

スラリーアイス攪拌における熱的影響に関する研究

システム工学群

ものづくり先端技術研究室 1190086 鈴木 悠矢

1. 緒論

スラリーアイスとは、微小な氷粒子と水溶液が混在した流動体である。氷粒子径は約 0.2mm と微小となり、凍結濃縮や生鮮食品の鮮度保持に用いられる。塩分濃度 1.0wt% の NaCl 水溶液から氷充填率（以下、*IPF*）が 20~30% のスラリーアイスを生成すると、凝固点降下によりスラリーアイスの温度を $-0.9 \sim -0.8^{\circ}\text{C}$ となる。これにより、魚介類の凍結温度を回避しつつ、可能な限り低温で急速な冷却が可能となる¹⁾。本研究で使用した循環方式の製造装置はタンク容積のスラリーアイスしか生成できない制約があるため、実際の漁港での水揚げ量は大きく変化するものの、常に最大水揚げ量を想定したスラリーアイスを生成し、保存しておかなければならない。また、スラリーアイスの課題として、生成したスラリーアスを保存すると、氷粒子と NaCl 水溶液が分離することにより、氷層が発生してしまう点がある（図 1）。この対策としてスラリーアスを攪拌することが有効であるが、攪拌による氷粒子の融解、すなわち *IPF* の低下が予想され、それに伴うスラリーアイスの冷却能力低下が発生してしまう。そこで本研究では、スラリーアスを保存する際の有効な攪拌条件を、実験的に明らかにすることを目的とした。



Fig.1 Changes when leaving slurry ice

2. 実験

2.1 実験目的

スラリーアスを攪拌した際の氷粒子の融解量と攪拌回転数との関係性は明らかになっておらず、過剰な回転数を設定した場合、冷却能力が大きく低下する。そのため、スラリーアイスの流動性を攪拌により維持する際の攪拌回転数と氷粒子融解量の関係を、実験的に調べ、特性について明らかにすることを目的とした。

2.2 実験方法

実験装置のフローを図 2、容器の詳細を図 3 に示す。また、使用した実験用器具を表 1 に示す。本実験は、侵入熱の影響を抑えるために、スラリーアイスを入れる容器を断熱材で覆い、加えて 0°C に設定した恒温室内にて行う。生成したスラリーアスを容器内に満たし、攪拌機により 2 時間攪拌した。攪拌開始と同時に、回転軸に発生するトルクと、スラリーアイスの温度を測定した。また、容器蓋部のサンプリング用のねじ穴からスポイトで NaCl 水溶液をサンプリングし、20 分毎に塩分濃度を測定した。*IPF* 算出に使用する初期塩分濃度は、攪拌終了後にスラリーアスを放置し、氷粒子が完全に融解した状態で塩分濃度を計測した。

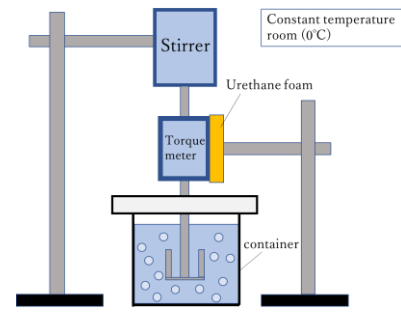


Fig.2 Experimental device flow

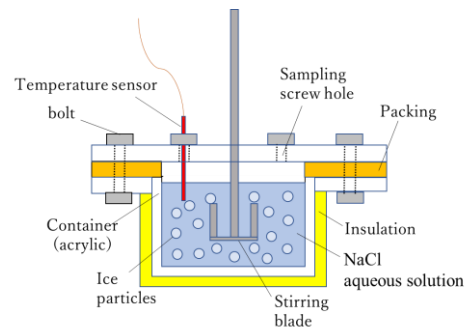


Fig.3 Container details

Table 1 measuring equipment

measuring equipment	Company	Model number
Stirrer	IKA Japan Co., Ltd.	EUROSTAR 20 digital
Temperature sensor	SIMADEN Co., Ltd.	thermocouple STD T type
Salinity concentration sensor	ATAGO Co., Ltd.	PAL-SALT (NO4250)
Torque sensor	UNIPULSE Co., Ltd.	UTM II -5Nm

2.3 結果と考察

計測した塩分濃度より *IPF* を算出した。各回転数での *IPF* の経時変化を図 4~6 に示す。回転数 600rpm と 900rpm での実験において、攪拌終了時点までに *IPF* がマイナスの値となり、初期塩分濃度より計測した塩分濃度の方が低くなる現象が起こった。*IPF* は氷充填率のことであり、本来であればこの値が 0 を下回ることはないが、今回の攪拌時の流動状態では、サンプリングを行う高さによって塩分濃度の偏りが生じる可能性が考えられる。回転数 900rpm での実験では、一回目の 90 分経過時に急激な溶液温度の上昇が見られた。このとき、攪拌終了後に氷粒子が全て融解していることが目視より確認できており、90 分経過時に全ての氷粒子が融解したことが考えられる。また、回転数と、攪拌前と攪拌後の塩分濃度低下量の関係を図 7 に示す。回転数の増加と共に塩分濃度の低下量も増加していることがわかる。これより、回転数と氷粒子の融解量との間にも同様の関係があることがわかる。図 8~10 に攪拌軸に加わるトルクを示す。軸に加わるトルクは経時変化しておらず、*IPF* に関わらず一定であることがわかる。

