

マテリアル工学実験

8 班

実 験 報 告 書

題 目 材料の密度測定

実 験 実 施 日 (西暦) 2023 年 7 月 10 日

提 出 日 (西暦) 2023 年 7 月 16 日

(再 提 出 日 (西暦) 年 月 日)

報告書作成者

学籍番号 8223036 氏名 栗山 淳

東 京 理 科 大 学 先 進 工 学 部 マ テ リ ア ル 創 成 工 学 科

実験指導者記入欄	
提 出 日 /	署名
再提出指定日 /	
再 提 出 日 /	署名

チェックリスト

- ☒ 「結論」が的確にまとめられているか。
- ☒ 「結論」の長さは適切か。日本語に誤りがないか(論旨，文法，単語)。
- ☒ 「結論」と「実験結果」の整合性がとれているか。
- ☒ 「結論」を導くために必要十分かつ適切な「実験結果」の表現が過不足なくされているか。
- ☒ 「実験結果」はわかりやすく，見やすく，正確に表現されているか。
- ☒ グラフの軸，表の項目，グラフや表のタイトルに漏れはないか，適切か。
- ☒ 有効数字は適切か。単位が漏れていないか。
- ☒ (写真を用いる場合) 写真の明るさやコントラストは適切か。
- ☒ 「実験結果」を得るために必要な「方法」が過不足なく表現されているか。
- ☒ 「目的」が明記されているか。「目的」と「結論」の整合性がとれているか。
日本語が適切か。
- ☒ 「なぜこの目的で実験をしたか」が「背景」に的確に表現されているか。日本語が適切か。
- ☒ 必要に応じて適切に参考文献の引用情報が記述されているか。
参考文献：議論の裏付けを与えるものであるから，実験題目に関係がある文献を偏りがないようにできる限り引用する。文献の表記方法を参考として下記に記述しておく。
 - 1) 著者名，書籍名，発行所，ページ，発行年
 - 2) 著者名，雑誌名，巻，号，ページ，発行年
- ☒ 全体としてわかりやすいか。
- ☒ 「背景」が1ページを超えていないか。
- ☐ 「実験方法」が1ページを超えていないか。
- ☒ 「結論」が100字程度で記されているか。

1. 背景

材料の密度測定は、物質の特性を評価する上で非常に重要な手法であり、密度は物質が占める空間の量と質量の比率を示す指標である。密度は物質の組成や構造、性質に関する貴重な情報を提供し、材料科学や工学分野で幅広く利用されている。まず、かさ密度について説明する。かさ密度は物質の質量を占める体積の比率を示す。物質の粒子間の間隔や充填状態によって異なる値を示すことがある。かさ密度の測定は、粉体や顆粒体の材料の特性評価において重要であり、製造プロセスや流動性の改善、充填や包装の最適化、粒子間相互作用の解明などに役立つ。次に、見掛け密度について説明する。見掛け密度は物質の質量を占める全体の容積の比率を示す。これには物質自体の体積だけでなく、気孔や隙間などの空隙も含まれる。見掛け密度の測定は、多孔質材料や発泡材料の評価において重要であり、絶縁材料やフィルター材料の性能、吸収材料の能力などを理解するために必要である。真密度は物質の粒子自体の質量を占める体積の比率を示す。真密度は粒子間の間隔や空隙を考慮しない最も密な状態での密度を表す。真密度の測定は、物質の組成や純度の評価において重要であり、薬品や金属の純度確認、結晶構造の解明、材料の品質管理などに活用される。部分モル体積は、化学混合物中の各成分が占める体積を示す値である。部分モル体積の測定により、物質の組成と密度の関係を定量的に理解することができる。この知識は、溶液や合金などの物質の混合特性を評価する際に重要であり、材料設計やプロセス最適化に役立つ。密度の測定には、比重瓶と呼ばれる装置が使用される。比重瓶は、物質の密度を測定するためのガラス容器であり、試料の質量と液体の体積を測定することによって密度を算出する。比重瓶は、比較的簡便な方法でありながら、密度測定において重要な役割を果たす。また、固体と液体の密度には違いがある。一般的に、固体の密度は液体の密度よりも高くなる。これは、固体が通常よりも密に敷き詰められているためである。一方、液体は分子や原子が相互の間隔が広がり、より自由に動くため、液体の密度は一般的に固体の密度よりも低くなる傾向がある。密度は物質の特性や性能を評価する上で重要な指標であり、かさ密度、見掛け密度、真密度の測定や部分モル体積の評価、比重瓶の利用はその重要性を体現している。今回の実験ではガラスを用いて密度を測定し、3つの密度関係を調べたり、また、エタノール水溶液を用いて水やエタノールの部分モル体積を算出し、どのように変化するのかを調査することを目的とする。

