

水の沸騰音を静かにしよう

山形大学大学院 理工学研究科 中西研究室 1年 井出光洋
山形大学 工学部 中西研究室 4年 二瓶 聡

1. 緒言

1.1 背景及び目的

生活の中で毎日水を沸かしている。水を沸かす方法にはガスを使った瞬間湯沸かし器や電気を使った電気ポットなどがある。特に使用頻度が高いのは電気を使った方法であり、リビングやキッチンなどの生活空間に設置されている場合が多い。しかし、お湯を沸かしている間に「ザー」という大きな騒音が発生し、TV や会話が聞きづらくなることもある。

本研究では、Fig. 1. 1. 1 に示す電気ケトルを用いる水の沸騰実験により、沸騰音の基本的特性を明らかにし、それを低減させることを目的とする。



Fig. 1. 1. 1 本実験で使用する電気ケトル(定格 1kW)

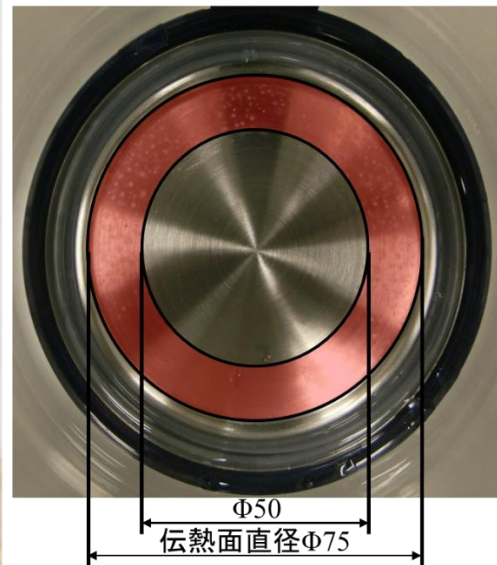


Fig. 1. 1. 2 電熱線ヒーター

1.2 サブクール沸騰及び飽和沸騰

Fig. 1. 1. 1 に示す電気ケトルの内側底面(伝熱面)の下に, Fig. 1. 1. 2 に示すリング状の電熱線ヒーターがあり, 電源を入れると, 伝熱面から水へ熱エネルギーが伝わる. これにより水が熱せられ, 自然対流が生じる.

伝熱面が飽和温度に達したら, 蒸気泡が発生, 成長し, やがて伝熱面から離脱する. 伝熱面から離脱した気泡が上昇し, 飽和温度より低い水温の領域に達すると, 冷やされ, 凝縮・消滅する [1]. このように, 系の温度が飽和温度に至らない場合の局所的な沸騰をサブクール沸騰という. この際に 1kHz の音(凝縮音)が発生することが知られている [2]-[4]. これは沸騰に伴う騒音の主な部分である.

Fig. 1. 2. 1 にサブクール沸騰と飽和沸騰を示す. 水の温度が飽和温度に近づくにつれ, 凝縮する気泡の数が減少し, 1kHz の凝縮音が小さくなる. 系の温度が飽和温度に達すると飽和沸騰が始まり, 気泡が水面まで上昇し, 破裂する.

Fig. 1. 2. 2 に出力 616W 時の無指向性マイクで記録した沸騰音の特性を示す. (a)ではサブクール沸騰終了時には, 沸騰音の一時的な減少が見られる. (b)ではサブクール沸騰時には, 1kHz の音のピークが見られる.

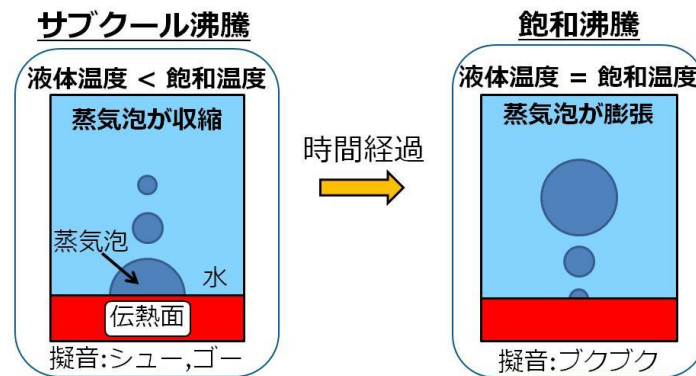


Fig. 1. 2. 1 サブクール沸騰と飽和沸騰(参考文献[1]引用)

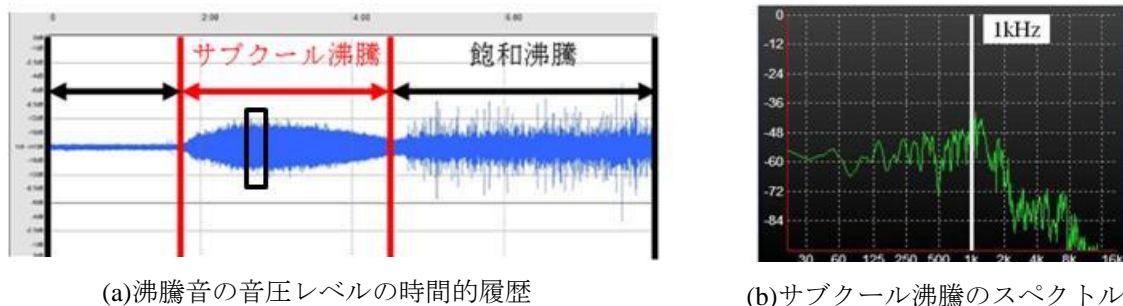


Fig. 1. 2. 2 無指向性マイクで記録した沸騰音の特性 (出力 616W)

2. 実験装置及び実験手順

2.1 実験装置

沸騰音を定量的に測定する実験装置を構築・製作した。Fig. 2. 1. 1 に実験装置を示す。

①: 電気ケトル(BOE007, 株式会社イデアインターナショナル)

水を沸騰させる。容量 450ml, 定格消費電力 1kW の電気ケトルを使用した。

②: 指向性マイク(MM-MCUSB25, サンワサプライ株式会社)

沸騰音の音声を PC に記録する。指向性マイク集音部中心の高さは、伝熱面と同じ 85mm である。電気ケトルと指向性マイク集音部の間隔は、20mm である。

③: USB カメラ(BSW20KM11BK,iBSW20KM11BK, 株式会社バッファロー)

沸騰音の音声と動画を PC に記録する。音声は内蔵の無指向性マイクで記録し、動画は 1280×720pixels, 30fps で記録することができる。伝熱面が撮影できるように高さは 135mm とした。USB カメラの角度は伝熱面全体が撮影できるように調整した。電気ケトルと USB カメラの間隔は、25mm である。

④: パソコン

指向性マイク及び USB カメラからの情報を記録する。

⑤: 熱電対(HTT0214 Φ1.0×200 T タイプ, 株式会社八光電機)

