

気泡による液圧システム用冷却装置の流れ解析

田中 豊, 吉田 利幸, 間 宣仁
法政大学工学部
鈴木隆司
(株)オーパスシステム
小池一夫
イハラサイエンス(株)

フルードパワーシステムの小型化と環境への配慮の観点から, できるだけサーバタンクを小さくし, 簡易な機構で効率よく作動流体の温度上昇を抑制するため, 作動流体への空気の積極的な混入と攪拌およびその除去による空冷装置を提案した. この装置の空気の攪拌部と除去部では, 作動流体の流れのエネルギーのみを用いて攪拌と除去が行われる. 本研究では, この空冷装置の攪拌部と除去部において, その効果の確認のために行った流れの数値解析結果について報告する.

1. はじめに

ポンプ等で加圧された作動流体の流体エネルギーを制御弁とシリンダ等により機械仕事に変換するフルードパワーシステムでは, 作動流体の温度上昇の問題は避けられない. 最近, フルードパワーシステムの小型化と環境への配慮の観点から, できるだけサーバタンクを小さくしながら, 簡易な機構で効率良く, 作動流体の温度上昇を抑制することが求められている. 最近, 鈴木らの研究⁽¹⁾により, 作動流体中に強制的に混入させた空気を積極的に除去することにより, フルードパワーシステムの作動流体の温度上昇を大幅に抑制できることが確認された.

本研究では, この結果に基づいて, 空気吸入部における作動流体中への空気吸入と混合部における空気と作動流体の攪拌, および気泡除去部での空気除去により, 作動流体の強制冷却装置を提案する. この装置では, 空気混合部と気泡除去部で, 油の流れエネルギーのみを用いて, 攪拌と除去が行なわれる.

本報では, 混合部と気泡除去部における流れの数値解析を通して, 装置内で実際に起こりうる現象を予測し, その空冷効果を検討する.

2. 空冷装置の提案

Fig.1 に提案する空冷装置の概念図を示す. 空冷装置は, 空気吸入部 (Injector) と混合部 (Mixer) および気泡除去部 (Eliminator) より構成される. 吸入部で外部から強制的に流体中に空気を混入させ, 混合部で十

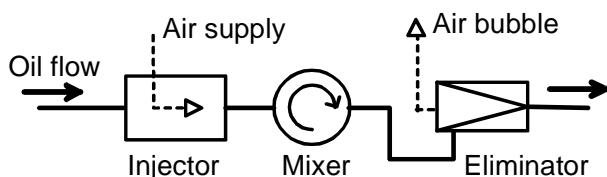


Fig.1 空冷装置の原理

分に混ぜ合わせて流体の熱を気泡に移動させた後, 気泡除去部で気泡とともに熱を取り去る. 常に流体より低温の外気を作動流体と接触させ, 攪拌した後に除去することにより強制空冷装置として機能させる. 液体と空気を直に接触させることにより, 作動流体自体の酸化劣化を促進させる懸念はあるものの, 空冷効果を高めることが期待できる. また気泡は気泡除去装置により効率よく除去されるため, 空気の混入がシステムの特性に及ぼす影響は少ないと考えられる. 空気混合部および気泡除去部については, 流体エネルギーのみを用いて混合と除去が行われる. したがって空冷装置の効果を検討する場合, 混合部と除去部の内部流れの様子を解析することは極めて重要である.

3. 混合部と除去部

3.1 混合部

Fig.2 に混合部に用いた装置の概略図を示す. 混合部に用いたスタティックミキサー⁽³⁾ (イハラサイエンス社製) は主に流体の流れと逆向きに突起のついたカップ状雄型部品の衝突筒体とそれを差し込む雌型部品の2つから構成されている. ミキサーに流れ込む液体と気体の混合流体は, カップによって衝突と巻き込みが起これ, 流れを利用して混合流体が攪拌され, 気体の混合が促進される. 簡易な構造で液体中の気泡をより細かくして, 空気の混合が効率的に行われる.