2. 方法

2.1 エタノール水溶液の密度測定

器具番号が 11、29、74 である比重瓶をそれぞれ正確に秤量しこの値を W_1 [g] とした。この 3 本の比重瓶を蒸留水で満たし、中栓をした後、35～40℃に保つてある恒温水槽中のアルミ円筒内に入れ、比重瓶の首まで水が浸すように調整して 10 分以上放置した。この時の水温を測定して値を T [°C] とした。10 分が経過したら恒温水槽から比重瓶を取り出し、比重瓶についている水滴をふき取った後、それぞれ正確に秤量した。この値を W_2 [g] とした。次にメスシリンダーでからのプラ容器に下の表 2.1.1 の割合で蒸留水とエタノールを加え、5 種類のエタノール水溶液を作製し、秤量した。この時、蒸留水を先に加え、その後エタノールを加えた。ここからエタノール水溶液の濃度をエタノールの純度が 99.5 [mass%] として求めた。比重瓶を作製したエタノール水溶液で共洗いした後、エタノール水溶液で満たして中栓をし、恒温水槽に入れ 10 分間放置する。蒸留水で行ったときと同じようにエタノール水溶液の入った比重瓶を正確に測定し、この値を W_3 [g] とした。測定結果から T [°C] におけるエタノール水溶液の密度 d_{solution} [g/cm³] を、式 2.1.1 で算出した。ここで 0.992219 [g/cm³] という数値は 40(T) [°C] における水の密度である。そして、エタノール溶液の濃度と密度の関係をグラフに示した。

表 2.1.1 蒸留水とエタノールの混合割合

H ₂ O [mL]	35	30	20	15	10	0
C ₂ H ₅ OH[mL]	5	10	20	25	30	40

$$d_{\text{solution}} = \frac{W_3 - W_1}{W_2 - W_1} \times 0.992219 [\text{g/cm}^3] \quad 2.1.1$$

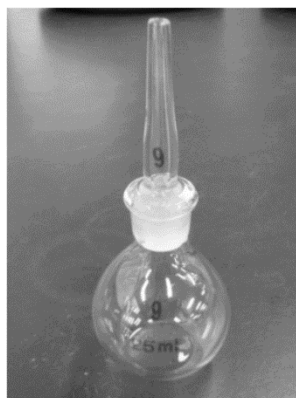


図 2.1.1 実験に用いた比重瓶



図 2.1.2 実験に用いた恒温水槽

表 2.1.2 水の温度における密度

温度/℃	0	10	20	30	40
0	0.999840	0.999700	0.998206	0.995650	0.992219
1	0.999899	0.999606	0.997994	0.995344	0.99183
2	0.999940	0.999498	0.997772	0.995030	0.99144
3	0.999964	0.999378	0.997540	0.994706	0.99104
4	0.999972	0.999245	0.997299	0.994375	0.99033
5	0.999964	0.999101	0.997047	0.994036	0.99022
6	0.999940	0.998944	0.996786	0.993688	0.98980
7	0.999902	0.998776	0.996516	0.993332	0.98937
8	0.999849	0.998597	0.996236	0.992969	0.98894
9	0.999781	0.998407	0.995948	0.992598	0.98849