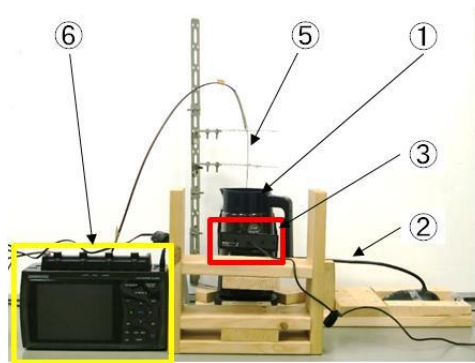
液体の平均水温を測定するために、熱電対の先端部の位置は、伝熱面の中心から高さ $h=55\text{mm}$ に固定する。測定したデータはデータロガーに記録される。(Fig. 2. 1. 2)

⑥: データロガー

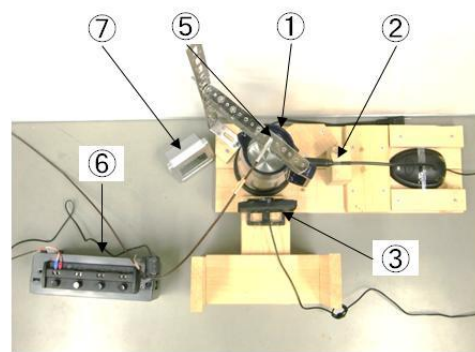
熱電対からの液温の情報を記録する。記録媒体には USB フラッシュドライブを使用した。

⑦: 時計

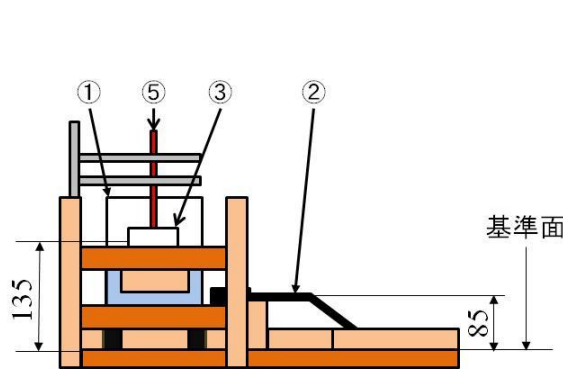
実験中の時刻を表示する。



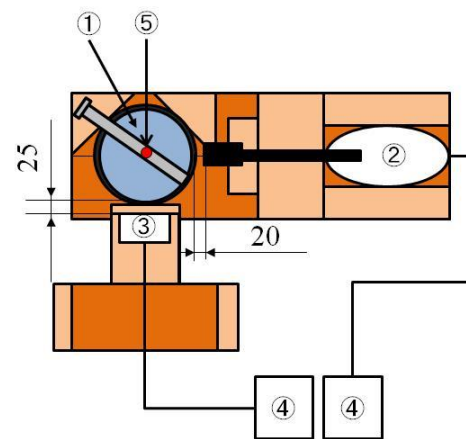
(a) 正面から見た実験装置



(b) 上部から見た実験装置



(c) 正面から見た実験装置の概略図



(d) 上部から見た実験装置の概略図

Fig. 2. 1. 1. 実験装置

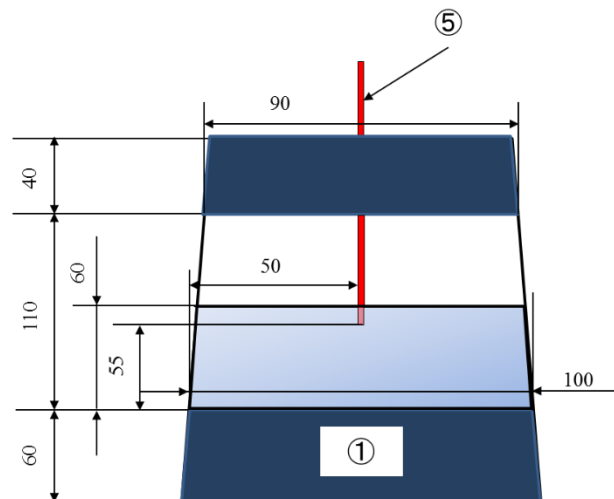


Fig. 2. 1. 2 熱電対設置位置

2.2 実験方法

本実験では主に2種類の実験を行う。1つ目は、沸騰音の基本的特性を把握するための基礎実験、2つ目は沸騰音を低減させるための実験である。

また、沸騰音を低減させる方法として3種類の実験を行う。

2.2.1 沸騰音の基本的特性を把握するための基礎実験

以下に実験する項目を示す。

- (1)沸騰音の音圧レベルの時間的履歴及び周波数スペクトルの解析 (950W)
- (2)ボルトスライダーで出力の制御
- (3)熱電対による水温変化の測定
- (4)ハイスピードカメラでの蒸気泡の観察 (1kW)

2.2.2 沸騰音を低減させるための実験

音の発生原因は伝熱面で発生した蒸気泡の凝縮である。蒸気泡の発生または凝縮を減らすためには2つの方法が考えられる。

まず、蒸気泡の発生を減らす方法は、伝熱面付近の水温が飽和温度になることを防ぐことである。そのためには、水を攪拌することで水温を平均化する必要がある。

次に、蒸気泡の凝縮を減らす方法は、サブクールの水域に達する蒸気泡を減らすことである。そのためには、蒸気泡を留め複数を合わせることで上昇する蒸気泡の数を制御する必要がある。

以下の3通りの実験を行う。

①旋回流を発生させる実験

水温を平均的に上げるために、周方向に回転を加えて攪拌する。

②低融点金属を用いる実験

水温を平均的に上げるために、70°Cで融解する低融点金属を用いることで、伝熱面で溶けた低融点金属が変形することにより攪拌する。

③シリコンプレートを用いる実験

上昇する蒸気泡の数を制御するために、伝熱面付近にプレートを設置することで、伝熱面付近で発生する蒸気泡を留め複数を合わせる。本実験では、耐熱温度 230°Cで柔軟性のあるシリコン樹脂を用いる。

3. 沸騰音の基本的特性を把握するための基礎実験の結果と考察

3.1 音圧レベルの時間的履歴及び周波数スペクトルの解析

3.1.1 音圧レベルの時間的履歴(出力 950W)

Fig. 3. 1. 1 に、無指向性マイク及び指向性マイクに記録された音圧レベルの時間的履歴を示す。

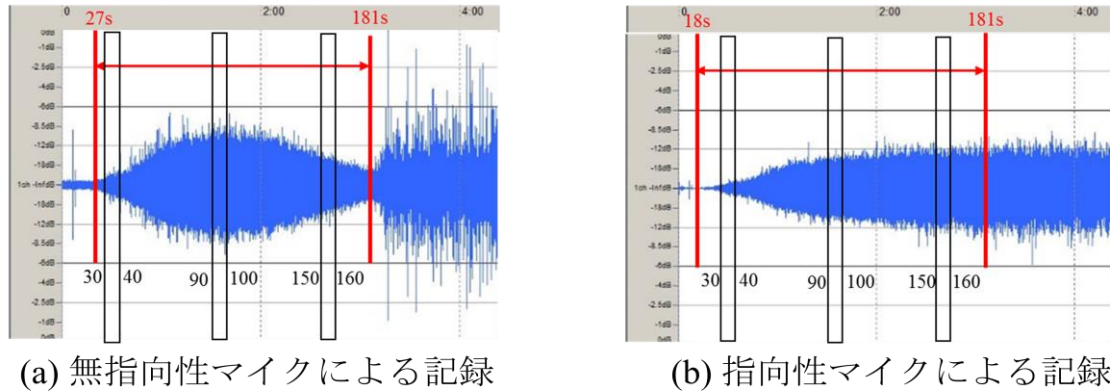


Fig. 3. 1. 1 音圧レベルの時間的履歴 (出力 950W)

