

卒業論文要旨

攪拌によるスラリーアイス内氷粒子分布の実験的検証

システム工学群

ものづくり先端技術研究室

1220147 前田 真也

1. 結論

スラリーアイスは、約 0.1mm の微細な氷粒子と NaCl 水溶液が混在した懸濁液で、主に生鮮魚介類の鮮度保持に用いられている⁽¹⁾。スラリーアイスの温度は、塩分濃度と氷充填率(以下、*IPF* : *Ice Packing Factor*)で決定される。それゆえに、凍結温度の異なる多種多様な魚介類に対して、スラリーアイスの温度を調整することができるため、魚介類を凍結する直前の温度で冷蔵保存できる。スラリーアイスの *IPF* が高いほど魚介類の長時間の鮮度保持が可能であり、生鮮魚介類の長距離輸送が望めるため、 $IPF \geq 30\text{wt}\%$ のスラリーアイス(以下、高 *IPF* スラリーアイス)の需要が高まっている。そこで、本研究では、高 *IPF* スラリーアスを安定的に供給できる生成装置の確立を目指して取り組んでいる。製氷機は二重円筒構造となっており、円筒間に冷媒を流入させることで、貯蔵タンクから円筒内に送液された水溶液が円筒内壁の伝熱面で冷却される。そして、伝熱面に形成された氷膜が回転している掻き取り刃の先端と接触することにより水溶液中に氷粒子が浮遊する。製氷機内で水溶液と氷粒子が混在したスラリーアイスは、シャフトに設置されたスクリューの回転によって上昇流を発生させ、製氷機の上部から貯蔵タンクに移送される。貯蔵タンクから、製氷機へ水溶液のみを再び送液する。この循環を繰り返すことで、貯蔵タンク内のスラリーアイスの *IPF* を高めていき、目標の濃度になると運転を停止する。現在の生成装置は高 *IPF* スラリーアスを生成すると製氷機内で閉塞の頻度が高くなる。この原因は、製氷機内で氷粒子が均一に攪拌混合されず密集している領域が生じているからだと考えられる。そこで、本研究では高 *IPF* スラリーアイスが生成可能な装置の内部構造を確立するため、スラリーアイスの攪拌による氷粒子分布を明らかにすることを目的として実験を行った。

