

水冷式油圧シリンダの開発

Development of Water-cooling Hydraulic Cylinder

十朱 寧*, 鈴木 隆太郎*, 橋本 裕司**, 生田 礼次**

Ning Zhu , Ryuutarou Suzuki, Yuuji Hashimoto and Reiji Syouda

Since hydraulic cylinder used for the diet designed for manufacturing automobile parts always runs at a high temperature surrounding up to 300 degree, after s period of operation, the O-ring used inside the hydraulic cylinder is easily deteriorated, which decreased the production efficiency due to the operation of exchanging the broken O-ring. The reason of the deterioration is caused by the thermal hardening of the gum, hence it is very important to cool the surroundings of O-ring and extend its life duration. However, since O-ring is amounted inside the hydraulic cylinder and it is difficult to cool the O-ring if the conventional cylinder construction is used. In this paper, a new spiral flow path inside the cylinder for cooling the O-ring is suggested and produced. Through computer simulation and experimental verification, it was confirmed that an outstanding cooling performance was obtained. Besides, the O-ring thermal hardening effect was improved when O-ring was cooled by the new spiral flow path.

1. 緒言

Fig.1 に示すように、ある自動車部品製造用金型には、三つの油圧シリンダが取り付けられている。金型には、溶かしたアルミを流し込むため、油圧シリンダが置かれている環境の温度が 300℃まで達している。このことから、油圧シリンダの中で、油漏れ防止に使われる Oリングが急速に劣化し、破損に至るケースがしばしば報告されてきた。

現場では、一定の稼働時間を設け、定期的に運転を停止させて、破損状態になりかける Oリングの交換作業をおこなう。

う。このため、生産効率の向上に支障をもたらしている。

Oリングの劣化は高温環境においてはゴムの熱硬化に由来することから、Oリング回りを効率よく冷却し、Oリングの使用寿命を長くすることは重要な課題だと考えられる。しかしながら、Oリングの冷却はシリンダを冷却することにより行われるが、Oリングはシリンダの内部にあるため、従来のシリンダ構造^(1,2)ではOリングの冷却効率が悪くなってしまう。

そこで、本研究は、Oリング使用の長寿命化を研究目的とし、研究では、まず、H社で、油圧シリンダにおいて水冷式のスパイラル流路を考案・製作する。続いて、Solidworks を用いて三次元水冷式油圧シリンダモデルを作成した上、Solidworks Flow simulation による熱解析を実施する。最後に、実証実験システムを構築し、スパイラル流路による顕著な冷却性能を確認する。さらに、冷却時と非冷却時におけるOリングへの評価実験を行い、冷却時のOリングの熱硬化度合いを調べる。

2. スパイラル流路の考案・製作

油圧シリンダの水冷法を考案する際に、Oリング周りの流路の設計が重要である。そのほか、伝熱工学の観点から、限られたスペースの中で、いかにして熱移動の速さを向上させる構造の設計が求められる。様々な試行錯誤を行った結果、油圧シリンダにはスパイラル流路を設けることにし

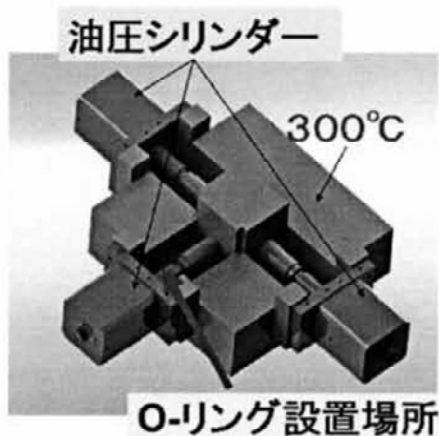


Fig.1 Die cast apparatus

2013年3月15日受理

* 理工学部 機械工学科

** 橋本エンジニアリング

た. Fig. 2 と Fig. 3 に, スパイラル流路の詳細を示す. シリンダ中の流れの様子を可視化するため, フランジと水冷カバーの一部を不可視にした. 油圧シリンダの内部には, 外側に溝を削ったブッシュをフランジ内に取り付けたものと, チューブに螺旋状の流路を削り, その上に水冷カバーをつけたものとの構造である.

冷却水はまずスパイラル流路を通過し, 油圧シリンダ下面から一旦外を経由したあと, フランジ側面から入り, そして, Oリングの周りを一周して油圧シリンダ側面から再び油圧シリンダに戻るようになっている.

