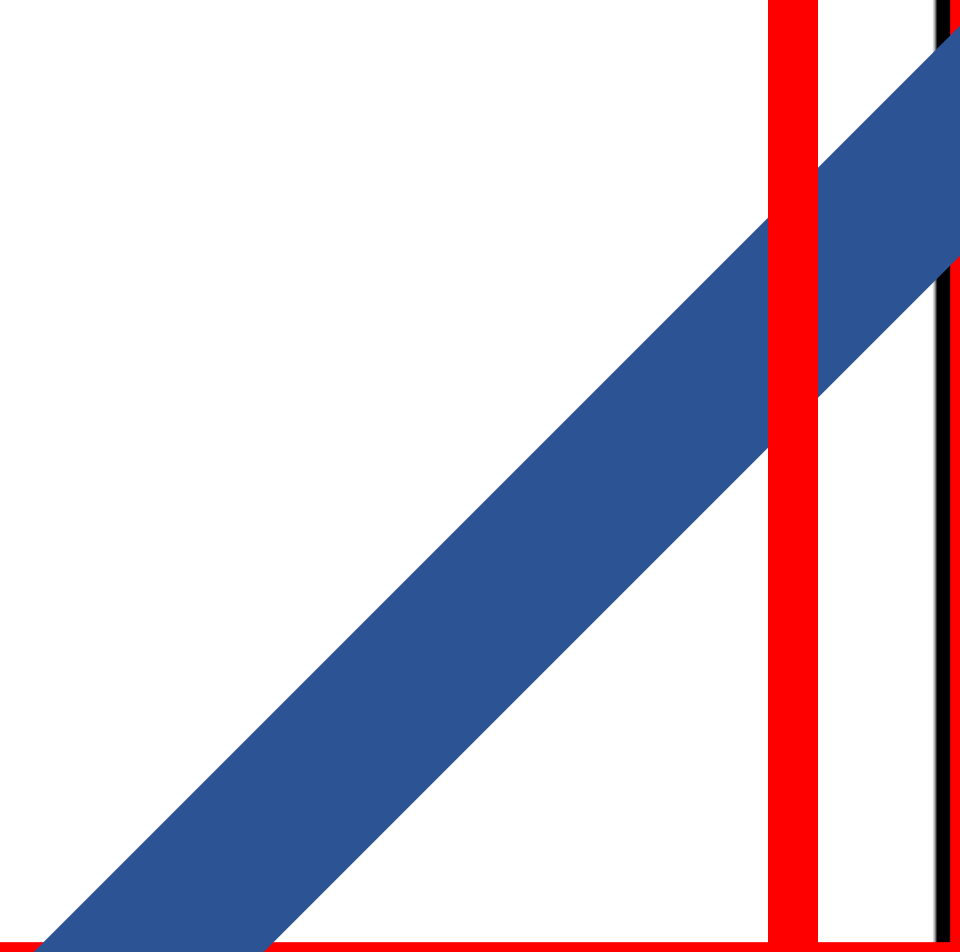


# 水の電気分解の物理的妨害





物みな  
の底に  
一つの  
法あり  
と  
日に  
けに  
深く  
思ひ  
入り  
つゝ

写真提供：大阪大学湯川記念室

# 背景と目的

- ・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 [2]

