

静電容量測定を用いた液面測定システムの開発

2年3組 馬野 雄矢 2年3組 古本 荒雅
 2年3組 三浦 毅 2年3組 三浦 大
 指導者 教諭 窪地 育哉

1 課題設定の理由

高等学校の化学の授業では溶液の量を測る実験を行う。たとえば、中和滴定、酸化還元滴定などがその代表例である。従来、目盛りを読むことで測るのがほとんどである。また、平成 25 年度の RSII 課題研究において、菊澤らによって研究された氷熱量計^[*1]は、液面を測定することにより、水と氷の相変化量を算出し、熱量を測定するというものである。

我々は、静電容量を用いて、液面を測れるのではないかと考えた。

2 理論・仮説

平行に置いた金属板に $V[V]$ の電圧を加えると、二つの金属板は $Q[C]$ の電気を蓄えることができ、その間には比例定数 C を用いて $Q = CV$ の関係がある。この比例定数 C は極板間を 1 [V] の電位差で充電したときに蓄えられる電気量を意味し、電気容量と呼ばれている。また、平行に置いた金属板の断面積 $S [m^2]$ 、極板間隔 $d [m]$ 、極板間が真空であるとすると、電気容量 $C_0 [F]$ は

比例定数 ϵ_0 を用いて、
$$C_0 = \epsilon_0 \frac{S}{d} \dots\dots (\text{equ. 1})$$

【Table-1】：各物質の比誘電率

物質	比誘電率
H ₂ O (25℃)	78.54
乾燥空気	1.00054

と表される。この比例定数 ϵ_0 を、真空の誘電率といい、その値は、 $\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} [F/m]$ である。

一方、金属板の間を誘電体で満たした場合、誘電体には誘電分極が生じ、誘電体内部には極板電荷がつくる電界とは逆向きの電界が生じる。その結果、誘電体内の電界は弱められ、弱くなった電界を E' とするとき、 $E' = Q / \epsilon S$ を満たすような ϵ をこの物質の誘電率という。その場合の電気容量 $C [F]$ は、(equ.1)より、

$$C = \epsilon_r C_0 \dots\dots (\text{equ. 2})$$

と表され、この ϵ を比誘電率という。【table-1】に各物質の比誘電率^{*2}を示す。

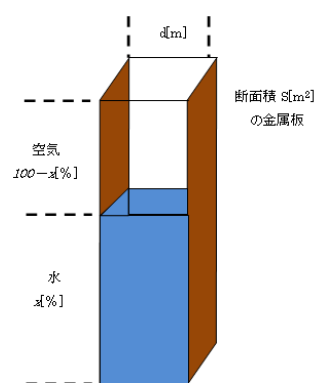
今、断面積 $S [m^2]$ 、極板間隔 $d [m]$ の金属板の間を空気で満たした場合の電気容量 C_{air} は、(equ.1)および(equ.2)に比誘電率の値を代入すると、

$$C_{\text{air}} = 1.00054 \times 8.85 \times 10^{-12} \times \frac{S}{d} [F]$$

とした場合の電気容量 C_{water} は、 $C_{\text{water}} = 78.54 \times 8.85 \times 10^{-12} \times \frac{S}{d} [F]$ と表

すことができる。x[%]を水、100-x[%]を空気で満たした場合【fig.1】の電気容量 C' は、

$$C' = 1.00054 \times 8.85 \times 10^{-12} \times \frac{S}{d} \times \frac{100-x}{100} + 78.54 \times 8.85 \times 10^{-12} \times \frac{S}{d} \times \frac{x}{100} \dots\dots (\text{equ.3})$$



【Fig.1】 模式図

と表すことができる。よって、静電容量を測定することにより、水の液面の高さを産出することができると考えた。

3 実験・方法

【Fig.2】に実験装置の模式図を示した。

金属板の断面積は $2.7 \times 10^{-3} [\text{m}^2]$ 、金属板の距離は $1.8 \times 10^{-2} [\text{m}]$ である。金属板に銅、アルミニウム、ステンレスを用いた。

