

水溶液の電気伝導度で音を変化させる楽器の開発

岸本泰海^{*1}, 喜多峻介^{*2}, 木本一記^{*3}, 島 華穂^{*4}, 渡邊晃生^{*1},
ブンマート ピチャエート^{*5}, 西岡 求^{*6}, 野田達夫^{*6}

Musical Instruments Played with the Electrical Conductivity of Aqueous Solution

Taikai KISHIMOTO^{*1}, Ryosuke KITA^{*2}, Kazuki KIMOTO^{*3}, Kaho SHIMA^{*4},
Kouki WATANABE^{*1}, Boonmart PITCHAYET^{*5}, Motomu NISHIOKA^{*6} and Tatsuo NODA^{*6}

要旨

大阪府立大学工業高等専門学校の専攻科2年では、「工学システム設計演習 II」および「工学システム実験実習」と銘打った課題解決学習（PBL）型実験実習の時間が設けられており、本科および専攻科の学習を踏まえて他の専門コースの学生と協力して同一課題に取り組んでいる。本稿では、2018年度に実施の実験実習テーマ、水溶液の電気伝導度で音を変化させる楽器の開発について報告する。

Key Words: 電気伝導度, 実験教材開発, 化学楽器, 分野横断 PBL 型実験実習

1. はじめに

1980年代後半に、こどもの「理科離れ・理科嫌い」が取り上げられるようになってから30年以上になる。その現象や問題の捉え方については様々なものがある [1] が、2018年度全国学力・学習状況調査報告書 [2] を見る限りにおいても、未だ理科に関心を持たない児童が多く存在することを窺い知ることができる。大阪府立大学工業高等専門学校（以下、府大高専）の専攻科2年生で展開されている「工学システム設計演習 II」および「工学システム実験実習」では、所属するコースが異なるメンバーでチームを結成して1つの課題に取り組む実験実習を実施しており、2017年度には、微生物燃料電池を題材とし

た実験教材の開発と小学生向け公開講座での実演を行った [3]。2018年度、筆者らは前年度に引き続き、科学技術に親しみを持ち、興味・関心を高めることができる教材の開発を目指し、化学と音楽（楽器）を組み合わせることに着目した。

現在、世界には数多くの多種多様な楽器が存在しており、その中でも古典的なものは「たたく」、「こする」、「吹く」といった物理現象から音を発生させている。例えばギターなどの弦楽器では、弦の張り具合を調整することで音の高低を生み出している。20世紀初めに手とアンテナの物理的な距離を音高に変換するテルミンが登場 [4] して以降、エレクトーンや電子ピアノといった、電子回路により音程を制御する様々な電子楽器も開発されており、発音機構は物理学から電磁気学の分野へと広がった。さらに近年では、こうした発音機構に“化学”の要素を導入する試みがなされており、水溶液中の水素イオン指数 (pH) を音高に変換することで、化学の知見を音楽として楽しむ目的のもの [5] だけでなく、色覚特性を持つ学生向けの教材開発としての成果 [6] が報告されている。どちらの事例も、ガラス電極を用いた電位差測定法により、水溶液の pH という化学的性質を電気信号へと変換しており、この電気信号に基づいて音の高さを決定している。そのため、音程を変化させるためには、pH が異なる水溶液を複数用意してガラス電極を移動させる、あるいは水溶液に酸や塩基（アルカリ）を混ぜて pH を変化させる必要があり、楽器として演奏するには不向きであると言わざるを得ない。

2019年8月19日 受理

*1 総合工学システム専攻 電気電子工学コース

(Dept. of Technological Systems : Electrical and Electronic Engineering Course)

*2 総合工学システム専攻 土木工学コース

(Dept. of Technological Systems : Civil Engineering Course)

*3 総合工学システム専攻 機械システムコース

(Dept. of Technological Systems : Mechanical Systems Course)

*4 総合工学システム専攻 応用化学コース

(Dept. of Technological Systems : Applied Chemistry Course)

*5 泰日工業大学 工学部

(Thai-Nichi Institute of Technology: Faculty of Engineering)

*6 総合工学システム学科 環境物質化学コース

(Dept. of Technological Systems : Environmental and Materials Chemistry Course)

