

A136 超音波集束装置を用いた除霜に関する研究

Study on Defrosting with Ultrasound Focusing Device

○井上 翔* (一関高専), 星 貴之** (東京大学)

○Sho INOUE*, Takayuki HOSHI**

*Department of Mechanical Engineering, National Institute of Technology, Ichinoseki College, Ichinoseki-shi, Iwate, 021-8511, Japan

** Faculty of Engineering, The University of Tokyo, Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo, 113-8656, Japan

When the surface temperature of a solid is below the solidification point of water, water vapor in air condenses on the solid surface to form the frost. This phenomenon is generally known as the frost formation, and is a transient phenomenon in which both heat transfer and mass transfer take place simultaneously. In engineering, the frost formation is a process associated with such consumer products as refrigerators and heat pumps. In this study, the effect of ultrasound focusing on frost layer.

Keywords: Defrost, Ultrasound, Mass transfer, Heat transfer

1. はじめに

着霜現象は、物体の表面温度が水の凝固点温度以下である物体表面において、空気中の水蒸気が凝縮、凝固、昇華を繰り返す現象である。この着霜現象は熱と物質が同時に移動する非定常現象である。この霜層が熱交換器の表面に成長すると、空気を多く含む霜層が熱抵抗層となり、熱交換量の低下、流動抵抗の増加、除霜運転の繰り返しによる機器の寿命の低下、快適性の低下などが問題になってくる。そこで、熱交換器の運転を停止させず、霜層を融解させずに除霜を行う方法として、機械的除霜方法を提案してきた。圧縮空気を利用して霜層を吹き飛ばす研究[1]も効果があることが知られている。しかし、この手法は圧縮空気源をジェットエンジンの圧縮機にすることによって圧縮空気を作り出すことができたが、圧縮空気源を持たない機器においては、この手法の活用が難しかった。

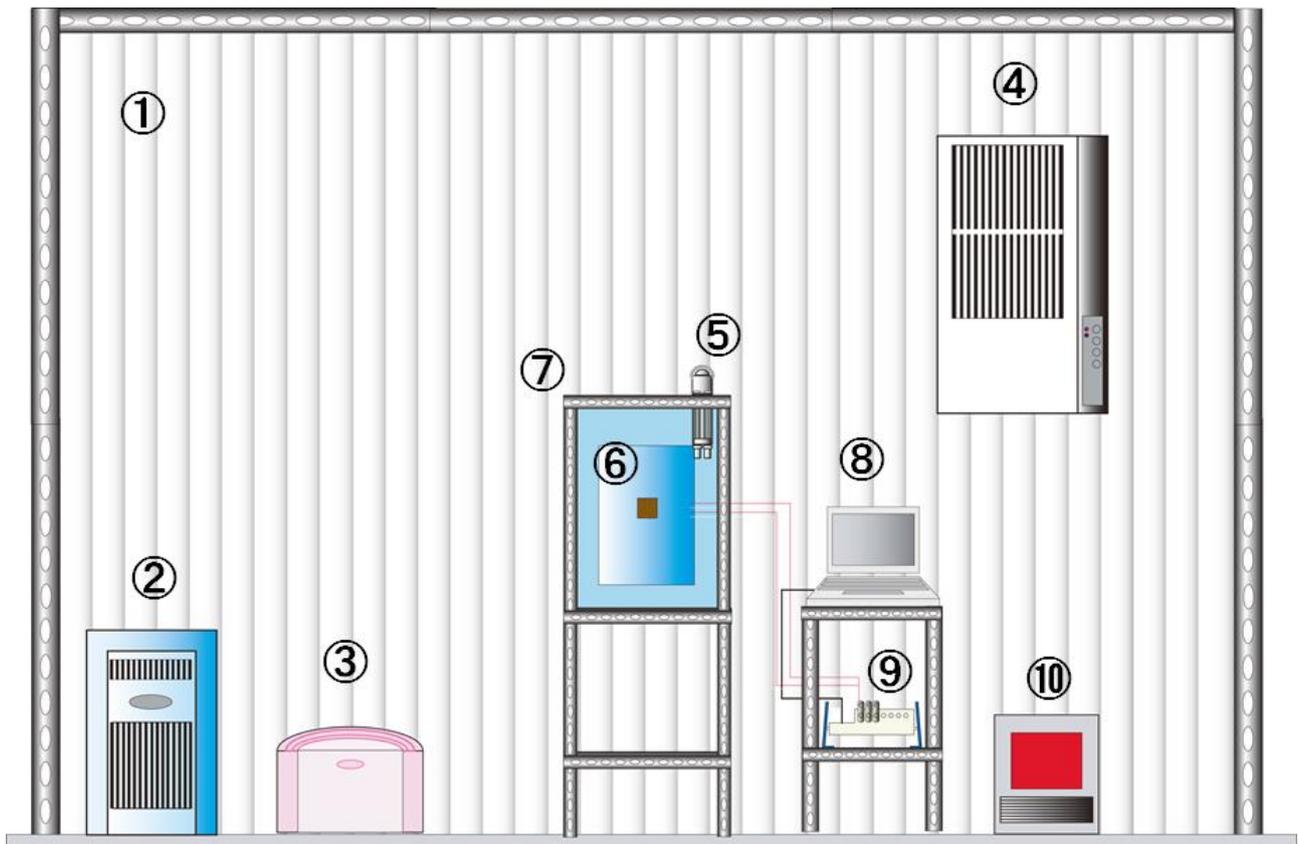
そこで、筆者らは集束超音波を利用した除霜方法に着目した。これまでも、超音波を利用した除霜は考案されており、足立ら[2]の研究は、熱交換器に直接超音波の振動子を取り付け、熱交換器自体を振動させることで、霜層の除霜を試みた。その結果、霜層の成長を抑制することはできたが、除霜するまでには至らなかった。その他にも各企業が超音波を利用した除霜に関する技術がある。しかし、これらのどの方法も冷却面や熱交換器の表面に振動子を取り付け、冷却面を振動させる手法を取っているため、振動により、ロウ付け部などの負担をかけることにつながる。さらに、冷却面などを介して霜層を振動させるため、霜層にうまく振動が伝わっていない。そこで本研究では、冷却面上に成長させた霜層に集束超音波を照射することにより、霜層の機械的除霜を行った結果を報告する。