無指向性マイクよりも指向性マイクの方が、サブクール沸騰音の始まりを早く記録している。

また、無指向性マイクでは、サブクール沸騰開始時の沸騰音の増加と、終了時の沸騰音の一時的な減少が見られる。

一方で、指向性マイクでは、サブクール沸騰開始時の沸騰音の増加は見られるが、終了時には沸騰音の減少が見られない。これは指向性マイクが、凝縮音の減少が起きた際に電気ケトル内で発せられた別の沸騰音を捉えていたからだと考えられる。

Table 3. 1. 1 に無指向性マイクの沸騰音の時間的履歴には増加、最大、減少の時刻があるので指向性マイクを対応させて比較する。経過時刻と平均音圧レベルの関係を示す。

Table 3. 1. 1 経過時刻と平均音圧レベル(出力 950W)

経過時刻[s]	30~40	90~100	150~160
無指向性マイク平均音圧レベル[dB]	-34.34	-21.95	-26.18
指向性マイク平均音圧レベル[dB]	-41.68	-26.98	-23.27
無指向性マイクの平均音圧レベルの変化	増加	最大	減少
指向性マイクの平均音圧レベルの変化	増加	増加	増加

3.1.2 サブクール沸騰における周波数スペクトルの解析 (出力 950W)

Fig. 3.1.2 に、沸騰の経過時間 30 秒と 90 秒における周波数と音圧レベルの関係を示す。

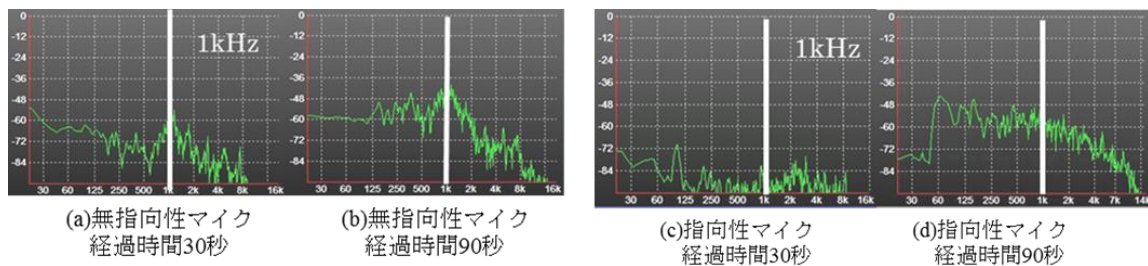


Fig. 3.1.2 周波数と音圧レベルの関係

(i) 無指向性マイクによる記録

Fig. 3.1.2 (a), (b)は、30 秒ではサブクール沸騰の特徴である 1kHz の音にピークが見られ、90 秒では全体の音圧レベルが増加している。

(ii) 指向性マイクによる記録

Fig. 3.1.2 (c), (d)は、30 秒では 100Hz の音にピークが来ており、サブクール沸騰の特徴が現れていない。同様に 90 秒では 60~100Hz の音にピークが来ており、サブクール沸騰の特徴が現れていない。1kHz の音が現れず 100Hz の音が発生している原因としては、伝熱面において気泡が成長した時に生じる 100Hz の音を記録していたからだと考えられる。

よって、指向性マイクは今回の実験には適さないと判断し、以降の実験は無指向性マイクのみを使用していく。

3.2 ボルトスライダーで出力の制御

Fig. 3. 2. 1 に今回の助成金で購入し、使用したボルトスライダー(MVS1000, 山菱電機株式会社)を示す。出力電圧, 電流値が同時に表示されているので, ヒーターの抵抗値および出力ワット数を簡単に求めることができる。



Fig. 3. 2. 1 ボルトスライダー
(MVS1000, 山菱電機株式会社)

3.2.1 出力とヒーターの抵抗の算出

Table 3. 2. 1 に, 入力電圧とメーターから読み取った電流値, それらに基づいて算出した出力とヒーターの抵抗の計算値を示す。

Table 3. 2. 1 入力電圧と読み取り電流値およびそれに対応する出力とヒーター抵抗の計算値

電圧[V]	電流値[A]	出力[W]	抵抗[Ω]
70	6.7	469	10.5
80	7.7	616	10.4
90	8.6	774	10.5
100	9.5	950	10.5

ヒーターの抵抗値は約 10.5 Ω である。

3.2.2 出力変化時における沸騰音の時間的履歴

Fig. 3. 2. 2 に, 出力をそれぞれ 476, 616, 774W に設定し, マイクに記録された サブクール沸騰終了までの音圧レベルの時間的履歴を比較する。

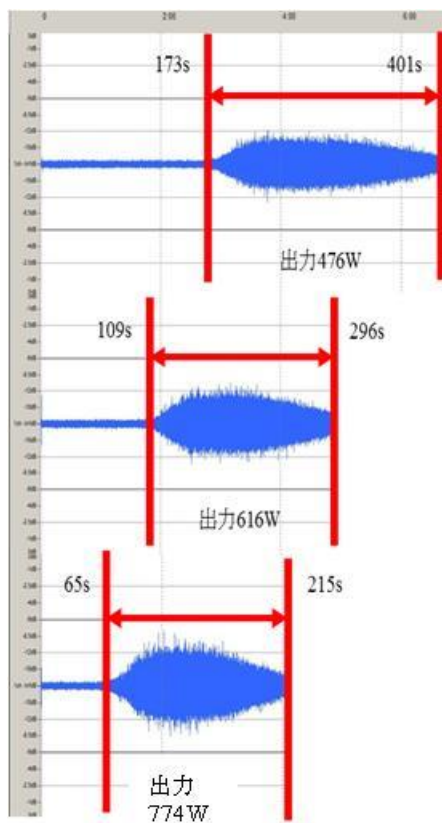


Fig. 3. 2. 2 音圧レベルの時間的履歴

Fig. 3. 2. 2では、マイクで記録した沸騰音は、出力が大きくなるにつれてサブクール沸騰の開始時間が早くなり、音圧レベルは上昇している。

Fig. 3. 2. 3に、サブクール沸騰時における出力と継続時間を示す。

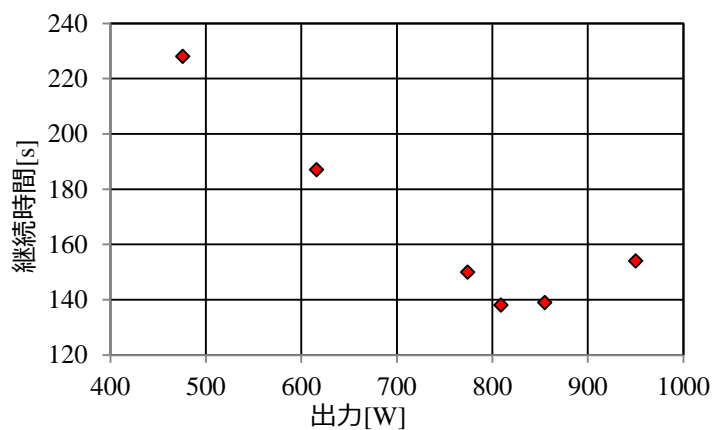


Fig. 3. 2. 3 サブクール沸騰時における出力と継続時間の関係

Fig. 3. 2. 3 では、出力 809W と 855W における継続時間を追加した.出力 809W までのサブクール沸騰の継続時間は、線形的に減少する.一方、出力 809W の領域では、若干の増加に転じている.

