

micro:bit による備長炭電池の性能測定実験の教材化

－マイクロスケール実験とプログラミング教育の連携を目指して－

芝原 寛泰¹⁾, 佐藤 美子²⁾

1) 元京都教育大学 (名誉教授) h-shiba@helen.ocn.ne.jp, shiba@kyokyo-u.ac.jp

2) 四天王寺大学教育学部 y-sato@shitennoji.ac.jp

キーワード: マイクロスケール実験, 備長炭電池, プログラミング教育, micro:bit, 電圧測定

(受付: 2022 年 2 月 12 日)

I. はじめに

小学校では 2020 年度から新学習指導要領の下で, プログラミング学習が授業に取り入れられている。さらに 2021, 2022 年度からはそれぞれ中学校・高等学校でもプログラミング教育が実施されている (文部科学省, 2017a, b ; 2018)。小学校ではプログラミング的思考の学習が中心だが, 中学校・高等学校ではネットワークと計測・制御のプログラミング教育も含まれている。

一方, 個別実験による主体的活動が可能であるマイクロスケール実験 (芝原・佐藤, 2011) の特徴を生かして, プログラミング教育と理科実験との連携を視野に micro:bit をマイクロスケール実験による教材実験に活用してきた。

英国の BBC が 2015 年に開発した教育向けのシングルボードコンピューター micro:bit は, 2020 年より micro:bit V2 となり, センサーや通信の機能もさらに向上している。USB ケーブルで WindowsPC や chromebook と, また Bluetooth で iPad と接続可能である。日本では, 2017 年より販売されている。プログラムの作成においては, Javascript や microPython を用いたプログラミングも可能であるが, ここでは小学生・中学生へのプログラミングの導入教育を前提に, makecode (専用のエディター) を使ったブロックの組み合わせによる方法 (ブロックモード) を用いた。

個別実験によるマイクロスケール実験の定量的測定とデータ処理, およびプログラミング学習の振り返りと有用性の認識を図ることを目的に開発した実験教材を用いて, 固体を対象に micro:bit を用いた電気伝導性の測定 (佐藤・芝原, 2020a), 溶液の電気伝導度の変化の測定 (佐藤・芝原, 2020b), さらに溶液中での温度測定が可能な IC 温度センサーを micro:bit で制御しながら, 状態変化や中和反応における温度変化の測定を行った (芝原・佐藤, 2021)。

本論文では, 小・中学校の多くの理科教科書にも掲載されている備長炭電池を対象に, その起電力の変化を micro:bit を用いて測定・グラフ化する教材実験を作製した。

II. 備長炭電池の測定

1) 教材実験としての備長炭電池

備長炭を用いた電池の作製については, 1994 年の科学プロデューサー米村傅治郎の報告

が最初である。必要な材料が身近で安定して動作するため、各地の実験教室や、さらには教科書の実験にも採用され急激に普及した（大沢，2002；井上，1996）。また，教材実験としての基礎的な研究報告も数多くある（谷川・喜多，2021；尾関・山口，2010など）。

現在では，備長炭電池は中学校第3学年「化学変化とイオン」の単元において，多くの教科書に採用されている実験である。備長炭電池の作製と発電の様子を確認することにより，イオンの役割や電子の流れを学習することがねらいとなっている。図1は，電子オルゴールにより備長炭電池の動作を確認しているところである。備長炭電池は中学校理科だけでなく小学校理科の教科書にも発展的な教材として記載されているが，その原理を理解するには，高等学校化学の学習事項が必要となる。備長炭電池は空気電池の一つと考えられ，酸素が正極の活物質となる。備長炭の表面に付着している酸素が使われるが，空气中的酸素も関与する。一方，負極のアルミニウム箔は，食塩水に溶けてイオンと電子になる。その証拠として放電後にアルミニウム箔に光をあてると無数の穴があいていることが確認できる（図2）。



図1 備長炭電池の動作確認

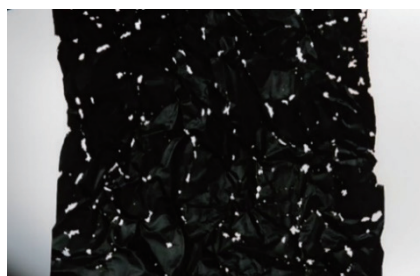
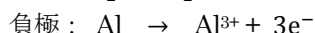
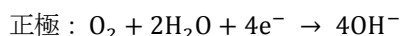


