

スラリーアイス流動化による対象物の浸漬法に関する検討

システム工学群

ものづくり先端技術研究室 1180135 林 佳奈

1. 緒論

生鮮魚介類の鮮度を高く保持したまま流通させるためには、凍結温度に限りなく近い温度帯での冷蔵保存が適している。先行研究では、塩分濃度1wt%のNaCl水溶液または希釈海水から氷充填率（以下、*Ice Packing Factor* : IPF [wt%]）20~30wt%のスラリーアスを生成することによって、魚介類の凍結しない温度帯での冷却を可能とした。また、スラリーアスの氷粒子径は0.2mmと非常に小さく、同体積の砕氷と比べ表面積が大きくなることより、急速に冷却が可能である。しかし、スラリーアイス内に魚介類を投入した際、魚種によっては浸漬せず、冷却が行えないという課題がある。従って本研究では、魚介類を傷つけることなくスラリーアスを流動化させ、加えて魚介類をスラリーアイス内に浸漬させる装置を検討することを目的とした。

2. スラリーアスの静止状態での浸漬

2.1 目的

物体がスラリーアイスに加える圧力の変化による浸漬距離を実験的に調べ、計算値との比較を行い、浸漬させる際のスラリーアスの特性を把握することを目的とした。

2.2 外力を加えたときの浸漬距離のモデル

浮力のつり合い式を用いて浸漬距離を導くことにした。図1に示すように、寸法 a (W)× b (D)× h (H)[m]、密度 ρ_o [kg/m³]の浸漬対象物に外力 W_o [N]を加え、スラリーアイス内に浸漬させる際のモデルとした。スラリーアイス内に浸漬対象物を浸漬させると、その下面にある氷粒子が浸漬対象物と一体となり浸漬していく。このことにより、スラリーアスは浸漬対象物の真下のみに着目し、スラリーアスを密度 ρ_i [kg/m³]の氷層部分と、密度 ρ_l [kg/m³]のNaCl水溶液層部分に分割させて考えた。つり合いの式を展開すると、最終的に式(1)より浸漬距離 h' を求めることができる。

$$h' = \frac{1}{\rho_l g} \left\{ \rho_o h g + \left(1 - \frac{\rho_l}{\rho_i} \right) \rho_l \cdot IPF \cdot H \cdot g + P_o \right\} \quad (1)$$

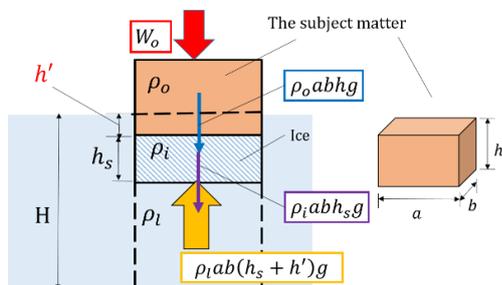


Fig.1 Calculation model

2.3 実験手順

まずタンク内に塩分濃度1wt%のNaCl水溶液をつくり、50lのスラリーアスを循環方式の製氷機により生成した。次に、タンク内のスラリーアスを攪拌し、重りを乗せた浸漬対象物を浸漬させ、浸漬距離を計測した。重りは、底面積 $9.075 \times 10^{-3} \text{m}^2$ の容器に市水を加えていくことで重さを変化

させた。これを $IPF=15\text{wt}\%$ 、 $20\text{wt}\%$ 、 $25\text{wt}\%$ 、 $30\text{wt}\%$ で行った。タンク内の IPF は式(2)より求めた。 $(x_0$:初期塩分濃度[wt%], x :測定塩分濃度[wt%], A :タンク内NaCl水溶液質量[kg], A_j :ジェネレーター内NaCl水溶液質量[kg])

$$IPF = \frac{(1 - \frac{x_0}{x})(A + A_j)}{A} \times 100 \quad (2)$$

2.4 結果

計算結果と実験結果の比較を図2に示す。実験結果より、 IPF が増加するに従って浸漬に必要な圧力が上昇することが分かった。浸漬距離は全ての IPF で、前半は緩やかな増加がみられ、後半で急激に増加した。この曲線の増加傾向は浸漬距離55mm以上で主に見られた。一方、計算結果は IPF による浸漬距離の変化に違いがほぼ見られず、グラフの形状は浸漬距離55mmを超えたところでグラフの傾きが急激に変化し、直線的であった。実験中の目視の観察では、浸漬距離55mmを超えると、浸漬対象物が完全に浸漬していた。

