

# 自励振動ヒートパイプの研究

宮 崎 芳 郎\*

## Study on Oscillating Heat Pipes

Yoshiro Miyazaki

This paper describes an analytical study on operating characteristics of oscillating heat pipes. The study is based on the theory of self-excited oscillation that the pressure and the void fraction excite the other. It gives the wave velocity. In order to determine the frequency and the amplitude, two assumptions are introduced that the heat transport rate is proportional to the gradient of pressure oscillation and that the moved distance of oscillatory flow is around the half of a turn length.

The amplitude and the frequency of pressure oscillation obtained by the analysis are compared with experimental results and good agreements are obtained.

### 1. はじめに

自励振動ヒートパイプの作動原理として圧力とボイド率とが互いに相手を励起し合うという自励振動のモデルが提案されている<sup>(1)</sup>。このモデルにより、流路内を伝播する波の存在とその速度とが予測され、可視化実験により、モデルの妥当性が確認されている<sup>(2)</sup>。この理論を基に振動の特性を明らかにし、ヒートパイプの設計理論を構築することがこの技術の発展にとって重要であると考えられる。

本報告では、自励振動の振動数と振幅とがどのような要因によって定まるのかという問題について、自励振動の理論に基づいて検討を行っている。

### 2. 圧力振動の特性

#### 自励振動の機構と波の速度

自励振動のモデルを Fig. 1 に示す。圧力とボイド率の波は  $\pi/2$  の位相差でターン間を伝播することが示されている。この位相差において、圧力とボイド率の振動は互いに相手を励起し、振動が維持される。

波の速度は次式で与えられる<sup>(1)</sup>。

$$c = \sqrt{\frac{qRT_0}{4\pi\alpha_o\rho_l\nu(r - RT_0)}} \quad (1)$$

---

\* 宇宙通信工学科

### 圧力振動と熱輸送量

熱輸送量は作動流体の流量に比例し、流量は圧力勾配によって定まると仮定すると次式が得られる。

$$q = \eta \frac{\pi d^4 r}{64 \nu} \frac{n p_a}{c} \quad (2)$$

ここで、熱は潜熱で輸送されると仮定しており、流量のうち相変化を行う割合を  $\eta$  としている。また、 $P_a$  は圧力振動の振幅、 $n$  は振動数である。

