

遠心分離機が及ぼす氷粒子融解の定量化と抑制の実験的検証

Experimental Verification on the Quantification and Suppression of Ice Particle Melting Induced by a Centrifugal Separator

知能機械工学コース

ものづくり先端技術研究室 谷本 琉之佑

1. 緒言

我々の研究グループは、液状食品を対象として、スラリーアイス生成技術を用いた凍結濃縮システムの研究開発に取り組んでいる。凍結濃縮法とは、水溶液を冷却して溶媒である水を氷に相変化させ、氷と濃縮液に分離することにより濃縮を行う方法である。本方法は低温での操作であるため、芳香成分や低沸点成分を保持できる。さらに、濃縮前後における成分プロファイルの変化がほとんど生じないため⁽¹⁾、高品質な濃縮液を得ることができる濃縮法である。我々の研究グループでは、非平衡懸濁結晶法の凍結濃縮システムを採用し、氷粒子と濃縮液の分離過程に既存の遠心分離機を用いている。しかし、既存の遠心分離機は熱的影響について考慮されていないため、凍結濃縮操作時に氷粒子が融解する。これにより、遠心分離機にて濃縮液の濃度が低下し、凍結濃縮に要する時間に悪影響を及ぼすという課題がある。そこで、本研究では遠心分離機の熱の抑制について検討した。

2. 既存の遠心分離機が及ぼす氷粒子融解の定量化

2.1 遠心分離機の概要

本実験で用いた遠心分離機(岩月機械製作所製, OKS-18)の断面構造を図1に示す。本機は下部に駆動用モータが配置されており、シャフトを介して上部のバスケットを回転させる方式である。バスケットの回転数は、10~1260rpmの範囲において任意に設定可能である。また、バスケットのスケールは内径450mm、内壁の高さ250mmである。

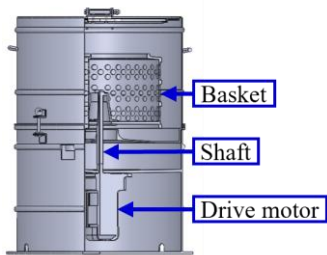


Fig. 1 Cross-sectional view of the centrifuge

2.2 実験方法

遠心分離機を用いない凍結濃縮システムを図2に示すように作製し、遠心分離機を用いる場合には製氷機とタンクの間を設置して実験を行った。本実験は15°Cに保った恒温室内にて、表1に示す実験条件下で実施した。製氷機から供給される水溶液の温度が0°Cになった時間を実験開始とし、水溶液の塩分濃度を計測するためにタンク内の水溶液を10分毎に採取した。採取した試料については、デジタル屈折計(ATAGO製, RX-5000i-Plus)を用いて屈折率を計測した。その後、屈折率と塩分濃度の関係式⁽²⁾より塩分濃度を算出し、IPFを求めた⁽³⁾。

Table 1 Experimental conditions

Solvent	Pure water
Volume of solvent [L]	40
Solute	NaCl
Initial concentration [wt%]	3
Relative centrifugal force [G]	2.52, 10.1, 22.6, 40.2, 62.9
Ambient temperature [°C]	15
Data acquisition time [min]	120
Sampling period [min]	10

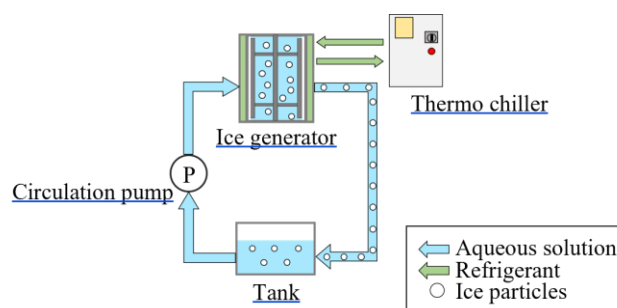


Fig. 2 Experimental flow without centrifugation

2.3 実験結果

データ取得120分間におけるIPFの経時変化は、図3に示すように遠心分離機を用いない場合が最も高い値で推移した。また、遠心分離機の相対遠心加速度の増加に伴い、IPFの勾配は減少する傾向を示した。しかし、22.6G以上では傾向の差異は見られなかった。

