

スポットライト

～第6回「高校生・高専学生ポスター発表」優秀賞～

電池型平面的スズ樹の研究Ⅱ

都立小石川中等教育学校 化学研究会 高校1年

石田俐瑠 川井結愛 高村美羽
安部紫乃 曾羽 蓮

(1) 概要

私たちの研究している平面的な電池型スズ樹は、スズ(Ⅱ)イオン溶液に亜鉛板を入れて析出するスズ樹の7倍以上の速度で成長することをこれまでに報告しています⁽¹⁾。さらに先行研究⁽¹⁾で直径600 mm程度、本研究で直径800 mmまで大きくできることがわかってきました。

実験装置は図1のようなDaniell電池型で、ポイで固定された隔膜(図2)をイオンが移動します。同時に、食塩水中の負極の亜鉛板が酸化溶解され、 $(Zn \rightarrow Zn^{2+} + 2e^-)$ 、室温で塩化スズ(Ⅱ)水溶液($0.1 \sim 0.5 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$)中の正極の銅線に移動した電子がスズ(Ⅱ)イオンを還元し($Sn^{2+} + 2e^- \rightarrow Sn$)、図2のようにスズの金属結晶が樹木状に成長します。

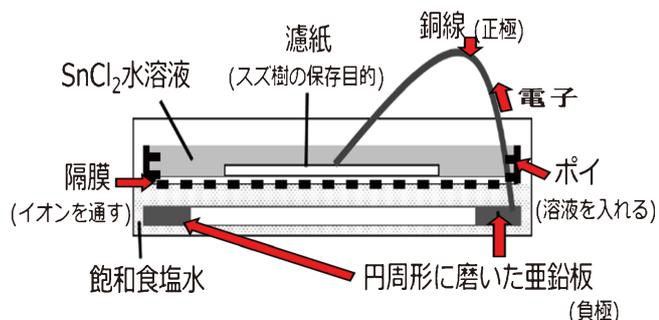


図1 銅線と円周形亜鉛板のポイ型半透膜型電池。(オンラインカラー)

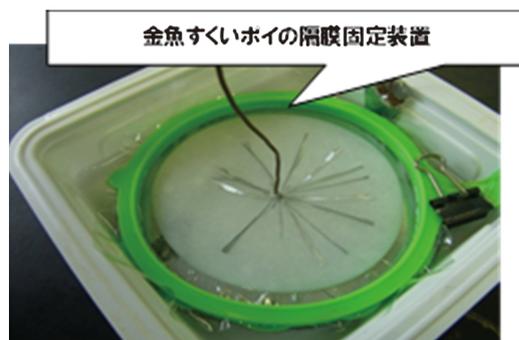


図2 ポイ型半透明のろ紙上に成長するスズ樹。(オンラインカラー)

私たちは中学1年時からミョウバンの再結晶などの研究をしていましたが、再結晶自体が成功しなかった上、コロナ禍による休校が相まって研究継続を断念しました。その時、私たちは先輩の直径600 mmのスズ樹⁽¹⁾を見て驚き、興味を持ちました。それを機に、先輩から電池型スズ樹の研究を継承し、更に発展させ続けています。

昨年度は、温度、溶液の濃度など反応条件と電池型スズ樹の伸長速度の関係を調べて、切断されたスズ樹が切断部分を補って成長することや、障害物を避けて成長できることを発見しました。さらに、研究で身につけた技術を利用し、スズ樹のアートを作製しました。

今年度は、電流と電圧の測定によって昨年より正確に反応条件とスズ樹の成長の関係を調べることで、ここで分かったことを利用して先行研究⁽¹⁾を超える大型化や新たに形状のコントロールに挑戦することを目的として、研究を継続しました。

(2) 電流と電圧の測定

スズ樹の成長量を正確に調べるのは難しく、昨年はスズ樹の長さを測定しましたが、樹の枝分かれを考慮できませんでした。先行研究の面積比較は厚みが考慮できず、スズ樹1～10 mgの質量比較では測定誤差が無視できません。今年は電池型スズ樹が正極の銅線で電子を受け取り成長する点に着目し、電流(電気量)を電流計で測定することにより、正確に成長を比較することができました。

まず、反応温度0、20、40℃で塩化スズ(Ⅱ)水溶液の濃度を0.10、0.20、0.30、0.40 mol・L⁻¹とした場合、どの条件でも反応初期では時間経過に伴い成長電流は増加しますが、その後電流の増加は緩やかになることがわかりました(図3)。一方、塩化スズ(Ⅱ)水溶液の濃度が0.50 mol・L⁻¹では、反応初期に成長電流が増加しますが、10分間のうちに減少に転じました。さらに反応条件を変えて調べたところ、塩化スズ(Ⅱ)水溶液の濃度が高いとき(図3)、反応温度が高いとき(図4)、イオンを通しやすい隔膜を使ったときに(イオンを通し難い隔膜に比べて)、より短時間で電流が増加しその後電流の増加は穏やかになる(場合によっては減少に転じる)ことがわかりました。