出力 809W と 950W を比較すると、809W の方がサブクール沸騰の継続時間が短くなっている.この理由は、サブクール沸騰が開始した時刻での水温の平均温度が 809W の方が高くなっているため、飽和温度に達するまでに掛かる時間が短くなったのではないかと考えられる.

3. 2. 3 出力と平均音圧レベルの関係

Fig. 3. 2. 4 にサブクール沸騰時における出力と平均音圧レベルの関係を示す.

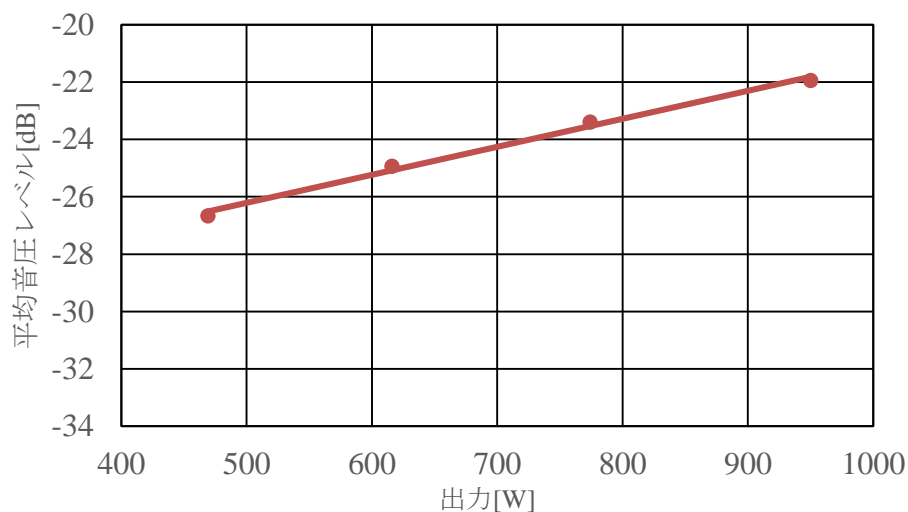


Fig. 3. 2. 4 サブクール沸騰時における出力と平均音圧レベルの関係

出力が上昇するにつれて平均音圧レベルが上がっている. これは、出力が上がることにより気泡の発生が増加し、飽和温度以下の水温の領域で消滅する気泡の数が、増加するからだと考えられる.