2. 実験装置および方法

実験装置を図1に示す。実験小屋および実験小室内の空気の温・湿度を一定に保つための恒温恒湿システム装置、測定システム装置、観察システム装置および伝熱部によって形成した。実験小室内は空調機、加湿機、除湿機、ヒーターによって温・湿度を制御し、実験小室に設置したアスマン通風乾湿球湿度計によって温・湿度を測定した。冷却面は、無酸素銅製の厚さ2mmの板を用い、前縁から12.5, 25, 37.5mmの位置に深さ1mmの溝を掘り、その溝内部に熱電対を設置することで冷却面温度の測定を行った。冷却面の背面には液槽を設置し、液体窒素を用いて冷却を行った。

2.1 超音波集束装置

超音波とは、一般に20kHzを超える人間の耳に聞こえない高い周波数を持つ音波である。この超音波を、複数の超音波振動子から発振する際、位相制御によって一点で強め合うように制御された超音波が収束超音波であり、局在した強力超音波を自在に動かすことが出来る特徴を持っている。図2に示すように指定された周波数でONとOFFを繰り返して発生させ、それを集束させることで力を発生させている。集束させるためには、一つの振動子から超音波を発生させた場合、次の振動子はそれより遅れて超音波を発生させる。このように振動子から発生させる超音波に時間差を与えることで、物体に当たる時点で時間差を与えられた超