2. 翼位置下部におけるスラリーアイスの *IPF* 測定

2.1 目的

図 1 に示したスラリーアイス生成装置で閉塞の頻度が高くなる高 *IPF* スラリーアイスの攪拌による氷粒子分布を明らかにすることを目的とした。

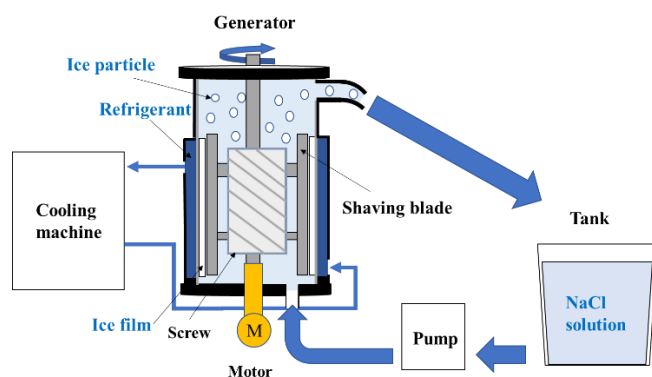


Fig.1 Making device of slurry ice

2.2 実験方法及び実験条件

スラリーアスを生成した際、製氷中の *IPF* は常に変化する非定常状態である。そのため、本研究では、図 2 に示すように *IPF* が定常状態となる実験装置で攪拌の影響のみに着目して実験を行った。円筒容器内を高 *IPF* スラリーアイスで充填し、導電率セルに電圧を印加した。プロペラ翼を回転させ、円筒容器内のスラリーアスを 30 秒間攪拌後に 30 秒間の停止、この操作を 3 回繰り返す。得られた電流・電圧値から各セル設置位置の導電率を計測した。さらに、氷粒子が完全に融解した後、30 秒間攪拌を行い、攪拌直後の電流・電圧値から導電率を計測した。得られた 2 つの導電率から *IPF* を算出した。この方法にて 3 回実験を行い、円筒容器内に充填したスラリーアイスのサンプリング *IPF* は 30, 30, 32wt% の 3 条件とした。プロペラ翼の設置位置は円筒容器の底面から 23mm とし、回転数 800rpm で時計回りに回転させ攪拌混合を行った。

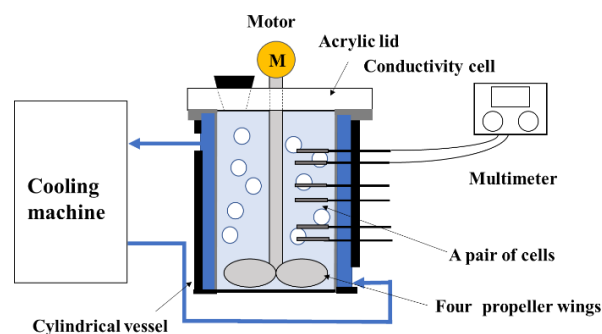


Fig2. Experimental device

2.3 実験結果

サンプリング *IPF* における円筒容器の底面を基準としたセルの設置高さでセル *IPF* の関係を図 3 に示す。いずれのサンプリング *IPF* においても、円筒容器内の下部と上部に氷粒子が多く分布する傾向が得られた。

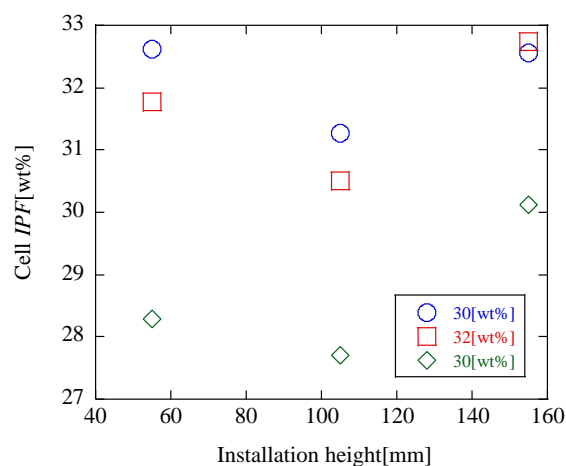


Fig.3 Relationship between cell *IPF* and installation height in wing position is bottom

2.4 考察

プロペラ翼の攪拌による流れは、上下循環流と旋回流の2つある⁽²⁾。円筒下部のプロペラ翼周りでは、2つの流れが円筒内の全域で最も大きい。上下循環流より旋回流が支配的だと考えられる。そのため、プロペラ翼周りを旋回している氷粒子が多く存在し、円筒下部のIPFが高くなったと考えられる。円筒上部では、2つの流れが円筒内の全域で最も小さくスラリーアイスが静止状態になることで浮力により氷粒子が浮遊し、IPFが高くなったと考えられる。

3. 翼位置上部におけるスラリーアイスのIPF測定

3.1 目的

前章の考察はあくまで予想であり、円筒内下部でのIPF上昇が旋回流によるものかは分かっていない。そこで、翼位置を変更することで、円筒内の上部に氷粒子が多く分布するかを実験的に調査することを目的とした。

3.2 実験方法及び実験条件

実験方法は前章と同様である。翼の位置は、円筒容器の底面から130mmの位置とした。円筒容器内に充填したスラリーアイスのサンプリングIPFは30、31wt%の2条件とし、プロペラ翼を回転数800rpmで時計回りに回転させ攪拌混合を行い、計測した導電率からセルIPFを算出した。