↓しかし

加える電解質によっては有毒な気体が発生してしまう

例) 海水の電気分解には塩素が発生する危険が伴う

- ・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。

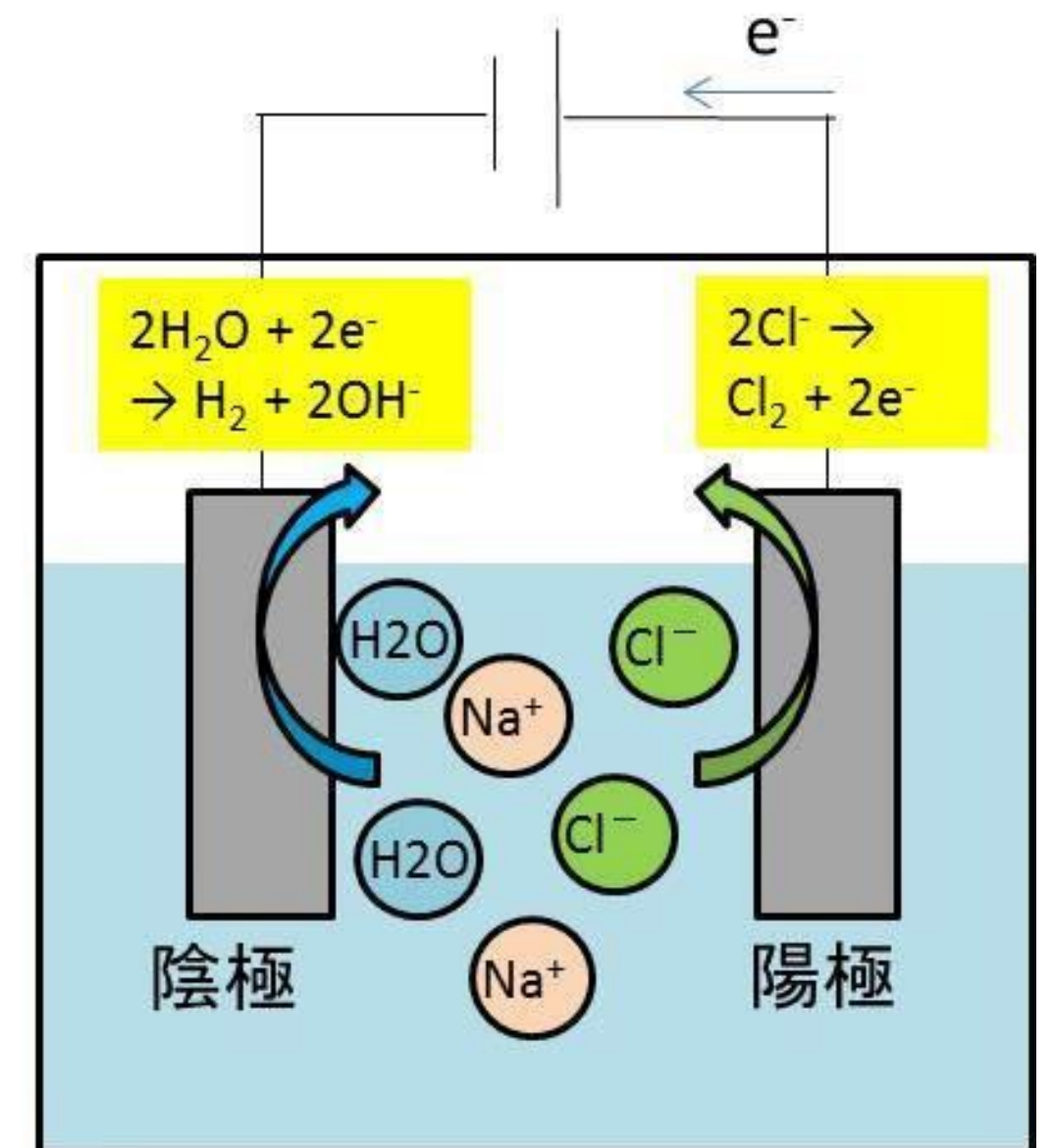
↓しかし

理論分解電圧\*以下では反応が停止してしまう[2][3]。

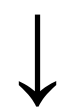
\*理論分解電圧とは反応が進む最小の電圧のこと

(電気分解に必要な熱力学的に最低限の電圧)

