

卒業論文要旨

導電率計測による流動スラリーアイスの含有氷粒子分布の検証

システム工学群

ものづくり先端技術研究室 1200081 武井紀江

1 結論

スラリーアイスは、粒子径 0.2mm の微小な氷粒子が混在した液状水であり、本研究では NaCl 水溶液からスラリーアイスを生成している。NaCl 水溶液の初期濃度とスラリーアイス生成時の氷充填率(以下 *IPF*: *Ice Packing Factor*)によりスラリーアイスの温度が決定されるため、凍結温度が異なる各種魚介類の鮮度保持に有効である。

スラリーアイス生成装置のフローを図 1 に示す。予冷した NaCl 水溶液をタンクから 2 重円筒構造のジェネレーター内に送液し、円筒間に供給される冷媒で冷却することで、円筒内壁面に氷膜が生成される。氷膜上を掻き取り刃で切削することで、氷粒子が NaCl 水溶液中に浮遊し、スラリーアイスを生成する。*IPF*は、スラリーアイス生成前の初期塩分濃度を x_0 [wt%], 生成後の塩分濃度を x_T [wt%] とすると、

$$IPF[\text{wt}\%] = \left(1 - \frac{x_0}{x_T}\right) \times 10^2 \quad (1)$$

から求めることができる。このように、塩分濃度から算出する *IPF* (以下、サンプリング *IPF*) は、精度の良い値が得られる反面、固液分離の過程を経て濃度を測定する際に、溶液を常温に戻す必要がある。このために、製氷運転中の *IPF* を把握する際にタイムロスが生じる。

本研究室では、導電率を用いリアルタイムに *IPF* を測定する方法に着目しているが、製氷機内で導電率セルを設置する位置が不明である。*IPF* を正確に測定するためには、製氷中の攪拌により氷粒子の分布を予測する必要がある。本研究では、攪拌中の氷粒子分布を把握するために、有効な *IPF* 測定位置の基礎データを得ることを目的としている。

- ① Tank
- ② Refrigeration machine
- ③ Pump
- ④ Flowmeter
- ⑤ Generator

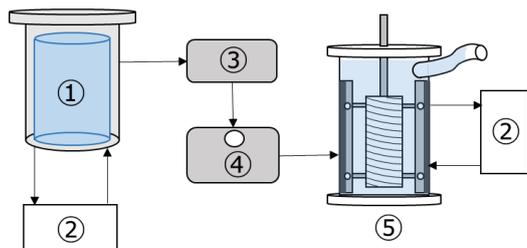


Fig.1 Slurry Ice Manufacturing Equipment

2 実験装置

2-1 目的

攪拌中の氷粒子分布を把握するために図 2 に示すような上部、中部、下部にて導電率が測定可能な実験装置を製作し、本装置が導電率の測定に有効であるかを実験的に調べた。

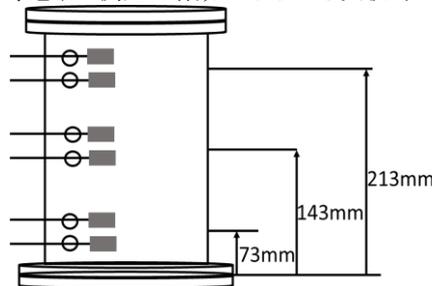


Fig.2 Experimental equipment

2-2 実験方法

10°C の塩分濃度 1, 1.5, 2 wt% の NaCl 水溶液 4.5L を図 2 の実験装置に投入し、攪拌速度 50~800 min⁻¹ の範囲で 50min⁻¹ 間隔で攪拌し、導電率を測定した。サンプリング周期 3s, 実験結果間 30s とし、その平均値を得た。

塩分濃度 1wt% の NaCl 水溶液の導電率と攪拌速度の関係を図 3 に示す。200~400min⁻¹ では上部、中部、下部の全てにおいてほぼ同様な導電率の値が得られた。塩分濃度 1.5wt%, 2wt% も同じ傾向であった。

