

高密度排熱用マイクロチャンネル蒸発器を用いた排熱システムの基礎特性

今井 良二 (I H I) 塚本 貴城 (東北大)

Basic Study on Heat Rejection System Using High Heat Flux Micro Channel Evaporator

Ryoji Imai*1 and Takashiro Tsukamoto*2

*1 IHI Corporation, 1, Shin-Nakahara-Cho, Isogo-Ku, Yokohama 235-8501

*2 Tohoku University, Katahira 2, Aoba-Ku, Sendai 980-8577

Our purpose is to develop miniaturized heat rejection system that can dissipate more than 100 W/cm^2 . In the evaporator, thin liquid film vaporization which can dissipate very high heat flux, was utilized. The liquid film is stabilized in micro-channels by capillary forces. The micro-channels are fabricated by chemical etching on copper plate. Also miniaturized condenser which utilized droplet condensation was tested. Droplets were produced on a cooled plate covered by non-wetting coating. After we built a heat rejection system constructed by above mentioned evaporator and condenser, influence of heat flux, coolant flow rate, and inlet temperature on the temperature of the heater element were investigated. Water is used as working fluid. Heat flux of 100 W/cm^2 could be achieved for water inlet temperature in flow rate of 3.0 mL/min . The temperature of the heater element is kept constant at about 120°C . The measured pressure drop is less than 1000 Pa .

Key words: Micro channel evaporator; High heat flux cooling system; Low pressure drop

1. 緒言

将来の宇宙機システムの大型化に伴い、搭載電子機器の要求排熱量は増加の傾向にある。さらに宇宙機では排熱システム重量の低減を要求されるため、必然的に排熱密度が上昇することになる。同様の要求はパーソナルコンピュータのCPU、電力素子等の地上デバイスでもなされ、近年中に 100 W/cm^2 の排熱デバイスが一般的になるとされている。現状の排熱デバイスとしてヒートパイプが多用されているが、排熱能力は 10 W/cm^2 のオーダーとされているため、ヒートスプレッダーにより発熱密度を低減しているのが現状である。本研究では 100 W/cm^2 を超える排熱機器の開発を目標とし、マイクロチャンネルに捕捉された蒸発液膜の高い除熱性能[1]を利用したエバポレータを吸熱部に用いた排熱デバイスを考案し、エバポレータの吸熱特性の計測を実施した[2]。筆者らはこれに引き続き、本マイクロチャンネル蒸発器を用いた冷却システムを試作し、伝熱特性を取得した。

2. マイクロチャンネル蒸発器を用いた冷却システム

本冷却システムでは、吸熱部にマイクロチャンネル蒸発器を、放熱部に撥水性膜を用いた凝縮器を用いた。図1に本蒸発器の構造を示す。前報ではマイクロチャンネルの製作に、シリコン板の異方性エッチング加工を利用したが[2]、本研究では低コスト化を狙い、銅板に等方性エッチングを用いた溝加工を行なった。溝幅は加工法の制約から $100 \mu\text{m}$ とした。また伝熱面積および除熱量の拡大を図るため、液体の流れを図1に示すマニホールドで分岐し、マイクロチャンネル部の両端から液体を供給した。ここではマイクロチャンネルに発生す

る毛管力による、液体の駆動可能な長さ[2]を考慮した。また、蒸発器での圧力損失を低減するために液マニホールドとマイクロチャンネル加工を施したチャンネルプレート間に 0.3 mm の空間を開ける構造とした。さらに前報と同様に、蒸気流速の低減、チャンネルに捕捉された液膜の安定化、蒸発器入口出口間の圧力損失の低減をはかるため、蒸気流路の断面積をチャンネルに比べて十分大きくとった。

図2に凝縮器の構造を示す。本凝縮器では滴状凝縮を実現するため、冷却面上に撥水性コーティングを施した。冷却面上に形成された凝縮液滴は、冷却面に対向する位置に設置された微細チャンネルに捕捉された後に排出させた。

