Study on the Structure of High IPF Stable Generation Method in Slurry Ice Generator

知能機械工学コース

ものづくり先端技術研究室 1265017 前田 真也

1. 緒論

海水の温度上昇や少子高齢化,過疎化などを背景に,水産 業は長年厳しい状況が続いている.この状況を打破すべく国 は「浜の活力再生プラン」を推進し、生鮮魚介類の品質向上 面において,スラリーアイスが注目されている⁽¹⁾.

スラリーアイスは約 0.1mm の微細な氷粒子と塩化ナト リウム水溶液が混在した懸濁液であり(2)、氷粒子の含有率と 塩分濃度より温度が決定され, 生鮮魚介類の凍結温度直前で の保存が可能である.また、スラリーアイスは高い温度維持 機能を有し、多少の熱の出入りがあってもスラリーアイス中 に氷粒子が存在する限り温度は変化しない(2). そのため、ス ラリーアイス中の氷粒子の含有率を高めることが生鮮魚介 類の長時間の鮮度保持に繋がり,長距離輸送するときなどに 重要となる.したがって、より高い氷含有率のスラリーアイ スを生成できる製氷機が次世代の装置として期待されてい る.本研究では、高い氷含有率のスラリーアイスを安定的に 生成し続ける装置の開発を目的としている. 氷含有率は均-球の基本配列である単純立方格子の充填率に近い 50%を目 標に設定する.

1段撹拌翼による製氷実験

2.1 目的

本研究で使用する製氷機は現状, IPF ≈45wt%で閉塞が発 生してしまうことを確認している.また,閉塞の原因として 製氷機内氷送り出し部に撹拌機能がないことが挙げられる. そこで、氷送り出し部に撹拌翼を設置することで閉塞の抑制 を行うこととした.

2.2 実験方法及び実験条件

実験フローを図1に示す.ダイレクト製氷方式に基づいた 実験装置は,製氷機,冷凍機,モーター(三菱電機,GM-SPF 1.5kW 1/3), ポンプ(TACMINA, BPL-1-VTCF-MWS), 予冷タンクで構成されている.



Fig.1 Expermental equipment

まず、5℃まで冷却した予冷タンク内の塩水をポンプによ って、製氷機内に送液した.製氷機内を塩水で満たし、ポ ンプを停止後、モーター、冷凍機を稼働させ、製氷、撹拌 を行った.モーターの回転数はインバーターによって, 500min⁻¹に設定した. 製氷機内壁面に氷膜が形成される と、掻き取り刃によって切削を開始する.そして1分経過 後、ポンプによって予冷タンク内から製氷機に塩水を一定 流量で連続的に送液した. 流入流量はポンプに接続したイ ンバーターによって, 0.4L/min に設定した. 製氷機から生 成されたスラリーアイスを5分間隔でサンプリングした. スラリーアイスはろ紙(大王製紙,プロワイプ SS220)を用い て固液分離し、塩分濃度計(ATAGO, PAL-SALT)で塩分濃 度を計測しIPFを算出した.図2に示すようにパドル翼を製 氷機内氷送り出し部に設置し,羽根角度を変化させて実験 を行った.羽根角度は水平面から時計回りに30°,45°, 60°,90°の4通りである.



Fig.2 Installation status of paddle wing

2.3 実験結果

スラリーアイスのIPF変化を図3に示す.



Fig.3 Change in *IPF* for each blade angle

羽根角度 45° においてIPF=52wt%で目標IPFに到達し た.しかし、すべての羽根角度で製氷機内において製氷開 始50分頃閉塞が発生し、製氷を停止した. 2.4 考察

羽根角度 45°のみ目標IPFとしていたIPF ≥50wt%を達成 した.これは、氷送り出し部の羽根角度毎の流動状態に起 因すると考えられる.図4に羽根角度45°と羽根角度90° の氷送り出し部内における流動状態のイメージ図を示す. 羽根角度90°では旋回流のみを促進しているのに対して羽 根角度45°では旋回流に加えて上下循環流も促進してい る.他のパターンも含んだ4つの羽根角度の中で、45°の 旋回流と上下循環流のスラリーアイスに及ぼす影響の割合 が最適であったと考えられる.

Wall surface Shaft Ice sending area



Blade angle 90°

Blade angle 45°

Fig.4 Flow conditions in the ice sending area

2段撹拌翼による製氷実験 3.

3.1 目的

前章の製氷実験より撹拌翼の羽根角度を調整することで *IPF* ≥50wt%のスラリーアイスの生成に成功した.しかし, 50wt%に到達した直後,閉塞が発生しその後の製氷が不可能 となった.そこで、前章で用いたパドル翼の下部に新たな撹 拌翼を設置した2段撹拌翼に変更し, 撹拌力をさらに増大さ せて閉塞の発生を防ぐこととした.2段目に用いる撹拌翼は 前章と同様のパドル翼とした. 製氷機内の氷送り出し部にお ける閉塞の抑制を目的とし、最適な撹拌翼を発見するための 製氷実験を行うこととした.

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.図5に示すように2段撹拌 翼を製氷機内氷送り出し部に設置し,上下段翼の羽根角度を 変化させて実験を行った. 羽根角度は水平面から時計回りに 30°, 45°, 60°, 90°の4通りとし、上下段翼の組み合わ せは16通りである.