従来の水冷法に比べて, スパイラル流路を導入することにより少ない流量で冷却効率の向上ができる点において評価され, 特許を取得した.

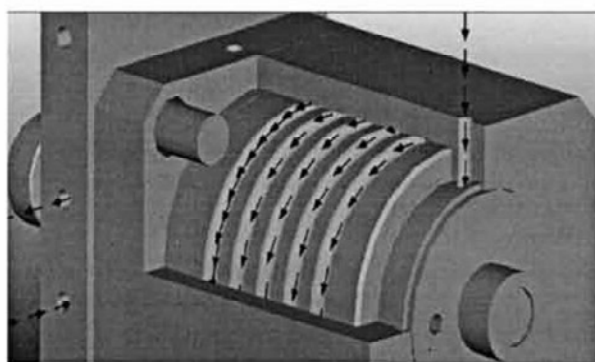


Fig.2 Structure 1 of spiral flow path

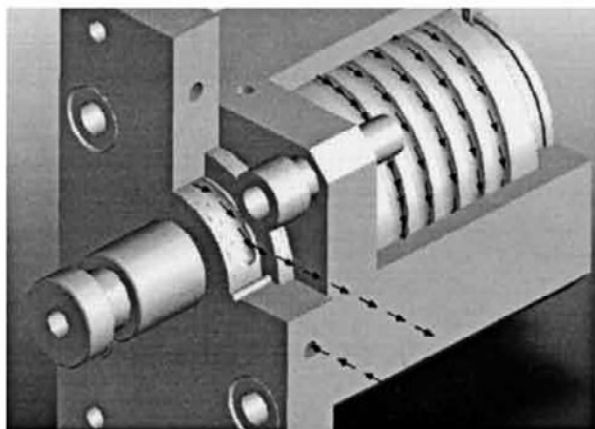


Fig.3 Structure 2 of spiral flow path

Fig. 4 に実際に製作した油圧シリンダを示す. 油圧シリンダ全体の寸法は $140 \times 121.5 \times 90$ mm で, シリンダ本体は内径 $\phi 50$ mm, シリンダ行程 45mm, ロッド径 $\phi 26$ mm である. これらの寸法の油圧シリンダは, 作動油圧力 10MPa, ロッド最大荷重 30kN で使用される. 冷却水の流路をシリンダチューブとフランジに通すことで, 効果的に

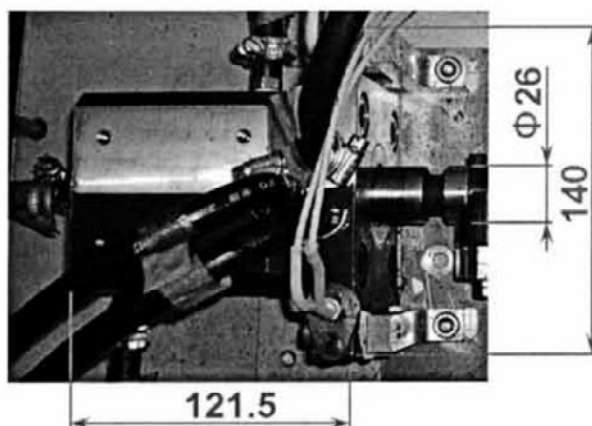
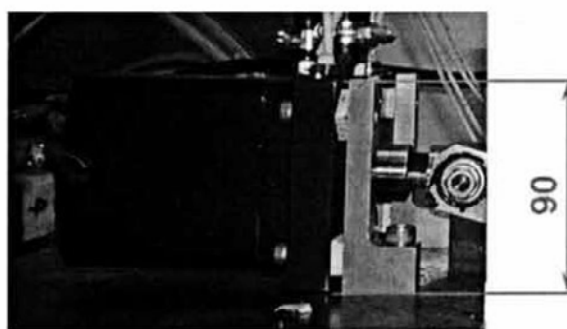


Fig.4 Manufactured hydraulic cylinder



Oリング冷却する構造となっている.

3. 油圧シリンダの熱解析

3.1 解析条件

Fig.5 に示すように, 本研究で考案・製作した冷却シリンダ ($85 \times 85 \times 103$, シリンダ内径 50mm) をモデル化し, 解析ソフト Solidworks Flow simulation を用い, 熱解析を行った.

