

補助事業番号 2022M-233

補助事業名 2022年度 e-wasteゼロにむけた生分解性無線給電システムの開発に関する
補助事業

補助事業者名 山田駿介

1 研究の概要

本研究では、生分解性と水溶性を示す金属・電解質を用いて、使用後に環境中に吸収されるスーパーキャパシタを実現できるはずだと考えた。本研究の核となる大きな表面積をもつ電極に関しては、カーボンやポリマーを使用するのではなく、ナノ多孔質金属および、その酸化物を使用することで、生分解性と表面積 $1\text{ m}^2/\text{g}$ を確保することを提案する。耐酸性・耐アルカリ性の異なる二種類の金属からなる合金のうち、片方の金属を溶かすこと(Dealloy)で、生分解性をもつ金属にナノ多孔質構造を作製でき、非常に大きな表面積を実現する。

2 研究の目的と背景

本研究では、蓄電素子・無線給電システムを生分解性材料で実現し、センサが設置後に環境中に分解・吸収され、地球上の生物圏、岩石圏、水圏、大気圏で循環するエレクトロニクスのエコシステムを構築する。最先端エレクトロニクスの将来像として、フィジカル空間の情報を無線センサ端末により収集し、サイバー空間においてAI・ビッグデータ解析することで、より豊かな社会を目指すSociety 5.0(IoT)が注目を集めている。これにともない、消費されるセンサの数は2020年には年間10兆個のセンサが消費され、電子部品のごみ(e-waste)は年間7400万トンと試算されている。その膨大な数のセンサのメンテナンスは物理的に不可能であり、設置後のセンサは回収できず、無線センサ端末は環境中に廃棄されるものと想定される。このため、端末の経年劣化により、有害物質が漏洩して深刻な環境汚染を引き起こす恐れがある。以上の背景から、申請者は生分解性が次世代エレクトロニクスのゲームチェンジテクノロジーになると考え、生分解性電解質の作製と、その蓄電素子・センサ応用に取り組んできた。しかしながら、蓄電素子で生分解性を実現しても、MPU、センサ、回路のパッケージや配線に生分解性がないため、無線センサ端末全体で生分解性を実現できていない。本研究で実現する生分解性エレクトロニクスにより、研究成果の実利用または普及のための社会やシステムの転換が期待できる。具体的には、環境中に設置した無線センサ端末の回収や、素子の劣化による環境汚染の問題が解決され、Society 5.0やDX時代のハードウェアとしての利用が期待できる。

3 研究内容

(1)水によるナノ多孔質金属の作製と材料探索に関する研究

[\(http://santayamada.wp.xdomain.jp/research/nanomaterials/\)](http://santayamada.wp.xdomain.jp/research/nanomaterials/)

生分解性金属として銅(Cu)に注目しており、耐酸性・耐アルカリ性の観点から、それとマグネシウムとの合金(Mg)を作製して、水によるDealloyによるナノポーラス構造を作製した(図1)。CuMg合金

の最適な組成を決定して、ナノ構造を制御し、窒素吸着法による表面積 $10 \text{ m}^2/\text{g}$ を持つことを確認した(図2)。ナノポーラス構造の構造解析には、各種X線分光法を用いて、評価した。具体的には、X線回折法、X線電子分光法を用いて、結晶構造解析や化学結合の状態を評価した。

