

銅・アルミニウムは、土砂災害予測装置の電極に使えるか？

神奈川県立生田高等学校 1年 石川尚樹

1. はじめに

土壌には電解質(Ca²⁺、Na⁺、HCO₃⁻、Cl⁻など)が含まれている(井上・三輪, 1980)。土壌は水を含むと電気が流れる。電極を土壌に刺して、流れる電流から土砂災害を予測する、土砂災害予測装置(図1)の開発に取り組んでいる(小浦・湯浅, 2022)。

土壌に電極を刺し続けていると、錆びてしまう。錆びない素材として、白金や炭素があるが、白金は高価で炭素は折れやすい。そこで、身近な電解質である食塩(NaCl)を水に溶かし、手に入りやすい銅・アルミニウムを電極で使用した場合の影響を考察する研究を行った。

屋外

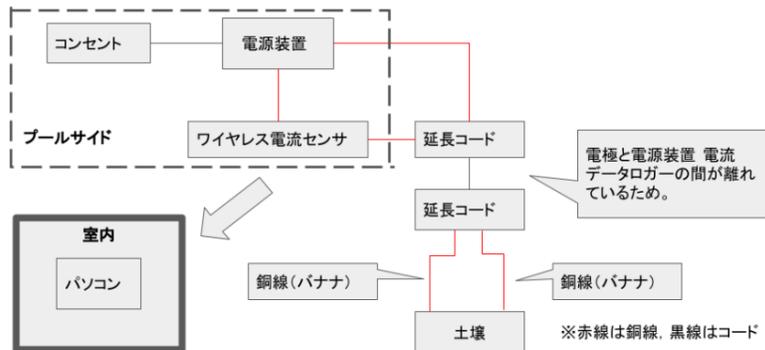


図1. バナナ電極土砂災害予測装置

2. 実験1「銅板による塩化ナトリウム水溶液の電気分解」

10%塩化ナトリウム水溶液NaClaqに銅板を用いて15Vで電気分解した(図2左)。陰極から無色の気体が発生した。黄褐色の沈殿が生成した(図2中)が、どちらの極から発生したかが確認できなかった。沈殿をろ過したところ、金属光沢はなく、不導体であった(図2右)。



図2. 実験1「銅板を用いた塩化ナトリウム水溶液の電気分解」
左: 実験開始直後(陰極(左の板)から気体が発生している)
中: 実験開始1時間後 右: 乾燥させた沈殿を擦った

陰極からは、水素が発生したと考えられる。これは溶液に含まれる、ナトリウムイオンNa⁺より水素イオンH⁺が還元されやすいからである。黄褐色の沈殿が何であるか分からなかった。黄褐色の沈殿を調べた先行研究(小川, 2017)に従って、実験2ではこの電気分解を詳しく見ることにした。

3. 実験2「銅板による塩化ナトリウム寒天溶液の電気分解」

実験1と同じ濃度の10%塩化ナトリウム水溶液NaClaq200mLあたりに、フェノールフタレイン4滴、2gの寒天を入れ、シャーレに分けて固めたものに銅板を用いて15Vで電気分解をした。寒天により、イオンが移動するのを遅らせ、段階ごとの反応を観察した。実験1同様に陰極から無色の気体が発生し、陽極付近が青緑色となった(図3右)。小川(2017)によると、青緑色は銅(II)イオンCu²⁺であり、これが陰極側の水酸化物イオンと混合し、水酸化銅(II)Cu(OH)₂が生成される。電気分解では銅(I)イオンCu⁺と銅(II)イオンCu²⁺が発生するが、Cu⁺は溶液中に含まれるCl⁻によって陽極付近で塩化銅(I)CuClとなる。時間が経過するにつれてOH⁻が陽極に到達すると、陰イオンの交換が起こる事によって、酸化銅(I)Cu₂Oが生じる。

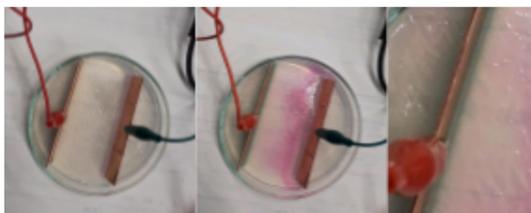


図3 実験2「銅板を用いた塩化ナトリウム寒天溶液の電気分解」
左: 実験開始直後 中: 実験開始20分後(陰極から気体が発生している)
右: 実験開始20分後の陽極付近の拡大写真

4. 実験3「アルミニウム板による塩化ナトリウム水溶液の電気分解」

実験1と同じ濃度の10%塩化ナトリウム水溶液NaClaqにアルミニウム板を用いて10Vで電気分解した(図4左)。陰極からは盛んに無色の気体が発生するととも

に白色の沈殿が生じた。陽極では穏やかに無色の気体が発生した。万能試験紙で、陰極付近がpH10~11、陽極付近が6付近であった。電気分解後、陽極の表面が腐食していた(図4右)。