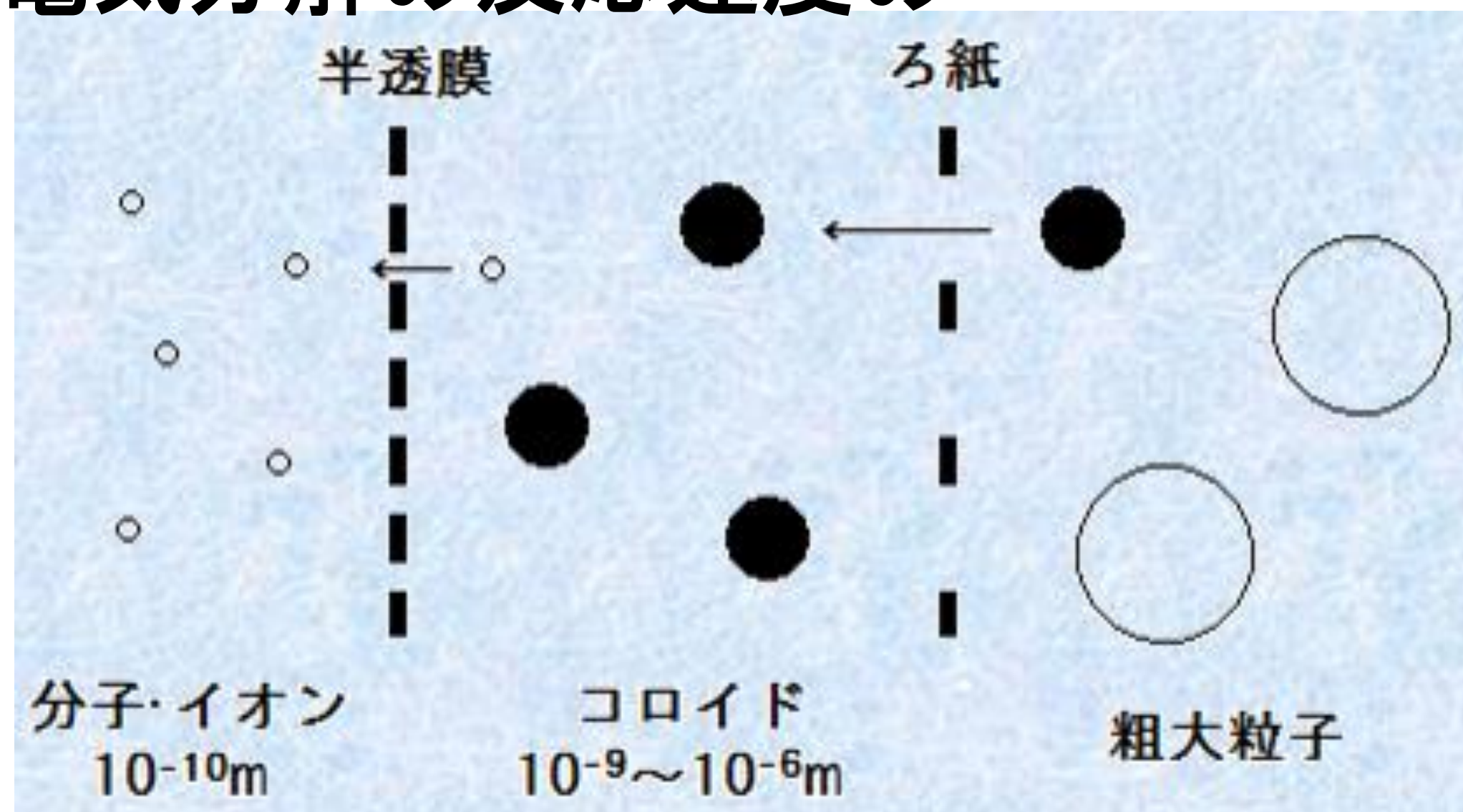
食塩水の電気分解のイメージ



・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じた電気分解の制御方法を検証



電極間のフィルター枚数と電気分解の反応速度の  
関係を説明すること



# 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。

・ 仮説の思考プロセス

1つのイオンがフィルターを通過する確率を $p$ とすると、

$n$ 枚のフィルターを通る確率は...