金型に使われる油圧シリンダは特にピストンとフランジが高温化に置かれるため, 実際の使用条件に合わせ, ピストンロットに 1ヶ所, フランジに 2ヶ所の計 3ヶ所にヒーターを埋め込み, ヒーターの表面温度を 300°C とした. また, 油圧シリンダはピストンの稼働に循環する油が使われるため, シリンダチューブ側面とシリンダボトム の 2ヶ所を別々に油を循環 (流量 1l/min) させて行った. さらに, Fig.1 に示した冷却水流路は, ピストン内部とシリンダチューブを冷却するものとフランジとピストン外部を冷却するものに分かれ, 冷却水の流量はそれぞれ 0.0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 l/min とする. なお, 解析は乱流条件で行い, 各部品の材質も実物と同じものを使用した.

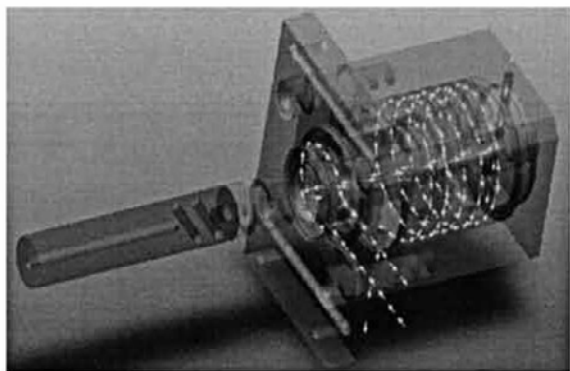


Fig.5 New cylinder model with spiral flow path

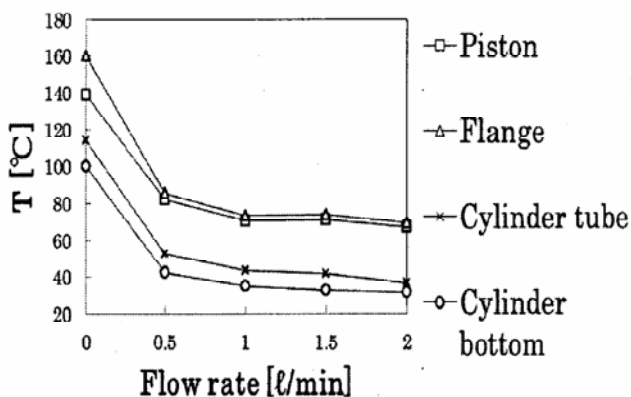


Fig.6 Temperature changes under different flow rates base on computer simulation

熱解析には使用する PC のスペックは Intel® Core(TM) i7-3770 3.4GHz である。

3.2 解析結果

Fig. 6 に解析した各部品の様々な流量における温度変化を示す。縦軸に油圧シリンダ各部の温度、横軸に流量を取る。温度観測点はピストン、フランジ、リンダーチューブとシリンダの底とする。

図からは、冷却が行わないとき(流量が 0l/min)に、すべての観測点の温度値が 100℃を超え、0リングが設置されたフランジでは、温度値が最も高く、170℃に達したことが分かった。

また、冷却流量が 0.5L/min のとき、各部の温度が急激に下がり、とくに、フランジの温度が 80℃まで低下したことが確認できた。

さらに、流量が増えるとともに冷却の効果が若干向上した。

一方、Fig. 7 に油圧シリンダの断面における温度分布図を示す。非冷却(Up)の場合、全体の温度も高いが、特にフランジとピストンが高い温度を持つことがわかる。冷却した

