

硫酸銅の電気分解

2年4組 奥本 海翔 2年4組 奥谷 龍雅
2年4組 岡崎 莉子 2年4組 山下 くるみ
2年4組 清水 咲 2年3組 山口 利樹
指導者 赤松 敏章

1 課題設定の理由

化学の授業で硫酸銅を用いて銅の電気分解を行った際、硫酸銅を 1mol/L の濃度で実験を行った。その時になぜ濃度が 1mol/L なのかと疑問に思い、興味が沸いた。その濃度がなぜ設定されたのか、また濃度や銅板と銅板の距離などの違いによってどのような違いが生まれるのかを調べるために今回の実験を行うことにした。

2 仮定

先行研究の上戸ら(2023)によると硫酸銅水溶液の濃度が 1 mol/L より薄い濃度や、濃い濃度では、銅板が解ける量が減少するということが分かった。

その結果をもとに以下の仮説を立てた。

仮説(1)濃度が高くなるにつれ水溶液中の Cu^{2+} の数が増える。これにより電極上での銅の還元反応が効率的に行われるようになるため、析出量が増加する。

仮説(2)硫酸銅水溶液中の Cu^{2+} の濃度が高いほど析出された銅膜が均一で滑らかになる。

仮説(3)銅板と銅板の距離が異なっても銅の析出量は一定である。

3 研究の方法

〈材料〉

硫酸銅五水和物 ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ・分子量 249.68g/mol), 電源装置, クリップ付き銅線, 銅板(純銅 99%), 80mL ビーカーを用いて実験を行う。銅板は全て(厚さ 0.50mm・横幅 17mm・縦幅 70mm)にして実験を行った。

〈実験方法〉

実験を同じ条件下で行うために、銅板の距離、流れる電気量、銅板の重さをなるべく同じになるようにして実験を行った。また、銅板同士の距離を割り箸で調節することで距離を保った。

まず、先行研究が正しいのか確かめるために、先行研究と同じ方法で実験①を行う。実験① 0.50、1.0、1.5mol/L ごとに濃度を分けて、1.0A で 40 分間電気分解を行う。

次に、仮説(2)(3)を検証するため、実験②③を行う。実験② 銅版の距離による析出量の違い 1.0mol/L の硫酸銅水溶液 80mL を用いて銅版の距離を 0.50, 1.0, 2.0cm とし、流れる電気量を 1.0A に保って 30 分間電気分解を行う。硫酸銅水溶液の濃度によって銅板の表面に析出する銅の析出の仕方の違いを調べるために実験③を行う。実験③ 濃度は 200mL ごとに 15g から 60g にかけて 5g ずつ区切り、銅板と銅板の距離を 1.0cm にし、流れる電気量は 1A に保って 30 分間電気分解を行う。



図 1 実験で用いる硫酸銅五水和物

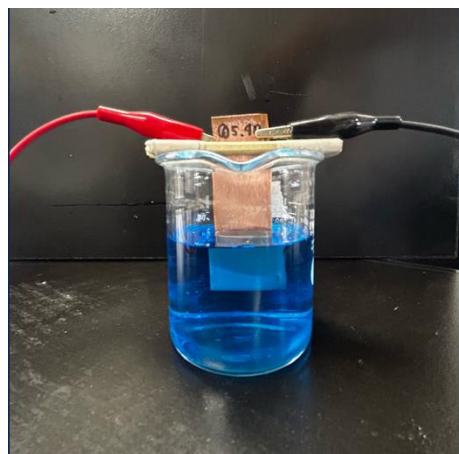


図 2 実験(1)様子

＜実験の測定方法＞

まず、実験①では実験を行う前と後の両方の銅板の重さを量り、実験前と後での銅板の重さの差を比べることで陰極の銅板に析出した銅の量や、陽極側の銅板の減少量を測定する。

実験②③も同じ測定方法で行う。

＜実験①の結果＞

先行研究では、硫酸銅水溶液の濃度が 1mol/L の時が銅の溶ける量が最も溶けやすくほかの濃度では、溶けにくくなっていた。そこで銅板につく析出量に着目し実験をした。結果として、析出量が一番多いのは 1mol/L の濃度の時ではなく濃度が高まるほど銅板につく析出量は増えており、濃度の変化による銅板の溶ける量に変化はなかった。ここで疑問点が生じた。濃度が低いほど銅板について析出せずに離れていく銅があり、加えて体積が大きく析出していった。

＜実験② 30 分間 1A で析出量による違い＞

硫酸銅水溶液 80mL に銅板が 2.0cm 浸るようにし、電極間を 1.0cm とし 1.0A で 30 分間電気分解を行った。硫酸銅水溶液の濃度を 0.10mol/L づつずらし、飽和状態の値までで実験を行った。

4 結果と考察

表 1 銅板と銅板の距離による陰極の増加量

銅板の距離(cm)	0.5		1		2	
	陽極	陰極	陽極	陰極	陽極	陰極
銅板の質量(g)	5.43	5.95	6.24	4.65	5.5	5.68
実験後の銅板の質量	4.82	6.15	5.74	4.77	4.87	5.91
銅板の増加量	-0.16	+0.2	-0.5	+0.12	-0.63	+0.23