$p^n$  ←これは指数関数\*では？

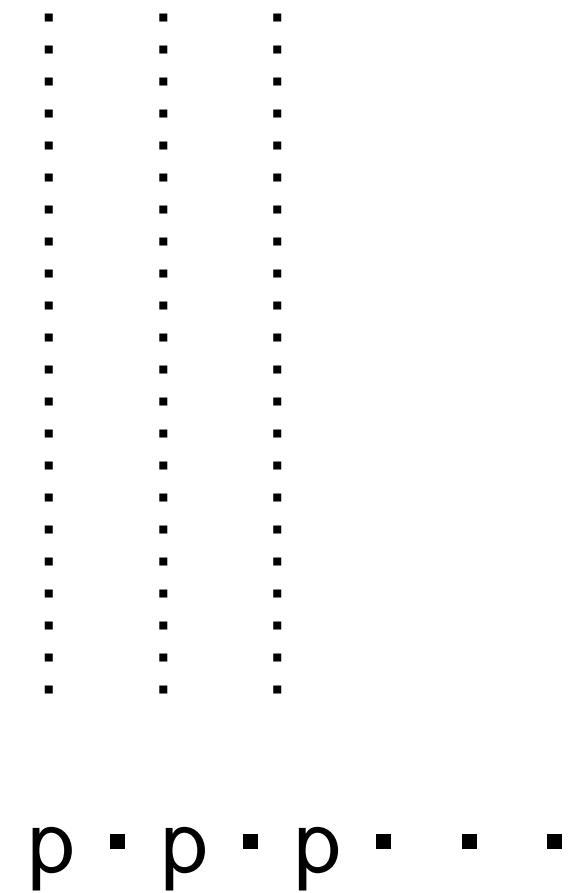
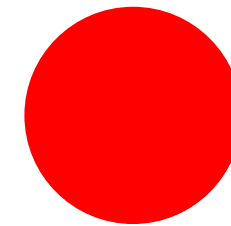
(例)

