

反応熱を測る ～簡易氷熱量計の開発～

2年5組 菊澤 翔太

2年5組 久保 祐哉

2年3組 山崎 慎悟

指導者 教諭 窪地 育哉

1 課題設定の理由

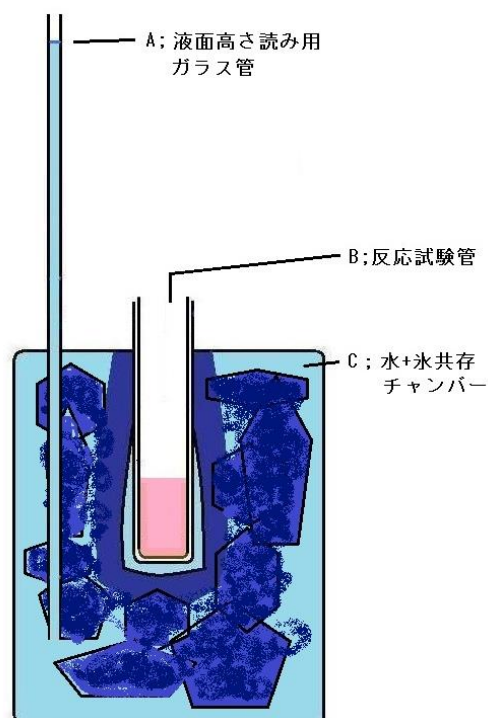
氷熱量計は、氷と水との相変化を利用して反応熱を測定する装置である。原理は古く、1784年に Lavoisier と Laplace によって考案され^[*1]、また、教育目的としても、マグネシウムと塩酸の酸化還元反応における反応熱の測定^[*2]や、摩擦熱の測定^[*3]など 20 世紀以降広く利用報告がある。Ongwae は、氷熱量計を用いて、塩酸と水酸化ナトリウム水溶液の中和熱、塩化マンガン(II)の溶解熱、水酸化ナトリウム(固体)の水に対する溶解熱などを、9～13%の精度で測定し、報告している^[*4]。従来高等学校で反応熱の測定によく用いられてきた、熱を測定するのに温度変化を用いる方法に対して、氷熱量計の場合、氷と水の相変化による体積変化から熱が測定される。この点で、熱やエネルギーの概念理解にも温度変化以外の視点を加えることのできる装置である。

本研究では、氷熱量計の利用の可能性を検討することを目的として、簡易式の氷熱量計の開発を行った。

2 原理

氷熱量計の模式図を Fig.1 に示した。氷と水で満たした容器（【Fig.1】中 C）の中に試験管とガラス管を入れ、反応試験管（【Fig.1】中 B）の中に発熱する物質を入れると、まわりにある氷がとけて水になる。氷よりも水の体積のほうが小さいため、氷が解けると全体の体積が減少し、ガラス管（【Fig.1】中 A）内の液面も降下してくる。その体積の変化量を測定することによって氷の吸収した熱量及び試験管内の発熱量が分かる。氷熱量計の毛細管の内径の半径が正確に x であるとすると、 Δz の液面減少が見られたとき、氷のモル融解熱 Q_{fus} 、 0°C の氷の密度を d_{ice} 、 0°C の水の密度を d_{water} とすると、発熱量 Q は、【Eq.1】によって算出することができる。

$$Q = \Delta z \pi x^2 \frac{Q_{fus}}{\left(\frac{1}{d_{ice}} - \frac{1}{d_{water}}\right) M_w} \dots\dots \quad \text{【Eq.1】}$$



【Fig.1 氷熱量計模式図】

0°C の氷の密度は $d_{ice}=0.917 \text{ g cm}^{-3}$ 、 0°C の水の密度は $d_{water}=0.9998 \text{ g cm}^{-3}$ 、氷の融解熱は 6.01 kJ mol^{-1} である^[*5] ことから、本研究で用いた毛細管内径 4 mm の氷熱量計において測定される発熱量について、液面変化 1 cm は 464.3 J に相当する。