単位 (g/cm³), 1 気圧, 空気を含まない

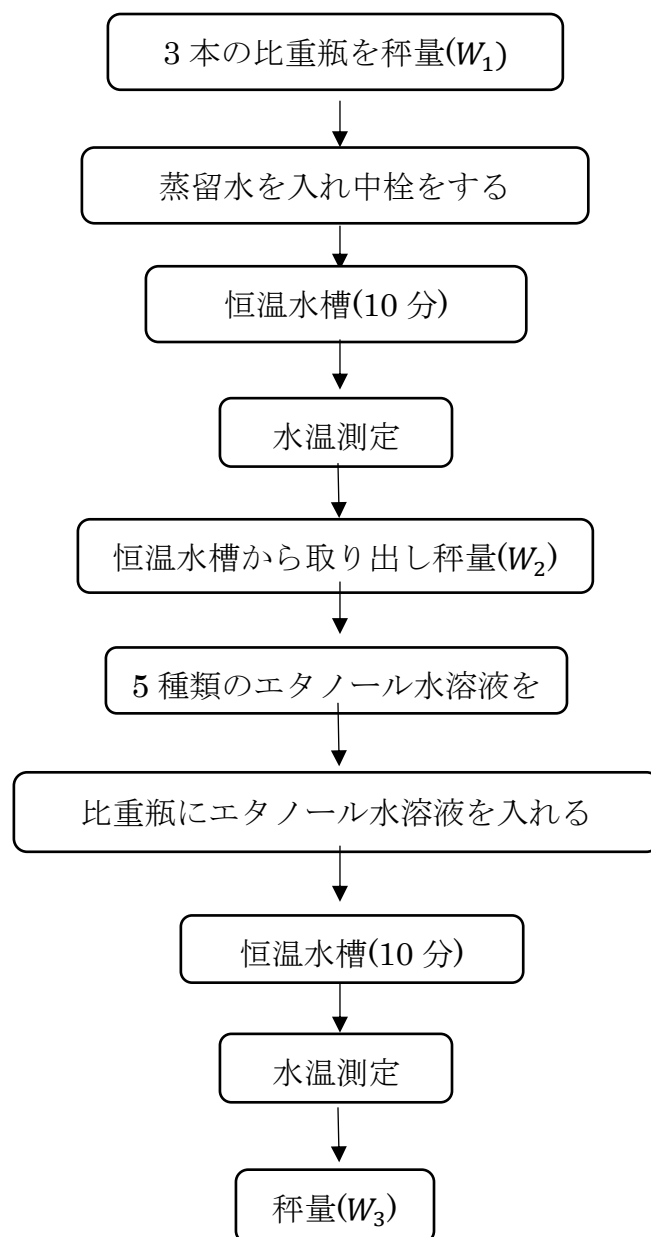


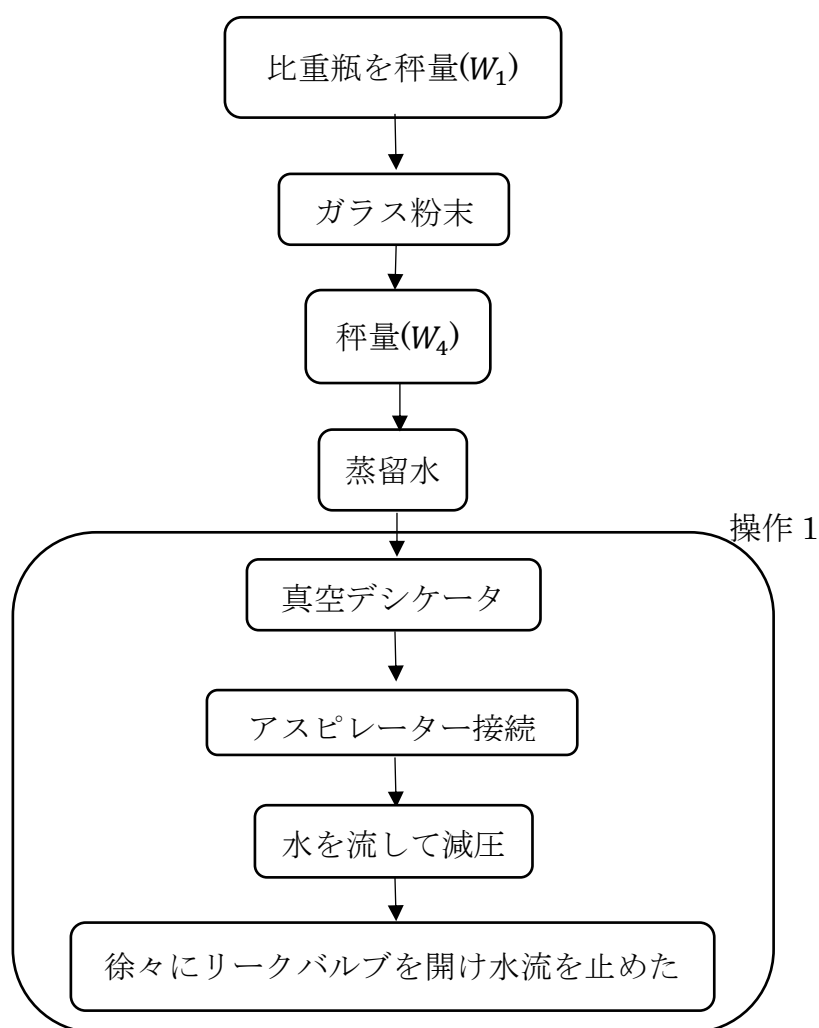
図 2.1.1 エタノール水溶液の密度測定のプロフローチャート

2.2 粉末試料の密度測定

器具番号 10 の比重瓶を正確に秤量し、その値を W_1 [g]とした。この比重瓶にガラス粉末を比重瓶かの底から $1/5$ 程度入れて、中栓をして正確に秤量し、この値を W_4 とした。比重瓶の中に、水面がガラス粉末よりも高くなるように蒸留水を入れ、中栓をしないで真空デシケータ中に置いたビーカーの中に入れた後、