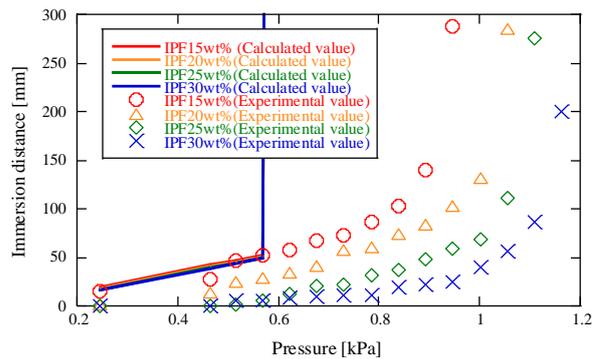


Fig.2 Relationship between immersion distance of sample and pressure

2.5 考察

実験結果と計算結果より、浸漬対象物が完全に浸漬をする前後で計算モデルを分ける必要があると考えられる。実験値と計算値の違いについて、実験では、氷粒子の干渉により、浸漬対象物の下面以外の図3に示す角度 θ で氷粒子を巻き込みながら浸漬しているために、計算モデルより浮力がかかっていたと考える。これらのことを考慮して図3、4に示す計算モデルを再構築した。その結果、計算値と先ほどの実験値を比較したものを図5に示す。角度 θ は、実験値との比較より得た表1の近似式より求めた。これにより、スラリーアイス内に浸漬対象物が浸漬する際には、浸漬対象物が完全に浸漬する前後で異なる傾向を示し、浸漬対象物の下面に存在する氷粒子だけでなく、それ以外の氷粒子からも影響を受けていると考える。

Table 1 The value of θ

	Before complete immersion	After complete immersion
$IPF=15\text{wt}\%$	$\theta = 0.1242P_0 + 0.5718$	$\theta = 3.8122P_0 - 1.9734$
$IPF=20\text{wt}\%$	$\theta = 0.388P_0 + 0.8459$	$\theta = 2.3372P_0 - 0.9491$
$IPF=25\text{wt}\%$	$\theta = 0.5383P_0 + 0.7578$	$\theta = -3.3967P_0 + 4.3345$
$IPF=30\text{wt}\%$	$\theta = 1.0492P_0 + 0.3913$	$\theta = -0.0463P_0 + 1.0657$

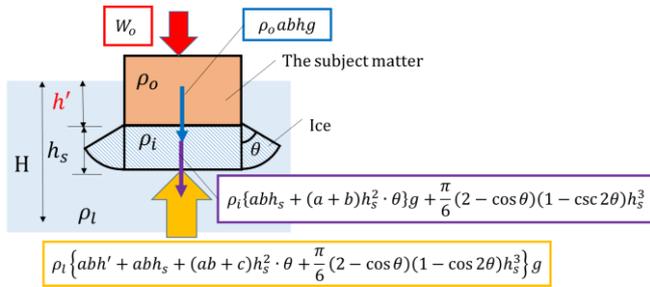


Fig.3 Calculation model (Before complete immersion)

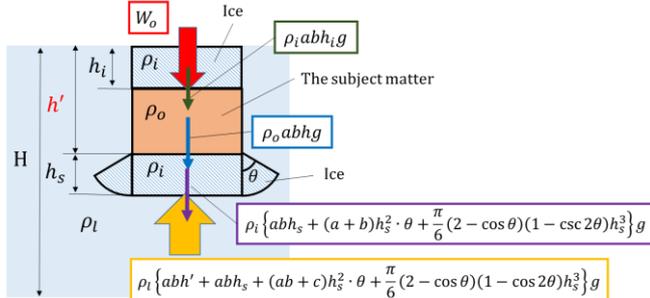


Fig.4 Calculation model (After complete immersion)

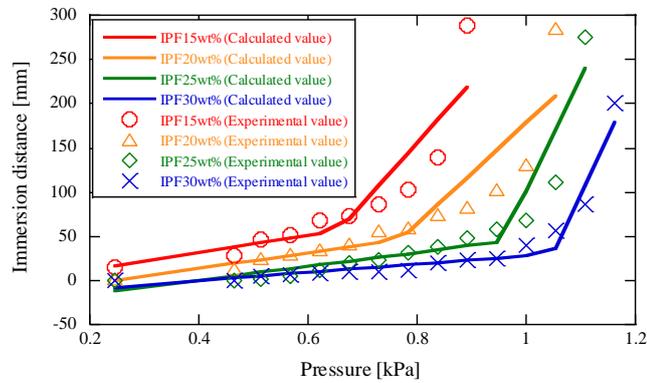


Fig.5 Relationship between immersion distance of sample and pressure

3. バブリングによる浸漬実験

3.1 実験目的

流動化による浸漬方法の検討として、バブリングによる浸漬を検討した。バブリングによる浸漬を採用した理由は、空気の比熱が小さいことよりスラリーアイスに与える熱的影響が少ないこと、生鮮食品への傷への影響が少ないためである。今回の実験は、バブリングによる浸漬を行い、浸漬に必要な時間とエア流量の関係を得ることで、装置開発を行うにあたり必要な要因を得ることを目的とした。

