九州大学学術情報リポジトリ
Kyushu University Institutional Repository

ゲル電池電圧測定器具の製作

林, 大吾
九州大学応用力学研究所

https://doi.org/10.15017/2329124

出版情報：九州大学応用力学研究所技術室 技術室報告. 1, pp.38-41, 2019-07. Research Institute for Applied Mechanics, Kyushu University
バージョン：
権利関係：

九州大学応用力学研究所 技術室
技術室報告 Vol. 1, 38-41

ゲル電池電圧測定器具の製作

林　大吾

要　旨

エネルギー変換工学分野では、生体が持つ優れたエネルギー変換効率を利用した、新規エネルギー材料の開発研究を行っている。その一環として、デンキウナギが持つ発電機構をモデルとした発電装置（ゲル電池）の作製および機能評価を行っている。本稿では、筆者が行ったゲル電池電圧測定手法の検討および電圧測定器具の製作について記述するとともに、ゲル電池に関する概要についても説明を行う。

キーワード

電圧測定器具　ゲル電池

1．ゲル電池に関する概要

九州大学応用力学研究所エネルギー変換工学分野では、生体が持つ優れたエネルギー変換効率を利用した、新規エネルギー材料の開発研究を行っている。現在取り組んでいるテーマの一つが、デンキウナギ等の生物が持つ発電機構をモデルとした、機能性ゲルの積層による発電装置（以下、ゲル電池）である。当該の発電装置に関する報告は、米国ミシガン大学の研究チームが 2017 年に発表した論文[1]が初出であり、我々も当該の論文を参考に実験を行った。

まず、ゲル電池がモデルとしているデンキウナギの発電機構について説明する。図 1 にデンキウナギが持つ発電細胞の模式図を示す。発電細胞は前後非対称の細胞膜を有し、この細胞が同じ向きで直列につながって発電組織を形成している。

神経刺激がない場合、細胞の前方・後方いずれにおいても、細胞膜上のカリウムポンプが K^+を細胞外に排出する。この時、前後の膜で膜電位が相殺されるため、細胞の前後で電位差は生じない（図 1（a））。

この細胞に神経刺激が与えられると、後方側細胞膜の刺激応答性ナトリウムポンプが動作して、細胞内に Na^+を輸送するようになる。こうすることで後方側細胞膜の膜電位が反転し、細胞全体として 1 個当たり約 150mV の電位差を生じさせる（図 1（b））。

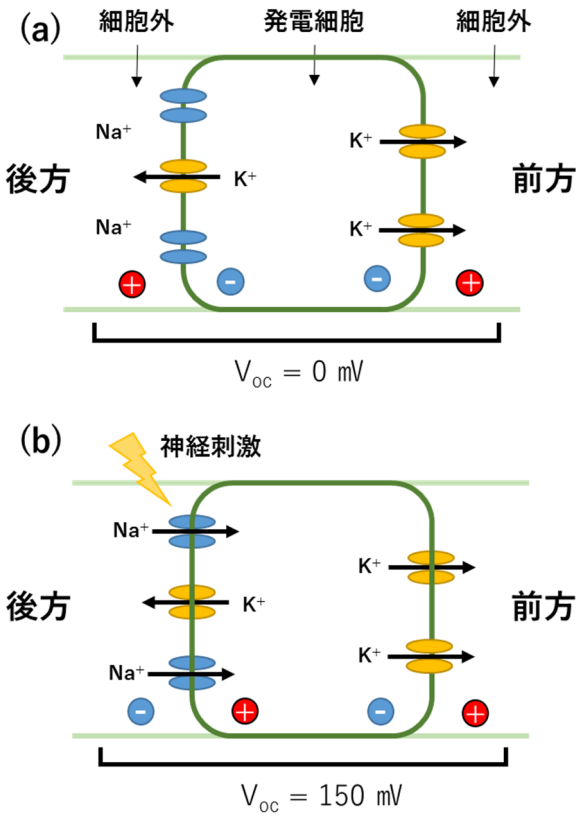

図 1　デンキウナギが持つ発電細胞の模式図
（a）　通常時におけるイオン動態、膜電位
（b）　刺激時におけるイオン動態、膜電位

したがって、発電細胞における電圧は、細胞膜内外における各種イオンの濃度変化を操作する

ことで生じるものであることが分かる。

次に、これを模したゲル電池の発電機序を説明する。図 2 にゲル電池の模式図を示す。ゲル電池は、4 種の異なる組成のポリアクリルアミドゲルを順番に積層させたものである。各ゲルの組成および機能は以下の通り。