Fig.5 Installation status of the 2-stage agitation wing

3.3 実験結果

各組み合わせにおけるスラリーアイスのIPF変化を図 6~ 図9にそれぞれ示す. 測定時間は3時間とした. 16通り中9 通りの組み合わせが目標IPFであるIPF ≥50wt%を達成した. その中で,設定した時間まで製氷が行えた組み合わせは2通 りであった.残りの組み合わせは、最大IPF 到達後に製氷機 内で閉塞,もしくは最大IPF 到達後IPF が低下し,その後製氷 機内で閉塞という傾向を示した.また、上段翼ごとの製氷時 間が下段翼 60°のとき最長という傾向が得られた.



Fig.6 Change in *IPF* for the upper wing 30°



Fig.7 Change in *IPF* for the upper wing 45°







Fig.9 Change in *IPF* for the upper wing 90°

3.4 考察

1 段撹拌翼と2 段翼撹拌翼でのIPFの経時変化を比較する と、1 段撹拌翼では最大IPF到達直後すべての羽根角度で閉 塞が発生した.これに対して2段撹拌翼では16通り中5通 りで最大IPF到達後も製氷が行え、そのうちの2通りが設定 時間まで製氷を行えた.これは、2段撹拌翼に変更したこと による撹拌力の増大が考えられる.また、氷送り出し部内の シャフト部分への氷粒子密集の抑制が行われていたことも 閉塞抑制の要因であると考えられる.撹拌されているスラリ



Fig.10 Dence ice particles on the shaft

次に製氷機内で閉塞が発生した原因について着目する. 閉塞までのIPFの経時変化として2パターン確認された.1 つ目は最大IPFまで製氷後,IPFが低下することなく閉塞し ていた.2つ目は最大IPFまで製氷後,IPFが低下していき 閉塞していた.どちらも閉塞の原因として,IPF上昇により スラリーアイスの流速が低下し,氷粒子が製氷機内で凝集 し塊状となり排出されなくなったことが考えられる.しか し、2つ目のパターンに見られたIPF低下は冷凍機の冷凍サ イクルの過程に原因があると考えられる.図11に冷凍サイ クルを示す.冷凍機の冷凍サイクルはコンプレッサ,凝縮



Fig.11 Refrigeration cycle of cooling machine

器. 膨張弁. そして蒸発器で構成されており. 製氷機内の NaCl 水溶液を冷却している.冷凍サイクルにおける蒸発器 (以下,製氷機)を挟んだ膨張弁とコンプレッサの過程に目を 向ける. 膨張弁から製氷機内へ流入する冷媒の温度は感温 筒によって制御されている. 感温筒は製氷機内へ流入する 冷媒と流出する冷媒の温度差を基準に、コンプレッサ内へ 液状の冷媒を流入させないために用いられる. IPFの上昇に 伴い製氷機内の氷粒子を生成する製氷部では、製氷機内壁 面と水溶液の熱交換の面積が氷粒子の存在により低下す る. それにより感温筒が作動し, 膨張弁から製氷機内への 冷媒の流入流量を減少させ、液状の冷媒がすべて気体にな るように制御する.これにより、製氷量の減少からIPFが経 時的に低下してしまう. そして, 製氷機内へ流入する冷媒 と流出する冷媒の温度差が設定した数値以上になると、冷 媒の流入流量を増加させIPFが経時的に上昇する. この現象 は上段翼30°,下段翼60°の2段撹拌翼の結果に見られ た.よって、IPFの低下は冷媒の温度差制御を液流量のみで 行った機械的制御が原因と考えられ、IPF=50wt%のスラリ ーアイスの安定生成には冷凍サイクルの検討が必要とな る.

4. 結論

本研究では高IPFスラリーアイスを安定的に生成し続ける 装置の開発を目的とした.このため、製氷機内氷送り出し部 に撹拌機構を設置し撹拌力を増大することとした.製氷機内 氷送り出し部にパドル翼を設置したことで目標IPFのスラリ ーアイスを生成することができた.しかし、その直後製氷機 内で閉塞が発生した.さらなる撹拌力増大のために2段撹拌 翼での製氷実験を行うこととした.2段撹拌翼に変更したこ とで閉塞を発生させず設定時間まで製氷できた組み合わせ が2通りである.しかし、目標IPF以上での安定した製氷は 行えなかった.その原因として冷凍機の冷凍サイクルに着目 し、機械的制御によりIPFが低下したと考えられた.今後は、 スラリーアイス安定生成のために冷凍サイクルの検討が必 要である.また、本研究では撹拌力の増大による閉塞発生 の抑制を行ったが、製氷機氷送り出し部のスラリーアイス吐 出口の径を変更するなどの設計構造の検討も必要である.

参考文献

- 水産庁. "(2)漁業経営の動向". を加工して作成 https://www.jfa.maff.go.jp/j/kikaku/wpaper/r03_h/trend/1/t1_ 2_2.html. (参照 2023-12-5).
- (2) 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.
- (3) 熊野寛之,浅岡龍徳 アイススラリーの流動と熱伝達特性
 性 日本冷凍空調学会論文集 Trans. of the JSRAE Vol.33, No.4(2016), p.297
- (4) 末吉圭太. "スラリーアイスの攪拌における氷粒子挙動 計算"2022-3-3. p.25.