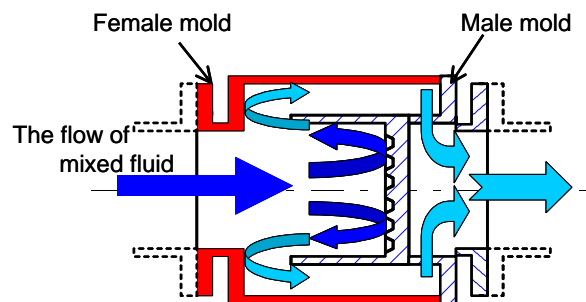


Fig.2 スタティックミキサーの構造概略図

3.2 除去部

Fig.3 に除去部に用いた気泡除去装置⁽²⁾（オーパスシステム社製）の概略を示す．気泡除去装置では，所要の流入速度で円筒体の入り口接線方向から流体が供給されると，円筒体内に旋回流が形成される．この旋回流の遠心力とそれにより生じる圧力差により，軽い気泡が中心軸付近に集まり，流れと反対側の放気口より少量の液体と共に気体が除去される．

4．数値解析手法と解析条件

ミキサーと気泡除去装置の数値解析では，Navier Stokes 方程式，連続の式，エネルギーの保存則を用い，定常計算を行って解いた．実際の計算には，汎用流体解析ソフトウェア STAR-LT を使用している．座標系は，管路部分の横断面を x - y 平面，管中心軸を z 軸にとった 3 次元直交座標系で表した．数値解析に用いた流体の密度 と動粘度 ，および流量 Q は，実際の作動油の条件にあわせて， $\rho=862$ [kg/m³]， $\mu=31.96$ [mm²/s]， $Q=20$ [l/min] として計算した．

Fig.4 に解析に用いたスタティックミキサーの寸法図を示す．ミキサーは空気流入口部，流体流入口部，衝突筒体，下流管路部の 4 つのブロックに区切った．メッシュ数は全体で 160000 個程度とした．また各部の寸法は， $D_1=12$ mm， $D_2=20$ mm， $D_3=22$ mm， $D_4=25$ mm， $D_5=6$ mm， $L_1=12$ mm， $L_2=21$ mm， $L_3=20$ mm， $L_4=16$ mm にそれぞれ設定して計算を行った．

気泡除去装置の流れ解析では，装置全体をテーパ管路流入口部，テーパ管路部，下流小口径管路部の 4 つのブロックに区切った．メッシュ数は横断面に 961 個，

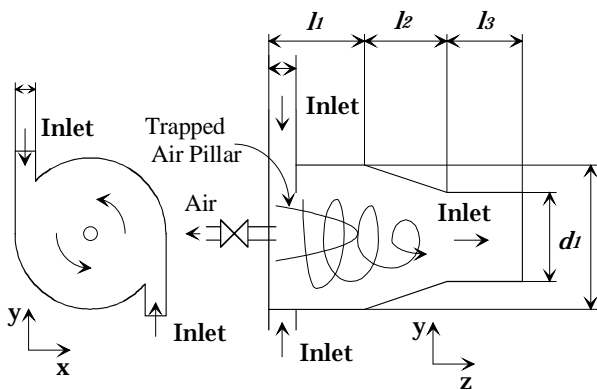


Fig.3 気泡除去装置の概略

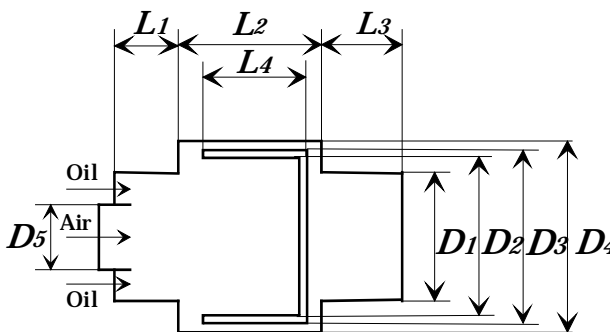


Fig.4 解析に用いたミキサーの形状

Table 1 流入口の寸法条件

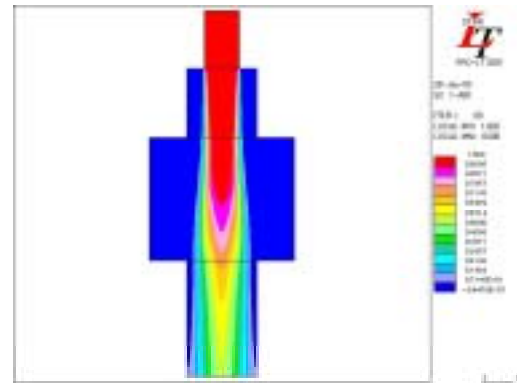
	[mm]	[mm]	α / β	s [mm ²]
No.1	1.4	15	0.09	21
No.2	3	7	0.43	21
No.3	4.2	5	0.84	21
No.4	7	3	2.33	21
No.5	10	2.1	4.76	21