1. 高濃度の電解質を含んだ中性ゲル
2. 負電荷をもつ陽イオン選択透過性ゲル
3. 低濃度の電解質を含んだ中性ゲル
4. 正電荷をもつ陰イオン選択透過性ゲル

これらのゲルを図 2 のように順番に並べて接触させると、濃度勾配を駆動力としてゲル間をイオンが移動する。この際、負電荷含有ゲルでは陽イオン（図では Na^+）、正電荷含有ゲルでは陰イオン（図では Cl^-）がそれぞれ選択的に透過することで、積層したゲル全体の間で電位差が生じる。

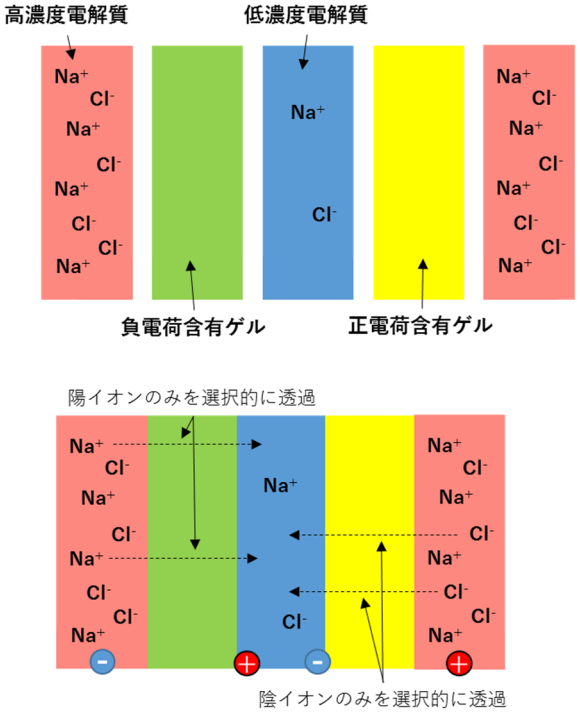

図 2　ゲル電池　模式図

2．ゲル電池の電圧測定について

エネルギー変換工学分野では、ゲル電池についての研究を行うに際し、ゲルに含有させる電解質の種類、ゲルの温度や積層数を変化させることで、生じる電圧がどのように変化するかを観察しようと考えた。

まず、塩化ナトリウムを電解質として、先述のゲル 4 種を作製した。作製した厚さ約 3mm のゲルをそれぞれ 10mm 角に切断した後、既定の順番で積層させてテスターによる電圧測定を行った。測定時の様子を図 3 に示す。この実験においては、4 種のゲルを 1 枚ずつ積層させたもので最大約 80mV の電圧が生じていることが確認された。

図 3　テスターによるゲル電池電圧測定の様子

上記の手法では、ゲル積層による電圧の発生を確認することはできたものの、今後の実験を行う上では、下記の問題が生じることが予測された。

1)　電圧のばらつき

実験においては、プローブを当てる点を変えるだけで、測定される電圧が大きく変化した。ゲル同士の接触は、プローブの先端から与えられる力によってのみ支えられている。また、各ゲルは一様に平坦であるわけではない。イオン濃度の変化速度はゲルの接触面積に依存すると考えられるため、ゲル同士の接触面積にばらつきがあったことが電圧不安定の原因であると考えた。したがって、ゲル電池の電圧測定においては、ゲルの接触面積を一定に保つ必要がある。

2)　ゲル積層構造の不安定さ

先述の通り、ゲル同士の接触はプローブの先端によってのみ支えられており、ゲルの積層構造は極めて不安定であった。今後、ゲルの積層数を増やして端面同士の距離が長くなった場合、この手法ではゲルの積層構造を保つことが困難であると考えられる。

ゲルに加えた変化による電圧の変化を考察するためには、測定される電圧が安定していることが望ましく、また、測定中はゲルの積層構造が保たれている必要がある。したがって、上記の問題点を解消するために、電圧測定用の器具を新たに製作することが求められた。

3．ゲル電池電圧測定器具の製作

電圧測定器具の製作に際して求められた要件を以下に示す。

1. ゲル同士の接触面積を一定に保つこと
2. 測定中、ゲルの積層構造を保てること

上記 2 点を踏まえて製作した電圧測定器具を図 4 に示す。器具はゲル積層用のパイプ、ゲル圧着用のピストン、台座、データロガーから構成されている。また、ゲルを積層させるパイプ・ピストン部分の拡大図を図 5 に示す。