3.3 熱電対による水温の測定

3.3.1 時間と水温の関係

Fig. 3.3.1 に、サブクール沸騰終了までの時間と水温($h=55\text{mm}$)の関係を示す。

Fig. 3.3.2 に、65s までの時間と水温の関係を示す。

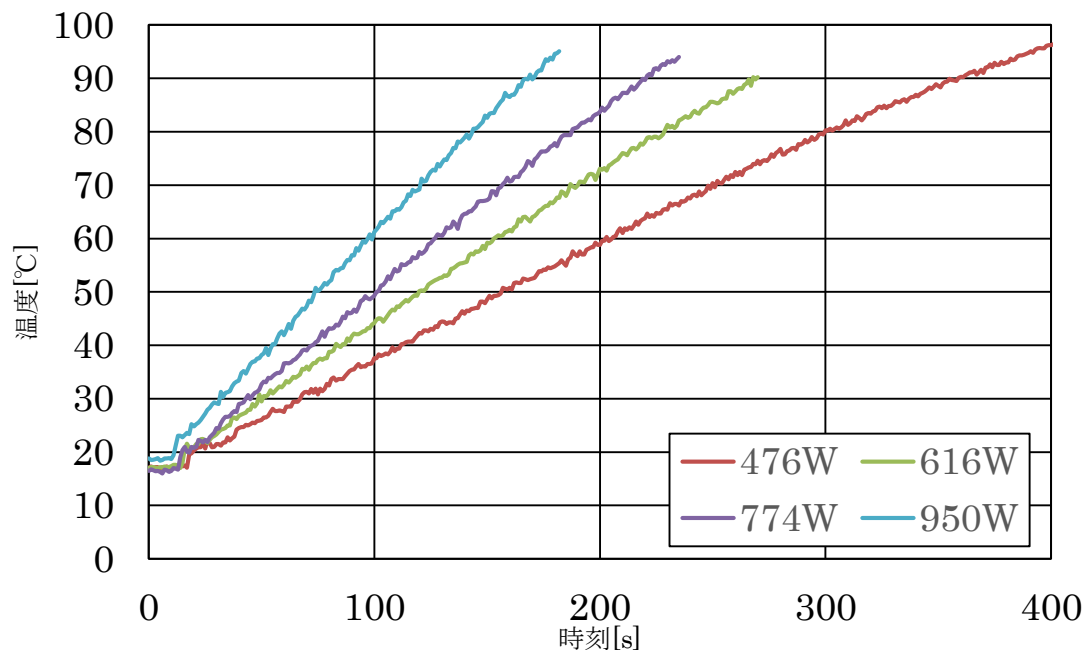


Fig. 3.3.1 サブクール沸騰終了までの時間と水温($h=55\text{mm}$)の関係

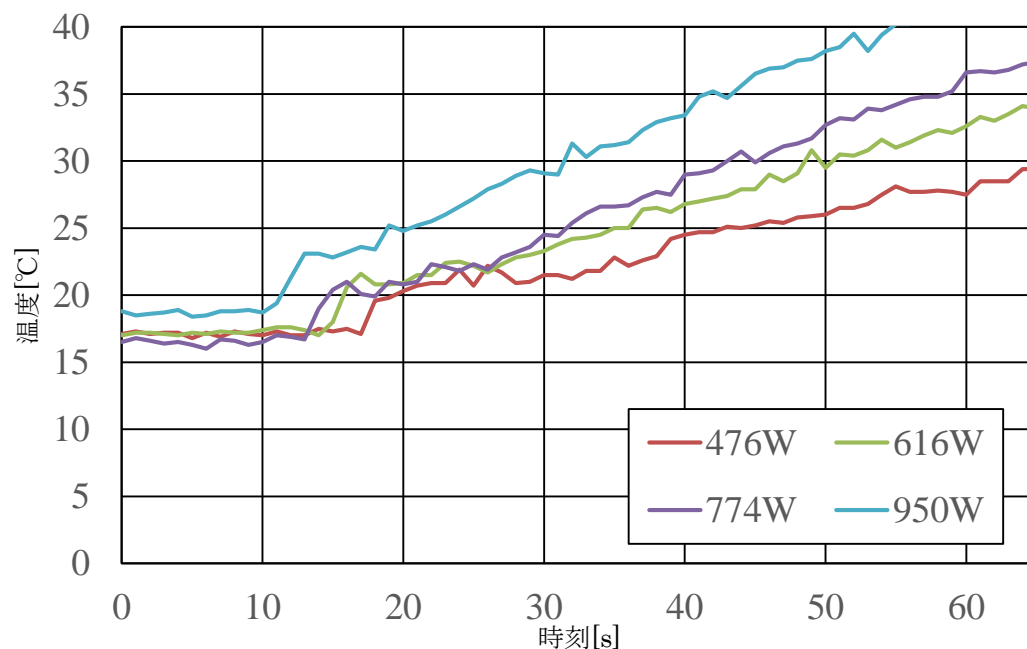


Fig. 3.3.2 65s までの時間と水温($h=55\text{mm}$)の関係

Fig. 3.3.1 では、出力を下げると、勾配が小さくなる。また、出力 476W においては、時間の経過に伴って傾きが小さくなっている。これは、高温になったケトルから外部へ熱が放出されている

ため、出力が小さいほど影響を受けやすいからだと考えられる。

Fig. 3. 3. 2では、出力に関わらず、開始から11sまでは平均水温に変化がなく、以降は出力が高い順に温度上昇が開始している。これは、伝熱面からの対流が熱電対感温部($h=55\text{mm}$)まで到達していなかったためだと考えられる。

出力950Wのサブクール沸騰開始時刻27sの平均水温が 27.2°C であるのに対して、774Wのサブクール沸騰開始時刻65sでは 37.2°C である。774Wの方が、平均水温が高い状態でサブクール沸騰を開始している。

3.4 ハイスピードカメラでの蒸気泡の観察

Fig. 3.4.1 に、使用したハイスピードカメラ(HAS-L1 株式会社ディテクト)を示す。フレームレートは 3000 fps で測定した。



Fig. 3.4.1 ハイスピードカメラ
(HAS-L1 株式会社ディテクト)

3.4.1 蒸気泡の観察結果

Fig. 3.4.2 に、サブクール沸騰時の蒸気泡の観察結果を示す。サブクール沸騰の蒸気泡が発生する時刻を基準時刻 0ms とし、そこから成長、離脱、消滅までの時刻を示す。

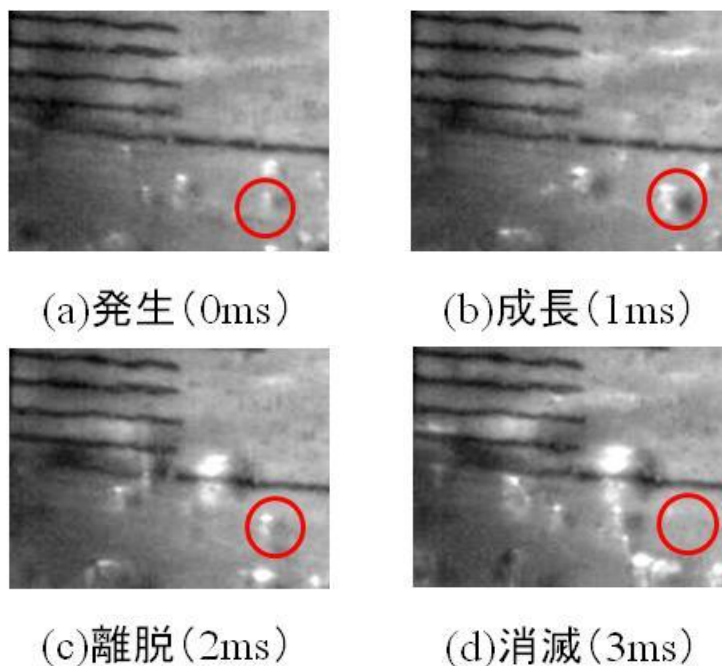


Fig. 3.4.2 サブクール沸騰時の蒸気泡の観察結果

Fig. 3.4.2 より、サブクール沸騰時の蒸気泡は発生、成長、離脱、凝縮、消滅していることが観察できサブクール沸騰を確認できた。気泡離脱直径は 0.5mm となった。

ここで、Fritz の実験データの整理式を用いて気泡離脱直径 d_b を算出する。[1] 水の表面張力は $\sigma = 72.75 \times 10^{-3} \text{N/m}$ 、重力加速度を $g = 9.81 \text{m/s}^2$ 、水の密度 $\rho_l = 1000 \text{kg/m}^3$ 、蒸気泡の密度

$\rho_v = 1\text{kg/m}^3$, 気泡と伝熱面の接触角を $\theta = 50^\circ$ とする.

$$\begin{aligned} d_b &= 0.0209\theta \sqrt{\frac{\sigma}{g(\rho_l - \rho_v)}} & (3-1) \\ &= 0.0209 \times 50 \times \sqrt{\frac{72.75 \times 10^{-3}}{9.81(1000-1)}} \\ &= 2.84 \times 10^{-3}\text{m} \\ &= 2.84\text{mm} \end{aligned}$$

実験結果と理論値を比較すると、理論値の17.6%の気泡径となった。これは、他の気泡が成長や消滅した際に発生する振動や波により、気泡が成長しきる前に離脱したためだと考えられる。

サブクール沸騰の離脱から消滅までの時間を $\Delta t[\text{s}]$ とし、実験結果から得た $\Delta t = 1 \times 10^{-3}\text{s}$ で周波数 $f[\text{Hz}]$ を以下のように計算する。

$$f = \frac{1}{\Delta t} = \frac{1}{1 \times 10^{-3}} = 1000\text{Hz} \quad (3-2)$$

4. 沸騰音の低減を目指す実験の結果と考察

4.1 旋回流を発生させる実験

Fig. 4. 1. 1 に、旋回流を発生させる実験を示す。



Fig. 4. 1. 1 旋回流を発生させる実験

4.1.1 攪拌による旋回流発生時の音圧レベルの時間的履歴

Fig. 4. 1. 2 に、音圧レベルの時間的履歴を示す。

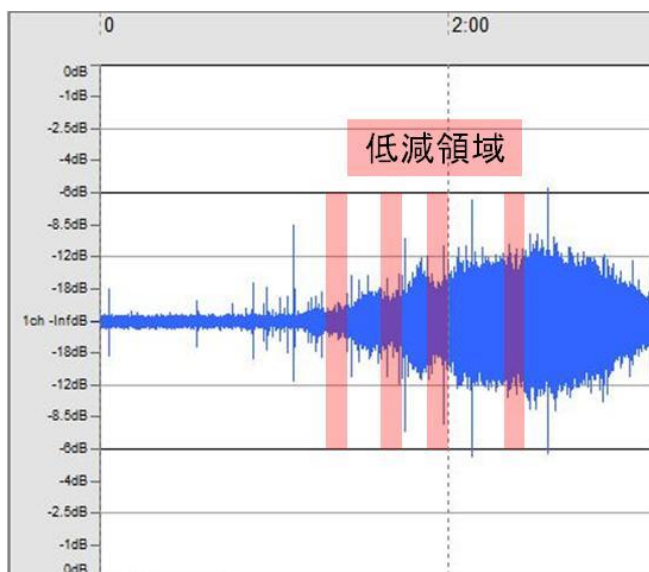


Fig. 4. 1. 2 攪拌による旋回流発生時の音圧レベルの時間的履歴(出力 1kW)