1つのイオンがフィルターを通過する確率を0.2とすると

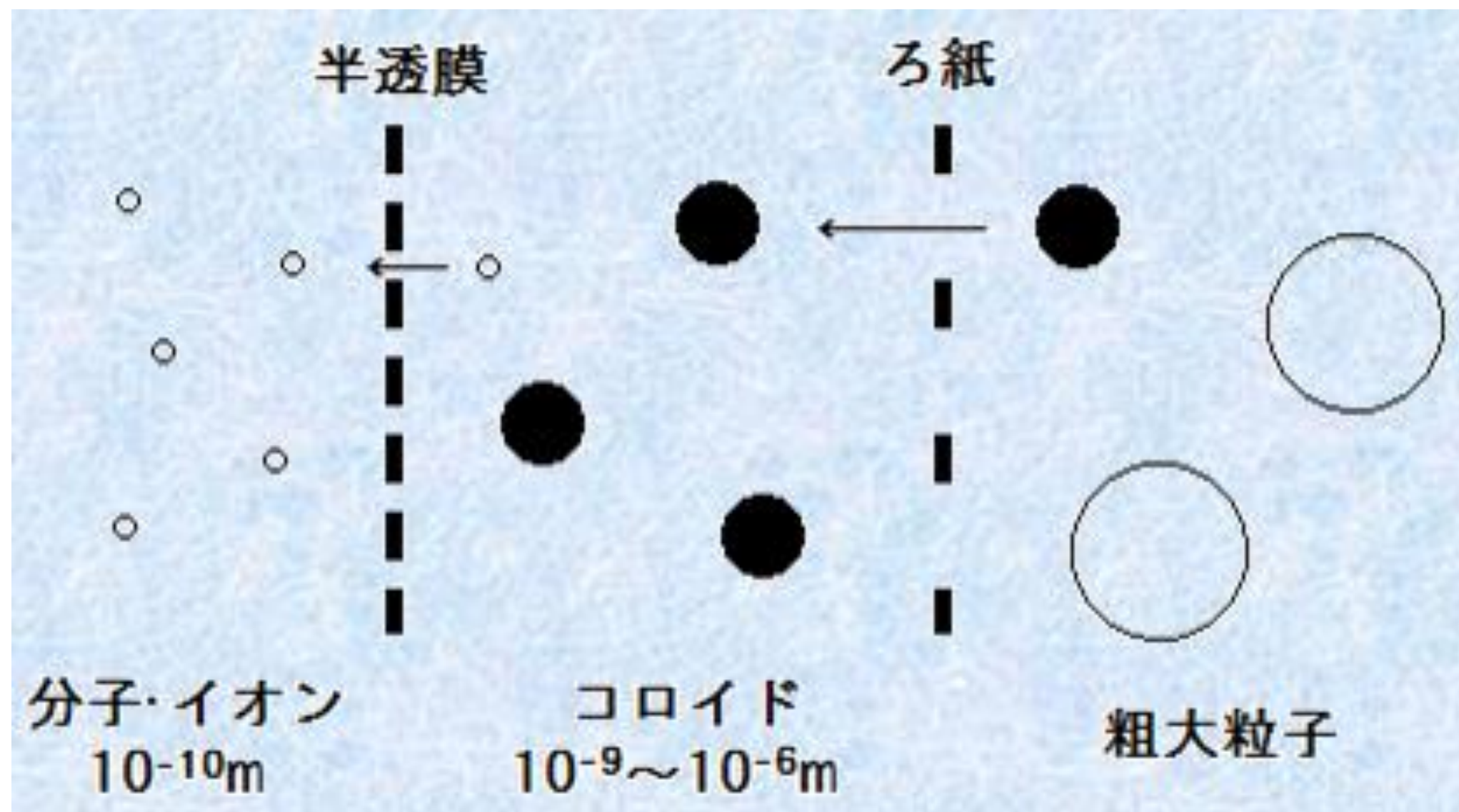
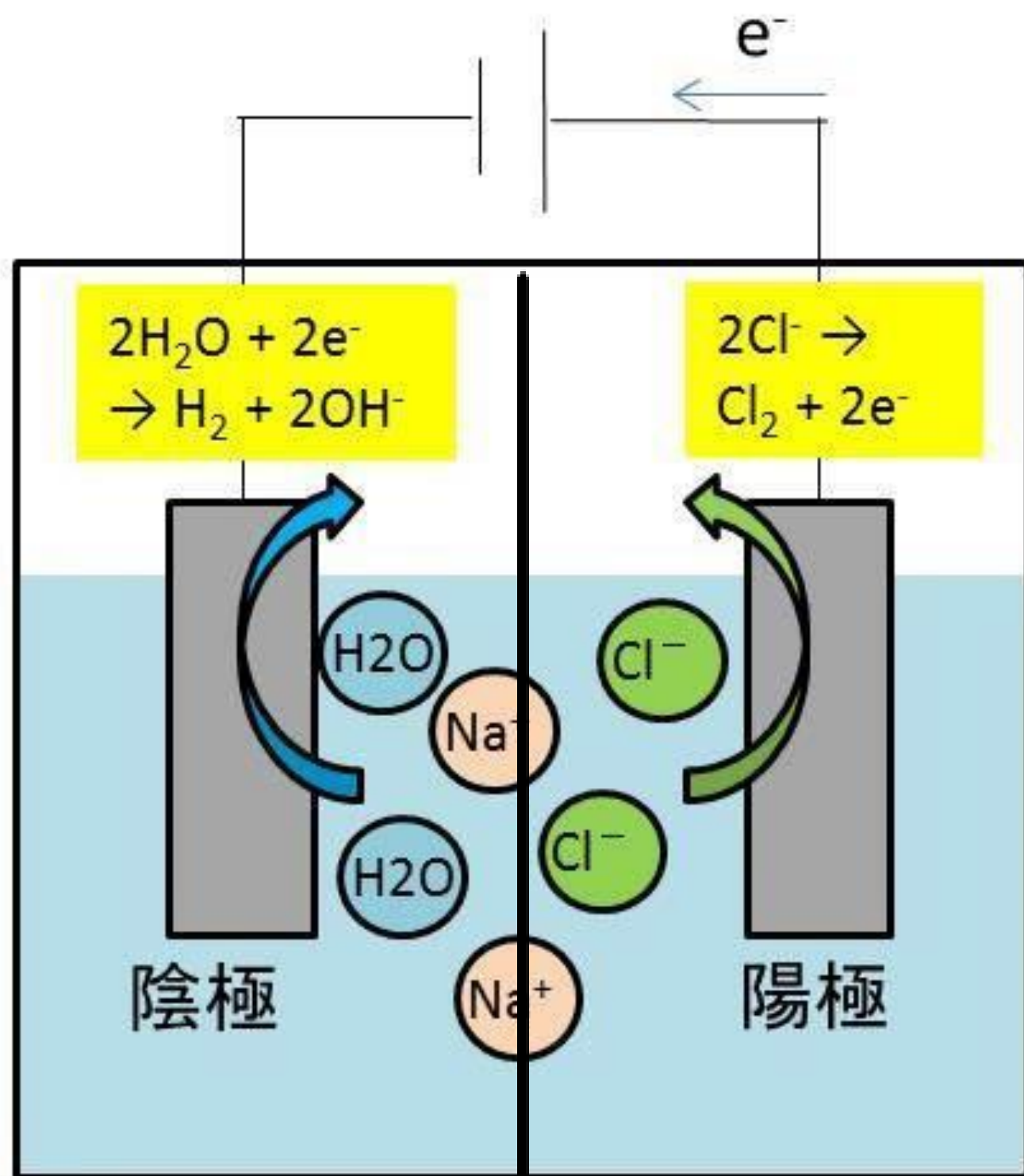
5枚のフィルターを通る確率は...