アスピレーターを接続した。アスピレーターに水を流して徐々に減圧し、ガラス粉末から完全に気泡を除いた。ガラス粉末から完全に気泡を除いた後、徐々にデシケータのリークバルブを開け、水流を止めた。真空デシケータ内が常圧に戻ったら、比重瓶を取り出し比重瓶を蒸留水で満たし、中栓をして恒温水槽中のアルミ円筒内に入れ、瓶の首のところまで水が浸すように調整して10分以上放置した。この時の水温を測定し、その値を $T [^{\circ}\text{C}]$ とした。比重瓶についた水滴を濾紙でふき取って恒温水槽から取り出し、正確に秤量し、その値を $W_5 [\text{g}]$ とした。その後、ガラス粉末を比重瓶から取り出し、粉末が残らないようにし蒸留水のみの入った比重瓶を正確に秤量し、その値を $W_6 [\text{g}]$ とした。これらの値から真密度 $d [\text{g}/\text{cm}^3]$ を式 2.2.1 で求めた。ここで d_t は水温における水の密度である。

$$d = \frac{W_4 - W_1}{(W_6 - W_1) - (W_5 - W_4)} \times d_t [\text{g}/\text{cm}^3] \quad 2.2.1$$



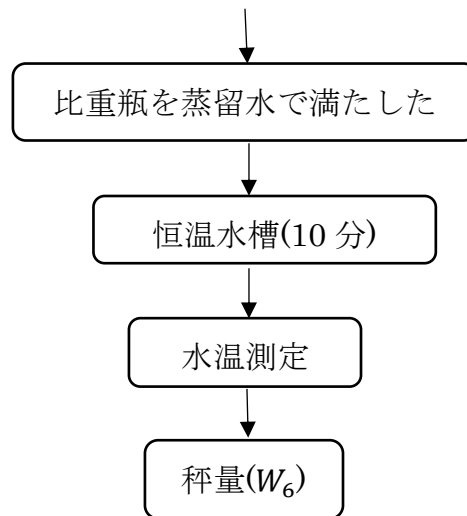


図 2.2.1 粉末試料の密度測定のプロフローチャート

2.3 多孔質材料のかさ密度の測定

A サンプル、B サンプルの 2 つのガラス多孔体を秤量し、その値を W_7 [g] とした。また、ガラス多孔体の直径 $2r$ [mm] と高さ h [mm] をノギスを用いて 3 回測定し、その平均の値から 2 つのガラス多孔体の体積を計算した。その後、2 つのガラス多孔体のかさ密度 d [g/cm³] を式 2.3.1 で計算した。

$$d = \frac{W_7}{\pi \times r^2 \times h} [\text{g/cm}^3] \quad 2.3.1$$

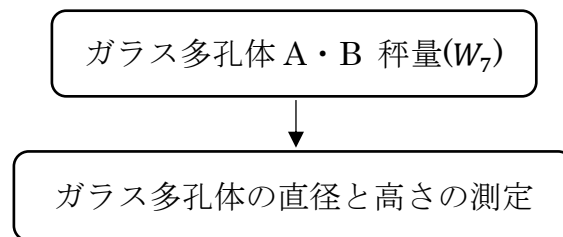


図 2.3.1 多孔質材料のかさ密度の測定のプロフローチャート

2.4 多孔質材料の見掛け密度の測定

かさ密度を測定したガラス多孔体をビーカーの中に入れ、さらに水面が試料より 5 [mm] 程度高くなるように蒸留水を入れた。ビーカーを真空デシケータに入れた後、アスピレーターを接続し 2.2 と同じようにし、ビーカーを取り出した後、ガラス多孔体をピンセットを用いて素早くビーカーから取り出し、電子天秤の水中秤量用バスケットに載せ、水温とガラス多孔体の水中質量 W_8 [g] を測定