3 実験・研究の方法

(1) 氷熱量計の製作

氷熱量計を次のように作成した。Fig.2 は今回製作した氷熱量計である。

ア 市販のインスタントコーヒーの容器のフタに穴を開け、試験管およびガラス管を挿して、ボンドで密閉する。

イ 氷および水で、容器を満たし、フタをする。

(2) 中和熱の測定

ア 6.0 mol L^{-1} 塩酸および 6.0 mol L^{-1} 水酸化ナトリウム水溶液を調整した。

イ 6.0 mol L^{-1} 塩酸を正確に 4.00 mL 測りとり、反応試験管内に入れた。

ウ 6.0 mol L^{-1} 水酸化ナトリウムを約 4.5 mL 、反応試験管内に入れた。

エ 水酸化ナトリウム水溶液を入れた時刻を反応開始時刻とし、液面の高さを記録した。



【Fig.2 氷熱量計】

4 結果と考察

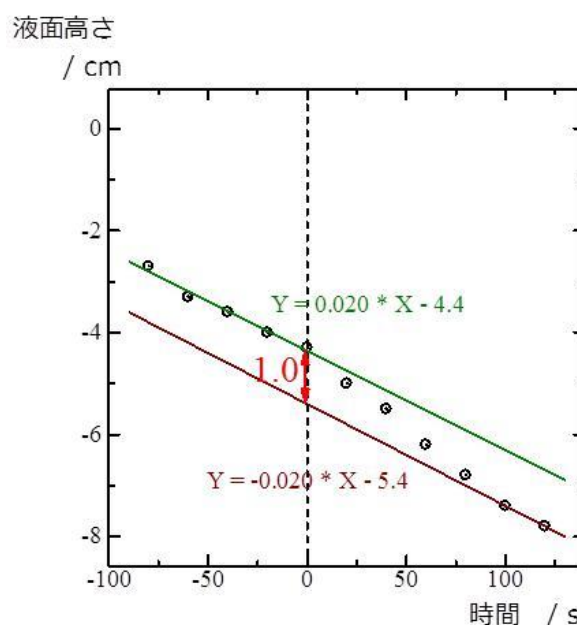
Fig.4 に測定結果を示した。図中○で示したものは、液面の高さである。反応開始時刻を 0 秒として、20 秒ごとに液面の高さを示し、反応開始以前の液面の変化、反応後の液面変化をそれぞれ近似直線で示してある。

反応前、反応後それぞれの近似直線の切片における差を中和反応による液面変化 Δz とし、算出した。

結果から、 $\Delta z = 1.0$ を【Eq.1】に代入することにより、求められた発熱量は、 464.3 J である。

今回の実験で行った塩酸と水酸化ナトリウム水溶液の中和熱は 56.5 kJ mol^{-1} である[*5] ことから、 6 mol L^{-1} の塩酸と水酸化ナトリウム 4 mL の中和による発熱量は、 1356 J である。これは結果のおよそ 2.9 倍の値であった。

液面高さの時間変化



【Fig.3】測定結果

5 まとめと今後の課題

コーヒーの空き瓶という簡易なものを用いて熱を測定するという試みについては成果を得ることができたのではないかと考える。ただし、誤差も非常に大きく、さらに精度を高める必要がある。気泡の含まれない氷の製作、瓶の密閉性や熱漏れを防ぐ方策を考えることにより、より正確な測定が可能になるのではないかと考える。

また、塩酸と水酸化ナトリウムについても、滴定により正確な濃度を決定する必要がある。

今回製作した氷熱量計では、液面が、氷+液体チャンバーの上部よりも下へと下降し【Fig.4】、それを液面変化として記録した。この現象は今までの報告では見られなかったものであり、今後研究の余地を残している。



【Fig.4 液面の様子】

参考文献

- [* 1] K. R. Williams, *Journal of Chemical Education*, (2004), **81(9)**, 1251-1253
- [* 2] B. H. Mahan, *Journal of Chemical Education*, (1960), **37(12)**, 634-635
- [* 3] A. Saitoh, *The Physics Teacher*, (1981), **19(4)**, 266-267
- [* 4] Ongwae G. M., "Development of an Ice Calorimeter", (2009), 鳴門教育大学修士論文
- [* 5] 日本化学会編, "化学便覧基礎編改訂 3 版", 丸善株式会社, 東京, 昭和 62 年 4 月,