図2 穴の空いたアルミニウム箔

備長炭電池における化学反応を次式に示す。



酸化還元電位から求めた起電力は2.1 Vであるが，実際の測定値は1.2～1.5 Vを示す。大きい備長炭を使い，アルミニウム箔を密着させると，電圧値は変化しないが電流値は大きくなる。

作製した備長炭電池の性能を調べるため，micro:bitを用いて，電解質溶液を滴下後の放電時の電圧変化を測定した。電解質溶液である食塩水の役割，さらに正極と負極の活物質の確認をするための教材実験として，電圧の相対的な変化をmicro:bitと接続したパソコンによるグラフ表示を行った。

電圧や電流測定のために，センサーを介してより正確に変化を求めることも可能である（川村ほか，2021；芝原・佐藤，2022）。本論文では，micro:bitのプログラミング学習の応用と，実験費用の負担を考慮して，micro:bitによる電圧の直接測定について報告する。

2) 備長炭電池の測定

備長炭電池の作製方法については，すでに多くの解説書があり，それらを参考に作製した。電圧を測定・記録するためのmicro:bitのプログラミングについては，Ⅲに示す。

図3は、備長炭電池の電解質溶液である食塩水（約10%）を滴下して発電しているところである。また、図4は、micro:bitを用いて備長炭電池の電圧測定を行っているところで、接続したパソコンにより測定結果をリアルタイムで表示できる。測定の手順を以下に示す。

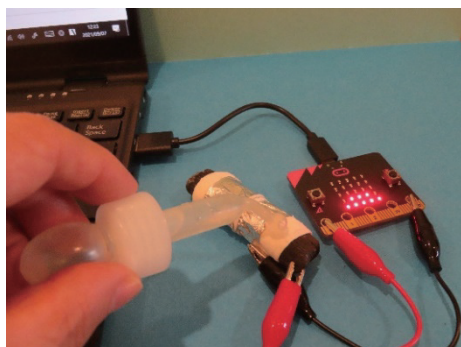


図3 接続と滴下の様子



図4 micro:bit を用いた測定の様子

- ① パソコンと micro:bit を USB ケーブルで接続して、作成したプログラムを micro:bit にダウンロードする。
- ② micro:bit の GND（グラウンド）端子と、備長炭電池のアルミニウム箔を黒色ミノムシクリップ（一極）で接続する。同様に、備長炭電池と micro:bit の P0 端子を赤色ミノムシクリップ（+極）で接続する（図 3）。
- ③ 備長炭電池のティッシュペーパーに食塩水を滴下する（図 3）。
- ④ micro:bit の「A」ボタンを押すと「コンソール表示 デバイス」が表示される。これをクリックすると、makecode の右側画面に測定した電圧値（相対値）とグラフが表示される。備長炭電池の電圧の程度により micro:bit の LED の明るさが変化する（図 3）。
- ⑤ 「B」ボタンを押して測定を中断する（測定を再開するには、再度「A」ボタンを押す）。
- ⑥ 測定を終了するには、右上の緑色の「II」を押す（図 5）。測定した値をエクセルに転送するには、右上の下向き矢印（）をクリックする。自動的にエクセルの画面が表示されるので、csv ではなく xls の形式で保存する。
- ⑦ 測定中の makecode のコンソール画面の様子を図 6 に示す。