$0.2 \times 0.2 \times 0.2 \times 0.2 \times 0.2 = 0.2^5$

\*指数関数とは $y=ax$  ( $a \neq 1, a > 0$ )の形の関数



# 食塩水の電気分解のイメージ



左図のように電極間にフィルター（黒線）を取り付ける

# 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る。

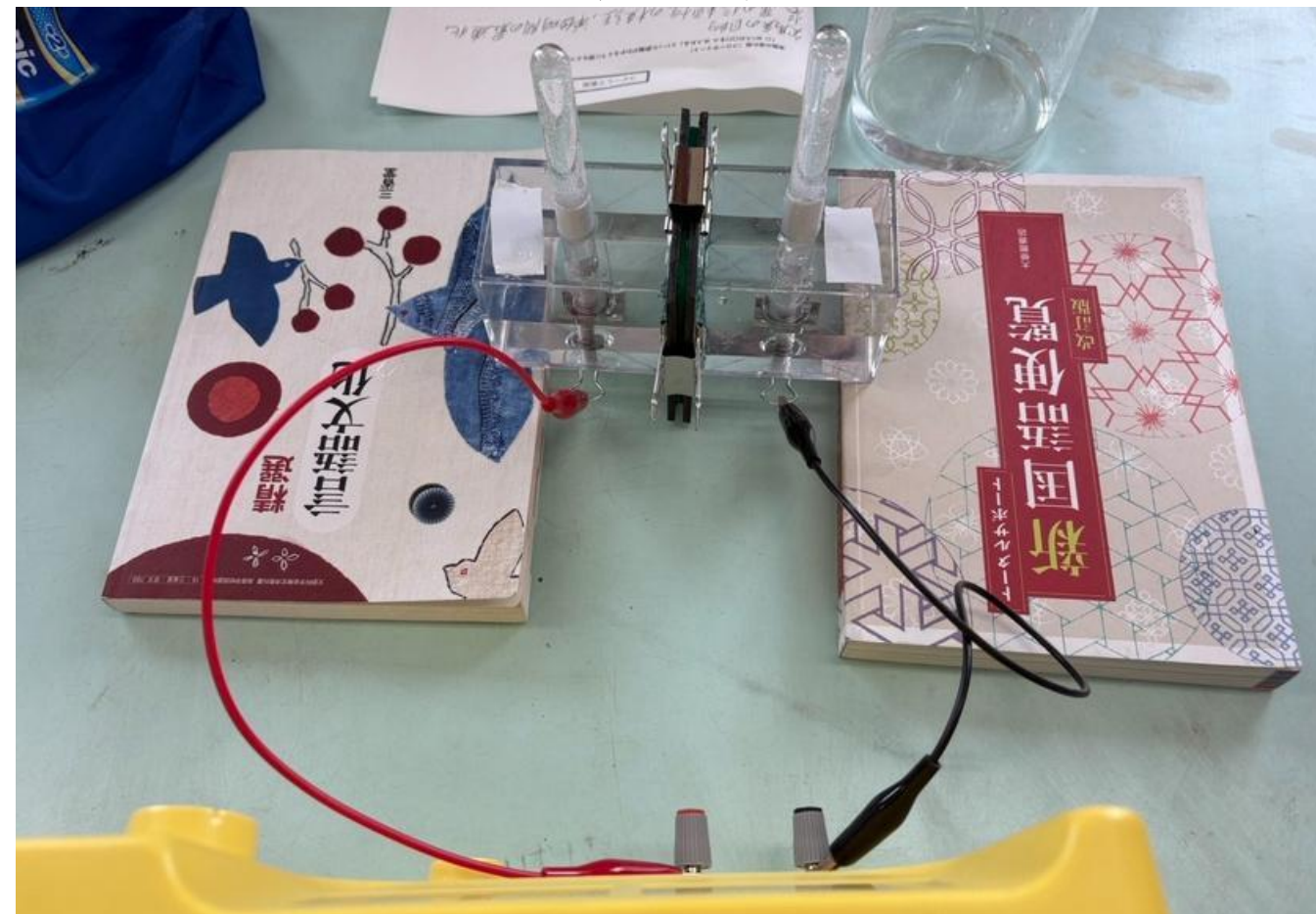
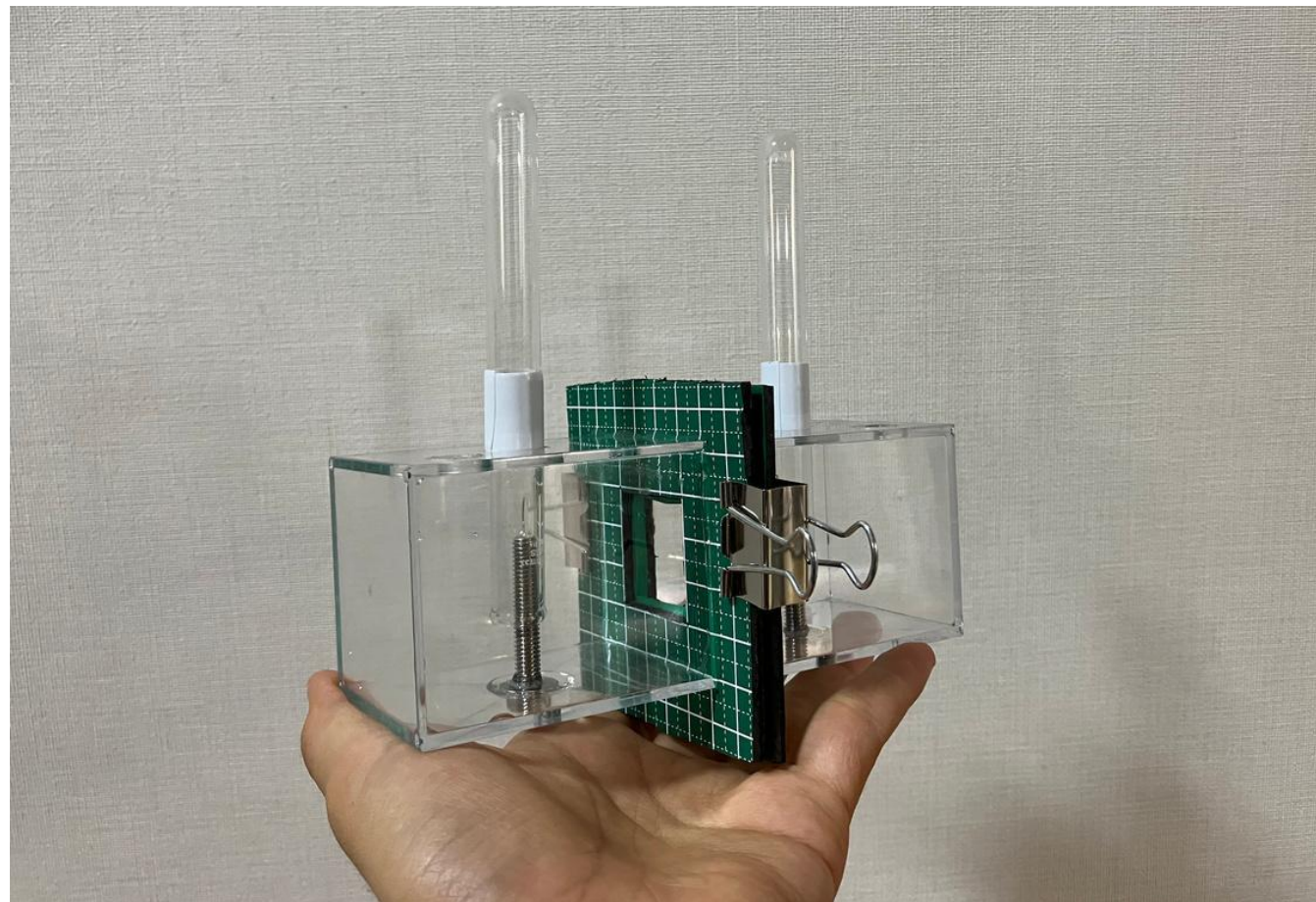
↓