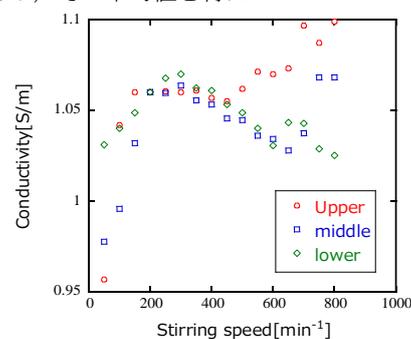


Fig.3 Relationship between stirring rate and conductivity of NaCl aqueous solution

2-4 考察

実験結果より、装置内で計測位置によらず同様の値を示した攪拌速度 200~400min⁻¹ の導電率に着目する。25°C を基準としたとき、導電率と温度には、

$$k = \frac{k_t}{1 + \alpha(t - 25)} \quad (2)$$

のような関係式がある⁽¹⁾。 t は温度 [°C], k_t は t [°C] の導電率 [S/m], k は 25°C の導電率 [S/m], α は温度係数 [%/°C] である。本実験から得た導電率の値は測定時の温度が 10°C であったため、式 (2) を用いて 25°C に換算し、理論値⁽²⁾と比較した (図 4)。上部、中部、下部の理論値と実験値の差異の平均は、

約86%である。従って、補正係数 $\beta = 1.161$ を実験値に乗ずることで、25°Cでの理論値と補正後の実験値の誤差が0.284%になった(表 1)。

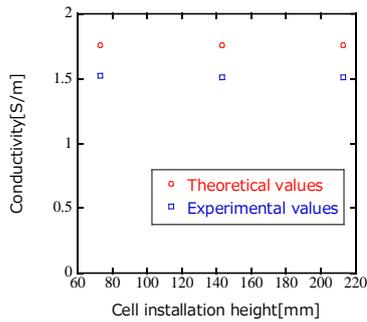


Fig.4 The difference between theoretical and experimental values

Table 1 Theoretical values and corrected experimental values

	Theoretical value [S/m]	Experimental value [S/m]	Correction factor: β [-]	Corrected experimental value [S/m]
Upper		1.514		1.758
Middle	1.760	1.512	1.161	1.755
Lower		1.520		1.765

3 ガラスビーズをサンプルとした実験

3-1 目的

スラリーアイスで実験を行う前に、常温で定常状態となり、水と密度の異なるガラスビーズ(密度 2.5g/cm^3)を用いて、攪拌による粒子分布挙動を実験的に確認した。

3-2 実験方法

製作した装置に塩分濃度 1wt%の NaCl 水溶液 4.5L とガラス充填率(以下 GPF: Glass Packing Factor)=1, 2, 3vol%となるようガラスビーズを投入し、攪拌を行いながら導電率を測定した。サンプリング周期 3s, 測定時間 30s, 攪拌速度 220min^{-1} とした。

3-3 実験結果

GPF[vol%]と導電率の関係を図 5 に示す。測定部の上部では導電率が他の測定位置よりも大きい値を示し、粒子が少なく分布した。

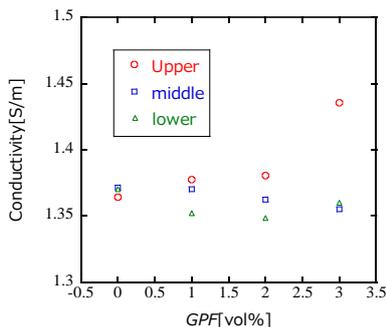


Fig.5 Relationship between each GPF and conductivity in each cell

3-4 考察

装置の下部にガラスビーズが多く分布した理由は、攪拌力よりも、ガラスビーズと水の密度差により、重力の影響を受けたためと考えられる。しかし、本実験のみでは、十分な検証が行えないため、スラリーアイスを用い、水より密度が小さな氷粒子での実験結果と合わせて検討を行うこととする。