### 振動流の移動距離と熱輸送距離

振動流の移動距離は熱輸送に必要な距離、すなわちターンの長さの半分程度と考えられる。この距離は流速に比例し、振動数に反比例すると考えられ、次式が得られる。

$$\zeta l = \frac{d^2}{8\mu} \frac{p_a}{c} \quad (3)$$

ここで  $\zeta$  は振動流の移動距離とターンの長さの半分との比である。

### 圧力振動の特性

圧力振動の特性は式 (1) で示される波の速度とともに、式 (2)、式 (3) より、振幅、振動数が次のように得られる。

$$p_a = \zeta \frac{8l\mu}{d^2} c \quad (4)$$

$$n = \frac{1}{\zeta \eta} \frac{8q}{\rho r \pi d^2 l} \quad (5)$$

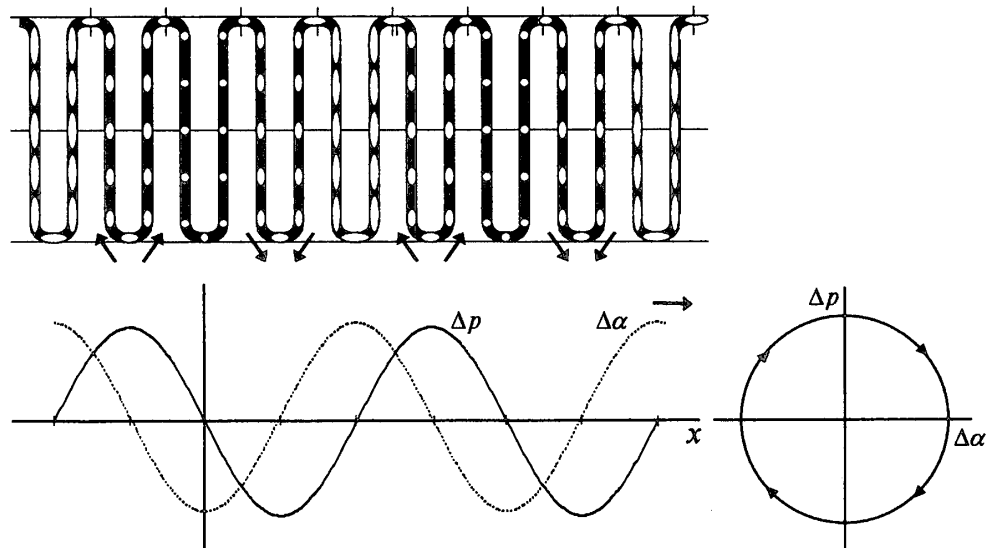


Fig. 1 Analytical model of self-excited oscillation

### 3. 実験結果と考察

波の速度に関しては既に報告されている<sup>(2)</sup>ので、ここでは圧力振動の振幅と振動数についての検討を報告する。

実験に用いたヒートパイプは外径 3mm、内径 2mm の銅パイプに、作動流体として R134a あるいは R142b をパイプの内容積の約 50%を封入したものである。銅パイプは Fig. 2 に示すように 3 枚のアルミ板を 14 回往復するように折り曲げられてアルミ板にハンダ付けされている。

中央のアルミ板は冷却水によって冷却される冷却部、両端のアルミ板はシリコンラバーヒータによって加熱される加熱部となっている。銅パイプは 3 枚のアルミ板を通過する毎に、加熱部と冷却部を 1 回往復することになるので、プレート全体で 28 ターンのヒートパイプとなる。実験では管の両端を接続し、ループを構成し、プレートは水平に設置されている。

実験で得られた圧力振動の例を Fig. 3 にしめす。熱量の増加とともに振動数が増加しており、振幅も増加の傾向にある。

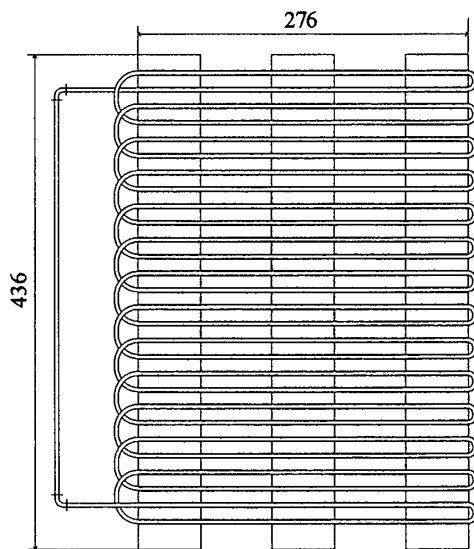


Fig. 2 Heat pipe

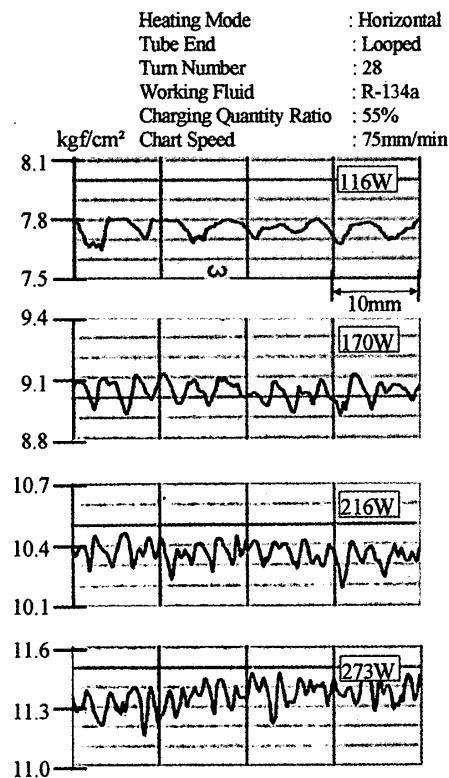


Fig. 3 Pressure oscillation

Fig. 4に振幅をFig. 5に振動数を式(4)および式(5)による予測値と比較して示す。 $\zeta=1$ は振動流の移動距離がターン長さの半分、すなわち必要な熱輸送距離と等しいという条件であり、 $\eta=0.25$ は流量の1/4が相変化をし、熱輸送を行っているという条件を示している。物理的に受容できる条件であり、この条件で予測値は実験値と良く一致していることが示されている。この結果は圧力振動の勾配により振動流の流速が定まり、また流速と振動数により振動流の移動距離が定まるというモデルの妥当性を示している。ただ本実験では波の速度の測定が行われていないので、波の速度まで含めたモデル全体の確認にはいたっていない。今後の課題であると考え。