した。その後、見掛け密度 d [g/cm^3]を式 2.4.1 で求めた。ここで d_t は水温における水の密度である。

$$d = \frac{W_7}{W_7 - W_8} \times d_t [g/cm^3] \quad 2.4.1$$

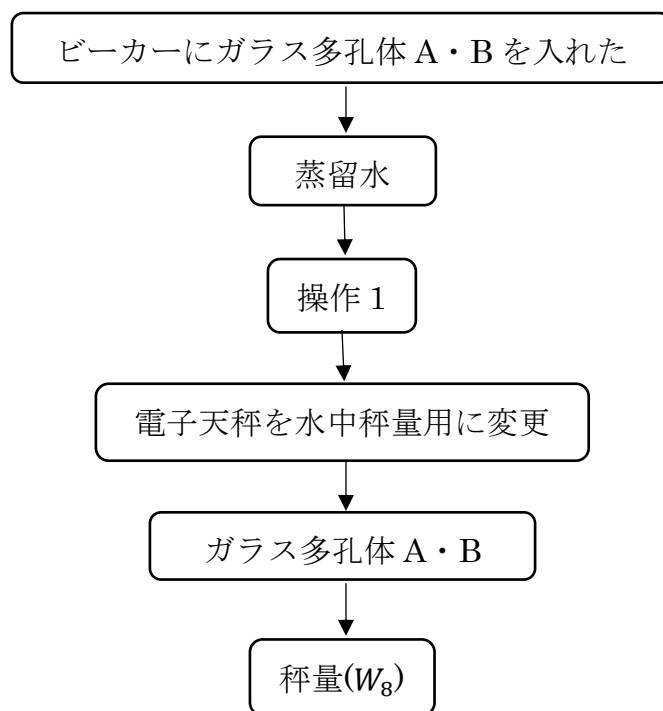


図 2.4.1 多孔質材料の見掛け密度の測定のフローチャート

3. 結果

実験を行った日の天気は晴れ、気温は 22.3℃、湿度は 70%であった。

3.1 エタノール水溶液の濃度と密度

表 3.1.1 に比重瓶と水の質量の関係を示した。

表 3.1.1 比重瓶と水に関する質量

器具 番号	比重瓶の質量 W_1 [g]	比重瓶+水の質量 W_2 [g]	温度 [°C]
11	22.399	47.732	40.2
29	21.986	47.545	40.2
74	21.499	48.813	40.2

また、プラ容器やプラ容器で調製したエタノール水溶液の質量は下の表 3.1.2 のようになった。

表 3.1.2 プラ容器とプラ容器で調製したエタノール水溶液の質量

水 [mL]	エタノール [mL]	プラ容器 [g]	プラ容器+水 [g]	プラ容器+水+エタ ノール [g]
35	5	23.413	56.043	59.719
30	10	24.076	53.15	60.738
20	20	24.154	43.647	58.86
15	25	24.485	39.014	58.114
10	30	24.322	33.986	57.013
0	40	24.315	24.315	55.431

エタノールの質量とエタノール水溶液の濃度は下の表 3.1.3 のようになった。

表 3.1.3 エタノールの質量とエタノール水溶液の濃度

水 [mL]	エタノール [mL]	水+エタノール [g]	エタノール [g]	エタノール濃度 [mass%]
35	5	36.306	3.676	10.074
30	10	36.662	7.588	20.594
20	20	34.706	15.213	43.615
15	25	33.629	19.100	56.512
10	30	32.691	23.027	70.086
0	40	31.116	31.116	99.500

ここでエタノール水溶液の濃度は下の式 3.1.1 で求めた。ここで 0.995 はエタノール純度である。

$$\text{エタノール濃度} = \frac{\text{エタノール}}{\text{水} + \text{エタノール}} \times 0.995 \times 100 [\text{mass}\%]$$

エタノール水溶液を入れた比重瓶の質量とエタノール密度は下の表 3.1.4 のようになった。ここでエタノール密度は式 2.1.1 で求めた。

表 3.1.4 エタノール水溶液を入れた比重瓶の質量とエタノール密度と比容

水 [mL]	エタノール [mL]	器具番号	質量 W_3 [g]	エタノール密度 [g/cm ³]	比容 [cm ³ /g]
35	5	29	47.034	0.97238	1.0284
30	10	29	46.659	0.95782	1.0440
20	20	11	45.697	0.91251	1.0959
15	25	11	44.908	0.88161	1.1343
10	30	74	44.885	0.84953	1.1771
0	40	74	42.732	0.77132	1.2965

3.2 ガラス粉末の真密度

この実験で使った比重瓶の質量 W_1 [g]は22.005 [g]、比重瓶+ガラス粉末の質量 W_4 [g]は34.703 [g]、比重瓶+ガラス粉末+蒸留水 W_5 [g]は55.972 [g]、比重瓶+蒸留水 W_6 [g]は48.367[g]と、水温は40.2[°C]となった。この値から式 2.2.1 を用いて真密度 d [g/cm³]は次のようになった。

$$\begin{aligned}
 d &= \frac{W_4 - W_1}{(W_6 - W_1) - (W_5 - W_4)} \times d_t \text{ [g/cm}^3\text{]} \\
 &= \frac{34.703 - 22.005}{(48.367 - 22.005) - (55.972 - 34.703)} \times 0.992919 \\
 &= 2.475571463 \dots \\
 &\approx 2.4756 \text{ [g/cm}^3\text{]}
 \end{aligned}$$

3.3 ガラス多孔体の見た目とかさ密度

ガラス多孔体 A, B の直径と高さを 3 回測って出した値と平均値は下の表 3.3.1 のようになった。

表 3.3.1 ガラス多孔体の A サンプルの直径と高さ

回数	直径	高さ
1	23.8	9.1
2	23.65	9.1
3	23.7	9.1
平均	23.716	9.1

表 3.3.2 ガラス多孔体の B サンプルの直径と高さ

回数	直径	高さ
1	23.9	8.8
2	23.9	8.8
3	24.3	8.8
平均	24	8.8

ガラス多孔体 A, B の質量 W_7 はそれぞれ6.928 [g], 7.599 [g]になった。

これらの値から式 2.3.1 を用いてガラス多孔体 A, B のかさ密度 d_A 、 d_B [g/cm³] はそれぞれ次のように表される。

$$\begin{aligned}
 d_A &= \frac{W_7}{\pi \times r^2 \times h} [\text{g/cm}^3] \\
 &= \frac{6.928}{\pi \times \left(\frac{23.716}{2}\right)^2 \times 9.1} \\
 &= 0.00172430444 \dots \\
 &\approx 0.0017243 [\text{g/cm}^3] \\
 d_B &= \frac{W_7}{\pi \times r^2 \times h} [\text{g/cm}^3] \\
 &= \frac{7.599}{\pi \times \left(\frac{24}{2}\right)^2 \times 8.8} \\
 &= 0.00190880431 \dots \\
 &\approx 0.0019088 [\text{g/cm}^3]
 \end{aligned}$$