① 実験部屋 ② 除湿器 ③ 加湿器 ④ クーラー ⑤ アスマン温湿度計 ⑥ 冷却面
⑦ 実験小室 ⑧ コンピュータ ⑨ データロガー ⑩ヒーター

Fig.1 Experimental apparatus I

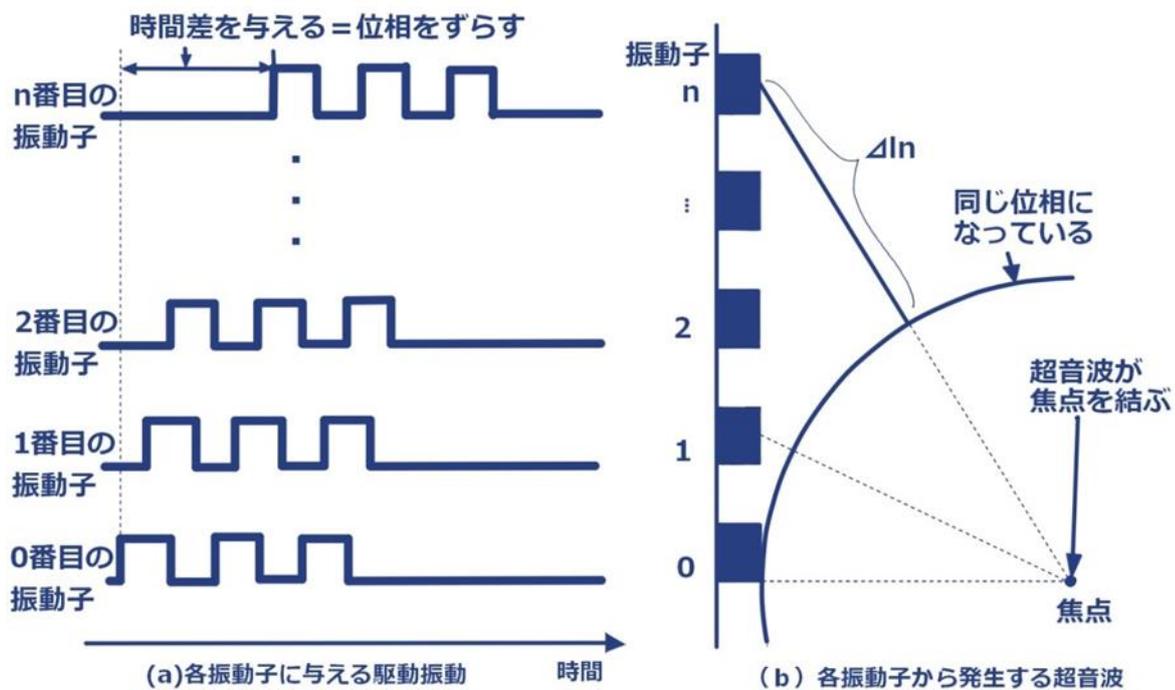
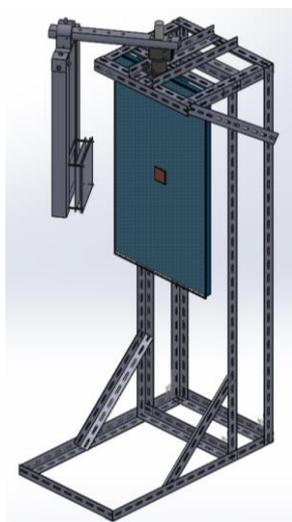
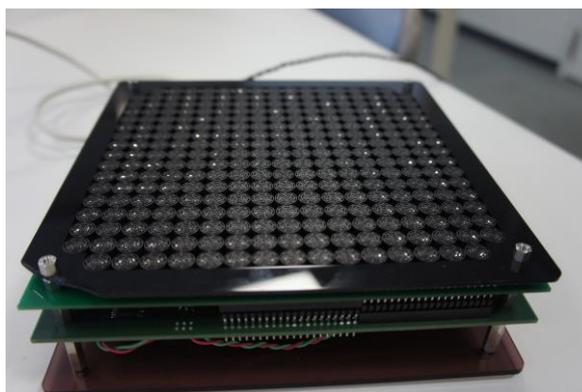


Fig. Principle of focused ultrasound[3]

音波は位相が同一になっている。本研究で用いた超音波集束装置の固定方法と超音波集束装置を図3に示す。本装置は、285個の振動子を設置し、PCの制御によって超音波を収束させている。また、焦点までの距離が各振動子から距離が異なるため、位相を変化させてやることで、焦点において集束するようにしてある。超音波集束装置は冷却面前縁から十分離れた冷却面中心の延長線上に超音波集束装置を吊すアームの回転中心を設けた。アームには50mmおきに穴をあけることで冷却面と超音波集束装置の距離を変えられるようにしてある。



Heat transfer unit



Ultrasound Focusing Device

Fig.3 Experimental apparatus II (Ultrasound Focusing Device)

