

と仮定すれば式(4)の解は,

$$y = Ce^{\frac{h}{T}x} \quad (6)$$

C : 積分定数

である。被掻き取り氷膜厚さ y が掻き取りトルクと比例関係であると考えれば、式(6)より掻き取りトルクは時間とともに指数関数的に増加するといえる。

実験結果においても掻き取りトルクの上昇は指数関数的であることが確認されたため、このモデルの有効性が示された。再付着氷粒子を減少させる手法があれば、掻き取りトルクの増加を抑制することが可能であると考えられる。

5.2 掻き取りトルクの急激な減少

掻き取りトルクの急激な減少は被掻き取り氷膜厚さの増加が原因の掻き取りトルクの増加による氷膜の剥離であると考えられる。

0.5wt%の製氷実験にて、表面粗さが大きくなるに従い氷膜剥離トルクは大きくなったことから、表面粗さによる氷膜剥離抑制効果が実証された。しかし0.75wt%, 1.0wt%製氷実験では効果が認められなかった。その原因として考えられるのが、氷膜の剥離形態の違いである。氷膜の剥離は、クリアランス間氷膜内の凝集破壊と氷膜と伝熱面界面の剥離による界面破壊がある。塩分濃度が0.5wt%以下のスラリーアイス生成においては界面破壊が支配的であったために伝熱面表面粗さによる剥離発生トルクの増大が発生したと考えられる。0.75wt%以上では凝集破壊が支配的であったため、伝熱面表面粗さの影響は小さかったと考えられる。

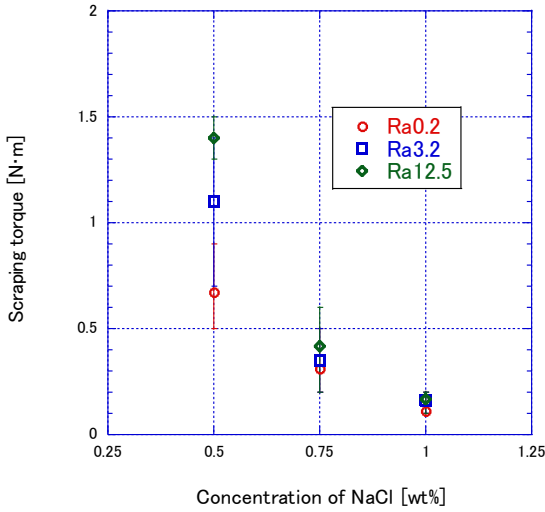


Fig.3 Relationship between salinity and ice film separation torque

5. 考察

5.1 掻き取りトルクの上昇

掻き取りトルクの上昇は、被掻き取り氷膜厚さの成長速度によって発生すると考え、図4の被掻き取り氷膜厚さの増加モデルを考案した。実際の氷膜は曲面上で発生しているが、簡易的に平面上、奥行きは単位長さのモデルで考えた。掻き取り刃が被掻き取り氷膜厚さ y [m]の氷膜上を微小距離 dx [m]進むと、発生する氷粒子群の体積 V [m³]は、

$$V = ydx \quad (1)$$

となる。

発生氷粒子群体積の一部は氷膜から離脱し、水溶液と懸濁することでスラリーアイスとなる。残りは離脱せず氷膜の水溶液との界面に再付着する。再付着氷粒子群発生割合を h [-]とすると再付着氷粒子群体積 V_a [m³]は、

$$V_a = h y d x \quad (2)$$

と表せる。

再付着氷粒子群は氷膜に付着し、その厚さが被掻き取り氷膜厚さの増加量 dy [m]となる。再付着氷粒子群の長さを l とすると、再付着氷粒子群体積 V_a [m³]は、

$$V_a = l d y \quad (3)$$

となる。式(2), (3)から、

$$\begin{aligned} l d y &= h y d x \\ \frac{d y}{d x} &= \frac{h}{l} y \end{aligned} \quad (4)$$

となる。

$$\frac{h}{l} = \text{const.} \quad (5)$$

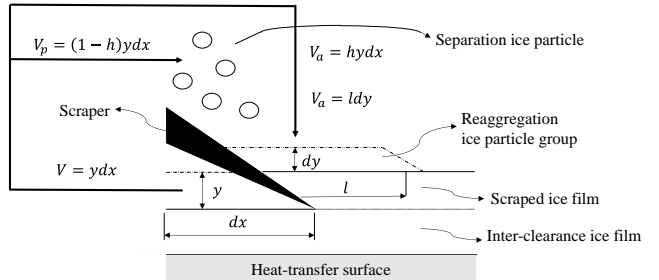


Fig.4 Increase of scraped ice film thickness

6. 結論

本研究では、伝熱面表面粗さが氷膜の剥離に及ぼす影響を実験的に調べた。氷膜の剥離形態が界面破壊支配の0.5wt%以下の製氷では、表面粗さの上昇による、剥離抑制効果があることを確認した。

また氷膜の剥離には掻き取りトルクの増加が関係しており、その原因は被掻き取り氷膜厚さの成長速度にある。氷膜安定形成の実現のためには、氷粒子の氷膜への再付着を抑制する手法を研究開発する必要がある。

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 (2016), p.5.