3.3 実験結果

サンプリングIPFにおける円筒容器の底面を基準としたセル設置高さとのIPFの関係を図4に示す。円筒容器下部から上部に向かってIPFが減少する傾向が得られた。

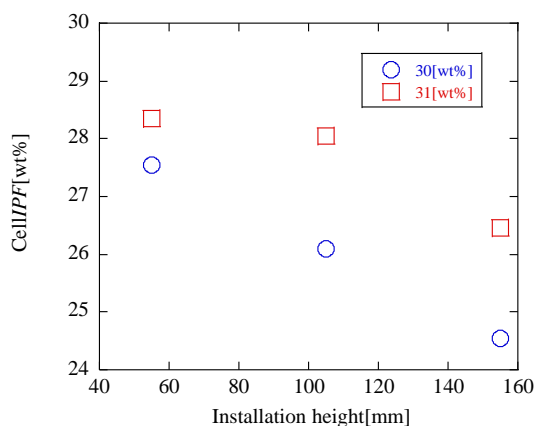


Fig.4 Relationship between cell IPF and installation height in wing position is middle

3.3 考察

円筒容器内上部のIPFが翼位置下での結果と比べ減少したことより、翼位置と円筒容器内上部の距離が縮まったことで円筒容器内上部の上下循環流の影響が浮力より大きくなったと考えられる。円筒容器内下部のIPFはセルの設置点3カ所のうち最も高く、翼位置が下での結果と同様であったため、プロペラ翼周りに氷粒子が多く分布したという考えとは別に要因がある。この要因として、プロペラ翼が起す上下循環流のうち下向きの流れである吐出流により下部に氷粒子が多く分布したと考えられる。なぜなら、円筒容器内が静止状態のとき、氷粒子は密度差による浮力の影響で上部に多く

分布するが、本実験の結果では、円筒容器内下部のIPFが高く上部にいくにつれIPFは減少していたため、攪拌において上昇流より下降流の影響が大きく、氷粒子が下部に多く分布していると考えたからである。そこで、現在吐出流を下向きに作用させているが、上向きに作用させると下部に多く分布していた氷粒子が上部に送られ、円筒容器内で均一な攪拌混合ができるのではないかと考えられるため、今後はプロペラ翼を反対に回転し吐出流を上向きに作用させて、そのときの円筒容器内の氷粒子分布を明らかにする。

4. 結論

本研究では、高IPFスラリーアイスを生産できる装置の内部構造を確立するための基礎データとして、高さ方向の氷粒子分布が把握可能な実験装置を使用して、実験的検証を行った。翼位置を円筒容器の下部に設置して高IPFスラリーアイスの氷粒子分布の確認を行った。その結果、下部と上部に氷粒子が多く分布していた。スラリーアイス均一に攪拌混合することが閉塞を防止するため、この原因を明らかにする必要がある。まず、円筒容器内上部に氷粒子が多く分布したのは、翼位置と円筒容器内上部の距離が離れていたことで、円筒容器内上部の上下循環流の影響が浮力より小さかったからだと考えられる。これは翼の位置を変更して同様の実験を行ったとき、円筒容器内上部の氷粒子が減少していたことより実証された。次に、円筒容器内下部に氷粒子が多く分布したのは、プロペラ翼の旋回流の影響で翼位置周辺に氷粒子が多く分布したと仮定した。これについても翼の位置を変更して同様の実験を行ったときの氷粒子分布の変化から検証可能だと考え、実験的に調べた。結果は、翼位置の変更に問わず円筒容器内下部に多く分布していたため旋回流の影響はないといえる。

参考文献

- (1) 日本冷凍空調学会, “氷スラリーによる冷蔵・冷却のための手引書” 2013.4.1~2016.3.31, pp.6-11.
- (2) 青木株式会社 “攪拌翼講座” <http://www.aoki-kk.co.jp> [閲覧日: 31 1 2022]