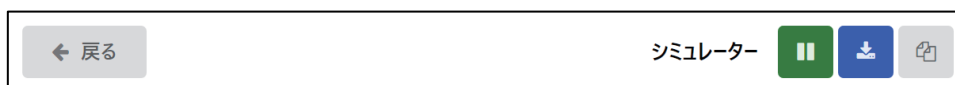


図5 プログラムの停止とデータの保存

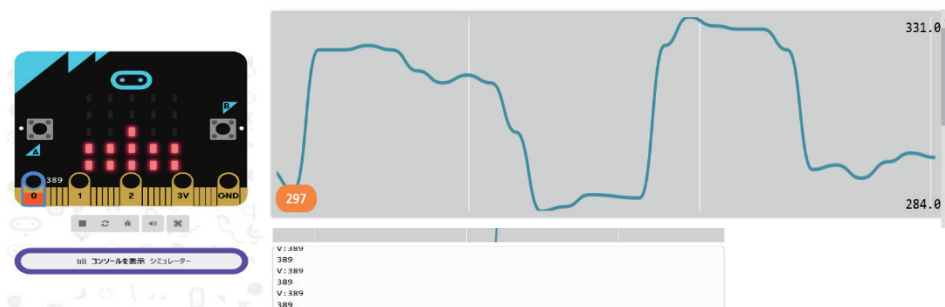


図6 測定中の makecode のコンソール画面

備長炭電池の電圧変化の測定結果を、エクセルを使って表示した様子を図 7 に示す。接続している赤色ミノムシクリップをはずしたとき、また再び接続したときの電圧の変化を示している。横軸は測定回数で 5 秒に 1 回の電圧測定を行っている。縦軸は相対的な電圧変化を示すが、micro:bit の機能として、0～3 V の範囲で、0～1023 の数字で出力できるので、図 7 では約 1.2 V の最大値を示していることがわかる。

Ⅲ. micro:bit のプログラミングについて

プログラミングは Windows PC 上で makecode を使い作成後に、USB ケーブル経由で micro:bit にダウンロードを行い実行する。micro:bit に接続する前に、シミュレーションモードにより動作確認も可能である。測定データは USB ケーブルによりパソコンに転送され、Excel を使ってグラフ表示を行う。図 8、9 にブロックモードで作成したプログラムの例を示す。図 8 のプログラムでは、micro:bit の A ボタンを押すと測定開始と再開、B ボタンにより測定を中断できる。

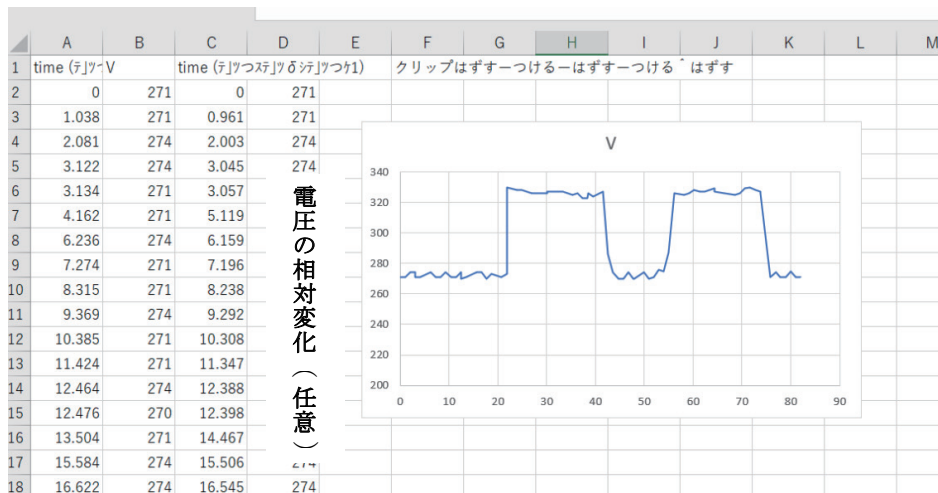


図 7 測定結果のエクセルを使った表示

micro:bit に標準で付属するプログラム作成用の makecode を使ったプログラミングについて以下に示す。

- ① 「最初だけ」に「基本」ブロックから選んだ「文字列を表示」を選び英数字を入れる (図 8A)。
- ② 「変数」ブロックにある「変数を追加する」を選び、新しい変数「state」をつくる。
- ③ 「変数」ブロックにある「変数 XXX を ZZZ にする」を選ぶ。
- ④ XXX には「state」をいれ、さらに YYY には、「論理」にある「真」を入れる (図 8B)。
- ⑤ 「入力」ブロックにある「ボタン A が押されたとき」を選ぶ。
「変数」にある「変数 XXX を YYY にする」を選び、XXX には「state」を入れる。
YYY には、「論理」ブロックにある「真」を入れる (図 8C)。
- ⑥ 同様に「入力」ブロックにある「ボタン B が押されたとき」を選ぶ。
ここでは「真」のかわりに「偽」を入れる (図 8D)。以上の⑤、⑥により、ボタン