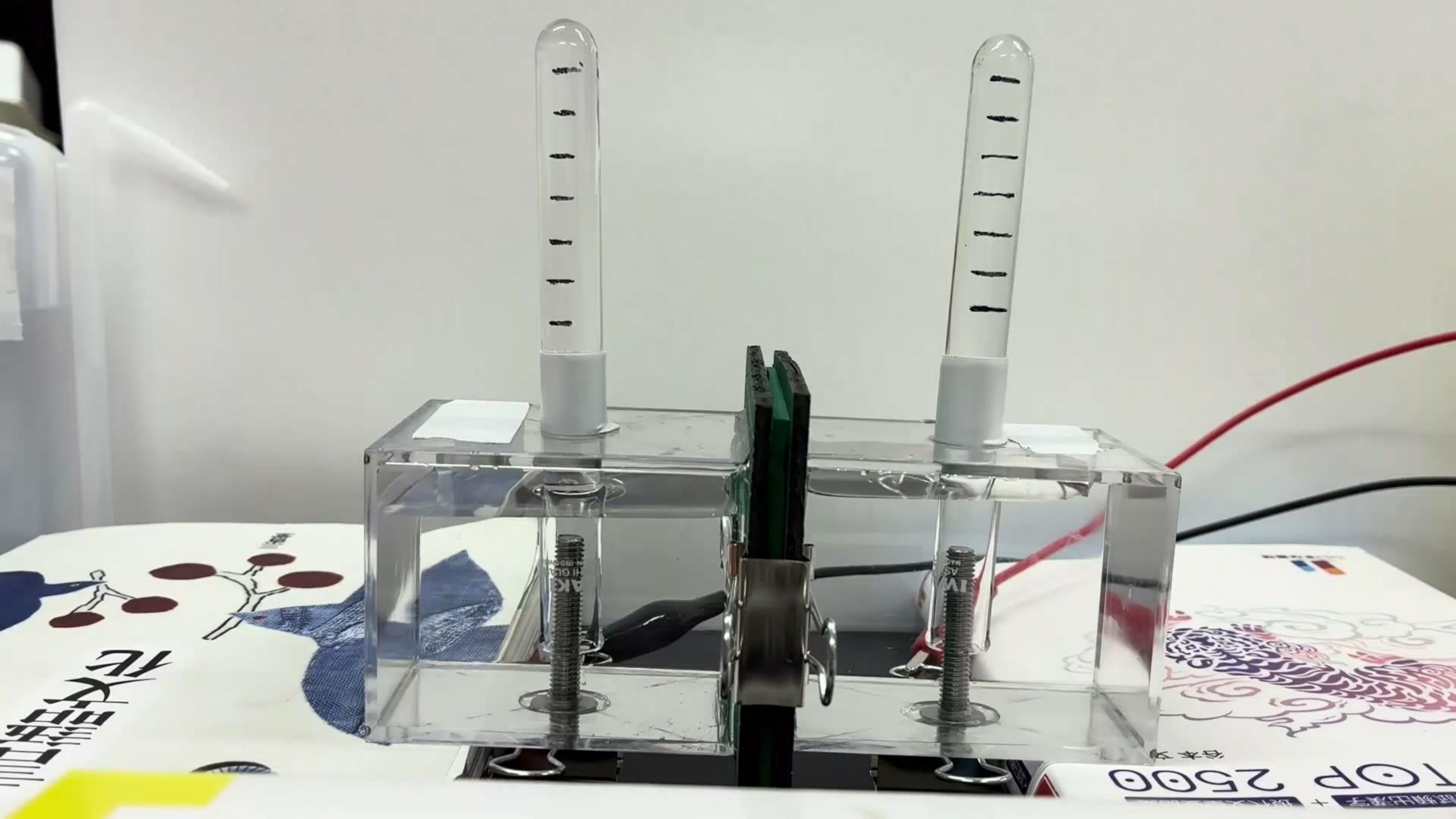
- ・ 9Vで12分間電気分解する。

↓

- ・ 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





化学

TOP 2500

# 結果

この結果は測定した体積から気体の状態方程式\*によって物質質量\*を求めることにより導かれた。

ここから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。

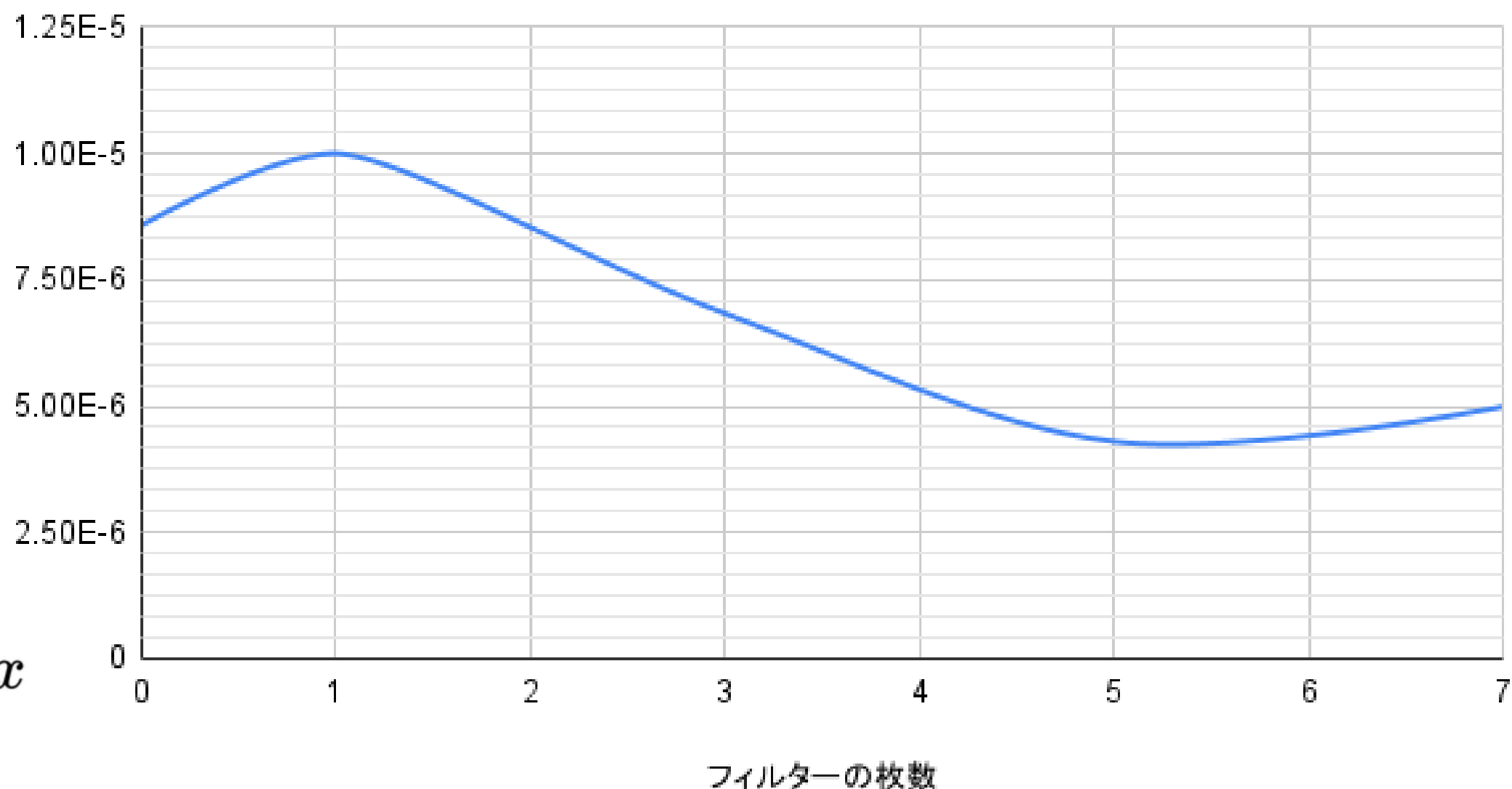
$$y(\text{mol}) = (1.24 \times 10^{-05}) \cdot e^{-0.208x}$$

