=2018&month=10&day=&view=g_tem)  
[http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/view/daily\\_a1.php?prec\\_no=52&block\\_no=0493&year=2018&month=11&day=&view=g\\_tem](http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/view/daily_a1.php?prec_no=52&block_no=0493&year=2018&month=11&day=&view=g_tem)
- ・「電流発生菌(発電菌)が電気を起こす~微生物燃料電池」  
<https://santa001.com/%E9%9B%BB%E6%B5%81%E7%99%BA%E7%94%9F%E8%8F%8C%E7%99%BA%E9%9B%BB%E8%8F%8C%E3%81%8C%E9%9B%BB%E6%B0%97%E3%82%92%E8%B5%B7%E3%81%93%E3%81%99%E5%BE%AE%E7%94%9F%E7%89%A9%E7%87%83%E6%96%99%E9%9B%BB-2923>
- ・「半永久的に持続する電源!?細菌が起こす発電イノベーション」

<http://emira-t.jp/ace/4748/>

- ・「自作真空脱泡機(概要)」

<https://profit.ne.jp/wordpress2013/wordpress/blog/2016/08/19/%E8%87%AA%E4%BD%9C%E7%9C%9F%E7%A9%BA%E8%84%B1%E6%B3%A1%E6%A9%9F%EF%BC%88%E6%A6%82%E8%A6%81%EF%BC%89/>

- ・「正コロイドと負コロイド」

[https://www.jstage.jst.go.jp/article/kakyoshi/65/8/65\\_392/\\_pdf](https://www.jstage.jst.go.jp/article/kakyoshi/65/8/65_392/_pdf)