3.4 ガラスの見かけ密度

真空引き後のガラス多孔体 A, B の水中秤量した質量 W_8 はそれぞれ4.152 [g], 4.550 [g]であり、この時の水温は15.2 [°C]であった。これらの値と式 2.4.1 を用いて見かけ密度 d_A 、 d_B [g/cm³]は次のように求まる。ここで d_t は水温における水の密度である。

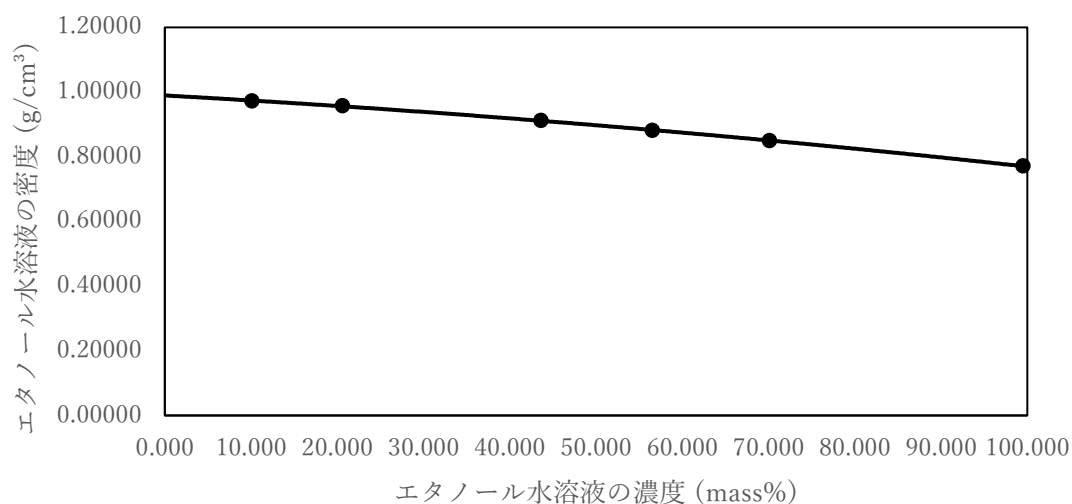
$$d_A = \frac{W_7}{W_7 - W_8} \times d_t [\text{g/cm}^3]$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{6.928}{6.928 - 4.152} \times 0.999101 \\
&= 2.4934336 \dots \\
&\approx 2.4934 \text{ [g/cm}^3\text{]} \\
d_B &= \frac{W_7}{W_7 - W_8} \times d_t \text{ [g/cm}^3\text{]} \\
&= \frac{7.599}{7.599 - 4.550} \times 0.999101 \\
&= 2.4900519 \dots \\
&\approx 2.4901 \text{ [g/cm}^3\text{]}
\end{aligned}$$

