

逆止弁付自励振動ヒートパイプ

宮 崎 芳 郎*

Oscillating Heat Pipe with Check Valves

Yoshiro Miyazaki

In oscillating heat pipes, liquid working fluid gathers on the cooling side, forming U-shaped liquid columns in individual turns. The oscillation of the liquid columns brings about working fluid supply to the heat transfer sections. However, when the amplitude of oscillatory flow is small, there is the possibility that the supply of working fluid to the heat transfer sections is insufficient. This gives rise to an operating limit for oscillating heat pipes.

If the channel ends are connected in a loop and the loop is equipped with check valves, a single-directional flow is caused by summing the amplitudes of oscillatory flow. This allows the effective flow into the heat transfer sections to be maintained even when the amplitude of oscillatory flow is small.

In the present paper, experimental studies to confirm the existence of an operating limit of low amplitude oscillatory flow, and to demonstrate the effect of check valves in alleviating this problem, are described.

1. はじめに

自励振動ヒートパイプは加熱部と冷却部の間を細管が何回も往復する構成となっている。細管内には作動流体が封入されており蒸気泡と液プラグの状態で管内に分布している(1)。この気液の分布は熱伝達性能に大きな影響を持つ。すなわち Fig.1 に示す様に各々のターン内で蒸気と液が一樣に分布していれば加熱部に液が、冷却部には蒸気が常に存在しているため熱伝達に関しては理想的な状態であるといえる。しかし実際の運転状態では、気液分布はこの様な理想的な状態ではなく、液は冷却側に蒸気は加熱側に偏って分布する。そして極端な場合には Fig.2 にしめすように分離された液が冷却側に U 字型の液柱を形成し、液柱の振動が波としてターン間を伝播することが観察されて

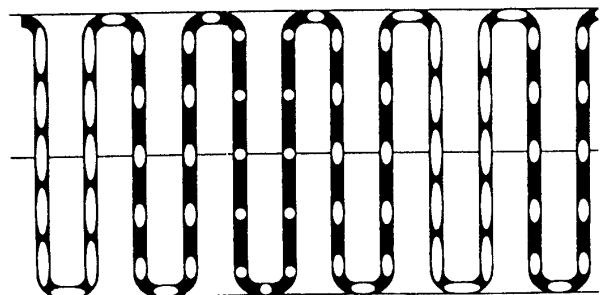


Fig. 1 Uniform distribution of void fraction in individual turns

* 宇宙通信工学科

いる(2)。この様な気液分布は熱伝達に関しては非常に厳しい条件であるといえる。すなわち加熱側の液量と冷却側の蒸気量は少なく、その量は液柱の振動に振幅によって変わる。したがって Fig.3 に示すように液柱の振幅が小さく、振動が断熱部内に限られる場合は加熱部への液の供給、冷却部への蒸気の供給はなくなり、熱伝達が停止する。すなわち振動の振幅の不足によるヒートパイプの作動限界が起こると考えられる。この作動限界はヒートパイプに逆止弁を設けることにより、回避できると考えられる。

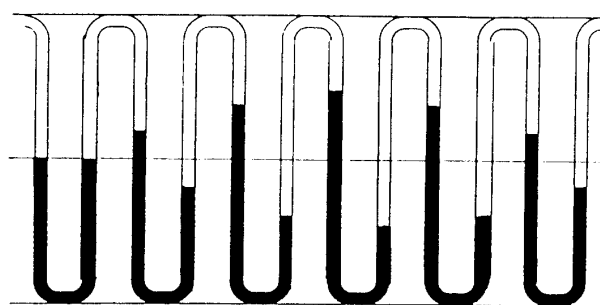


Fig. 2 Liquid column oscillation

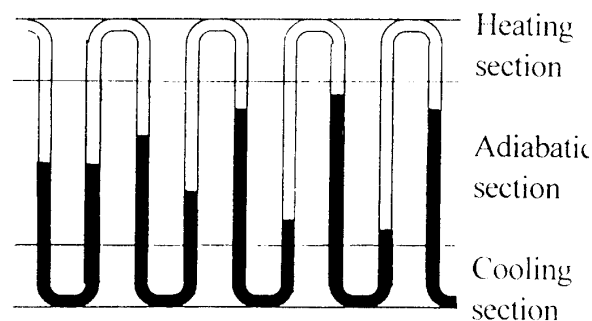


Fig. 3 Liquid column oscillation within adiabatic section

本研究では振動の振幅の不足による作動限界とその対策としての逆止弁の効果について実験的に検討を行っている。

2. 実験装置

実験に用いた逆止弁付ヒートパイプを Fig.4 に示す。ヒートパイプは内径 2mm の銅パイプで出来ている。ターン数は 14 であり、パイプの両端は接続されループとなっている。加熱部と冷却部の長さは 50mm であり、断熱部の長さは 500mm である。この様に長い断熱部を設けたのは振動の振幅の不足による作動限界が起こりやすい状態とするためである。逆止弁は 3 個設けている。作動流体は R-134a であり、封入量割合は約 50% である。