電流増加の原因は、スズ樹の成長により正極の面積、Sn²⁺が還元される場所が増えたためであり、増加が穏やか

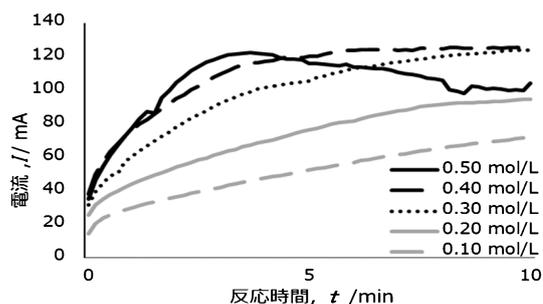


図3 いろいろな塩化スズ(Ⅱ)水溶液濃度における電流の変化(反応温度: 20℃)。

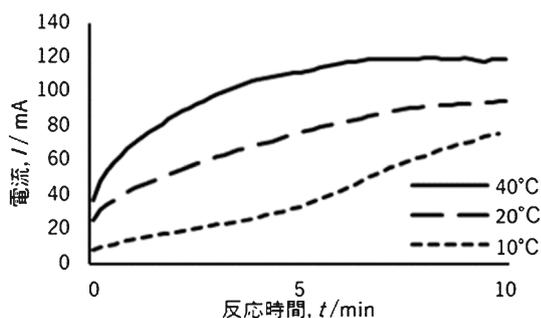


図4 いろいろな反応温度における電流の変化(塩化スズ(II)水溶液: $0.20 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$)

になる原因は一部の Sn^{2+} が隔膜を通過して負極(亜鉛板)に析出し、電圧が低下したためと考えられます。実際に電流の増加が緩やかになったものほど実験開始10 minの電圧が低いことが確かめられています。

(3) スズ樹の大型化への挑戦

大型化では、先行研究⁽¹⁾の600 mmを超えるための課題を克服し、直径800 mmのスズ樹づくりに成功しました。

まず、巨大な装置を用いて、直径1200 mmのスズ樹に挑戦しましたが、電極や亜鉛電極付近の隔膜に大量のスズが析出し、スズ樹の成長が止まりました。その原因は Sn^{2+} が隔膜を通過して、亜鉛電極まで到達し、直接酸化還元反応を起こしたためと考えられました。

そこで Sn^{2+} と亜鉛電極の反応を制御する対策を考えました。第一は隔膜に防水スプレーをかけて Sn^{2+} の隔膜通過量を減らすこと。第二は別の網に入れた亜鉛板を負極の亜鉛板上に静置することで、隔膜を通過した Sn^{2+} を除くことです。結果、亜鉛電極がスズに覆われにくくなりました。

更に、濾紙の大型化のための接着方法を研究し、市販の直径600 mmの濾紙を1辺800 mmに切った布に縫い合わせて、この上にスズ樹を成長させました。これらの工夫により室温で $0.2 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 塩化スズ(II)水溶液を用いて目標を達成することができました(図5)。

(4) スズ樹の形状のコントロール

電池型の特徴を利用してスズ樹の形状のコントロールに挑戦しました。

これまでの研究から、正極と負極間で発生する電界の方向にスズ樹が成長することがわかっています。その電界の形を制御することでスズ樹の成長範囲をコントロールできると考え、実験装置を工夫しました。

まず、負極(亜鉛板)と隔膜に絶縁テープを貼って幅4 mmの直線形隔膜とし、正極(銅線)間に直線的にスズ樹を成長させることができました。ここで作ったスズ樹は葉にして先行研究の先輩方にプレゼントしました。(図6, 7)さらに、濾紙にクレヨンを塗って溶液を染み込みにくくする、銅電極の形を変えて Sn^{2+} が還元される場所を定めるといった工夫により室温で $1.0 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 塩化スズ(II)水溶液を用いて、そ

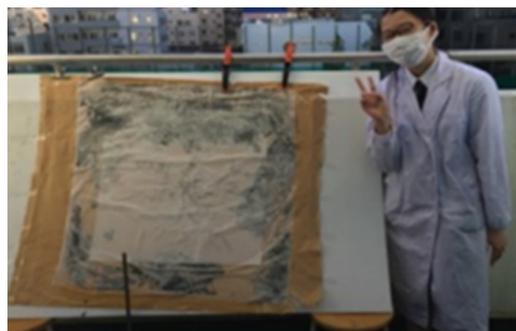


図5 直径800 mmの大型スズ樹づくりに成功。(オンラインカラー)



