

中等教育における「錬金術師の夢」の実験の改良と 黄銅めっきの同定実験の開発

Enhanced “Copper to silver to gold: the alchemist’s dream” demonstration
and development of the brass identification method

鈴木 崇広
Takahiro Suzuki

大妻女子大学人間生活文化研究所, 大妻嵐山中学校・高等学校
Institute of Human Culture Studies, Otsuma Women’s University
Otsuma Ranzan Junior and Senior High School

キーワード：化学, 高等学校・中学校, 酸化・還元, めっき
Key words : Chemistry, High School/Junior High School, Oxidation/Reduction, Plating

1. 研究目的

銅板に亜鉛めっきを施し, さらに加熱することで黄銅めっきへ変化させると, 金属の表面が銅色から銀色, 金色へと変化する. この実験は, 「錬金術師の夢」として知られ, 高等学校化学の教科書に掲載されているほか, 科学イベントなどで実施されることが多い.

従来法は銅板に亜鉛めっきを施す際に, 亜鉛粉末を添加した高濃度の水酸ナトリウム水溶液または塩化亜鉛水溶液に銅板を浸して加熱するが, 次のような課題がある^{1,2)}.

①2~6 mol/L 水酸ナトリウム水溶液を用いる強塩基性条件は, 高濃度の水酸ナトリウム水溶液の突沸や飛散, 実験後の亜鉛粉末の発火事故の危険がある^{1,3)}.

②6 mol/L 塩化亜鉛水溶液を用いる強酸性条件は, 亜鉛が不均一に析出し, 美しいめっき面が得られない²⁾.

③作製した金色の銅板が黄銅めっきであることを同定している生徒実験が見当たらない.

中等化学教育で実施する生徒実験は, 古典的な実験手法が多い. これらは化学教育上の重要な要素を多く含むが, 危険性の除去・事故防止, 実験廃棄物の安全な処理・少量化などの改善が強く求められている. 今回筆者は, 安全性が高く, 均一で美しい亜鉛めっき, 黄銅めっきの作製方法の開発と, 黄銅めっきの同定実験の開発を試みた⁴⁾.

2. 研究実施内容

2.1 亜鉛めっきと黄銅めっきの作製方法

めっき液は, 100 mL ビーカーに 2.0 mol/L 塩化亜鉛水溶液 20 mL, ドデシル硫酸ナトリウム ($C_{12}H_{25}OSO_3Na$, SDS) 20 mg を入れ, アルミ箔 (5 cm×5 cm) が完全に水溶液に浸るように沈めて調製した. ここに銅板 (キシダ化学, 10 mm×20 mm×0.50 mm) 5 枚を全てがアルミ箔に触れるように入れた. めっき液が 85 °C になるよう, 温度計で測定しながらガスバーナーで 3 分間加熱した後, 銅板をピンセットで取り出し, 水道水で洗浄した.

ガスバーナーの炎を弱火にし, ピンセットを用いて亜鉛めっきした銅板を炎の中に入れ, 色が変化するまで加熱した.

2.2 結果と考察

銅板を約 85 °C のめっき液に入れ加熱すると, 約 60 秒後には銀色に変化し, 3 分後には両面に均一な亜鉛めっきが施された. 銀色の亜鉛めっきをガスバーナーの炎で加熱すると, 約 5 秒で金色の黄銅めっきへと誘導することができた.

図 1 に亜鉛めっき反応のメカニズムを示す. 銅板をアルミ箔と接触させると, イオン化傾向の大きなアルミニウムで酸化反応が起き, 電子を放出し, アルミニウムイオンが生成する. 電子を受け取った亜鉛イオンは還元され, 銅板表面に析出する (図 1).

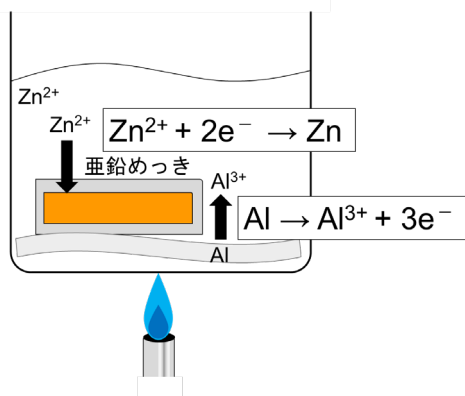


図1 亜鉛めっき反応のメカニズム

本法は、アルミ箔が安価で、入手・処分が容易であるとともに、発火の危険性が低く、亜鉛を用いた場合よりも、均一で美しい亜鉛めっきを短時間で、作製できる利点がある。これまでに教育現場で行うめっき実験の電子供給源にアルミ箔を用いた報告は筆者が調査した範囲では見出されなかった。

亜鉛めっきにおいて、SDS を用いた場合には、SDS の非存在下で観察された銅板上の気泡が付着しなかった(図2a)。この気泡は、水溶液中の水素イオンが還元されたときに発生する。SDS は、銅板表面の濡れ性を向上させるとともに、銅板表面に水素の付着を防ぐと考えられる。加えて、SDS が銅板上に単分子層を形成すると、亜鉛イオンが銅板に近づきに