2.2 実験方法および実験条件

実験方法を以下に示す。鉛直な冷却面を鏡面に磨いた後、脱脂を行い、冷却面を冷却する。冷却中に着霜するのを防ぐため、冷却面表面にフィルムを貼り、その上に断熱材を設置した状態で冷却を行う。所定の実験条件になり、冷却面温度が安定したら、断熱材、フィルムを剥がし着霜を開始させる。所定の時間着霜をさせたのち除霜を開始する。この時の実験条件は、冷却面温度 $t_w = -120, -95, -55, -25^\circ\text{C}$ 、空気温度 $t_a = 25^\circ\text{C}$ 、空気湿度 $x_a = 0.0119\text{kg/kg}$ 、着霜時間 $\tau = 30$ 分であった。集束超音波側の実験条件としては、冷却面から150mm離れた位置に超音波集束装置を冷却面と平行になるように設置し、周波数40kHzの超音波を装置から150mm離れた位置で焦点を結ぶように設定した。冷却面からの距離が150mmにおける焦点の直径は15mm、半値幅は8mm程度である。なるべく隙間なく照射するため、冷却面上を左から右に焦点を移動させ、4mm上下方向に移動させ、また左から右に焦点を移動させる動作を繰り返すことで、冷却面全体に成長した霜層を除去する。

3. 実験結果

実験結果を図4に示した。図は集束超音波照射前、集束超音波照射後をそれぞれ冷却面温度ごとにしめした。図からわかるように、集束超音波によって除霜が行われたことがわかる。特に大久保らが提案している着霜曲線[4]の第IV領域における霜層は顕著に除霜の効果が確認できた。また、冷却面温度が-95、-55°Cの冷却面上に成長した霜層は、映像では除霜されていないように見えるが、霜層がつぶされていることが確認できた。冷却面温度が-25°Cにおいては、霜層にほとんど変化は見られなかった。第IV領域の霜層は粉末状の霜層になっており、脆弱な霜層が成長しているためだと考えられる。ではこのように、霜層の除霜が行われた理由として、超音波集束装置から照射された集束超音波と、伝熱面から反射された超音波からなる定在波ができ、霜層を引き剥がす方向に力が働き、霜層が除去できたのではないと考えられる。また、どの程度霜層を押しつぶしたかを確認するために、側方からカメラを用いて観察を行った結果を図5に示す。図からわかるように、霜層を押しつぶした厚さを除霜厚さとする、霜層は冷却面温度が低いほど霜層を多くつぶしていることがわかる。さらに、冷却面温度-25°Cの条件化ではほとんど押しつぶされていないことを示している。次に、除霜前の霜層厚さから除霜後の霜層厚さを割ったものを示す。冷却面温度が-120°Cでは、完全に霜層を除去できたため、除霜率100%としている。除霜率も除霜厚さと同様に、冷却面温度が低いほど除霜の効果