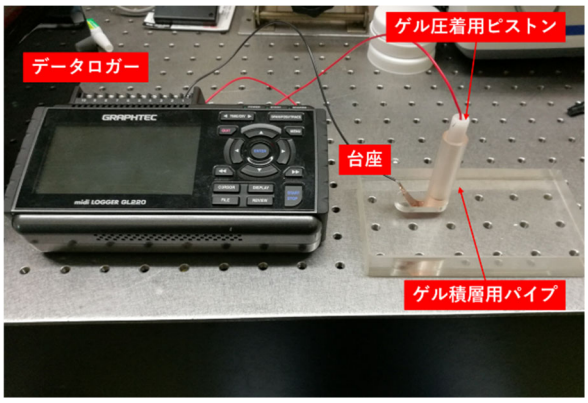

図 4　ゲル電池電圧測定器具　外観

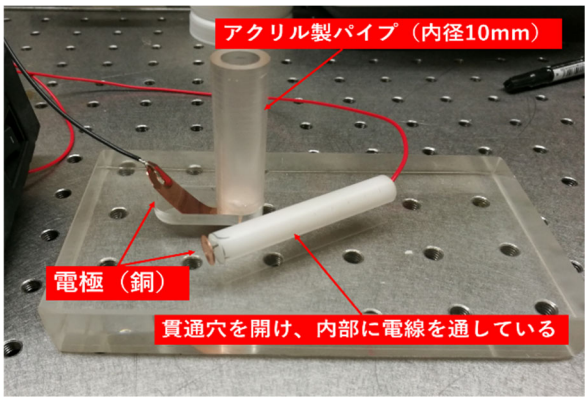

図 5　パイプ・ピストン部　拡大図

ゲル積層用のパイプは、アクリル製パイプの内径を 10mm に調整したものである。実験時は、直径 10mm の円形状にパンチで切り出したゲルをパイプ内部に詰めて積層させる。測定時に積層させたゲルを支持する外枠として、このようなパイプが必要となった。ゲルには各種有機化合物が含まれ、使用後には洗浄する必要があることから、本来はガラスで製作することが望ましかったが、今回はゲルの調整に有機溶媒を使用しないことと加工性を考慮して、アクリルを用いて製作した。

ゲル圧着用のピストンは、10mm 径のジュラコン棒を加工したものである。ピストン内部には貫通穴が空いており、内部に通した導線が先端の銅電極と接続されている。このピストンを用いてパイプ内に積層させたゲルに電極を押し付けることで、ゲルの端面に均一な力が加わり、積層したゲル同士を密着させることができるようになっている。

台座はアクリル板にパイプの外形に合わせて長穴を彫ったものであり、パイプを立てるために使用する。また、長穴の形状に合わせて銅板を切断したものを電極として設置している。

4．製作した器具を用いた電圧測定実験

製作した器具を用いて、ゲル電池の電圧測定を行った。この実験においては、電解質に塩化ナトリウムを使用し、ゲル 4 種を各 1 枚ずつ既定の順番に積層したものを 1 単位として、3 単位積層させた。測定結果を図 6 に示す。測定開始直後から、230mV 前後で安定した電圧が測定されていることが分かる。したがって、本器具を用いることで、ゲル電池の電圧を安定させた上で測定することが可能となったと言える。

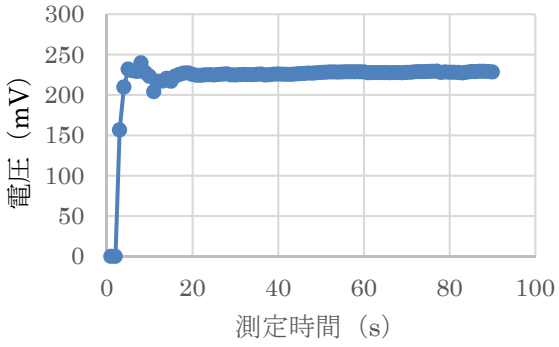

図 6　ゲル電池の電圧測定結果

５．今後の展望

現在は、種々の電解質を含有させたゲル電池を作製し、それらの電圧を比較することで、電解質の種類がゲル電池の性能に与える影響の評価を行っている。また、内部抵抗など電圧以外のパラメータについても同時に調査・考察を進めている。更に、ゲルの温度を変化させた際の測定と、それに向けたパイプ部分の改良を計画している。

ゲル電池の機能評価を行うためには、ゲルの形状や温度など、種々の条件を適切にコンロトールすることが求められる。あらゆる条件の測定に対応できるよう、今後も本器具に改良を加えていきたい。

参考文献

[1] Schroeder, T. B. H.・Guha, A.・Lamoureux, A.・VanRenterghem, G.・Sept, D.・Shtein, M.・Yang, J.・Mayer, M. : An electric-eel-inspired soft power source from stacked hydrogels, Nature, 552, 214, 2017.

謝辞

本機材製作の機会を与えて頂いた、九州大学応用力学研究所エネルギー変換工学分野の東藤貢准教授に深く感謝いたします。