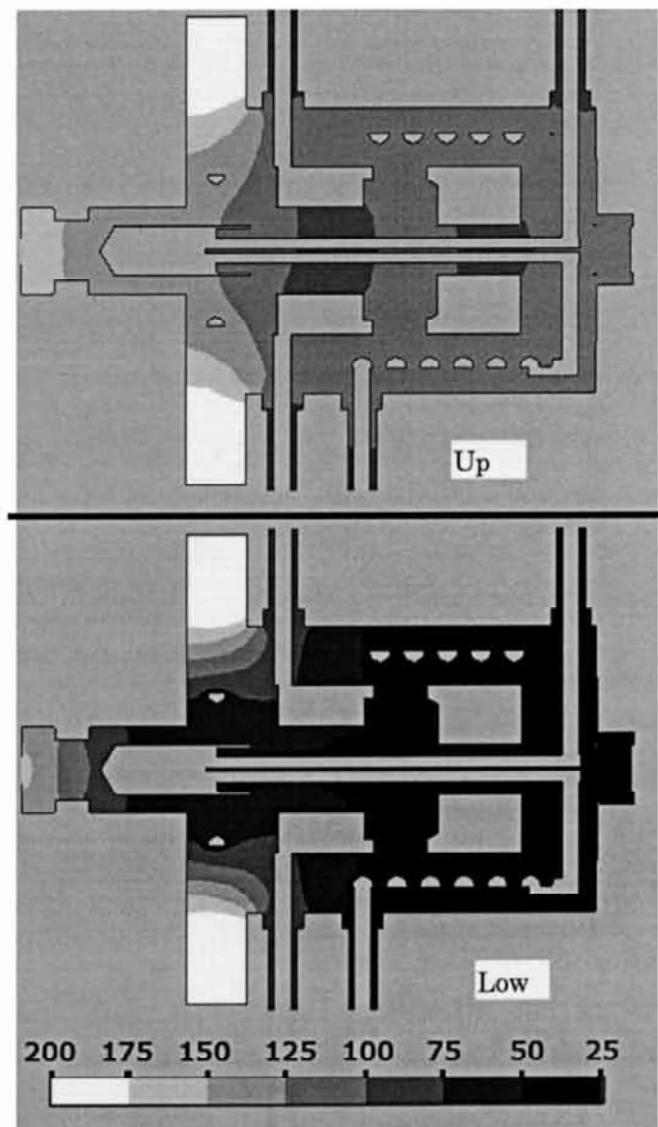


Fig.7 Temperature distribution in cylinder (up : without cooling low : with cooling)

場合(Low)、シリンダ全体の温度が低下しピストンとフランジ周辺の温度が低くなり温度の上がりやすいピストン、フランジ周辺に高い冷却効果があることがわかった。

4. 冷却検証実験

4.1 実験装置

Fig. 8 に水冷式油圧シリンダ実証実験装置図を示す。この実験システムは主に油圧シリンダ駆動装置、油圧循環回路および冷却水循環回路からなる。

油圧シリンダ駆動装置では、油圧駆動の代わりに、DC サーボモーター (700W) でウォーム・クランクを稼働させる機構を設計・製作した。実験のとき、ピストンを 1Hz

で動作させた。

油圧循環流路では、投げ込み式ヒータを取り付けた油タンクにおいて、油圧駆動油を 80℃にキープし、油圧ポンプで油圧シリンダの油圧流路を 1.5l/min の流量で循環させる。冷却水循環流路では、水タンクから油圧シリンダに入り、スパイラル流路を通り排出する。

ヒータ (100W) はピストンに取り付けた連結棒とフランジに 2ヶ所の、計 3ヶ所に取り付け加熱し続けた。なお、温度や流量などは熱解析と同じ条件を使用し、温度測定点と温度観測点はピストン、フランジ、シリンダチューブとシリンダの底とした。

Fig. 9 に、実際に製作した水冷式油圧シリンダ実証実験システムを示す。

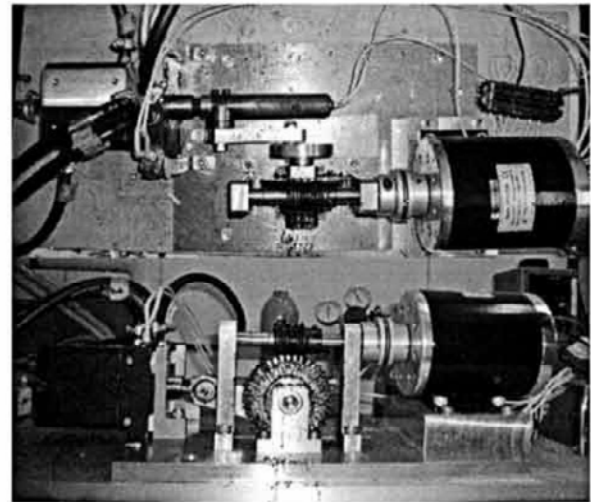


Fig.9 Verification experimental system

4.2 冷却検証実験

冷却研究実験では、まず、冷却水を流さない条件で、ヒーター、駆動モーター、油ポンプの電源を入れた後、各温度測定点の温度を測定した。次に、冷却水の流量を 0.5l/min にして、同じく温度測定実験を行った。さらに、冷却水の流量を 1, 1.5, 2 l/min ずつまで増やし、それぞれの場合の温度を測定した。