4つの低減領域が発生している。これは、水温を平均的に上げるために、周方向に回転を加えて攪拌したからである。しかし、水に回転運動を与える際に人力で攪拌したため、定量的な実験が行われず、瞬間的な回転運動の大きさに差が出ていたと考えられる。

旋回流を発生させる機構を製作することで、定量的な実験を行うことができると考えるが、本実験では製作に至らなかった。

4.2 低融点金属を用いた実験

Fig. 4.2.1 に、本実験で使用する 70°Cで融解する低融点金属(Uアロイ 70G(500g))を示す. 使用した低融点金属は、成分がビスマス・錫・鉛・カドミウムの合金である. Fig. 4.2.2 にケトルに設置した低融点金属を示す.



Fig. 4.2.1 使用する低融点金属
(Uアロイ 70G(500g))

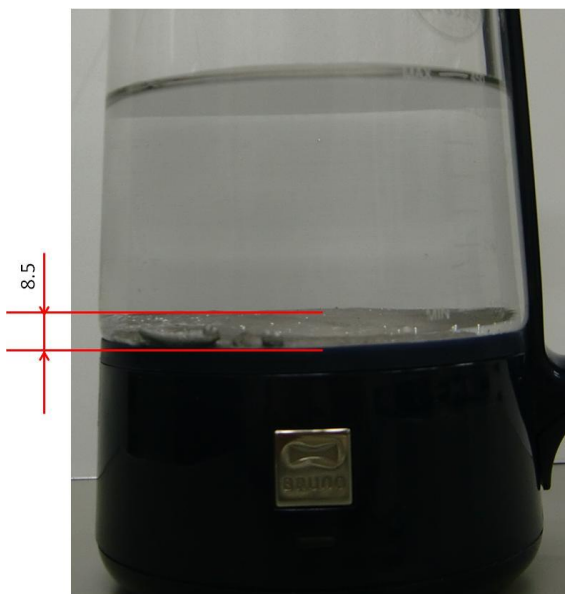


Fig. 4.2.2 ケトルに設置した低融点金属

4.2.1 時間と水温の関係

時間と水温 (h=55mm) の関係を示す. (Fig. 4.2.3)

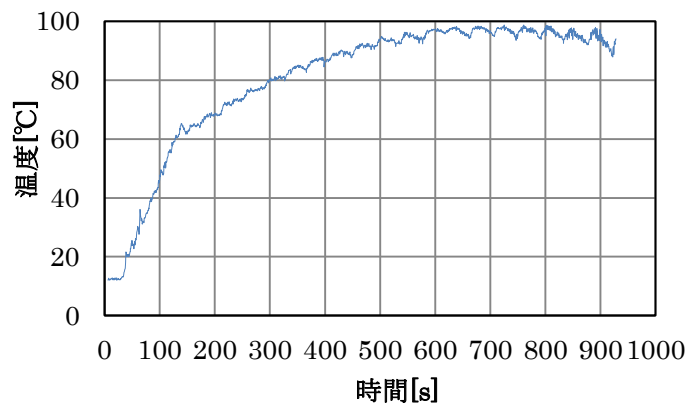


Fig. 4.2.3 時間と水温(h=55mm)の関係(出力 1kW)

時間が経過すると温度は振動する. 原因としては, まず伝熱面付近にある温度センサーが, 水より高熱になった低融点金属の温度を感知したためケトルへの通電が切れる. 次に, 低音の水に接触しているため高温の低融点金属は冷やされ, ケトルへの通電が再開する. これが繰り返されることにより水温にゆらぎが生じる.

また, 最大温度は 100°C に達せず下降したため, 15min までの記録を示す.

4.2.2 音圧レベルの時間的履歴

音圧レベルの時間的履歴を示す. (Fig. 4.2.4)

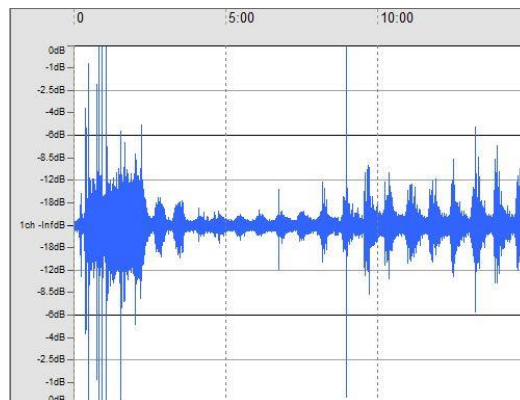
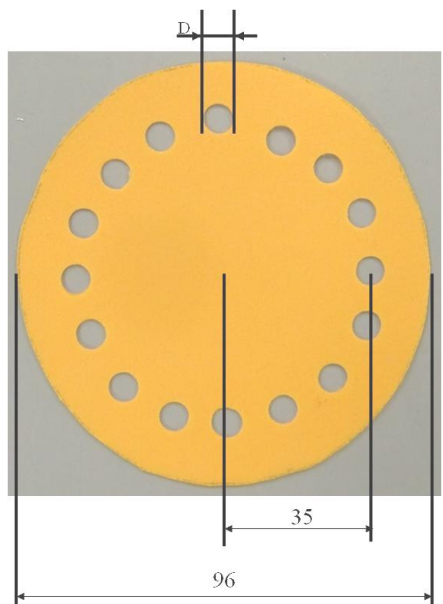


Fig. 4.2.4 音圧レベルの時間的履歴

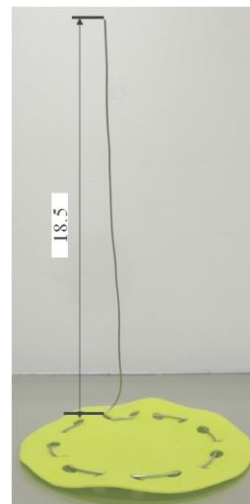
時間が経過すると音圧レベルは上昇と下降を交互に変化していることがわかる. 原因としては, まず電気ケトル内臓の伝熱面付近にある温度センサーが, 水の飽和温度より高温になった低融点金属の温度を感知したためケトルの通電が切れた. 次に, 低温の水に接触しているため高温の低融点金属は低温になり, ケトルの通電が再開された. これが繰り返されることにより音圧レベルが上昇と下降を繰り返す.