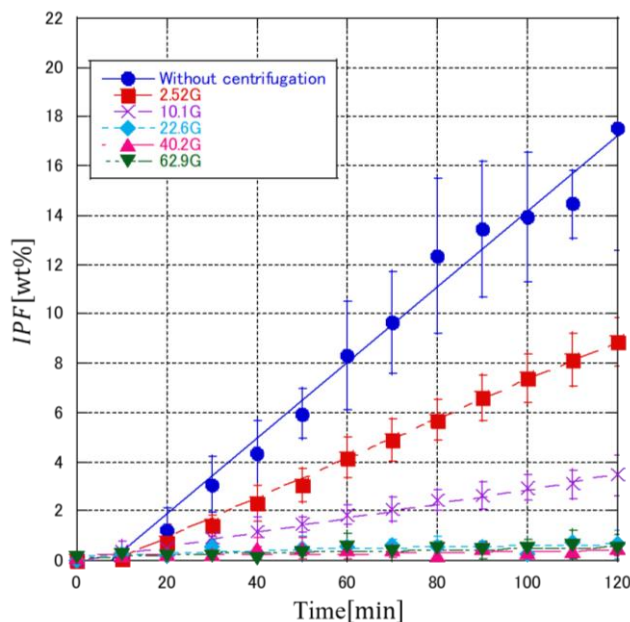


Fig. 3 Time course of IPF in a conventional centrifuge

3. 遠心分離機の侵入熱を考慮した氷粒子融解抑制対策の効果の検証

3.1 実験手順

侵入熱の抑制対策として、遠心分離機の接液部に厚さ20mmの断熱材(AEROFLEX製, エアロフレックスシート)を取り付けた状態で実験を行った。本実験は雰囲気温度15°Cおよび25°Cの条件において、2.2と同様の手順で実施した。なお、10.1G, 22.6Gでは遠心分離機に共振が発生し、計測が困難であったため、実験条件から除外した。

3.2 実験結果

接液部に断熱材を取り付けたことにより、図4に示すように雰囲気温度15°CにおいてIPFは上昇した。本結果から、外部からの侵入熱が氷粒子融解の一因であることが確認された。一方、25°Cでは40.2G, 62.9GにおいてIPFの変化はほとんど見られなかった。

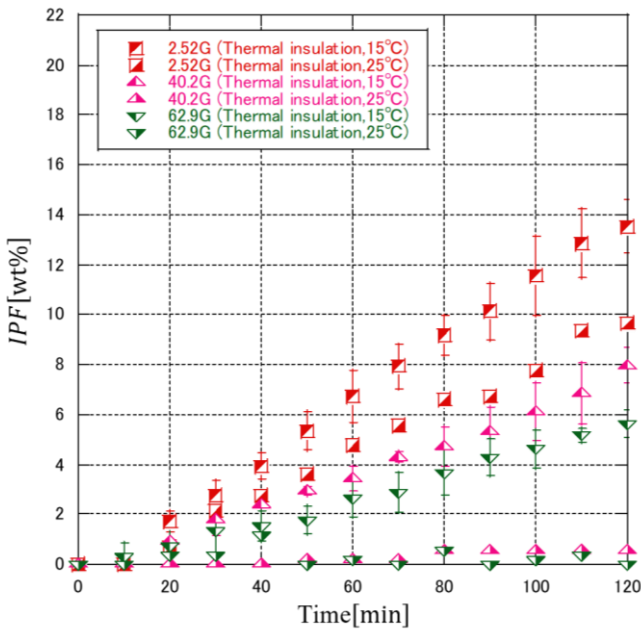


Fig. 4 Time course of IPF in an insulated centrifuge

4. 遠心分離機内部に構造物の設置による侵入熱の抑制

4.1 内部構造物の概要

熱伝導率0.23W/(m・K)のポリカーボネート板(コクゴ製, ポリカーボネートシート)を, 接着剤(アクリルサンデー製, アクリルサンデー接着剤)を用いて円筒状に接合した。ポリカーボネート円筒のスケールは, 内半径 $1810/2\pi$ mm, 高さ468mm, 厚さ1.0mmとした。