《実験(1)》

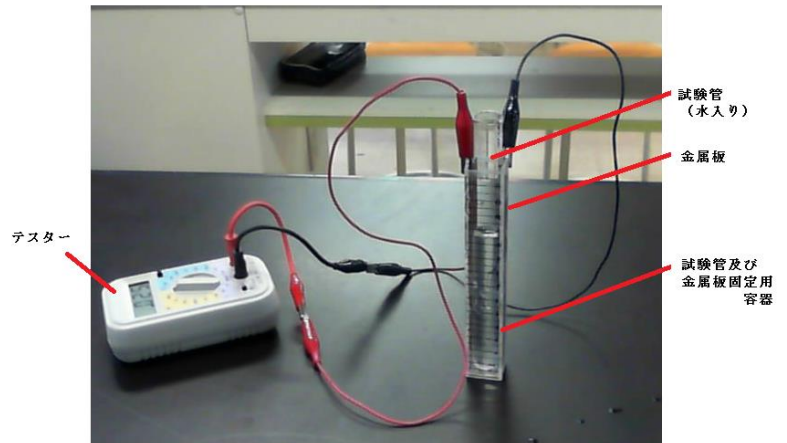
【Fig.2】における試験管内部に、ピペットを用いて、水または水溶液を入れ、静電容量を測定した。

《実験(2)》

【Fig.2】における金属板固定容器に、ピペットを用いて、水または水溶液を入れ、静電容量を測定した。

《実験(3)》

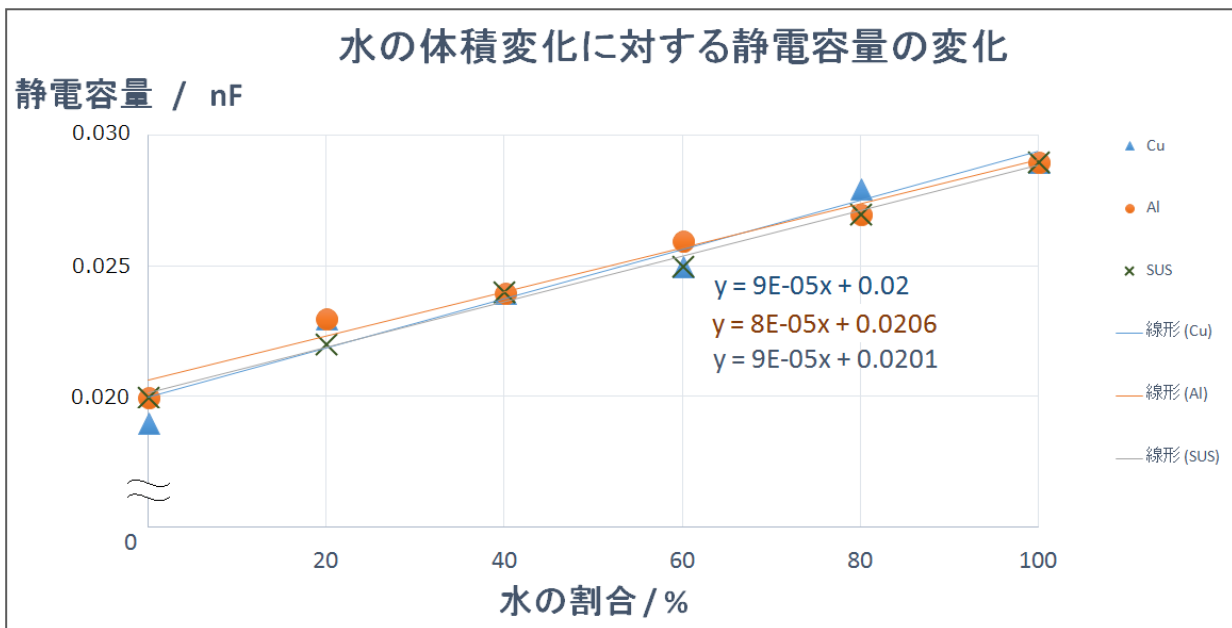
【Fig.2】における試験管内部を水または水溶液で満たし、徐々に液体をピペットで吸い、液面を下げながら静電容量を測定した。