この腐食は、アルミニウムが電子を放出し溶解したためであると考えられる($Al \rightarrow Al^{3+} + 3e^{-}$)。

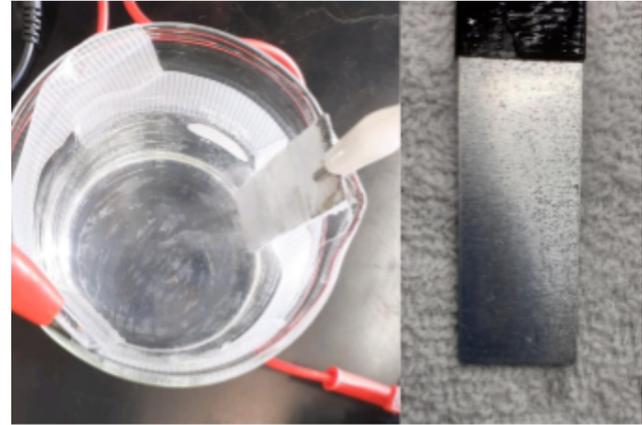


図4. 実験3「アルミニウム板による塩化ナトリウム水溶液の電気分解」
左: 実験開始から3分後 右: 実験後の陽極

5. 実験4「アルミニウム板による塩化ナトリウム寒天溶液の電気分解」

実験1と同じ濃度の10%塩化ナトリウム水溶液NaClaq200mLあたりに、フェノールフタレイン4滴、2gの寒天を入れ、シャーレに分けて固めたものにアルミニウム板を用いて10Vで電気分解をした(図5)。

電気分解開始直後から両方の極で無色の気体が発生した。フェノールフタレインの呈色反応が陽極に達する直前に陽極から黒色の物質が発生した(図5右)。このときのpHを万能試験紙ではかったところ、陽極付近で1~2、陰極付近で14前後であった。

発生した黒色の物質に水を滴下したところ、黒色ではなくなった。物質の量が少なく、変化後の色は不明である。コープこうべ 商品検査センター(2023.2.25閲覧)によると、「アルミの黒変現象」という現象があり、これは水酸化アルミニウムAl(OH)₃が生じると起こる。陽極側で生じたAl³⁺は水と反応し、陽極付近でH⁺とAl(OH)₃が生成した($Al^{3+} + 3H_2O \rightarrow 3H^{+} + Al(OH)_3 \downarrow$)と考えた。

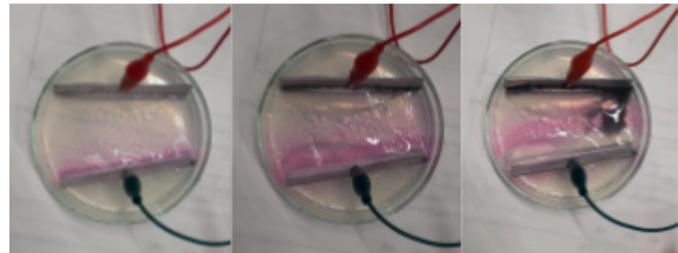


図5. 実験4「アルミニウム板による塩化ナトリウム寒天溶液の電気分解」左: 実験開始直後 中: 実験開始7分後 右: 実験開始15分後

6. まとめ

銅・アルミニウムを電極で塩化ナトリウム水溶液を電気分解すると、いずれも溶解し、銅の場合は酸化銅(I)Cu₂Oが生じ、アルミニウムでは水酸化アルミニウムAl(OH)₃が生じる。

FUJIFILM安全データシート(2023.2.25閲覧)によると、酸化銅(I)Cu₂Oは皮膚感作性区分1、特定標的臓器毒性(単回ばく露)区分1、区分3、水生環境有害性(急性)区分1、水生環境有害性(慢性)区分1となっている。昭和化学株式会社安全データシート(2023.2.25閲覧)によると、水酸化アルミニウムAl(OH)₃には毒性がない。

アルミニウムであれば、土壌を含む電解質がすべて塩化ナトリウムNaClならば、土砂災害予測装置の電極に使用できる。アルミニウムにおいて、他に土壌を含む電解質に対しても同様の研究を行う必要がある。

【引用文献】

- ・井上降弘・三輪春太郎(1980)土壌中のイオン移動現象への化学的接近法と物理的諸問題. 土壌の物理性, 41, 25-35.
- ・小川 香(2017)電気分解で生成するCu₂Oの定量と生成過程. 奈良県教科 等研究会理化学会会報, 56.
- ・小浦晴人・湯浅健司(2022)電極を用いて土砂災害の予測をする～バナナ 電極土砂災害予測装置～. 森里海シンポジウム「みんなで創る里山・里 海の未来」(第8回).
- ・コープこうべ 商品検査センター(<https://kensa.coop-kobe.net/qa/kitchin/11.html>, 2023.2.25閲覧)
- ・昭和化学株式会社安全データシート(SDS) (<http://www.st.rim.or.jp/~shw/MSDS/01164250.pdf>, 2023.2.25閲覧)
- ・FUJIFILM安全データシート(<https://labchem-wako.fujifilm.com/sds/W01W0103-0434JGHEJP.pdf>, 2023.2.25閲覧)