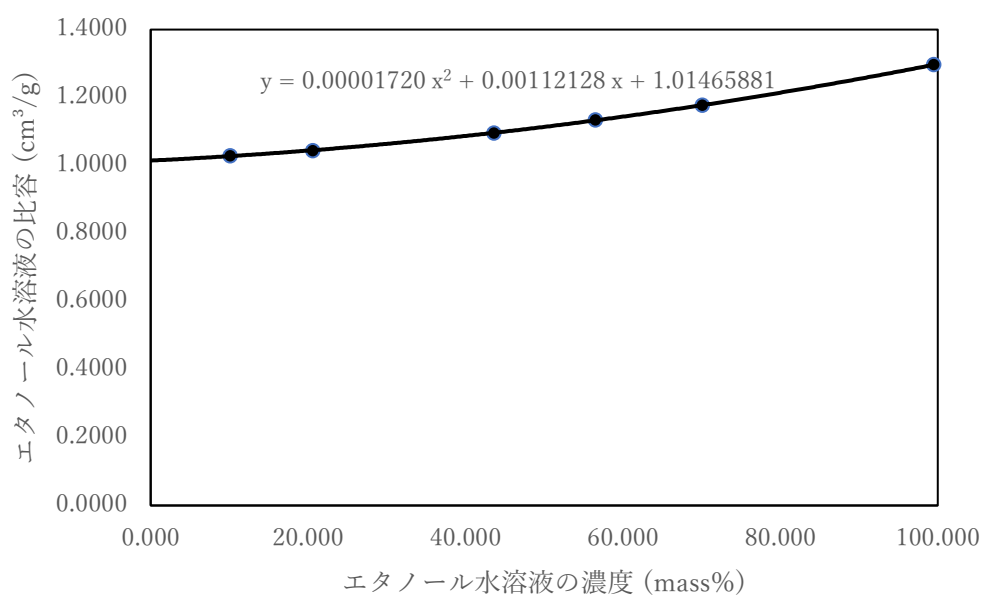
4. 考察

4.1 エタノール水溶液に対する考察

表 3.1.3、3.1.4 からエタノール水溶液の濃度とエタノール水溶液の密度の関係、エタノール水溶液の濃度とエタノール水溶液の比容の関係を下のグラフ 4.1.1、4.1.2 に示した。



グラフ 4.1.1 エタノール水溶液の濃度とエタノール水溶液の密度の関係

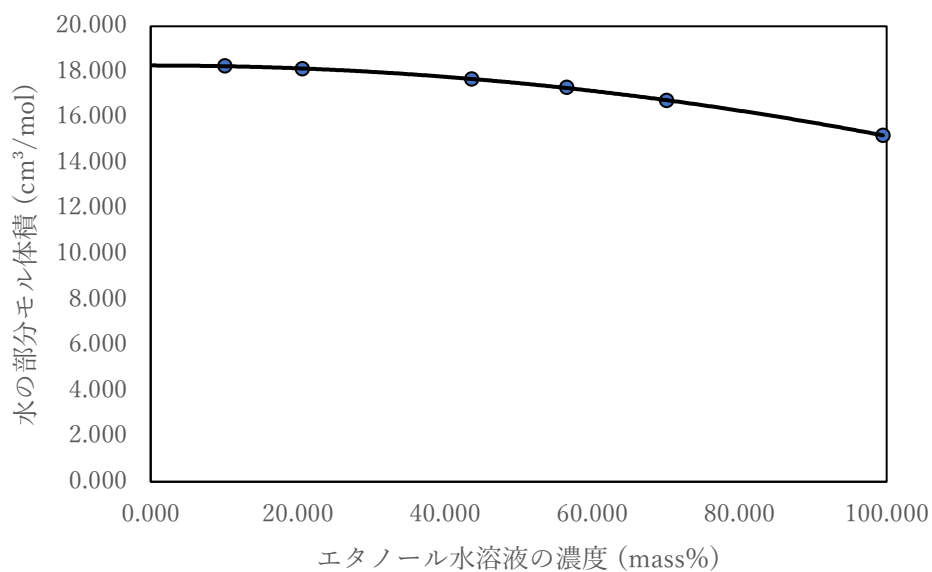


グラフ 4.1.2 エタノール水溶液の濃度とエタノール水溶液の比容の関係

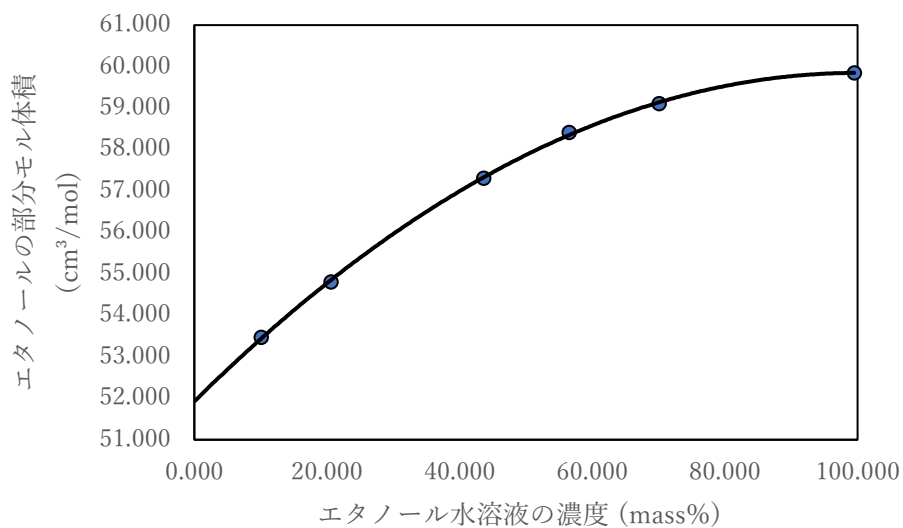
また、部分モル体積は、各点の比容のグラフとの接線と濃度 0 % と 100 % の直線の交わった数値に分子量を掛けると計算でき、これを計算したものを表 4. 1. 1 に示し、グラフ 4. 1. 3、4. 1. 4 で表した。