図6 スズ樹の葉。(オンラインカラー)

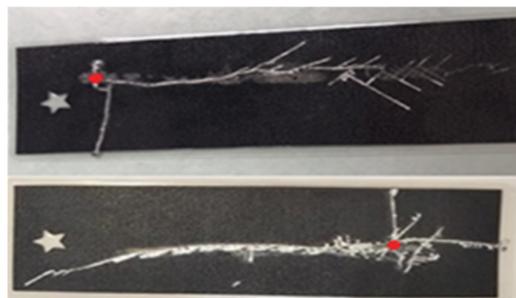


図7 直線形スズ樹の葉。(オンラインカラー)



図8 ミッキー型のスズ樹。(オンラインカラー)

れぞれ星、丸形にスズ樹を成長させられました。さらに正極と負極、隔膜にテープを貼って同一形とし、ミッキー(図8)、ウサギなどの複雑な形のスズ樹も作る事ができました。

(5) まとめ・謝辞

今年の研究では電気量の測定や大型化，形状のコントロールに成功しました．この成果は芸術，科学教育，金属材料の分野に生かせるのではないかと考えています．今後も，これらの応用のために研究を深めていきたいと思ひます．

金属学会の高校生ポスター発表では，高校生や高専生の方と研究発表させていただきました．大学の先生方からのアドバイスや質問を基に追加実験を行い，研究全体を考え直すことができました．優秀ポスター賞をいただいたことは大きな自信となり，日本学生科学賞中央審査で，本校の先生方，先

輩方からのアドバイスにより発表をブラッシュアップし，科学技術政策大臣賞を受賞することができました．

本研究とその発表を通して，私たちはひとまわり大きく成長できたと感じています．ありがとうございました．

文 献

- (1) 萩原千尋，口石美咲，興石真結子：平面的に成長するスズ樹の研究，第63回日本学生科学賞 東京都大会 最優秀賞受賞作品，2019年．
(2022年1月11日受理)[doi:10.2320/materia.61.511]
(連絡先：〒113-0021 東京都文京区本駒込 2-29-29)



～美しい金属の写真～

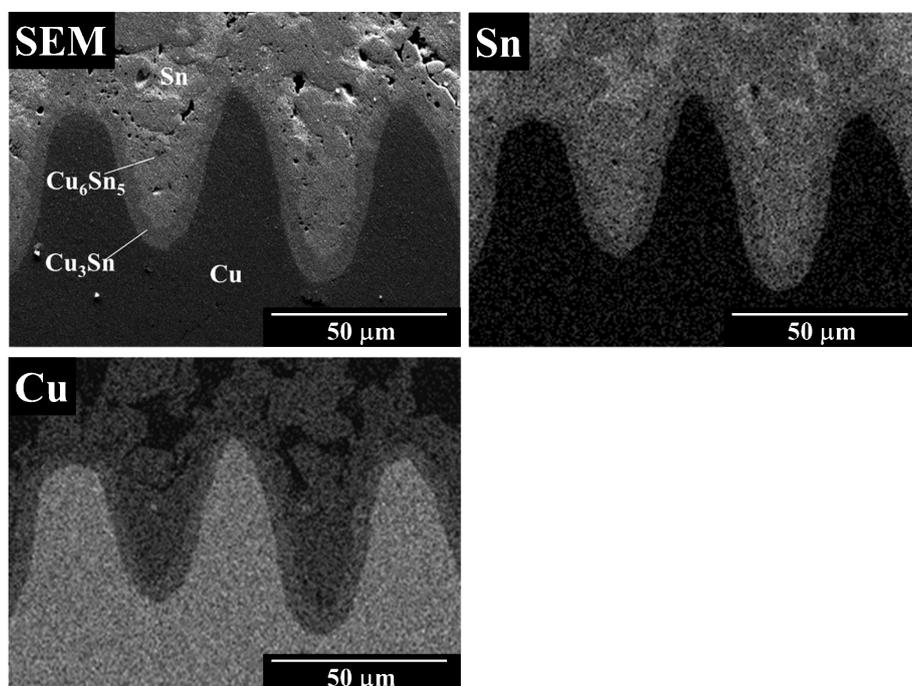


Fig. 4 SEM image of sample cross section for wetting experiment with Sn and mapping of Sn and Cu.

<Masashi Nakamoto, Atsushi Fukuda, Jenna Pinkham, Siboniso Vilakazi, Hiroki Goto, Ryo Matsumoto, Hiroshi Utsunomiya and Toshihiro Tanaka: “Joining of Copper Plates by Unusual Wetting with Liquid Tin and Tin–Lead Solder on “Surface Fine Crevice Structure””: Mater. Trans., **57** (2016), 973-977 より転載>