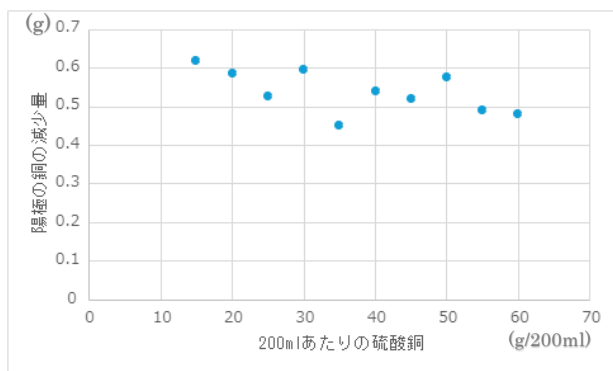


図 3 陽極の銅の減少量

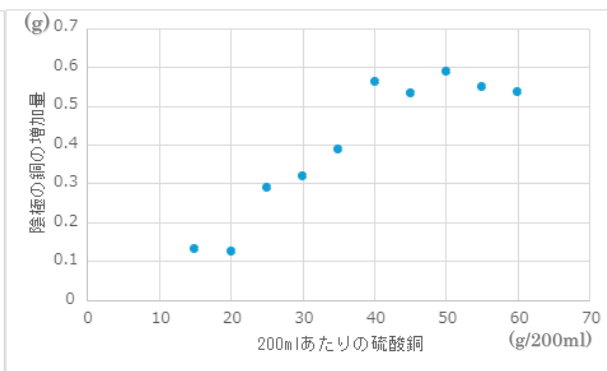


図 4 陰極の銅の増加量

このグラフから分かることは、硫酸銅水溶液の濃度が高いほうが、銅の析出量が多くなっていった。そこで 30g と 45g の間を調べると、硫酸銅水溶液の濃度が高いほど銅の析出量は多くなるということが分かった。これまでの実験では銅板の質量の変化に着目していたが、銅板にうまく析出せずに、水溶液中に落ちてしまう銅が、濃度が低いほど多くなることに着目し、銅板についての銅の析出量と水溶液中に落ちる銅との関係調べた。

表 2 銅板に付着せず溶液中の銅の析出量

200ml あたりの硫酸銅五水和物の量	溶液中の析出量	析出量の合計
5g	0.58g	0.60g
15g	0.48g	0.53g
45g	0.03g	0.52g
55g	0.05g	0.48g

濃度が高いほど銅板に付着する形で析出し、濃度が低いほど銅板に付着しない形で析出しやすいということが分かった。そして、銅板についての銅の析出量と水溶液中に落ちる銅の合計は変わらないということが分かった。このことより、仮説通り、流れる電気量が同じなら、析出する銅の量は変わらないということが分かった。しかし、析出の仕方が濃度によって大きく変化する点については疑問が残った。

このように変化した理由は濃度が高いと銅板表面に多くある銅イオンが順に還元されたことで均一に析出したのに対し、濃度が低いときは、銅板付近に Cu^{2+} が少ないので、銅板付近でうまく還元が行われなかったためと考えられる。

7 まとめと今後の課題

実験を進めて行くと、硫酸銅水溶液の濃度が高いほうが、銅板につく銅の析出量が多くなっており、硫酸銅が 40g/200mL を超えた辺りから、銅の析出量に大きな違いはなかった。これは、析出量の飽和点があること示唆していて、銅板につく、析出量をグラフにすると、飽和曲線のような法則性のある結果が出た。そして、濃度が高いほど、銅板に付着する形で析出した。したがって、電気量のほかに、硫酸銅水溶液の濃度は、銅に付着する析出量に影響を及ぼすということと、工業的な銅のリサイクルや析出をする際には硫酸銅水溶液の濃度をできるだけ高くした方が銅板に付着する形で多く析出できるということが分かった。そして、先行研究とは異なり、濃度によって溶けだした銅の量に変化はなかった。先行研究と違いが出た理由は、先行研究では試行回数が少なかったからであったと考えられる。

次に、濃度に違いがあっても、銅板に付着した析出量と溶液中に落ちた銅の量を合計すると変化はなかった。これは濃度によって溶けだした銅の量に変化しなかったということの関係性が指摘できる。

考察として、このようになった理由は濃度が高いと銅板付近に存在する Cu^{2+} が順に還元されたことで均一に析出し、濃度が低いとき、銅板付近に Cu^{2+} が少ないために、表面に均一に銅原子が成長することができないために、銅板につかなかつたと仮説を立てた。

今後の課題として、誤差が大きく生じたところもあるので、試行回数をもっと増やしていきたい。銅の析出量の合計は、変化しなかったが、銅板に付着して析出した量が濃度によって変化したことは、考察で示したが、この点を証明できる実験をしていきたい。

実験を通しての課題として、初期の実験では溶液中に落ちた銅を測定せずに進めてきたことが挙げられる。

8 謝辞考察

本研究を進めるにあたり、数多くの方々から多大なる支援をいただきました。ここに、心より感謝申し上げます。まず初めに、私たちの研究を熱心に指導してくださった赤松敏章先生に深く感謝いたします。さらに、関わっていただいた先生方には、実験計画やデータの分析方法など多くの助言をいただき、研究の質を大きく向上させることができました。先生方の専門的なご指導に心から感謝します。

9 参考文献

上戸ら (2023) 「電気分解における陽極銅の形状変化とその条件」

令和 5 年愛媛県立宇和島東高等学校課題研究論文集

<https://uwajimahigashi-h.esnet.ed.jp/file/9975>