(a)SDS あり

(b)SDS なし

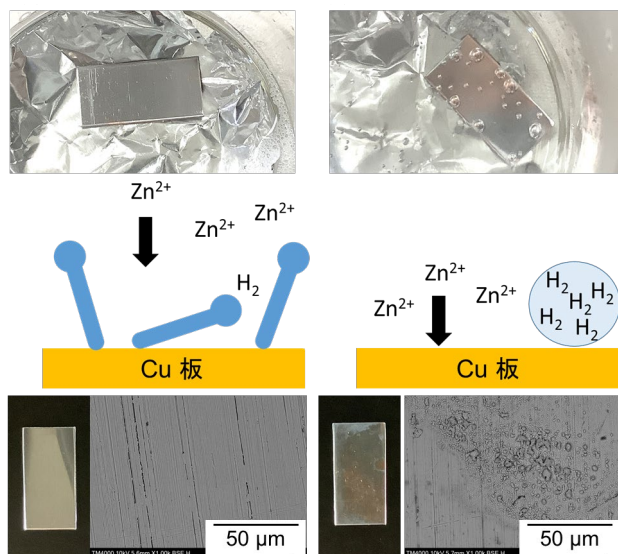


図2 SDSの有無によるめっき時の様子、反応モデル、亜鉛めっきと電子顕微鏡写真

くくなり、亜鉛イオンの還元反応の速度が遅くなる(図2a)。これにより亜鉛イオンが緩やかに還元され、めっきが施されるため、均一で美しいめっきが得られると考えられる。

3. まとめと今後の課題

本研究では、銅板の亜鉛めっきに SDS を添加した 2.0 mol/L 塩化亜鉛水溶液とアルミ箔を用いる方法を開発した。亜鉛粉末の代わりにアルミ箔を用いることで、実験を行う生徒、実験廃棄物の処理を行う教員等の危険性を軽減できる。また、めっき液に SDS を添加することで亜鉛めっき時の電流値が変化し、亜鉛が均一に析出することを見出した。本研究で開発しためっき液 (pH 4) は、電気化学的特性と水溶液の pH の点で最適である。本研究の成果は、授業や科学イベントなどでの実施だけでなく、めっきの原理や発展的な事項の学習、探究活動に用いることができる。さらに、異種金属を還元剤として用いるめっき反応、SDS の効果の解明は、今後の学術的、工業的な応用・発展が見込まれる。

黄銅の同定は、X 線回折法を用いれば容易に分析可能であるが、教育現場において生徒が実践した報告は筆者が調査した範囲では見出せなかった。0.1 mol/L 水酸化ナトリウム水溶液を用いて、作製した亜鉛めっき、黄銅めっき、市販の黄銅板と白金板、炭素棒との間の電位差を、テスターを用いて測定することで、電気化学的に同定する方法を検討している。

4. この助成による発表論文等

①雑誌論文

[1] Yuka Kishi, Takahiro Suzuki, Enhanced “Copper to Silver to Gold: The Alchemist’s Dream”

Demonstration using Aluminum Foil and an Anionic Surfactant, *Journal of Chemical Education* (査読あり) 99, 2022, 3332-3336.

[2] 鈴木崇広, 錬金術師の夢の改良—アルミ箔と界面活性剤を用いる方法—, 青少年のための科学の祭典 2022 全国大会実験解説集 (査読なし), 2022, 56.

②学会発表

[1] 鈴木崇広, 陰イオン界面活性剤とアルミ箔を用いた「錬金術師の夢」の実験の改良, 令和4年度全国理科教育大会北海道大会, 2022年8月4日, 市立札幌開成中等教育学校 (北海道・札幌市)。

[2] 鈴木崇広, 「錬金術師の夢の改良」の広がり — 生徒課題研究から大学・企業との連携, 教科横断的な実験教材へ—, 第51回関東理科教育研究発表会, 2022年11月18日, 茨城県南生涯学習センター (茨城県・土浦市).

[3] 鈴木崇広, アルミ箔と界面活性剤を用いた「錬金術師の夢」, 日本化学会第103春季年会, 2023年3月24日, 東京理科大学野田キャンパス (千葉県・野田市).

③公開講座・研究会

[1] 埼玉県私学教育研究大会理科教育研究会, 2022年8月22日, 浦和実業学園高等学校 (埼玉県・さいたま市).

④受賞

[1] 鈴木崇広, 第66回日本学生科学賞 指導教諭賞, 2022年12月24日.

[2] 鈴木崇広, 第54回東レ理科教育賞 文部科学大臣賞, アルミ箔と界面活性剤を用いた美しい銅板の黄銅めっき法, 2023年3月15日.

5. 参考文献

- 1) Lee R. Summerlin, James L. Ealy, Jr. *Chemical Demonstrations: A Sourcebook for Teachers*, 1st ed., American Chemical Society, **1985**, Vol.1, p.104.
- 2) 吉田 工, *化学と教育* **2001**, 49, 791.
- 3) 平山雅晴, *Safety & Tomorrow* **2017**, 176, 22.
- 4) Yuka Kishi, Takahiro Suzuki, *Journal of Chemical Education* **2022**, 99, 3332.

謝辞

本研究は大妻女子大学人間生活文化研究所の研究助成 (R2202) を受けたものです. 実験結果の考察にあたり, 東京理科大学 西原寛博士に有益なご助言をいただきました. また (株) 日立ハイテック様には, 卓上顕微鏡 Miniscope TM4000PlusII を貸与いただきました. 感謝申し上げます.