

1. 緒言

果汁や出汁などの液状食品メーカーは、品質を変化また損失することなく濃縮液を生産する技術の研究開発を進めており、その研究の一つに凍結濃縮法がある。本方法は液状食品を冷却することで液中の水分を凝固させ、これを分離し濃縮する技術である。特徴として低温、常圧という環境下での濃縮操作となり、他の濃縮法に比べ溶質の劣化や揮発芳香成分の散逸を抑制できるため、液状食品の濃縮には最適である¹⁾。

しかし、これまでの凍結濃縮装置は大型で操作が複雑なため高コストといわれている。また連続運転を基本とした装置の構成であることから、日本国内のように四季を有する地域では、果実等の収穫される期間が短く、装置を使用する液状食品に限られていた。そこで、本研究では、装置の簡易化及び小型化を図ることで、多品種の液状食品に対応できる凍結濃縮システムの構築を目標としている。本稿では、懸濁結晶法による凍結濃縮システムの製氷部の効率的な構造を検討するため、伝熱面に形成される氷膜の厚さが製氷効率に及ぼす影響を調べたので報告する。

2. 実験装置および方法

本研究で用いた製氷部の断面を図1に示す。氷膜の厚さの調整は、伝熱面と掻き取り刃の刃先の隙間(以下、クリアランス)を変化させて行い、クリアランスが

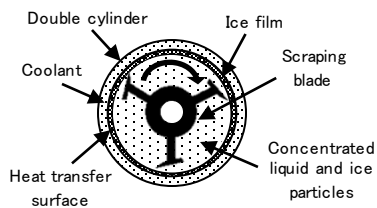


図1 製氷部断面

0.3mm, 0.5mm, 0.75mm, 1.0mm, 1.5mm になるよう5種類の掻き取り刃を製作し、実験を行った。

実験では、スクロース水溶液 40kg を製氷部とタンク間にて 15L/min で循環させ、このとき-20~-10°Cの冷媒にてスクロース水溶液を冷却した。スクロース水溶液が凝固点まで達すると製氷部の伝熱面に氷膜が形成され、それを 200min⁻¹ で回転する掻き取り刃にて切削することで氷粒子を生成した。スクロース水溶液の循環管路内には糖度計を設置しており、濃度が 1.3 倍になるまで濃縮した。製氷部にて水溶液から熱を受け取り蒸発した冷媒は圧縮機、凝縮器、膨張弁を経て、再び液体状態に戻り、製氷部に送られる。この冷媒の循環管路内の各機器間に温度センサーと圧力センサーを設置し、その値から冷媒の比エンタルピーを求め、冷凍能力 Φ_0 (kW)、成績係数 COP を算出した。

$$\Phi_0 = q_{mr}(h_1 - h_4) \quad \dots (1)$$

$$COP = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} \quad \dots (2)$$

ここで、 q_{mr} : 冷媒循環流量[kg/s], h_1 : 製氷部出口の冷媒の比エンタルピー[kJ/kg], h_2 : 圧縮後の冷媒の比エンタルピー[kJ/kg], h_4 : 製氷部入口の冷媒の比エンタルピー[kJ/kg]である。

3. 実験結果および考察

図2にクリアランスと冷凍能力の関係を示す。スクロース水溶液 5°Brix、10°Brix、20°Brix のいずれの場合においてもクリアランスが大きくなるに従い、ほぼ線形的に冷凍能力は低下し、数百 μm という氷膜厚さの変化に対して相関があることが明らかとなった。また、スクロース水溶液の濃度が上昇するに従い冷凍能力が低下する傾向を示した。この傾向については、スクロース水溶液の濃度が上昇すると形成される氷膜の性状が変化するためであると考え、冷媒とスクロース水溶液との伝熱量 Φ (kW)の関係式

$$\Phi = K \cdot A \cdot \Delta t \quad \dots (3)$$

を用い、スクロース水溶液の濃度における熱通過率とクリアランスの関係性を調べた。ここで、 K : 熱通過率[kW/(m²·K)]、 A : 伝熱面積[m²]、 Δt : 2流体間の温度差[K]である。その結果、図3に示すように各クリアランスにおいて、スクロース水溶液の濃度が高いほど熱通過率が小さくなり、クリアランスが大きくなるとともにその差が小さくなる傾向が得られた。氷の熱伝導率は 2.2 W/(m·K)、水の熱伝導率は 0.58 W/(m·K)であることを鑑みると、濃度が高いスクロース水溶液で製氷を行うほど、形成される氷膜には液体の含有量がより高くなると推測できる。また、図4の冷凍サイクルの効率を示す成績係数では、いずれにおいても1.5となり、クリアランスとスクロース水溶液濃度が冷凍機の効率性に影響しないことを確認した。

以上の結果から、懸濁結晶法にて氷膜厚さを数百 μm のオーダーで薄くし製氷することは、製氷部の効率的な構造を検討するための重要な要素であることを確認した。

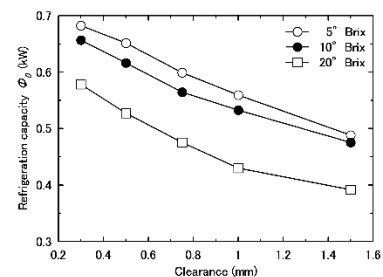


図2 クリアランスと冷凍能力の関係

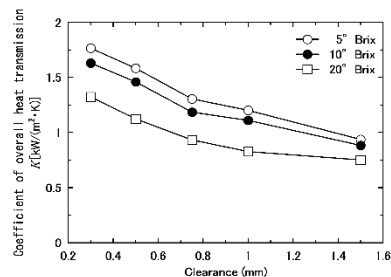


図3 クリアランスと熱通過率の関係

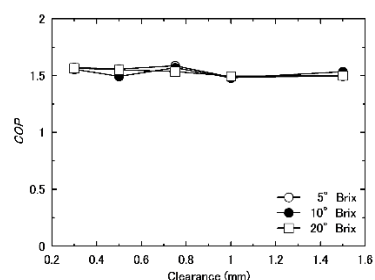


図4 クリアランスと成績係数の関係

参考文献

1)日本食品工学会誌, 第59巻 第10号 p.28 (2012)