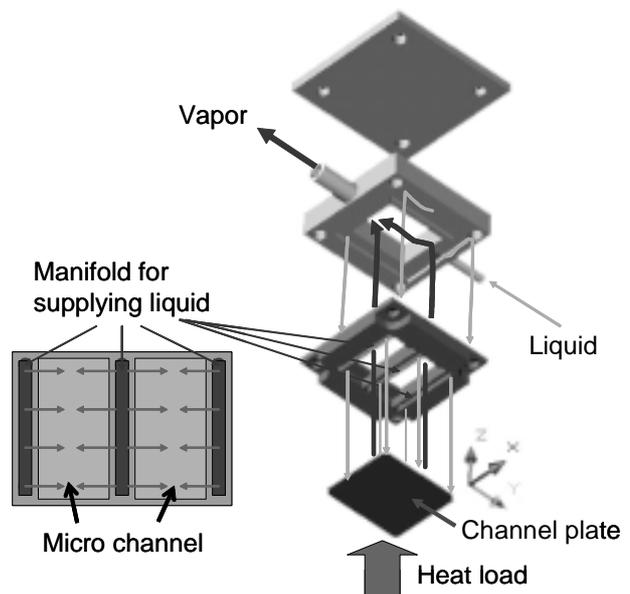


Fig. 1: Structure of evaporator

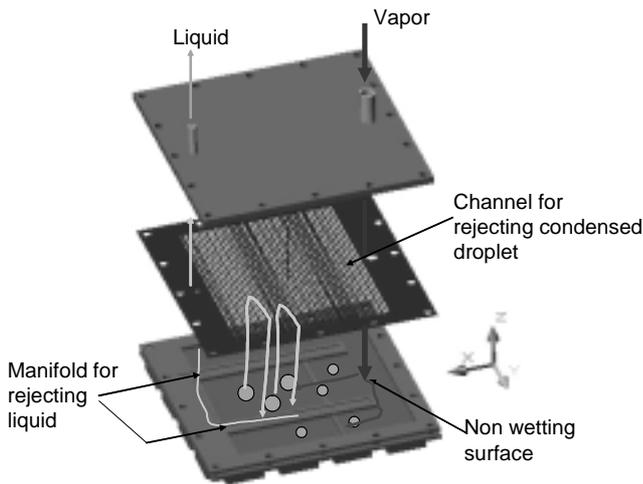


Fig. 2: The structure of the condenser

3. 試験方法および結果

図 3 に試験装置系統を示す。本装置はマイクロチャンネル蒸発器、凝縮器、ポンプ、およびアキュムレータで構成される閉鎖ループとした。なお、アキュムレータは 50mL のビーカーを大気開放状態とし、主に蒸発器で形成される配管内の流動振動を吸収させた。なお、本試験では冷媒に純水を用いた。

まず、凝縮器単体の伝熱性能を取得した。図 4 に凝縮器の伝熱特性の計測結果として、蒸発器における印加熱量、凝縮器入口および出口温度を示す。図よりサブクール度 40K で温度変動が少なく、安定な凝縮液が形成されることが分かった。なお他に凝縮器の鉛直に対する設置方向による影響も調べ、重力方向が凝縮器の伝熱性能におよぼす影響が小さいことを確認した。

図 5 に本排熱システムの熱性能として、印加熱量と各部の温度および圧力損失の関係を示す。図より冷媒流量が 3.0mL/min の場合、加熱部の熱流束が $100\text{W}/\text{cm}^2$ において、加熱部の温度が 120 (過熱度 20K) に保持されることが分かった。さらに冷媒流量を 4.0mL/min とした場合、限界熱流束を $150\text{W}/\text{cm}^2$ まで上昇させることができた。さらに蒸発器の圧力損失は 1000Pa 以下となった。

4. まとめ

マイクロチャンネルに捕捉された薄い蒸発液膜の高い排熱特性を利用した蒸発器 (マイクロチャンネル蒸発器) を用いた冷却システムを試作し、排熱特性を計測した。結果を以下にまとめる。

(1)冷却面に撥水性コーティングを施した凝縮器を試作し、重力方向に依存せず、安定な凝縮性能が得られることを確認した。

(2)本蒸発器を用いた冷却システムの排熱性能として、 $100\text{W}/\text{cm}^2$ を達成した。

参考文献

- [1] P.C.Stephan, C.A.Busse, *Int. J. Heat and Mass Transfer* 35,383-391, 1992.
- [2] Tsukamoto T, and Imai R., Thermal characteristics of the high heat flux micro-evaporator, *Experimental Thermal and Fluid Science*, Vol.30; Issue 8, PAGE 837-842, 2006.

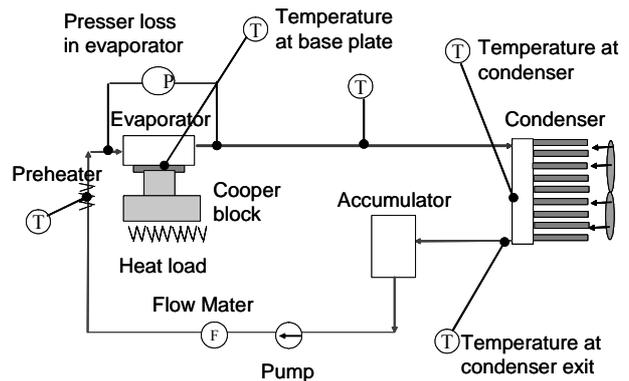


Fig. 3: Experimental set up of micro channel heat rejection system

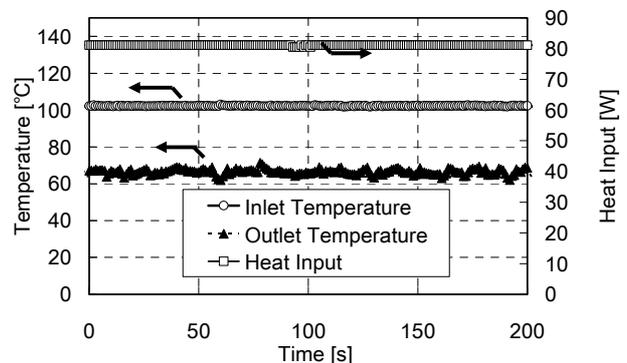


Fig. 4: Thermal performance of condenser

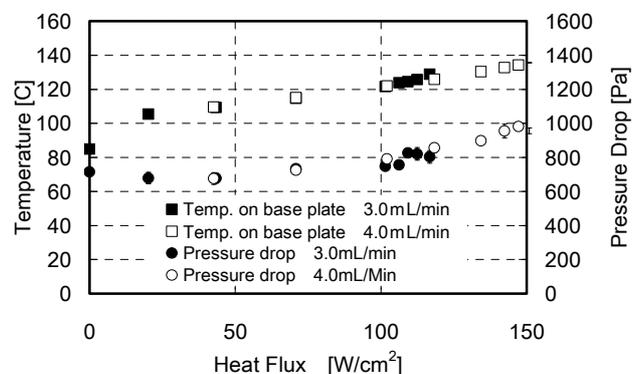


Fig. 5: Thermal performance of heat rejection system