- 「A」を押すと測定を開始,「B」を押すと中断する。
- ⑦ 「ずっと」に命令を入れていく (図 9)。
 - ⑧ 「論理」ブロックにある,「もし…..でなければ」を選ぶ。「もし…」の次に,「論理」の「くらべる」にある「<0=▼0>」をいれる (図 9E)。
 - ⑨ 「高度なブロック」にある「入出力端子」の下「その他」をクリック。その中にある「端子 P0 をプルダウンする」を選ぶ (図 9F)。なお P0 は micro:bit の左端の端子になる。
 - ⑩ 「変数」ブロックで新しい変数「readingP0」をつくる。
 - ⑪ 「変数」ブロックにある「変数 XXX を ZZZ にする」を選ぶ。XXX には「readingP0」をいれる。
 - ⑫ 「高度な編集」ブロックにある「入出力…」から「アナログ値を読みとる端子 P0 にする」を選び, ZZZ に入れる (図 9G)。
 - ⑬ 「計算」にある「変数×10」を選び「readingP0」を 10 倍する (図 9H)。
 - ⑭ 「高度なブロック」にある「シリアル通信 名前と数値を書き出す XXX」を選び, XXX に「V=readingP0」を入れる。シリアル通信により, USB ケーブルをとおしてデータがパソコンに転送される (図 9I)。
 - ⑮ 「LED 表示」にある「棒グラフを表示する XXX」を選び, XXX に readingP0 を入れる。最大値を 1023 にすると LED がすべて点灯する (図 9J)。
 - ⑯ 「基本」にある「一時停止 XXX」を選び, XXX に 5000 (ミリ秒)を入れる (図 9K)。5 秒に 1 回の測定になる。
 - ⑰ 「でなければ」に「論理」にある「もし…」を選ぶ (図 9L)。
 - ⑱ 「もし XXX=YYY」のところで, XXX に「state」, YYY に「偽」を入れる。
 - ⑲ LED 表示」で LED の点灯パターンを入れる。さらに無点灯のパターンを入れると点滅する (図 9M)。