逆止弁を Fig.5 に示す。逆止弁は銅パイプの中にルビー球が収められた構造をしており、銅パイプの一端には円錐状の弁座が、他端にはストッパーが設けられている。バネは用いておらず、浮遊型である。

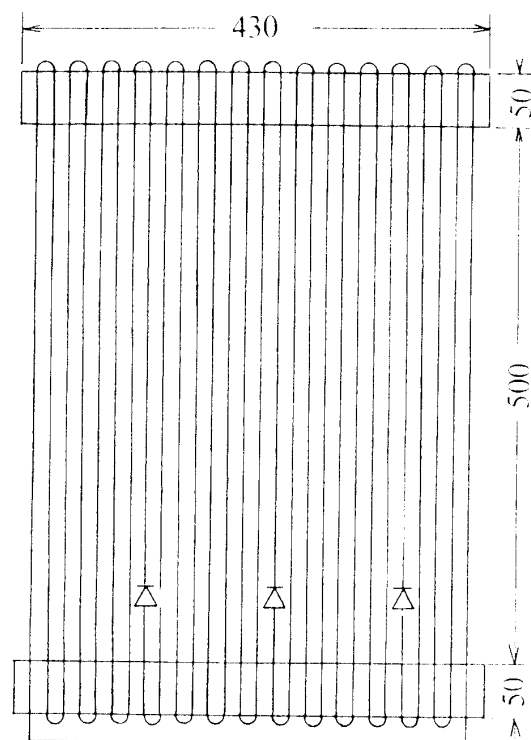


Fig. 4 Test model of heat pipe with check valves

3. 実験結果

3.1 熱伝達と圧力振動

逆止弁が3個ついたヒートパイプの熱伝達特性を Fig.6 に示す。またこのときの圧力振動の様子を Fig.7 に示す。水平の場合、試験を行った熱量範囲では熱量の低いところでは圧力振動が未発達で若干熱伝達性能が低い。熱量の大きな範囲では安定した圧力振動が見られ熱伝達性能も安定している。この様な傾向は逆止弁が無いヒートパイプでも同じであり、逆止弁を付けても圧力振動の発生は阻害されていないことを示している。トップヒートの場合熱量が低いところでドライアウトが発生している。これは断熱部が長いという特殊な形状に由来するものであり、逆止弁が原因ではないと考えられる。

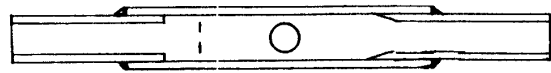


Fig. 5 Check valve

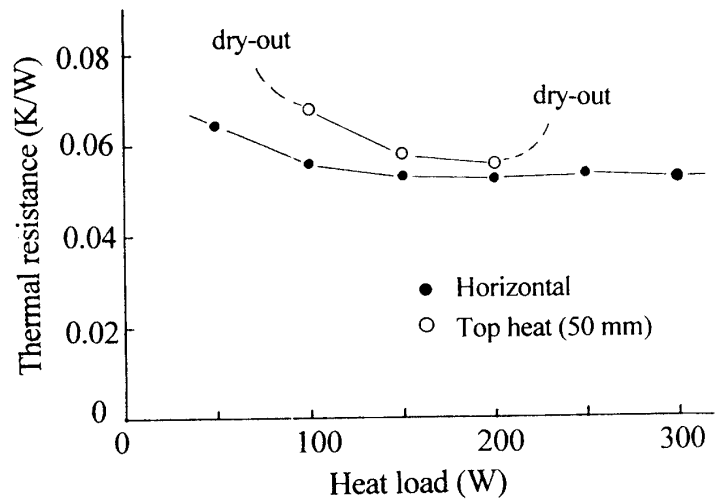
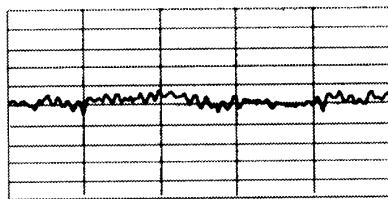
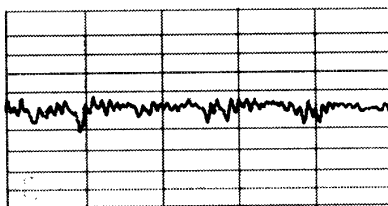