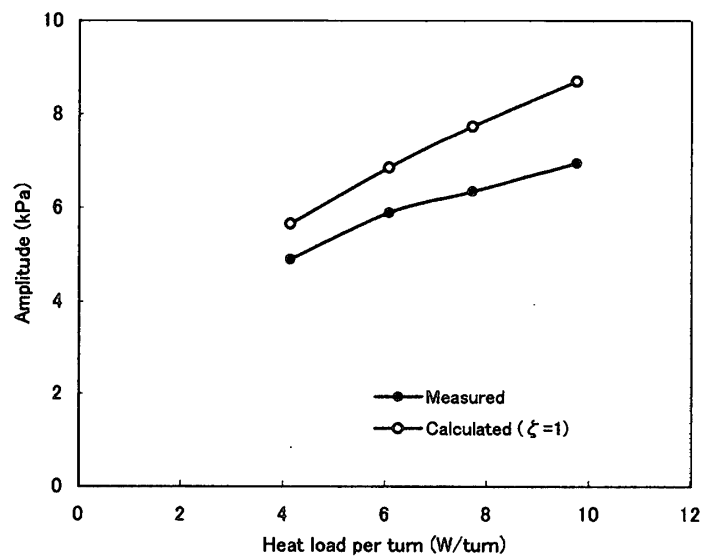


Fig. 4 Amplitude

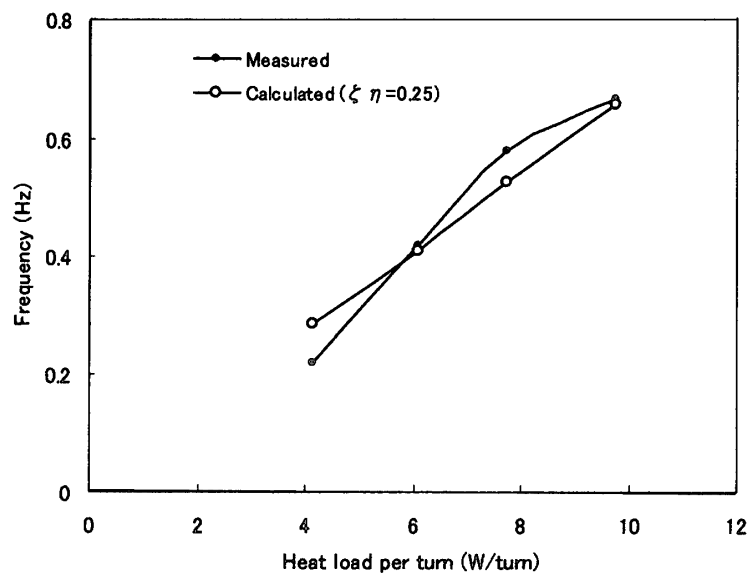


Fig. 5 Frequency

#### 4. おわりに

自励振動ヒートパイプは理想的な自励振動の状態から外れても間欠的な振動が維持される状態がある。また振動は安定したものではなく、成長と減衰とを繰り返している。このようなことが自励振動ヒートパイプの現象が複雑で理解が難しい原因になっていると思われる。

これにたいしては基本的な原理を基に全体の現象を出来るだけ単純化してモデル化することが重要だと考えられる。

本報告で用いた仮説の妥当性については今後の検討が必要であるが、前述の考えによる試みの一つであると評価していただければ幸いである。

#### 参考文献

- (1) Miyazaki, Y. and Akachi, H., "Self Excited Oscillation of Slug Flow in a Micro Channel", 3<sup>rd</sup> ICMF, June 1998
- (2) Miyazaki, Y. and Arikawa, M., "Oscillatory Flow in the Oscillating Heat Pipe", 11<sup>th</sup> IHPC, Sept. 1999

(平成 16 年 12 月 2 日受理)