4.3 油圧シリンダの熱耐久実験

冷却検証実験結果を踏まえ、冷却なしと冷却あり (冷却水流量 0.5[l/min]) の状態で、長期間にわたり油圧シリンダを稼働させた後 Oリングの状態を調査した。なお、稼働時間は 50[hour] とする。

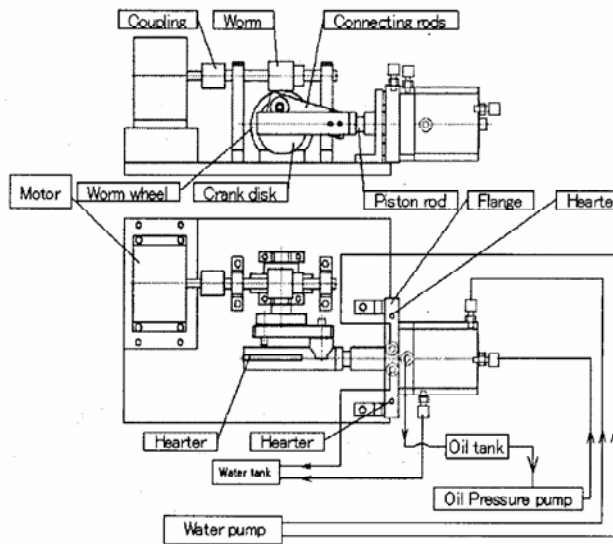


Fig.8 Experimental Apparatus

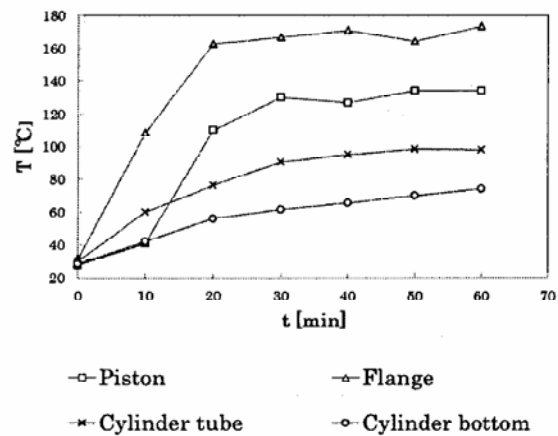


Fig.10 Temperature profiles of cylinder (without cooling)

5. 実験結果と考察

5.1 非冷却時と冷却時の温度分布

Fig. 10 に冷却なし、Fig. 11 に冷却あり (冷却水流量 =0.5l/min) の油圧シリンダの各温度測定点の温度変化を示す。

非冷却時の Fig. 10 では、油圧シリンダが稼働し始めてから、各部の温度が急激に上昇し、約 20 分経過した後、それぞれの温度が落ち着くようになった。これは、環境との熱交換で熱平衡状態に達したとの結果である。また、ピストンの Oリング設置場所とフランジの Oリング周辺の温度が非常に高くなっていることが分かった。

冷却水流量 0.5l/min で冷却を実施した場合 (Fig. 11) には、冷却水で油圧シリンダの熱を移動させたため、各部の表面温度の上昇が抑えられ、20 分ほどで、各部の温度

値がほぼ一定になったが、非冷却時に比べて、油圧シリンダの表面温度がいずれ 80℃を下回っていることが確認でき、スパライル流路の放熱効果が検証された。

また、Fig. 6 の熱解析と比較した結果、実験値が解析値とおおむね一致し、約 10%の誤差を有したことが分かった。

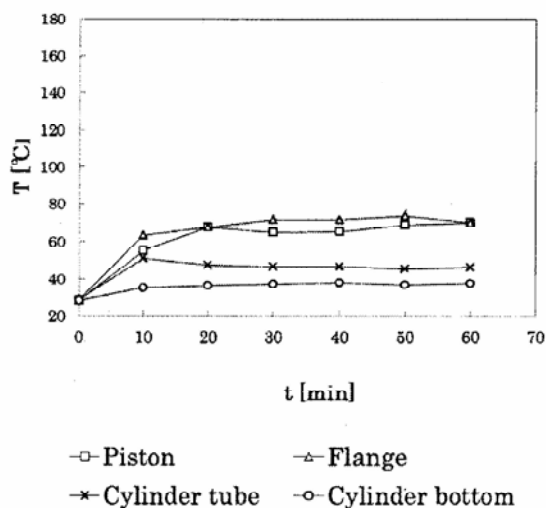


Fig.11 Temperature profiles of cylinder (with cooling)