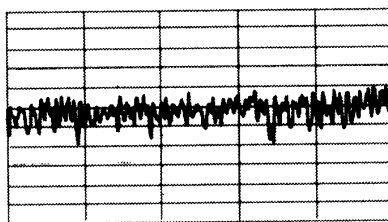
Fig. 6 Thermal performance of heat pipe with check valves



100 W

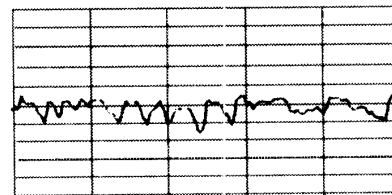


200 W

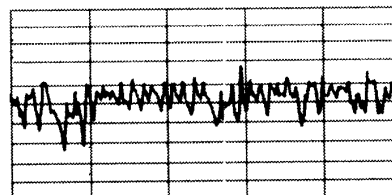


300 W

Horizontal mode



100 W



200 W

Top heat mode

Fig. 7 Pressure oscillation

3.2 振幅の不足による作動限界と逆止弁の効果

ヒートパイプの姿勢を変えた場合の熱伝達性能の変化を逆止弁をつけた場合と付けない場合を比較して Fig.8 に示す。逆止弁を付けない場合はボトムヒートの場合は動作するが水平になるとドライアウトを起こし動作しない。これに対し逆止弁があると水平の場合だけでなくトップヒートの場合も動作する。

逆止弁が無いヒートパイプが水平では動作しなかったのは伝熱面への作動流体の供給が足らなかったことを示している。

この原因としては二つの可能性が考えられる。流体の振動の振幅が不足していること、もう一つは断熱部が長いことによる流動抵抗の増大である。しかし逆止弁のついたヒートパイプが水平で動作することを考えると流動抵抗の増大が原因とは考えにくい。なぜなら、逆止弁は流動抵抗を減少させる効果は持っていないからである。したがって逆止弁が無い場合の作動限界は流体の振動の振幅が不足することによるものであり、逆止弁は振動の振幅を足し合わせることで振幅の不足を解消していると考えるのが妥当である。

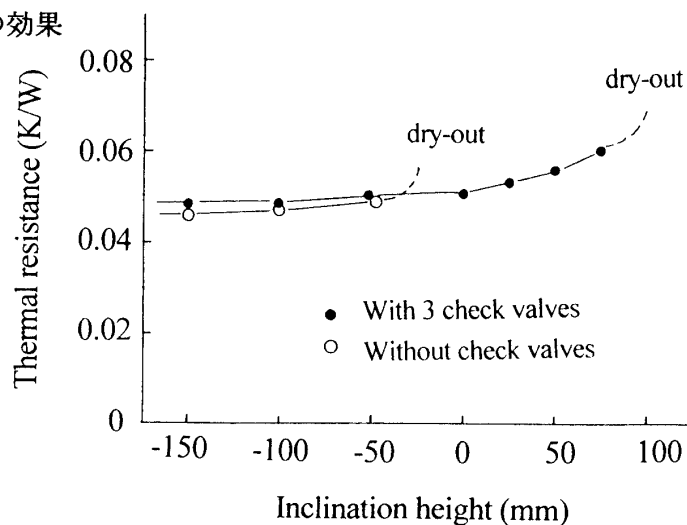


Fig. 8 Comparison of thermal performances

4. おわりに

自励振動ヒートパイプでは振動流の振幅の不足により作動限界が生じる可能性のあること、また逆止弁を付けることにより、この作動限界は回避できることを実験により確認した。

この現象は液柱の振動モデルにより証明できる。しかしさらに定量的に検討し、設計理論を確立するためには振動の振幅はどのようにして定まっているのか明らかにするとともに、ターン内の気液の分布状態についての詳細なデータが必要である。

参考文献

1. Akachi, H. and Polasek, F., "Pulsating Heat Pipes", 5th IHPS, Nov. 1996
2. Miyazaki, Y. and Arikawa, M., "Oscillatory Flow in Oscillating Heat Pipe", 11th IHPC, Sept. 1999

(平成13年12月6日受理)