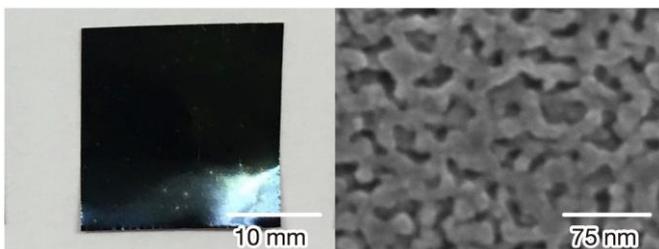


図1 作製したナノポーラス構造

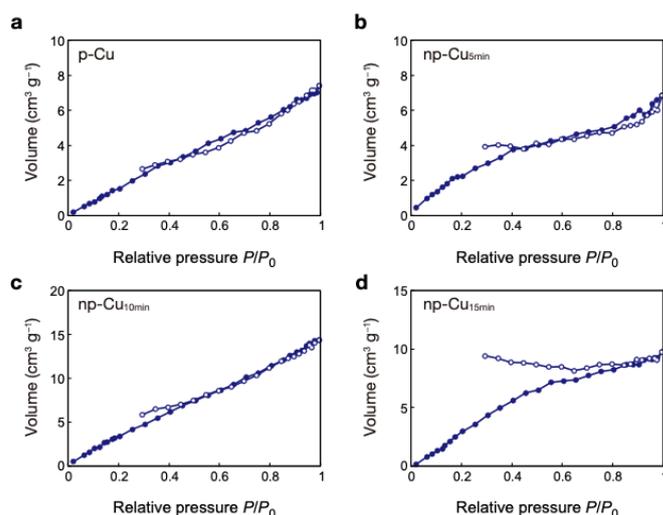


図2 (a) p-Cu、(b) np-Cu_{5min}、(c) np-Cu_{10mi}、(d) np-Cu_{15min} 箔の窒素吸脱着等温線。

(2) 生分解性材料による電源の開発

作製したナノポーラス電極とゲル電解質を使用して、図3に示すスーパーキャパシタを作製した。作製したスーパーキャパシタの電気化学特性を評価するため、サイクリックボルタンメトリーを行った。スキャン速度を 5 mV/s から 1 V/s に変化させた場合、 1 V/s までほぼ直方体の形状を示した。作製したスーパーキャパシタはイオン液体を用いているため、電圧範囲 $0 \text{ V} \sim 1.2 \text{ V}$ で電気化学的に安定であることが判明し、水系電解質を使用した場合より、 0.4 V 安定していることが判明した。ガルバノスタティックチャージ・ディスチャージにより容量を測定したところ、 10 mF/cm^2 が得られた。本研究成果を、図4に示すように東北大学のオープンキャンパスでポスター発表した。

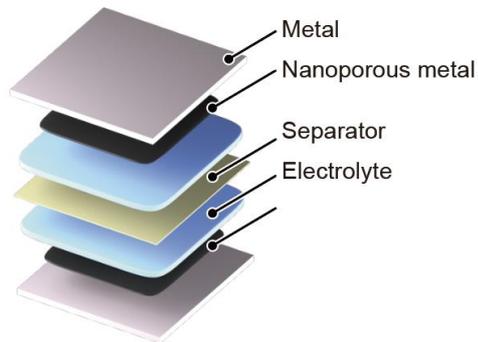


図3 作製したスーパーキャパシタの概念図



図4 オープンキャンパスでの報告

4 本研究が実社会にどう活かされるか—展望

本研究で使用したMgは、環境中に潤沢に存在し、生分解性を有しており、循環型社会を実現するうえで最適な材料であるといえる。本研究の延長には、ナノポーラス構造による触媒、蓄電素子、ケミカルセンサへの応用が期待でき、地球温暖化やカーボンニュートラルなど地球規模の問題解決への貢献が期待できる。

5 教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

これまでの研究において、電解液とそのゲルの基礎・応用研究を行ってきた。その研究を通じて、電解液だけではなく電極やパッケージをふくめたモジュールレベルでの研究の重要性が判明した。本研究は新規のナノポーラス構造の作製方法を提案するだけでなく、事業者の研究の深み、幅をもたせる上で非常に重要な研究である。

6 本研究にかかわる知財・発表論文等

S. Yamada, "Nanoporous Cu Prepared through Dealloying by Selectively Etching an Alkaline Metal with Saline," ACS Applied Nano Materials, vol. 6, no. 9, pp. 7229–7233, 2023, doi: 10.1021/acsanm.3c00320. (<https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acsanm.3c00320>)

7 補助事業に係る成果物

(1) 補助事業により作成したもの

該当なし

(2) (1)以外で当事業において作成したもの

該当なし

8 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名: 東北大学 大学院工学研究科
(トウホクダイガク ダイガクインコウガクケンキュウカ)

住 所: 〒980-8579
宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉6-6-01
機械・知能系A01 建物A15 113室

担 当 者: 山田駿介 助教(ヤマダシュンスケ ジョキョウ)

担 当 部 署: ロボティクス専攻(ロボティクスセンコウ)

E - m a i l: santa@tohoku.ac.jp

U R L: <http://santayamada.wp.xdomain.jp>