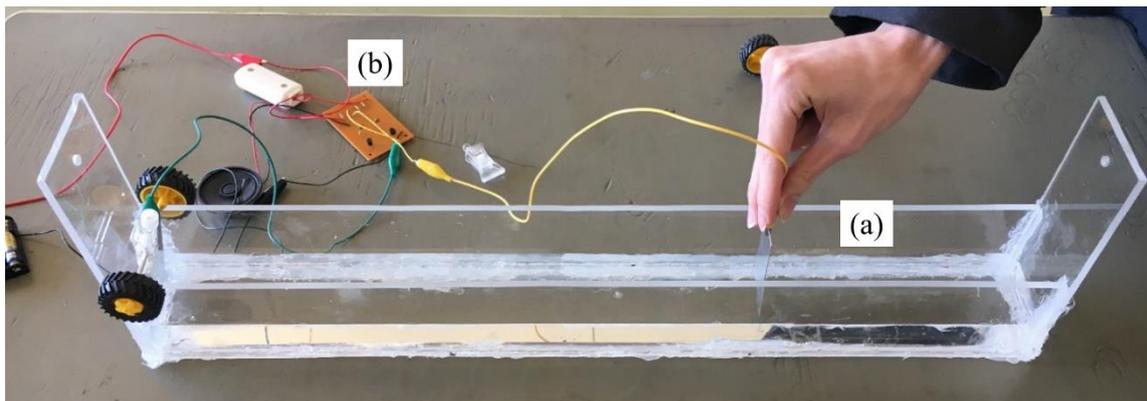


図 1. 作製した楽器
 (a) 電気伝導度操作部分, (b) 発音回路部分

上記の課題を踏まえ, 筆者らは, 化学的性質に基づいて発音するのみならず, 音程をスムーズに変化させることが可能な楽器の開発を目指し, 水溶液の電気伝導度に着目した. 実際に楽器の作製を行い, 発音が可能であったか, また楽器として演奏が可能であったか検証した結果を述べる.

2. 作製した楽器の概要

本取り組みで作製した楽器の写真を図 1 に示す. 大きく分けて 2 つの部分で構成されており, 図 1 中の (a) は電気伝導度操作部分, (b) は発音回路部分となっている. 以下, 各部分について説明する.

2.1 電気伝導度操作部分

図 1 (a) に示す電気伝導度操作部分には, アクリル板 (厚さ 5 mm) を組み合わせて, 横幅 600 mm, 高さ 80 mm, 奥行き 50 mm の容器としたものを使用している. なお, 組み合わせたアクリル板の隙間には, アクリル系接着剤を用いてシーリングを施した. 電極にはアルミニウム板 (厚さ 0.6 mm, 縦 90 mm, 横 30 mm) を 2 枚使用し, 1 枚は容器の端に固定し, もう 1 枚を手で持って水溶液中へ浸すことで, 図 1 (b) の回路より音を発する.

2.2 発音回路部分

発音回路には図 2 に示す非安定マルチバイブレータ回路を用いた. R_x を水溶液の抵抗 (部分) とし, R_1 と R_3 は 200 Ω , R_2 には 10 k Ω のカーボン抵抗を使用した. また, C_1 には 0.02 μF , C_2 には 0.02 または 0.033 μF のセラミックコンデンサを使用した. Q_1 と Q_2 には NPN トランジスタを使用し, S にはダイナミックスピーカーを使用した. これらの電子部品は全て十字配線ユニバーサル基板上に配置し, 電源 V には本校の総合工学実験実習 I で作製し

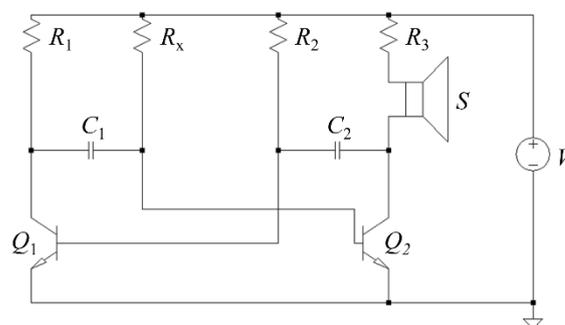


図 2 非安定マルチバイブレータ回路

た直流安定化電源を用いて 3V を印加した. 図 1 (a) の電気伝導度操作部分にて, 水溶液中に両電極が浸されることで回路が閉じ, その際の抵抗値 R_x に応じた音を発する.

3. 作製した楽器の評価

電気伝導度操作部分の容器内に水道水を入れ, 実際に演奏が可能か検証を行った. なお, 電極として使用するアルミニウム板は, 縦 20 mm, 横 30 mm の部分を水中に浸し, 互いに面同士が向かい合うように条件をそろえた.

3.1 電極間距離と音程の関係

次頁の図 3 に電極間の距離とスピーカーより発せられた音の関係を示す. 音程および周波数の測定は, KORG 社製のデジタルチューナー TM-40 を用いて行った.