\*気体の状態方程式とは理想気体の性質を示す式

\*物質質量とは約 $6.02 \times 10^{23}$ 個の粒子の集団を1molとして定義される物理量

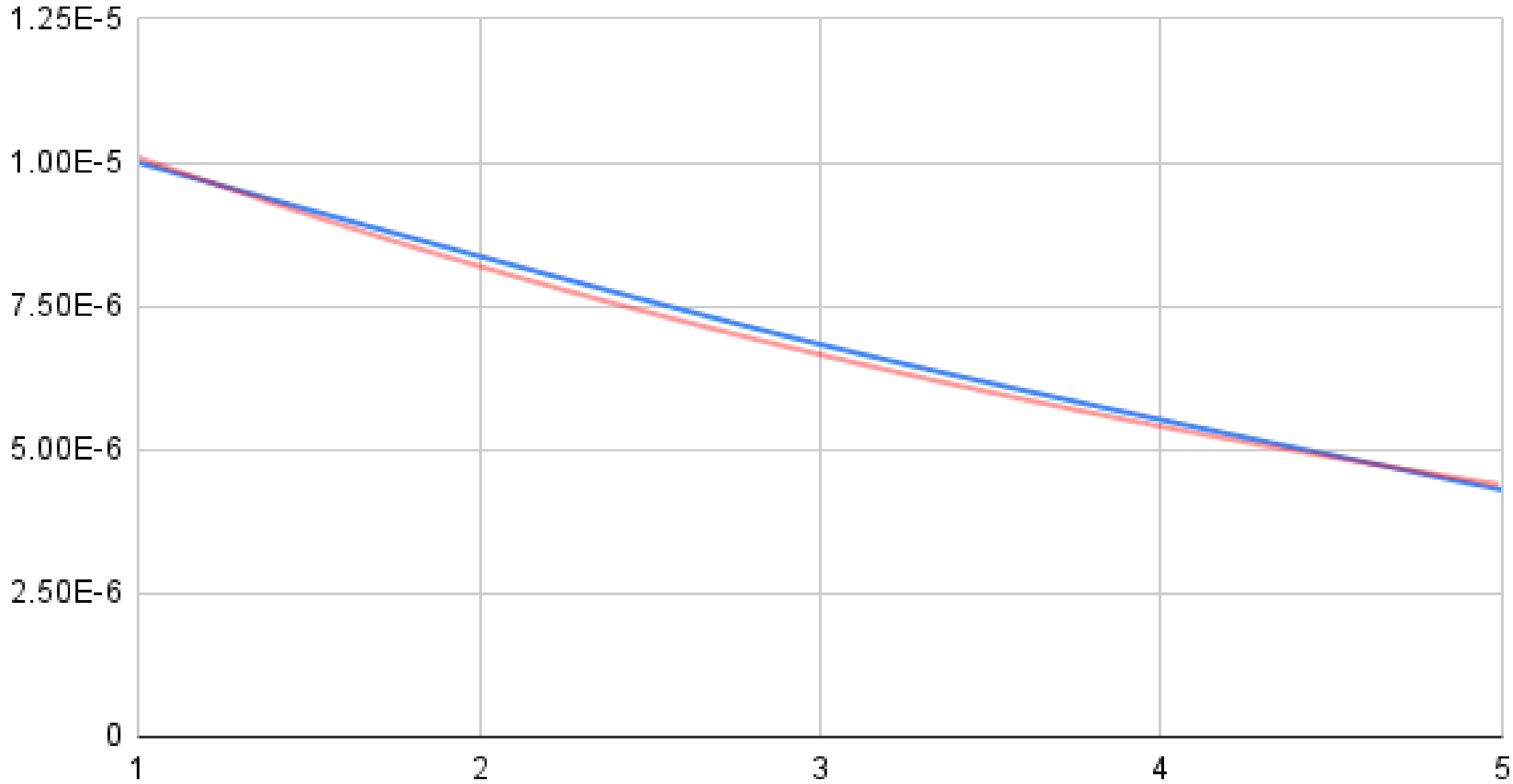
(理想気体は分子間力などが無い理論上の気体であるが、常温常圧では水素は理想気体と考えてよい。)

1分間に発生した水素の物質質量(mol)



フィルターの枚数	1分間に発生した水素の物質質量(mol)
0	0.0000085833333333
1	0.00001
3	0.0000068333333333
5	0.0000043
7	0.000004991666667

1.24E-05e^-0.208x



実測値に対して最大で約2.7%の誤差が認められた。

※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。

$$y(\text{mol}) = (1.24 \times 10^{-05}) \cdot e^{-0.208x} \quad (1)$$

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。

$$y(\text{mol/s}) = (2.07 \times 10^{-07}) \cdot e^{-0.208x} \quad (2)$$

(1)式を一般化すると

$$y(\text{mol}) = ae^{-bx}$$

**(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。

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。

# 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。



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かつ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＞

- ・ 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じた  
化学教育の普及等へつなげることができる

また、探究活動における生成AIを用いない数理的な分析への挑戦を促す契機となる可能性がある。

**鋭い緑高生の皆さんはもうお気づきですよ。**

**一般化された数式がある法則に酷似していることに。**

**特に物理学、化学や生物学を志す方々はすでにご存じですよ...？**

# ランベルト・ベールの法則

$$I = I_0 e^{-\sigma L}$$

$I$ :透過光光度  $I_0$ :入射光光度  $e$ :ネイピア数\*  $\sigma$ :吸収係数 (物質固有の定数)  $L$ :光路長

$$y = a e^{-bx}$$

$a$ : $x=1$ の時の $y$ の値 (実測)  $e$ :ネイピア数\*

$b$ :フィルターのイオンブロッカー率(物質固有の定数)  $x$ :フィルターの枚数 (自然数)

この類似は光が粒子としての一面を持つことにつながるのではないか？

\*ネイピア数は自然対数の底



物  
みな  
の  
底  
に  
一  
つ  
の  
法  
あり  
と  
日  
に  
け  
に  
深  
く  
思  
ひ  
入  
り  
つ  
よ

写真提供：大阪大学湯川記念室

## 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。**

最後までお聞きいただき  
ありがとうございました!

-科学のともし火は燃え上がらねばならぬ。 炎よ行け。- W・クルックス

# 水の電気分解の物理的妨害まとめ

- ・ フィルターの枚数が増えるにつれて発生した物質の物質量は指数関数的に減少した。
- ・ 一般化された近似式

↓

$$y(\text{mol}) = ae^{-bx}$$

1分間に発生した水素の物質量(mol)

