水の電気分解の物理的妨害

神奈川県立横浜緑ケ丘高等学校　C06

背景・目的

水の電気分解は将来的なエネルギー源として期待される水素の製造方法のひとつであるが、加える電解質によっては塩素などの有毒な気体が発生する危険がある。対策として電圧制御によって反応速度を抑える方法はあるが、理論分解電圧*以下では反応が停止してしまう[2][3]。

本研究はセロハンをフィルターとすることによるイオンの物理的妨害を通した電気分解の制御方法を検証し、電極間のフィルター枚数と電気分解の反応速度の関係の解明を目指す。

*理論分解電圧とは電気分解に必要な熱力学的に最低限の電圧のこと

仮説

電極間のフィルターの枚数が増えるにつれ、イオンの移動が妨害されやすくなり、水溶液の電気分解の進む速度が指数関数的に低下する。

方法

硫酸ナトリウム水溶液(0.5%)502.5gを設計した電気分解装置に入れ9Vで12分間電気分解する。電気分解終了後、発生した水素の体積を測定する。この操作を装置中央部に取り付けるフィルターの枚数を変化させながら繰り返す。

結果

実験結果は右のとおりである。この結果は測定した体積を基に気体の状態方程式によって物質量を求めることにより導かれた。この結果を基にGoogleスプレッドシート上で操作を行うことで1分間あたりの水素の発生量について次の近似式が導かれた。

$$y(\mathrm{mol}) = (1.24\times10^{-05})\cdot e^{-0.208x} \quad (1)$$

この結果を実験時間で割り、一秒あたりの平均生成速度を導いたうえで同様にGoogleスプレッドシート上で操作を行うことで次の近似式が導かれた。

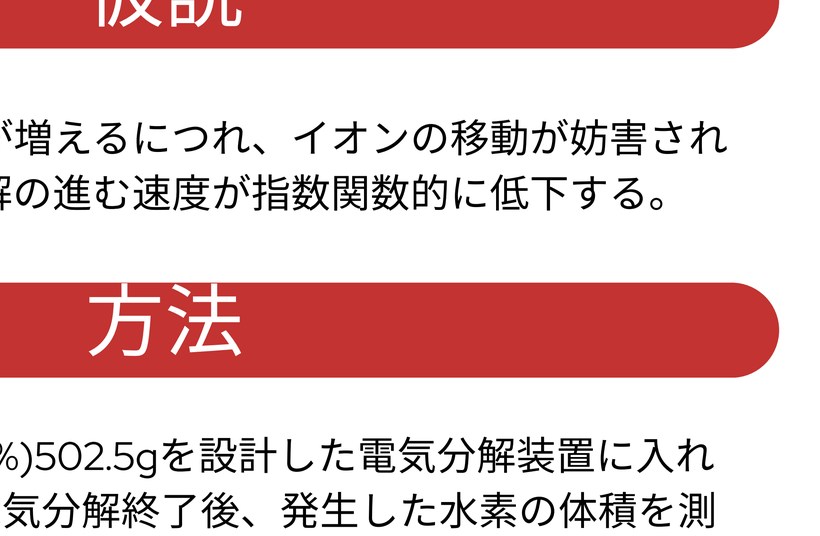
$$y(\mathrm{mol/s}) = (2.07\times10^{-07})\cdot e^{-0.208x} \quad (2)$$

(1)式を一般化すると

$y(\mathrm{mol}) = ae^{-bx}$ (aはx=1の時のyの値（実測）bはフィルターのイオンブロック率)

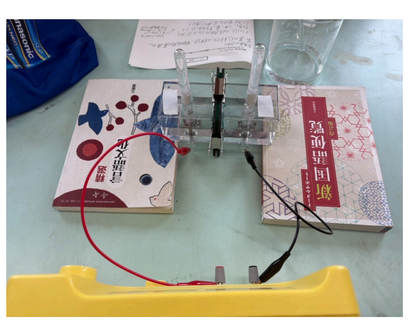
また、装置の調達に10000-15000円程度要するところ設計の工夫により720円程度で作成でき最大で96.4%のコストを削減したうえ、さらにフィルターを搭載できるという一般的な装置にはない追加の機能を持たせることができた。

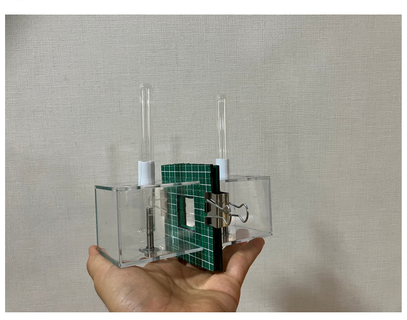
※フィルター1枚での物質量の増加はセロハンをフィルターとして用いずに装置に入れて行った対照実験では見られなかったことから電気化学的要因、7枚での増加は水溶液の漏れから密閉不足であると考え近似式の導出時はどちらも除外した。



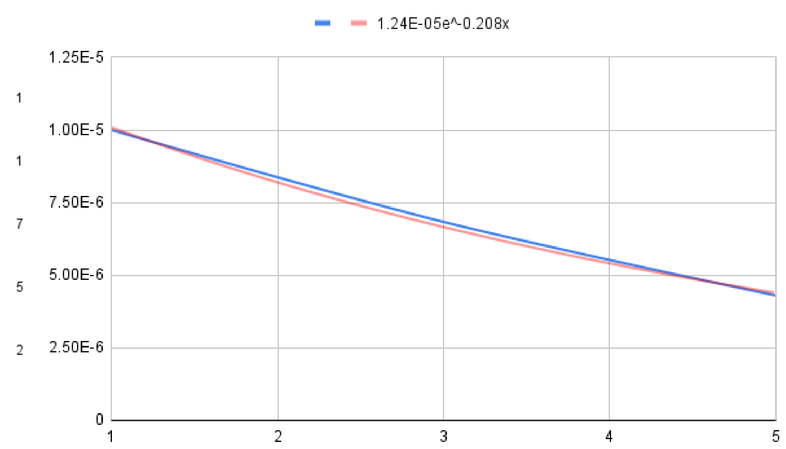
フィルターの枚数	1分間に発生した水素の物質量(mol)
0	0.000008583333333
1	0.00001
3	0.000006833333333
5	0.0000043
7	0.000004991666667

左：実験風景　右：設計した装置





青線が実験データのグラフ
赤線が近似式のグラフ



考察

近似式が指数関数の形を示したうえで十分な精度を持っていることから、仮説通り反応速度の指数関数的減少が示唆される。
したがってフィルターによる電気分解の制御は理論的に予測可能なうえ、十分な効果を示す有用な対策であるといえる。

結論

本研究の成果は電気分解の制御についての新たなアプローチの提示、一般化された式による同条件での実験の予想の簡略化、開発した安価な装置による実験を通した化学教育の普及等につなげることができるだろう。また、探究活動における生成AIを用いない数理的分析への挑戦を促す契機となる可能性がある。

参考文献

[1]Water and Ion Flow Across Cellulosic Membranes
(C. E. REID and E. J. BRETON,1959)
[2]水の電気分解の実験条件に関する再提案
(谷川直也，森勇樹)
[3]子供の科学1978年5月号
[4]The Chemical History of a Candle
(Michael Faraday)

謝辞

アドバイザーの日本大学の方、実験を指導してくださった笹野先生に感謝します。
また、専門用語をかみ砕き発表をわかりやすくするようにアドバイスをくれたうえ、多くの質問を通して探究を仕上げることに貢献してくれた1年C組のみなさん。本当にありがとうございました。