4.3 シリコンプレートを用いた実験

Fig. 4.3.1 に、実験で使用したシリコンプレート(シリコンマット(株), 大創産業)を示す.



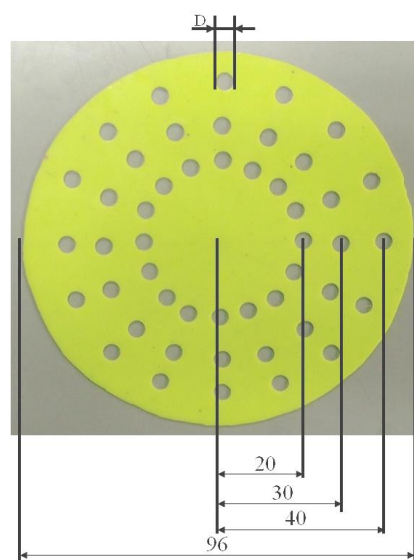
(1) $D=6\text{mm}$, (3) $D=7\text{mm}$, (5) $D=4.5\text{mm}$
の穴を 16 個開けたプレート



(2) $D=6\text{mm}$ の穴を 16 個開けた
針金固定プレート



(4) $D=7\text{mm}$ の穴 16 個にはとめ装着プレート

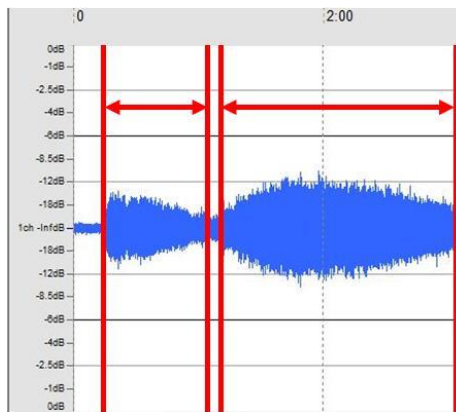


(6) $D=4.5\text{mm}$ の穴を 48 個開けたプレート

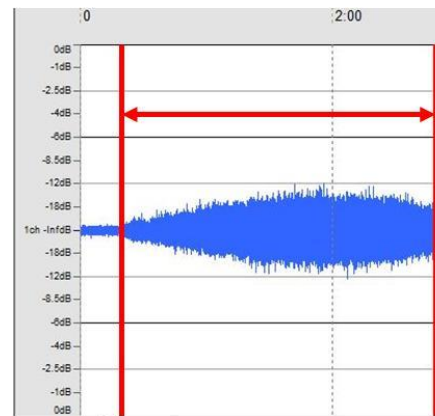
Fig. 4.3.1 実験で使用したシリコンプレート
(シリコンマット(株), 大創産業)

4.3.1 音圧レベルの時間的履歴(出力 1kW)

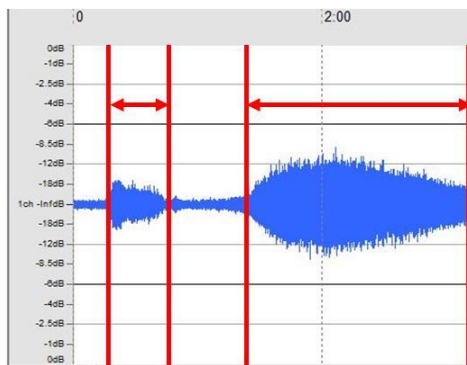
音圧レベルの時間的履歴を示す. (Fig. 4.3.2)



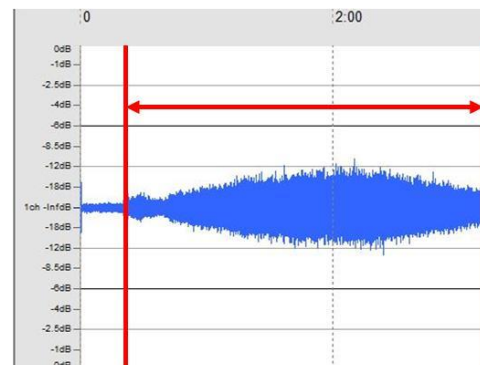
(1)D=6mm の穴を 16 個開けたプレート



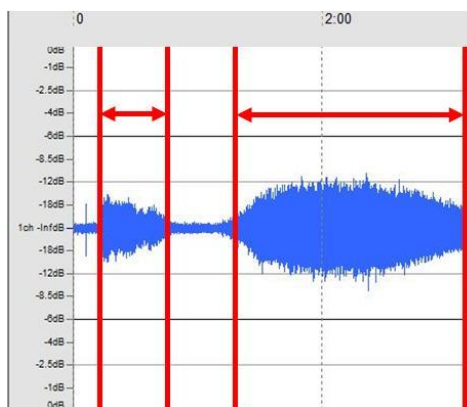
(2)D=6mm の穴を 16 個開けた針金固定プレート



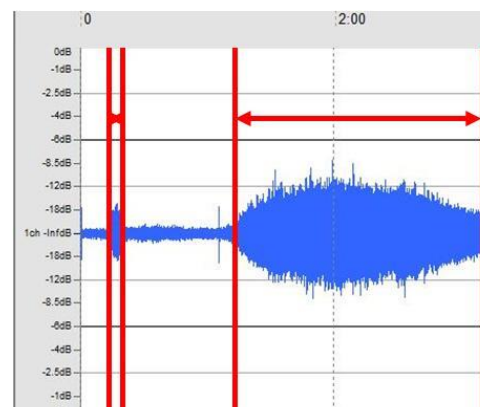
(3)D=7mm の穴を 16 個開けたプレート



(4) D=7mm の穴 16 個にはとめを装着したプレート



(5)D=4.5mm の穴を 16 個開けたプレート



(6)D=4.5mm の穴を 48 個開けたプレート

Fig. 4.3.2 音圧レベルの時間的履歴(出力 1kW)

Fig. 4. 3. 2より、サブクール沸騰が2回発生した結果がみられた。原因としては、プレートを設置することで、プレートと伝熱面の間における少量の水がサブクール沸騰を発生させたからだと考える。その後、発生した蒸気泡によりプレートが持ち上がることで、プレートと伝熱面の間に低温水が流れ伝熱面付近の水温が低下しサブクール沸騰音が減少する。

また、針金固定プレート及びはとめ装着プレートはほとんど持ち上がらないため低温水が流れ込まず、プレートが上昇した時に見られるサブクール沸騰音の減少が発生しないと考える。