4.2 実験手順

既存の遠心分離機の内部にポリカーボネート円筒を設置した状態で, 雰囲気温度25°Cおよび相対遠心加速度40.2Gにおいて2.2と同様の手順で実験を行った。このとき, 遠心分離機内壁面との間に約23mmの空気層が形成された。この空気層を, 独立気泡構造を有する断熱材, ならびに連続気泡構造を有するウレタンスポンジ(東洋クオリティワン製, ウレタンフォーム 2012-BK)を用いて充填した条件についても実験を行った。さらに, 側面における侵入熱の抑制効果を比較するため, 側面外壁に厚さ20mmおよび45mmの断熱材を取り付けた状態において実験を行った。

4.3 実験結果

ポリカーボネート円筒を遠心分離機内部に設置することにより, 図5に示すように側面外壁に厚さ20mmの断熱材を取り付けた場合と同程度の氷粒子融解の抑制効果が得られた。また, 空気層を充填することによりIPFはさらに上昇し, その変化量はウレタンスポンジでの充填の方が大きい。

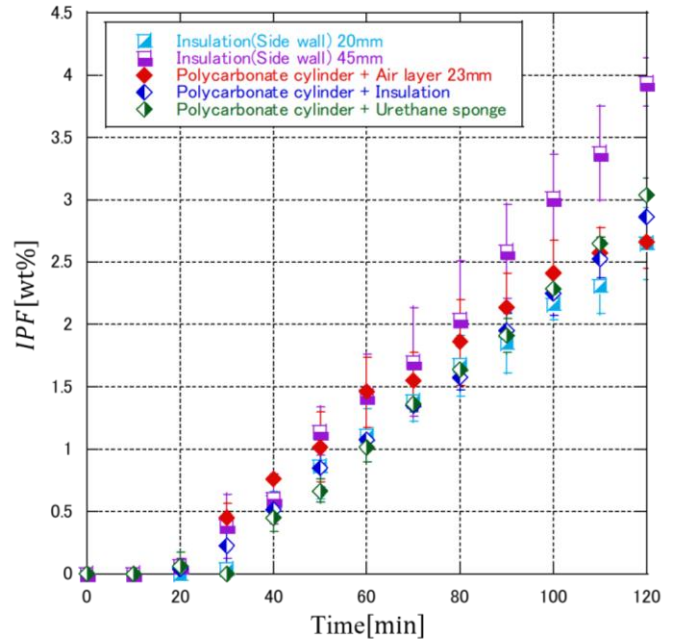


Fig. 5 Time course of IPF under each condition

4.4 考察

実験結果より, ポリカーボネート円筒外壁と遠心分離機内壁の表面温度差により, 空気層において対流を伴う熱移動が発生したと考えられる。また, 断熱材を用いて空気層を充填した場合, 遠心分離機内の空気がウレタンスポンジで充填した状態と比較して低温に保たれることにより, 側面以外の接液部における侵入熱が増加したと考えられる。

5. 結論

本研究では遠心分離機における熱の抑制について検討を行った。接液部に断熱材を取り付けた実験から, 侵入熱が氷粒子融解の一因であることを定量的に確認した。その抑制方法として, 遠心分離機内部にポリカーボネート円筒を設置した。その結果, 側面外壁に厚さ20mmの断熱材を取り付けた場合と同程度の氷粒子融解の抑制効果が得られた。さらに, ポリカーボネート円筒の設置により形成される空気層を充填することで, IPFはさらに上昇した。また, 異なる構造を有する材料について氷粒子融解の抑制効果を比較した結果, ウレタンスポンジの方がより高い抑制効果を示した。以上のことから, 装置内部における防熱対策により, 側面の侵入熱の抑制効果が得られることを明らかにした。

参考文献

- 鍋屋浩志, 宮脇長人: “濃縮・脱水”, 食品製造に役立つ食品工学事典. 日本食品工学会. 恒星社厚生閣, 東京, 92-104, 2020.
- 塩見理乃: スクロースとNaClの2成分水溶液における氷膜熱伝導率の評価. 高知工科大学システム工学群知能機械工学専攻卒業論文, 2023.
- 高野礼: 導電率を利用した氷充填率のリアルタイム測定方法の研究評価. 高知工科大学大学院修士論文, 2019.