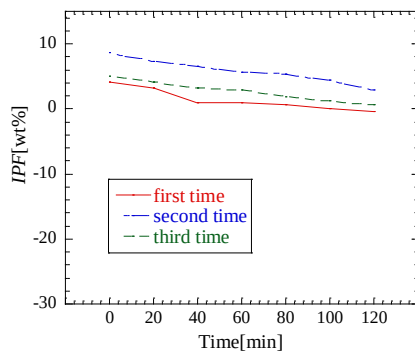


Fig.4 IPF 300rpm

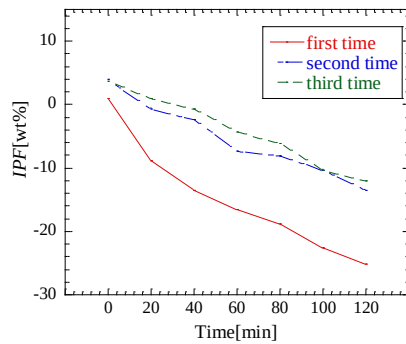


Fig.5 IPF 600rpm

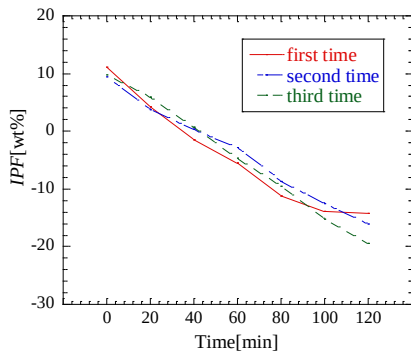


Fig.6 IPF 900rpm

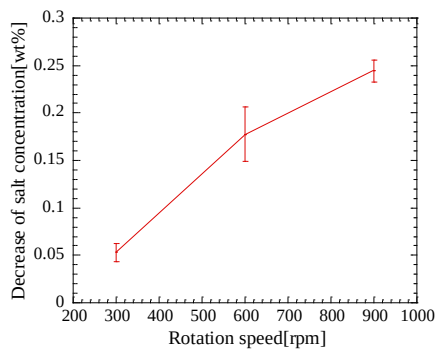


Fig.7 Rotation speed and Decrease of salt concentration

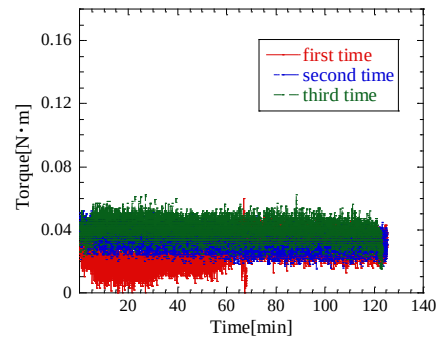


Fig.8 Torque 300rpm

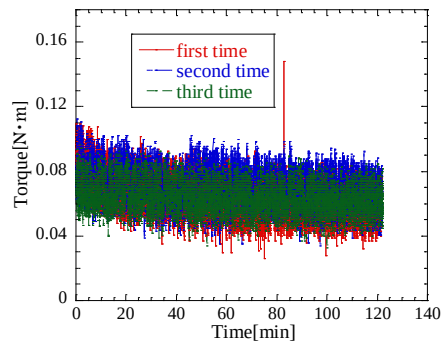


Fig.9 Torque 600rpm

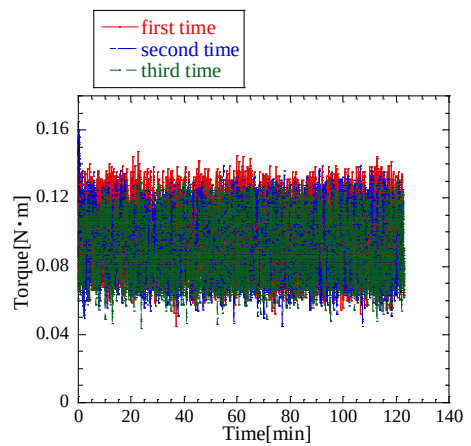


Fig.10 Torque 900rpm

3. 結論

スラリーアイス保存における流動性維持のための攪拌では、侵入熱を可能な限り小さくしても、攪拌の回転数によっては氷粒子が完全に融解することもあり、攪拌により発生する熱の影響は十分に考慮しなければならないことが明らかになった。また、攪拌の回転数と氷粒子の融解量に相関性が確認できた。今後は、どのような相関性を持っているのか明らかにすることと、攪拌時の塩分濃度の計測法を精査し、IPFの評価方法を再構築することが必要である。

参考文献

1) 松本泰典 生鮮魚介類の鮮度を保持するためのスラリーアイス製造装置の開発 p28 スラリーアイスの特徴