表 4.1.1 水とエタノールの部分モル体積

溶液番号	接線の傾き	A ₀	A ₁₀₀	水の部分モル体積 [mol/cm³]	エタノールの部分モル体積 [mol/cm³]
1	0.0014678	1.013615	1.160399	18.261	53.471
2	0.0018297	1.006353	1.189323	18.130	54.804
3	0.0026216	0.981532	1.243695	17.683	57.309
4	0.0030653	0.96106	1.26759	17.314	58.411
5	0.0035322	0.929562	1.282786	16.746	59.111
6	0.0045441	0.844346	1.298754	15.211	59.847



グラフ 4.1.3 エタノール水溶液の濃度と水の部分モル体積



グラフ 4.1.4 エタノール水溶液の濃度とエタノールの部分モル体積

続いて、これらのグラフを下の図 4.1.1 の文献値と比較する。

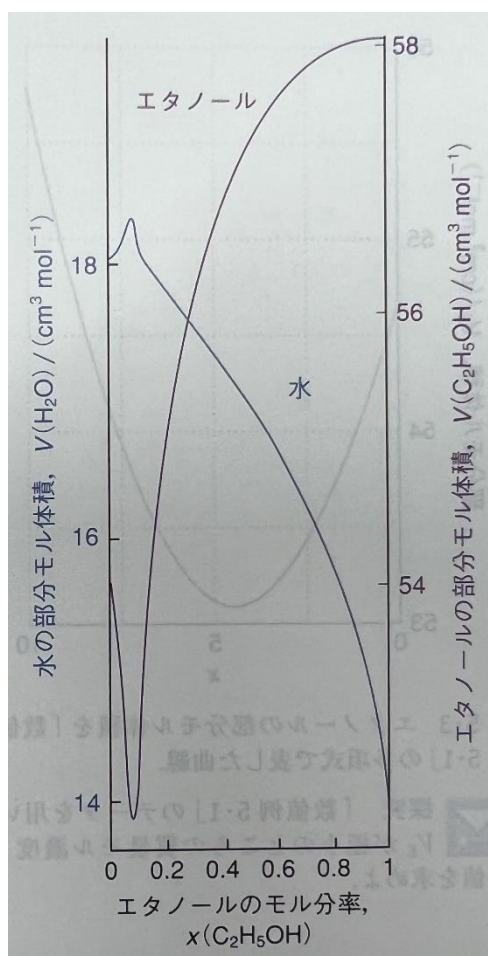


図 4.1.1 部分モル体積の文献値

図 4.1.1 と比較してみるとグラフとはほとんど同じような 2 字曲線のようになっているが、水、エタノールの部分モル体積ともにモル分率が 0.1 の時あたりがグラフと異なった形状をしている。これは実験でのサンプル数が少なく、わずかな変化を確認することができなかったからだと考えた。

4.2 ガラス多孔体に対する考察

ガラスの 3 つの密度は、見掛け密度 > 真密度 > かさ密度というふうになっていた。また、ガラス多孔体 A, B は色が少し異なって見えており、A は白っぽく、B は青っぽく見えた。これは、B にはガラスを作る段階で不純物が含まれており、その不純物が光を反射して緑色っぽく見えると考えた。さらに文献値のソーダ石灰ガラスの密度と実験値を比較すると、文献値では $2.4 \sim 2.6 \text{ (g/cm}^3\text{)}$ であり、今回の実験の真密度はこの範囲内にあるのでこの実験で用いてガラスはソーダ石灰ガラスであると考えられる。

5. 結論

本実験ではエタノール水溶液の濃度とエタノール水溶液の密度、水とエタノールの部分モル体積との関係をグラフを使って確かめた。また、ガラスの 3 つの密度を調べることで 3 つの密度の関係を明らかにすることができた。

6. 感想

今回の実験では 2 つのグループに分けて実験を役割分担して取り組んだため、もう一方のグループで具体的にどんなことをしているかが分かりづらかった。

7. 参考文献

(1) 東京理科大学 先進工学部 マテリアル創成工学科、“2023 年度 マテリアル工学実験 0”、p. 104

(2) Peter Atkins・Julio de Paula 著、“アトキンス物理化学(上) 第 10 版”、東京化学同人、p. 190

(3) 自然科学研究機構 国立天文台、“理科年表 2023”、丸善出版株式会社、p. 393

(4) 千原、そあい編、“物理化学実験法(第 4 版)”、東京化学同人、26. 液体及び固体の密度

(6) 東京理科大学編、“研究のためのセーフティサイエンスガード”、朝倉書店

(7) 化学同人編集部編、“実験を安全に行うために(第 7 版)”、化学同人

(8) 化学同人編集部編、“続実験を安全に行うために(第 3 版)”、化学同人

(9) 大木編、“科学データブック”、培風館

(10) 日本化学学会編、“化学便覧(基礎編)、丸善

(11) “理化学辞典”、岩波書店