Fig. 4. 3. 3にプレートが持ち上がる様子を示す。



Fig. 4. 3. 3 プレートが持ち上がる様子

4. 3. 2 時間と平均水温の関係

Fig. 4. 3. 4では、時間と水温($h=55\text{mm}$)の関係を示す。

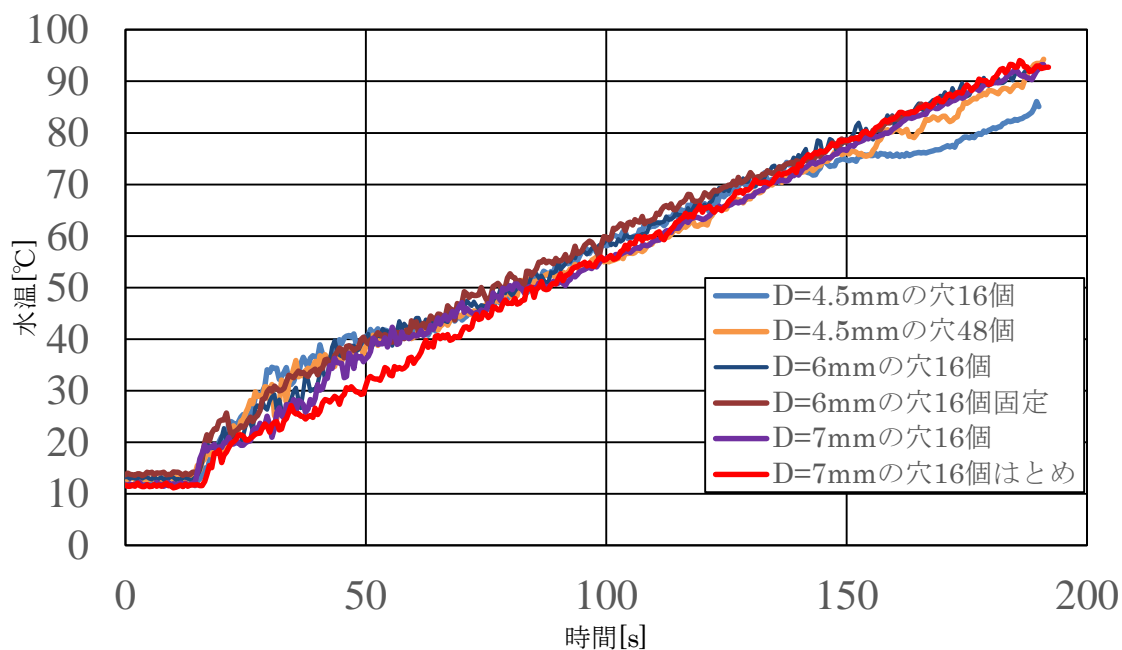


Fig. 4. 3. 4 時間と水温($h=55\text{mm}$)の関係

Fig. 4. 3. 4において、開始から 15s の間は熱電対感温点($h=55\text{mm}$)の水温が上昇していない。これは、自然対流が液面まで達していなかったと考えられる。15s から 60s の間は、 $D=7\text{mm}$ の穴 16 個にはとめを装着したプレートは傾きが一定であるが、それ以外のプレートは傾きの増減が見られた。150s から終了までの間は、 $D=4.5\text{mm}$ の穴を 16 個開けたプレートの傾きが減少した後、増大が見られた。この区間においては、対流の制御が行われていたと考える。

5. まとめ

電気ケトルを用いた水のサブクール沸騰音の実験の結果及び考察を箇条書きで示す。

5.1 沸騰音の基本的特性を把握するための基礎実験

5.1.1 沸騰音の及び周波数スペクトルの解析 (出力 950W)

- ・サブクール沸騰開始時の沸騰音の音圧レベルの増加と、終了時には一時的な減少が見られる。
- ・周波数スペクトル解析を行うことで、30秒ではサブクール沸騰の特徴である 1kHz の音にピークが見られ、90秒では全体の平均音圧レベルが増加する。

5.1.2 ボルトスライダーで出力の制御

- ・サブクール沸騰は、出力が上昇するにつれて継続時間が短縮する。
- ・出力 809W 以上の領域においては、サブクール沸騰の継続時間が若干延長する。

5.1.3 熱電対による水温変化の測定

- ・出力に関わらず開始時刻から 11s までは熱電対感温点($h=55\text{mm}$)の水温に変化がなく、伝熱面からの対流が水面まで到達しない。
- ・出力 774W の方が 950W に比べ、平均水温が高い状態でサブクール沸騰を開始する。

5.1.4 ハイスピードカメラでの蒸気泡の観察 (1kW)

- ・蒸気泡は発生、成長、離脱、凝縮、消滅、次の蒸気泡が発生を繰り返している。
- ・気泡の離脱直径の理論値は 2.8mm であるが、その 1/5 倍の 0.5mm の蒸気泡も伝熱面から離脱していた。直径 0.5mm の蒸気泡の離脱から消滅までの時間が 1ms になる。

5.2 沸騰音を低減させるための実験

5.2.1 旋回流を発生させる実験

- ・周方向に回転を加えて攪拌することで、沸騰音の低減領域が発生した。
- ・水に回転運動を与える際に人力で攪拌したため、定量的な実験が行われず、回転運動に差が出た。
- ・旋回流を発生させる機構を製作することで、定量的な実験を行うことができると考える。

5.2.2 低融点金属を用いる実験

- ・伝熱面付近にある温度センサーが水の飽和温度より高温になった低融点金属の温度を感知したため、電気ケトルへの通電が自動的に途切れてしまう。
- ・水温は振動し、平均音圧レベルは上昇と下降を繰り返す。

5.2.3 シリコンプレートを用いる実験

- ・シリコンプレートの裏面に気泡が付着し消滅する気泡の数が減少したと考えられる。
- ・気泡の浮力の影響を受け、設置位置から上昇する。その上昇に伴い、サブクール沸騰が 2 回発生した。

5.3 まとめ

サブクール沸騰の基本的な特性を基礎実験から把握することができた。しかし、本実験の最終目的であるサブクール沸騰時に生じる沸騰音を減らすための方策を構築するまでには至らなかった。

6. 参考文献

- [1]日本機械学会, 伝熱工学, 丸善出版株式会社(2012), 123-128
- [2]亀井秀也, 平田賢, 日本機械学会論文集(B編), 49巻438号(昭58-2), 483-492
- [3]亀井秀也, 平田賢, 日本機械学会論文集(B編), 51巻438号(昭58-2), 1507-1513
- [4]湯浅真樹, 東京大学修士論文, 2004. 2. 13, 1-72

7. 購入製品一覧

以下に、今回の実験で購入製品一覧を箇条書きで示す.

- ・電気ケトル
BOE007, 株式会社イデアインターナショナル
- ・指向性マイク
MM-MCUSB25, サンワサプライ株式会社
- ・USB カメラ
BSW20KM11BK,iBSW20KM11BK, 株式会社バッファロー
- ・熱電対
HTT0214 Φ 1.0×200 T タイプ, 株式会社八光電機
- ・時計
DQD-700J-8JF, カシオ計算機株式会社
- ・ボルトスライダー
MVS-1000, 山菱電機株式会社
- ・低融点金属
U アロイ 70G(500g), (株)大阪アサヒメタル工場
- ・シリコンプレート
シリコンマット(株), 大創産業

8. 謝辞

本研究は株式会社八光電機様から実験費を助成して頂いて実施されました。今回は、熱のコンテストという貴重な機会に参加させていただき感謝致します。そして、多くのご指摘及び協力をいただいた中西研究室の皆様にご心より感謝を申し上げます。