4 スラリーアイスサンプルとした実験

4-1 目的

水よりも密度の小さい氷粒子(0.92g/cm^3)を用い、攪拌を行った場合の粒子の分布を実験的に得ることで、水と密度の異なる粒子が混在した現象を確認した。

4-2 実験方法

塩分濃度 1wt%の NaCl 水溶液から生成したスラリーアイス 4.5L を装置に投入し、攪拌を行いながら導電率を測定した。サンプリング周期 3s, 測定時間 30s, 攪拌速度 400min^{-1} とした。サンプルとは別途に融解を防ぐため冷却用スラリーアイスにて雰囲気制御し、検査体を冷却した。

4-3 実験結果

初期塩分濃度の導電率を k_0 [S/m], 測定時塩分濃度の導電率を k_T [S/m]とすると IPF は,

$$IPF[\text{wt}\%] = \left(1 - \frac{k_0}{k_T}\right) \times 10^2 \quad (3)$$

から求めることができる。従って、初期の導電率と測定時の導電率を計測すると IPF が算出できる。導電率から得られる IPF を以下セル IPF と記述する。セル設置高さによるセル IPF について図 6 に示す。測定位置となる下部, 中部, 上部の順にセル IPF は小さくなった。

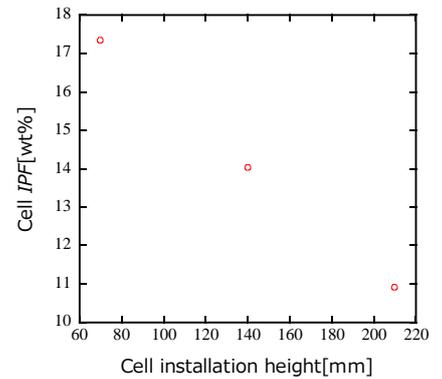


Fig.6 Cell IPF in each cell

4-4 考察

ガラスビーズと同様に氷粒子も下部に粒子が多く存在していた。このことから、本実験条件では密度差に関係なくプロペラ翼での攪拌により下部に粒子が多く分布したと言える。

上部のセル IPF とサンプリング IPF の関係を図 7 に示す。青い実線はサンプリング IPF とセル IPF が一致する箇所である。実際の製氷機も上部にセルを設置しており、サンプリング IPF とセル IPF が一致しない場合がある。本実験で設計した実験装置においても、上部セル IPF はサンプリング IPF より 15wt% 低い値が得られたデータもある。従って、セル IPF を正確に測定するためには、攪拌機構を十分に検討しなければならないと言える。

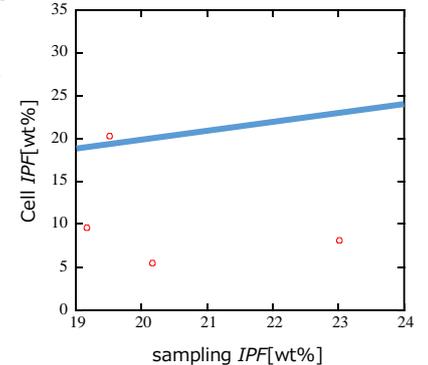


Fig.7 Lower sampling IPF and cell IPF

今後はセルでの測定において広範囲の攪拌速度で検証が可能ないようにし、セル設置を決定する必要がある。

5 結言

実験装置の上部, 中部, 下部の導電率を測定することにより粒子の分布を実験的に確認した。本研究で行った実験条件では、粒子の分布が攪拌による影響が支配的である。本実験ではプロペラ翼を使用した。翼形状を変化させた場合なども把握する必要がある。

参考

- (1) JIS K0130 電気伝導率測定方法通則(2008)
- (2) 濃度測定<<https://www.horiba.com/jp/application/material-property-characterization/>>(2020年1月31日)