があることがわかる。

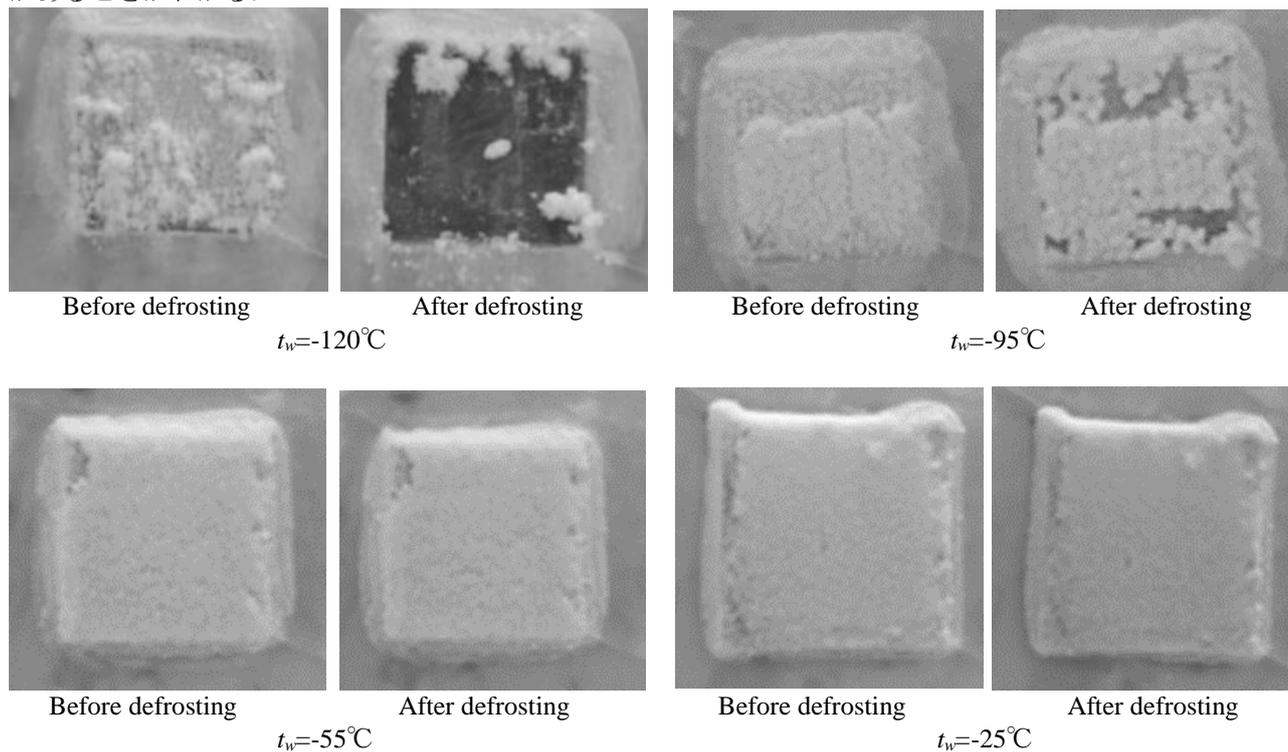


Fig.4 Effect of Defrosting with Ultrasound Focusing Device

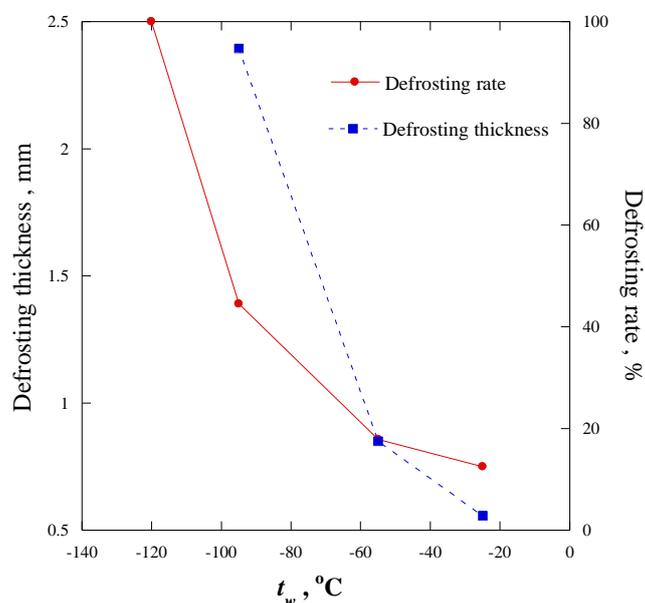


Fig.5 Relationship between Defrosting thickness, Defrosting rate and t_w

4. おわりに

超音波集束装置を用いて、冷却面温度 $t_w = -120, -95, -55, -25^\circ\text{C}$ の範囲で除霜を行った結果、 $t_w = -120^\circ\text{C}$ では霜層の除霜が確認できた。また、冷却面温度 $t_w = -95, -55, -25^\circ\text{C}$ では霜層が集束超音波によって押しつぶされる現象が発生し、冷却面温度が低いほど霜層がよく押しつぶされることを示した。

謝辞

本研究には、一関工業高等専門学校卒業生の竹内智哉様、佐々木杏那様にご協力頂いた。この場を借りて謝

意を表す.

REFERENCES

- [1] 吹場活佳, 井上翔, 佐藤哲也, 大久保英敏, The Vapor Pressure of Liquid Ammonia up to the Critical Temperature. [Part II.], *Journal of the American Chemical Society*, **40**(1) ,(1918), pp. 25-53.
- [2] 足立和成, 斎喜和史, 佐藤広樹, 伊藤貴弘, 電子情報通信学会技術研究報告, 98(469), (1998) ,pp9-12.
- [3] 星貴之, 計測自動制御学会論文集, 50(7), (2014),pp543-552.
- [4] H.Ohkubo and O.Tajima; Trans.of the JAR Vol.12,No3,(1995) pp.285~294.