スピーカーから発せられる音は, 電極間の距離が長いほど音程が低くなり, わずかな距離の違いでも音が変わることがわかった. また, C_2 に 0.02 μF のコンデンサを使用した場合, 音程の範囲は 390 Hz (ソ) ~1244 Hz (レ #) であり, 1 オクターブ以上の音域で出力することが可能であった. 一方, C_2 を 0.033 μF のコンデンサに変更したところ, 出力できる音程の範囲は 466 Hz (シ b) ~1568 Hz (ソ) であり, 0.02 μF を使用した場合より音程が高く

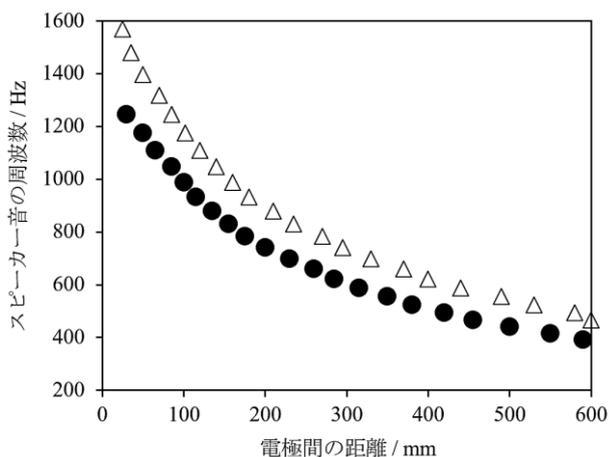


図3 スピーカー音と電極間距離の関係
 $C_2 = 0.02 \mu\text{F}$ (●), $0.033 \mu\text{F}$ (△)

なった。水溶液の種類を変更するだけで希望する音程が得られない場合は、 C_2 のコンデンサ容量によって楽器の音程を調節可能であることがわかった。

一般に、水溶液の電気伝導度 G_s は抵抗値の逆数で定義されており、次の式 (1) で表される。

$$G_s = \frac{1}{R_s} \quad (1)$$

また、水溶液の抵抗値 R_s は、金属などの電気抵抗と同様に、円柱状の電解質溶液を考えれば次の式 (2) で表される。

$$R_s = \rho \frac{L}{A} \quad (2)$$

ここで、 ρ は水溶液の比抵抗、 L は電解質溶液の長さ、 A は電解質溶液の断面積を表している。これらの式より、電極間の距離を長くすれば、水溶液の電気抵抗の値は大きくなる (電気伝導度の値は小さくなる) ことは明らかである。ただし、電気伝導度操作部分での抵抗値 R_s は直流法にて読み取られているため、電極の汚れや分極による影響を受け、真の水溶液の抵抗値 R_s と厳密には一致しないことに注意してほしい。

一方、非安定マルチバイブレータ回路での発信周波数 f は次の式 (3) の形で表すことができる。

$$f = \frac{1}{\ln 2 \times (R_x C_1 + R_2 C_2)} \quad (3)$$

従って、測定された電気抵抗の値が大きくなるにつれて、発信周波数 f は小さくなり、またその変化は非線形的な挙動となる。スピーカーから発せられる音の周波数は、発信周波数 f に対応するものとなるため、図 3 の結果は妥

当なものと考えられる。

本取り組みでは、水道水以外の液体を容器に入れての動作確認を行うことができなかった。しかしながら、予備実験において、食塩水や市販のジュースなど水溶液の種類によって様々な抵抗値をとることを確認しており、音程も全く異なるものが得られるものと考えている。

3.2 「きらきら星」の演奏

作製した楽器は 1 オクターブ以上の音域を有しており、簡単な曲であれば十分に演奏可能であると考えられる。ここでは、一般によく知られている「きらきら星」(武鹿悦子 作詞, フランス民謡) の演奏を試みた。図 4 に「きらきら星」冒頭部分 2 小節間の楽譜を示す。



図4 「きらきら星」冒頭の楽譜

最初の 1 小節に着目すると、“ド、ド、ソ、ソ” というように“ド”と“ソ”の音を 2 回ずつ一定の間隔で発する必要がある。電極を水溶液に浸している間のみ、スピーカーから音が発せられるため、演奏したい音の長さに合わせて、電極を水中に出し入れすることで調節する。