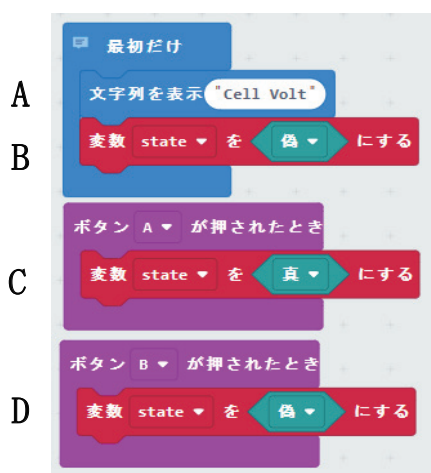


図 8 「最初だけ」と
「A」, 「B」 ボタンの設定

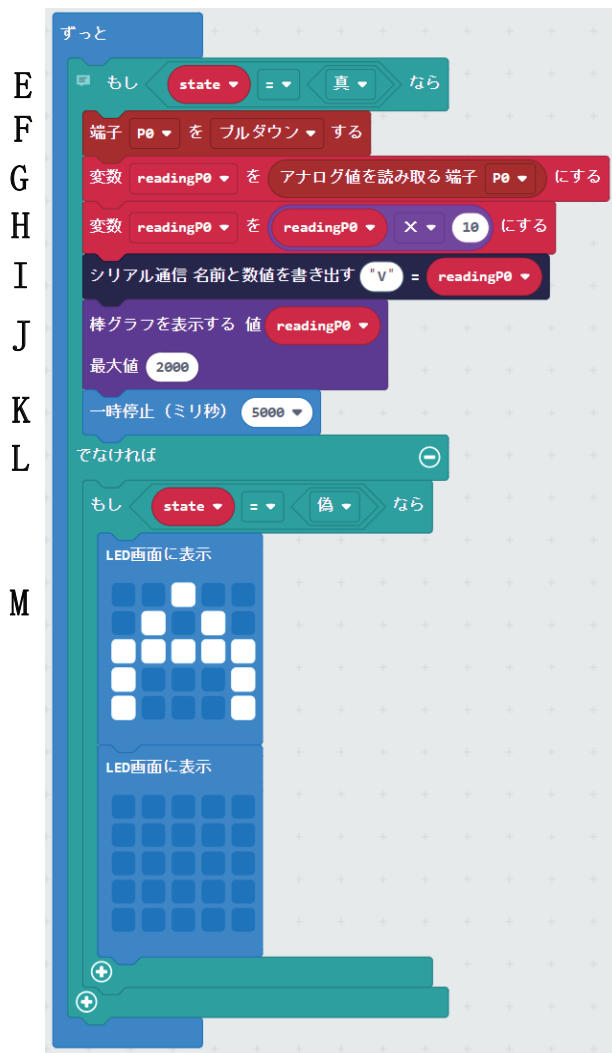


図9 「ずっと」の設定

IV. まとめ

マイクロスケール実験と連携して、micro:bit の機能を活用した備長炭電池の電圧変化の測定が可能となった。micro:bit を用いた電圧測定は、市販の測定キットを接続すれば、簡単なプログラミングで可能となる。しかし測定キットが高価であること、またマイクロスケール実験とプログラミング導入教育との連携に適していないと判断した。

マイクロスケール実験では、装置の小型化や試薬量の削減のため定量実験が難しい場合が多い。micro:bit によるプログラミングと連携しながら測定値を確認すると、それらの問題も克服でき、今後の応用にも期待できる。またプログラミング教育の学習成果を理科実験で活用することにより、プログラミング学習の定着を図りながら、理科学習の意義を認識できることは重要である。

教員志望の大学生を対象にした実践的検証で得られた改善点を踏まえ、中学生対象の授業での利用を検討中である。

本研究の一部はJSPS 科研費（基盤研究 C，代表者 芝原寛泰 課題番号 20K03227
及び 基盤研究 C，代表者 佐藤美子 課題番号 19K02692）の助成を受け実施した。

文献

- 平間久美子・西澤利治 2018. 「micro:bit」ではじめる電子工作. 工学社, 東京, 191pp.
- 井上 護（編集） 1996. やってみようなんでも実験. 日本放送出版協会, p16.
- 川村康文・前田謙治・小林尚美 2021. はじめてみよう STEAM 教育小学生からの実験とプログラミング. オーム社, 206pp.
- 文部科学省 2017a. 小学校学習指導要領解説 理科編. 166pp.
- 文部科学省 2017b. 中学校学習指導要領解説 理科編. 183pp.
- 文部科学省 2018. 中学校学習指導要領解説 理科編・理数編. 368pp.
- 大沢幸子 2002. 米村傳治郎（監修），米村傳治郎のおもしろ科学館. オーム社, 114pp.
- 尾関 徹・山口忠承 2010. 備長炭電池を長時間働かせる工夫. 化学教育, 58・4, 172-173.
- 佐藤美子・芝原寛泰 2020a. マイクロスケール実験のプログラミング教育への応用
ーmicro:bit と microcode を用いた導通テスト実験の教材化ー. 日本理科教育学会全国大会発表論文集, p103.
- 佐藤美子・芝原寛泰 2020b. マイクロスケール実験のプログラミング教育への応用（Ⅱ）
ーmicro:bitによる電解質水溶液の電気伝導度の記録ー. 日本理科教育学会近畿支部大会発表論文集, p6.
- 芝原寛泰・佐藤美子 2011. マイクロスケール実験ー環境にやさしい理科実験ー.
オーム社, 東京, 131pp. （同英訳版 2016. オーム社, 東京, 118pp.）
- 芝原寛泰・佐藤美子 2021. マイクロスケール実験とプログラミング教育への応用（Ⅲ）
ーmicro:bitによる温度と電気伝導性の連続測定ー. 日本理科教育学会全国大会発表論文集, p98.
- 芝原寛泰・佐藤美子 2022. 小型温度センサーと micro:bit による温度測定の教材実験
ーマイクロスケール実験とプログラミング教育の連携を目指してー. フォーラム理科教育, 23, 11-16.
- 谷川直也・喜多雅一 2021. 備長炭電池の放電時の正極，負極の酸化還元反応についての電気化学的な実験による検証. 兵庫教育大学教育実践学論集, 22, 109-116.
- 上杉公榮 2021. micro:bit プログラミング理科実験教室 I. KashiPro, 83pp.