3.2 実験装置と実験手順

実験装置のフローを図6に示す。エアバルブの先で配管を2つに分岐した。図6には示されていないが、それぞれの配管の先に直径4mmの空気孔を6箇所空けたアルミパイプを取り付け、それをタンクの底面を3分割するようにタンク底面へ設置した。この空気孔を通りコンプレッサから送り込まれるエアが噴出される。実験手順は、まずタンク内に塩分濃度1wt%のNaCl水溶液を用い50lのスラリーアイスを生じた。スラリーアイスの攪拌を行った後に浸漬対象物を8個設置スラリーアイス上に設置した。次に、バルブを開放し、バブリングを行った。コンプレッサから出た圧縮空気の圧力と流量の値は圧力スイッチとデジタルフロースイッチで読み取った。バブリングの様子は動画で撮影し、8個の浸漬対象物がそれぞれ完全にスラリーアイス内に浸漬するまでに必要とした時間を計測し、その時間の平均値をエア流量ご

とに測定した。これをIPF=15wt%, 20wt%, 25wt%, 30wt%で行った。

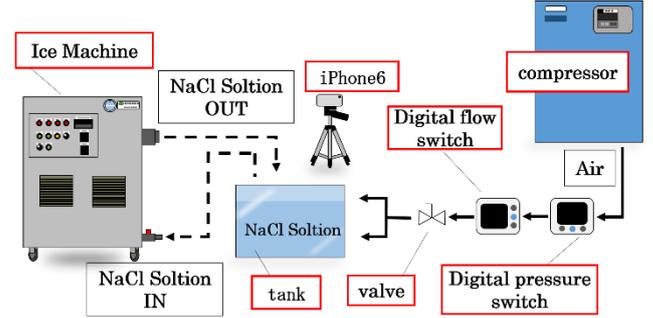


Fig.6 Experimental system overview

3.3 結果と考察

実験結果を図7に示す。IPF=15wt%が40L/min以上、IPF=20wt%が55L/min以上、IPF=25wt%が105L/min以上、IPF=30wt%が125L/min以上の流量になると浸漬に必要な時間に差異がなくなることが分かった。実験中の目視の観察より、浸漬対象物は噴出されたエアによって一時的にスラリーアイス上から押し上げられ、その後の重力の影響を受け浸漬していた。一度完全に浸漬した浸漬対象物は、バブリング継続中はスラリーアイス内で回転しながら上下運動を行い、タンク内を移動していた。

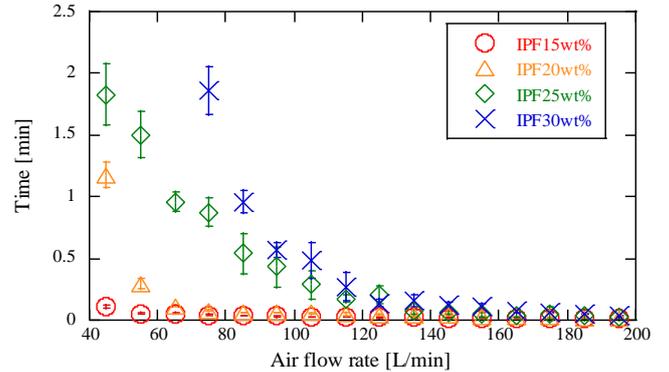


Fig.7 Air flow rate and immersion distance

浸漬を確実にを行うには、対象物を押し上げるエア流量でのバブリングを行うことが必要だといえる。従って、対象物の自重やスラリーアイスに接する表面積別に同様の計測を行い、それぞれで最低限必要なエア流量を知ることが重要である。また、浸漬対象物は完全浸漬した後、スラリーアイス内で回転、上下運動をしながらタンク内を移動したことより、バブリングによりスラリーアイスの流動化がおきたとわかり、対象物の浸漬だけでなく、スラリーアイスの攪拌にも応用できると予想される。

4. 結言

本研究により、静止状態のスラリーアイスに浸漬する特性を把握でき、バブリングを行うことでスラリーアイスの流動化が起こり浸漬が促されることが分かった。今後は、浸漬対象物の自重やスラリーアイスに接する表面積別に計測を行い、最低限必要なエア流量を検討することと、他の浸漬方法の検討することが必要である。

文献

- (1) 遠藤金次 食品の旨み劣化とその保持
- (2) 日本海事検定協会 鹿児島大学水産学部 水産物の国際基準となる品質・鮮度指標に関する調査研究報告書