“ド”から“ソ”へと音を変化させる際の演奏者の動きを、次頁の図 5 に示す。図 5(a) のように“ド”の音が鳴る位置へ電極を浸し、図 5(b) のようにいったん引き上げて、図 5(c) のように“ソ”の位置にあわせて電極を水中へ入れる。水中に入れたまま電極を動かすことも可能であるが、その場合は音が連続的に変化していき、グリッサンドと呼ばれる演奏技法を再現することが可能となる。「きらきら星」の曲中で使われている音で最も低いものは冒頭にも出てきた“ド”であり、最も高いものは図 4 の 2 小節目にも現れている“ラ”の音である。これらは作製した楽器の音域に十分に収まるものであり、実際に「きらきら星」を最初から最後まで演奏することが可能であった。なお、演奏の様子は「工学システム実験実習」の最終成果報告会にて動画による披露を行い、聴講した教員および学生から好評を得た。

4. おわりに

本稿では、府大高専の専攻科 2 年での実験実習において実施した、電気伝導度で音を変化させる楽器開発について報告した。最先端の科学を学ぶ教材開発というテーマのもと、所属コースが異なる学生が一丸となって水溶

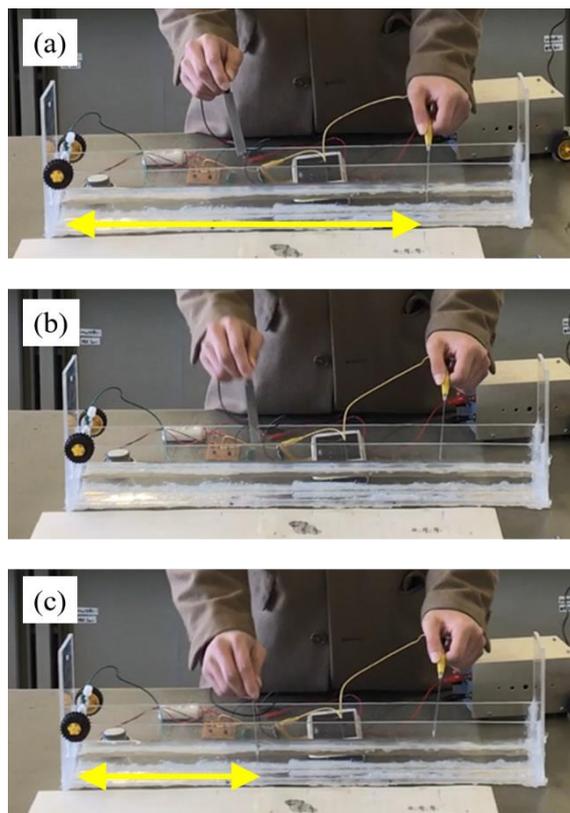


図5 「きらきら星」冒頭の演奏の様子
(a) “ド”を発音, (b) 音の切れ目, (c) “ソ”を発音,
図中の矢印は電極間の距離を表す。

液の電気伝導度を元に演奏する楽器を作製し, 設計・開発から実演するまでの一連のものづくりのプロセスを体験することができた。今回作製したものは, 楽器としての検討がまだまだ不十分であるが, その改善については次年度以降の取り組みに託したい。本稿が, 高等教育に関わる教員および学生にとって, 総合工学的な取り組みまたは分野横断PBL型実験実習の一事例として参考になれば幸いである。

謝辞

本実験実習を進めるにあたり, 2018年度「工学システム設計演習 II」および「工学システム実験実習」担当教員である, 塚本晃久氏, 上村匡敬氏, 金田忠裕氏, 土井智晴氏, 花川賢治氏, 早川潔氏, 新谷晃崇氏, 鯨坂誠之氏, また同じく実験実習を受講した専攻科生の皆様には, 様々なご助言やご助力を頂き, ここに感謝申し上げます。

参考文献

[1] 長沼祥太郎, 理科離れの動向に関する一考察-実態および原因に焦点を当てて-, 科学教育研究, **39** (2),

114 (2015).

- [2] 国立教育政策研究所, 平成30年度全国学力・学習状況調査報告書【質問紙調査】, 2018.
- [3] 櫻井 渉, 戸谷明寛, 山中亮輝, 西村拓巳, 牛本 滯, 大井かなえ, ワラセト ポンプンサンティ, 辻元英孝, 野田達夫, 専攻科生による公開講座—泥んこ電池をテーマとした実験教材の開発—, 大阪府立大学工業高等専門学校研究紀要, **58**, 63 (2018).
- [4] 竹内正実, テルミン氏生誕100周年を迎えて～ロシアに於けるテルミンの昨日, 今日～, 音楽情報科学, **1996** (124), 7.
- [5] <http://www.sonichead.jp/4++/chemical.html> (2019年8月現在).
- [6] S. C. Costa, J. C. B. Fernandes, Listening to pH, *J. Chem. Educ.*, **96** (2), 372 (2019) .