5.2 表面温度と流量の関係

Fig. 12 に、冷却水流量と温度の関係を示す。(a)は実験値で、(b)は解析値である。図からは、冷却を行った場合、非冷却に比べて各部品の温度が期待通りにさがり、顕著な冷却効果を得たと考えられる。また、流量ごとの温また、冷却時、冷却水の流量は 0.5l/min 以上増やしても、それほど冷却の効果が見られなかった。よって、本実験においては、最適な冷却水流量が 0.5l/min だといえる

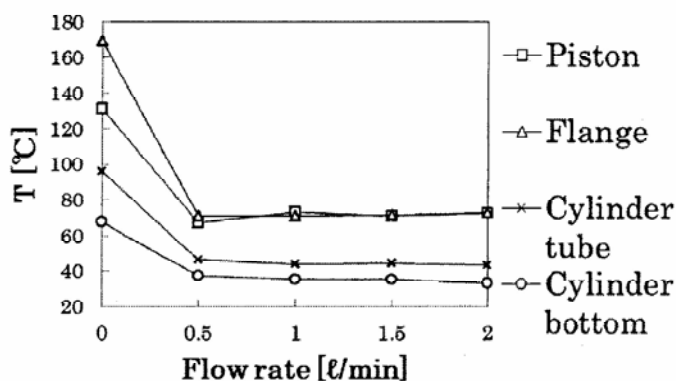
実験値を解析値と比較したところ、両者がほぼ一致したことが確認できた。

5.3 油圧シリンダの熱耐久試験

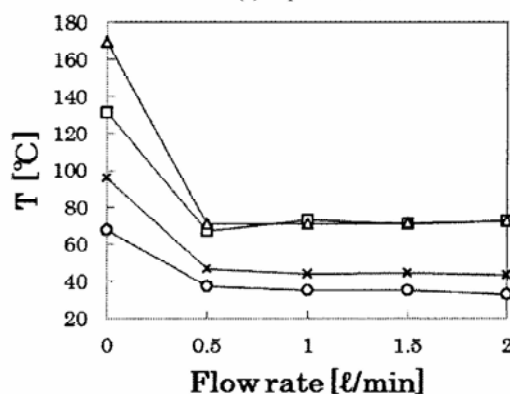
Fig. 13 に冷却時および非冷却時、油圧シリンダを 50 稼働させた後で外された O リングを示す。左側は、冷却なしで、右側は冷却ありである。冷却なしの場合、O リングは熱硬化が起こり、亀裂が発生している。一方、冷却ありの場合、O リングは、熱劣化がほぼ発生しなかった。この結果、冷却による O リング耐熱性の向上が確認された。

6. 結論

冷却ありなしでの油圧シリンダの温度特性を実験および解析ソフトにより検証した結果、冷却ありの油圧

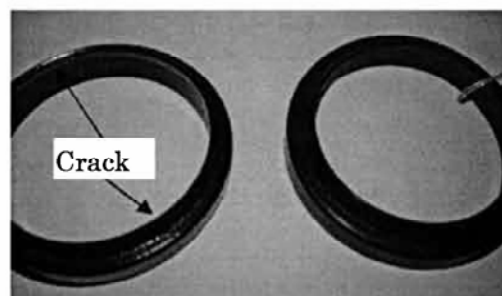


(a) Experiment



(b) Heat Analysis

Fig.12 Temperature changes under different flow rates



Left: without cooling right:with cooling

Fig.13 O-ring thermal hardening investigation

シリンダは従来の油圧シリンダに比べ、温度が著しく下がり、高い耐熱能力があることがわかった。よって、本研究で提案したスパライル流路を持つ油圧シリンダが高い放熱性能を有することが検証された。

謝辞

今回の研究は静岡県中小企業振興助成により行われたもので、ここで感謝の意を表します。また、研究の遂行に

あたり、静岡理工科大学工作センター、行平課長、河野氏より多大な支援があったことを記し感謝致します。さらに、この研究には卒研究生 鈴木康浩君、寺田太寅君の協力があったことを記す。

参考文献

1. 油圧シリンダユニットの冷却装置 - 特開平 11-291014
2. 回転油圧シリンダの冷却装置, 登録番号第 3044913号