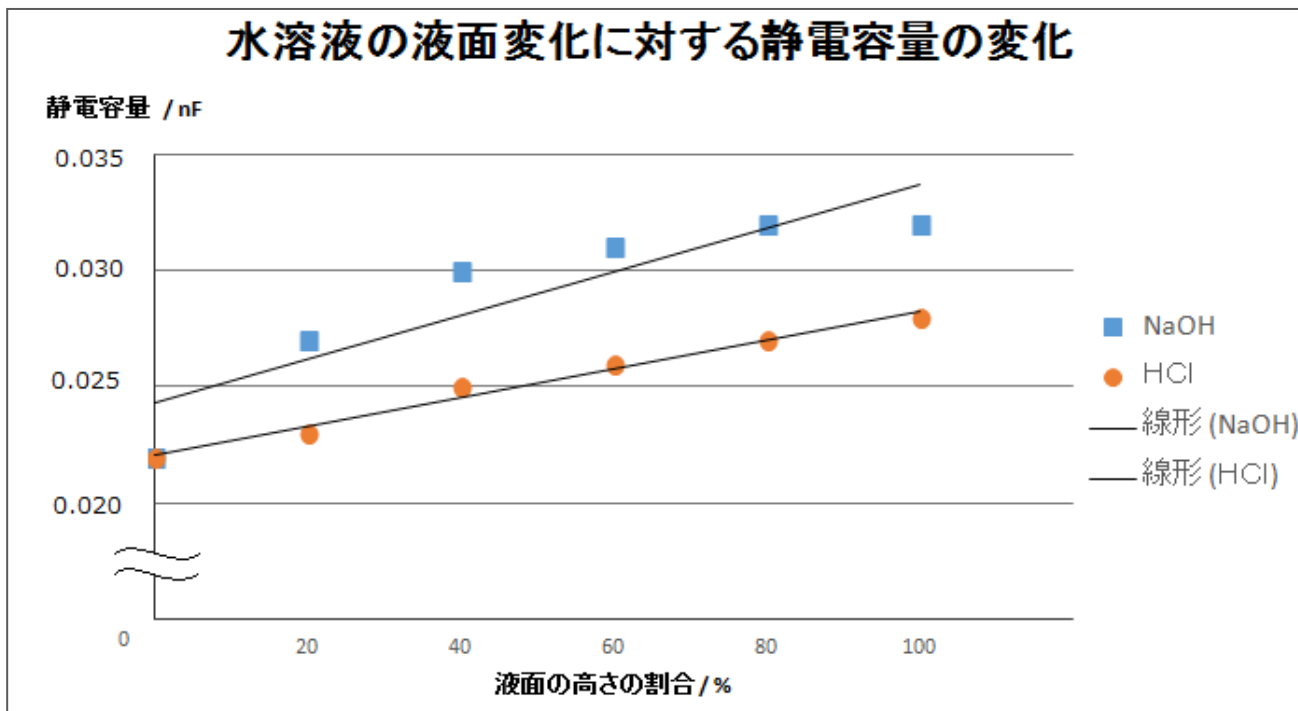
【Fig.2】 実験装置

4 結果と考察

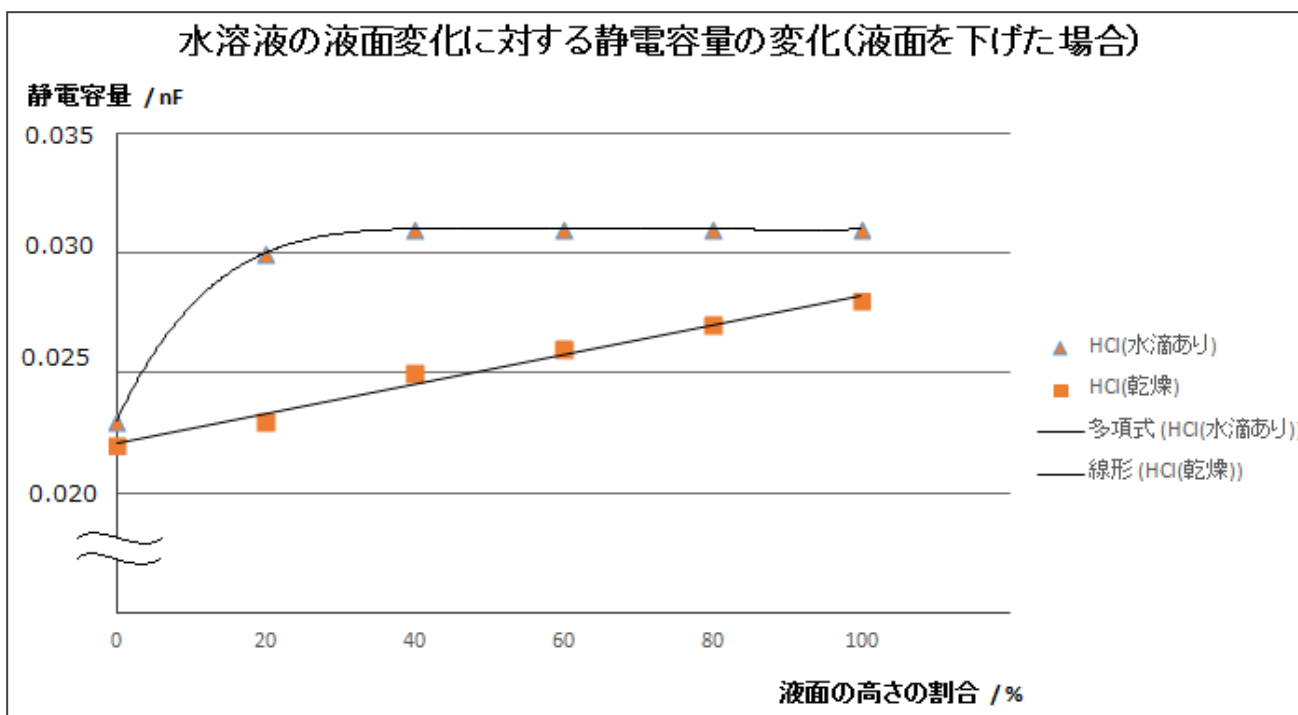
実験(1)の結果を【Fig.3】【Fig.4】に、実験(2)(3)の結果を【Fig.5】に示した。



【Fig.3】 水の液面変化に対する静電容量の変化



【Fig.4】 水溶液の液面変化に対する静電容量の変化



【Fig.5】 水の液面変化に対する静電容量の変化

《実験 1》

(1)の実験ではどの金属板を用いても、比例の関係が得られた。ただし、その精度については、試験管内の水が 0、すなわち全て金属板の間を空気で満たした場合、(equ.3)より、静電容量は、1.33[pF]であることから、測定された結果は、10 倍以上の値を示した。(2)の実験では値が上昇し続け値が定まらず、測定できなかった。

《実験2》《実験3》

この検証実験は、滴定実験を想定したものである。すなわち、管内の液体が徐々に下降する場合の液面変化に応じて、静電容量を測定することができるかどうかというものである。液面上部の空気層にある金属板が溶液でぬれていた場合、静電容量の値が大きく変化し、比例のグラフとならなかった。このことは、滴定などの、徐々に液面が降下する液面変化についての計測システムに対する不備を意味している。

5 まとめと今後の考察

液面が下がるにつれて静電容量が小さくなっているきれいな比例の関係が得られた点については、十分評価されるものである。ただし、理論値との大きなずれも指摘されることから、より正確な値を導き出すため金属板の間の平行、金属の断面積など、より精密な測定装置を作製し、液面変化を測定することが求められる。

また、金属板の液濡れにより、静電容量が大きく変化するという興味深い結果が得られた。このことについては、原因を究明し、今後の開発に向けての取組に生かしたい。

6 参考文献

*1 平成25年度SSH課題研究報告資料

*2 数研出版編集部編，“フォトサイエンス物理図録”，数研出版株式会社，東京，平成18年12月