全体で約 180000 個程度とした．また Table 1 には解析に用いた流入口の寸法条件を示す．流入口の面積 S を変えずに縦横比，すなわちアスペクト比 (α / β) を変化させ解析を行った．なおその他の形状寸法は， $l_1=15$ [mm]， $l_2=15$ [mm]， $l_3=130$ [mm]， $d_1=25$ [mm]， $d_2=20$ [mm] とした．

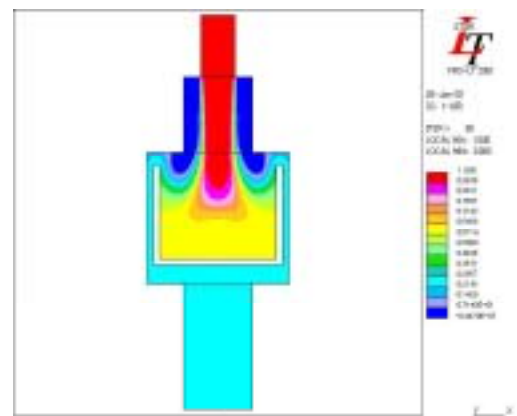
5．数値解析結果

5.1 ミキサーの解析結果

Fig.5 は流れ解析から求めた，衝突筒体の有る場合と無い場合のミキサー内部流れにおける流体の単位体積あたりの空気含有率分布の比較である．空気は実際の空冷装置と同じように，上流管の中心付近から混入させるように設定した．衝突筒体のない管では，中心付近から空気を混入させても，油より密度の小さい空気は油と均一に混ざらず，中央付近の空気の含有率が高



(a) 衝突筒体の無い場合



(b) 衝突筒体の有る場合

Fig.5 ミキサーの流れ解析結果

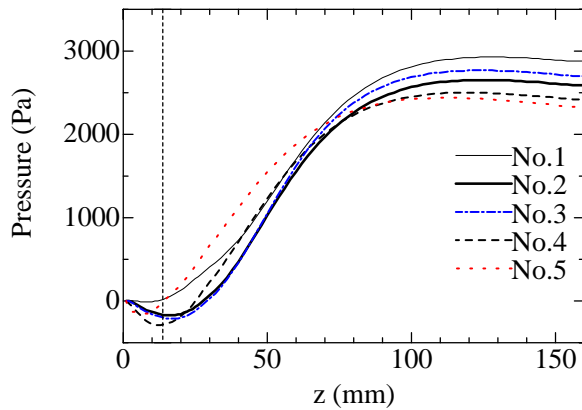


Fig.6 流入口形状の違いによる圧力分布

くなっている．一方，衝突筒体を設けると管内の空気の含有率はミキサー下部でほぼ均一となった．これは，衝突筒体があることで，流体の衝突と巻き込みが誘発され，空気が均一に攪拌された結果である．この結果より，衝突筒体を持つミキサーは気体と液体の攪拌および混合に効果があることがわかる．

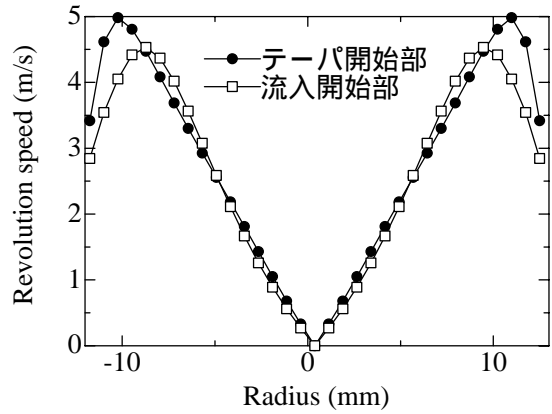
5.2 気泡除去装置の解析結果

Fig.6 は数値解析結果より求めた流入口形状寸法の違いによる管路中心軸上の圧力分布である．圧力は管路流入口部を基準として示した．テーパ開始部付近 ($z=15$) までの圧力勾配が大きいほど圧力の極小値が生まれ，この極小値が大きいほど効果的に気泡を除去できると予測できる．この結果をもとに気泡除去装置の流入口形状による圧力勾配の比較を行う．Fig.6 の圧力分布より，アスペクト比 (α/β) が大きくなるにつれて圧力勾配は大きくなる傾向にある．しかしアスペクト比が大きすぎると，圧力勾配は逆に小さくなっていく．これは β に比べ α が大きすぎると流入した流れがぶつかり合い，旋回流の形成に悪影響をおよぼすためと考えられる．

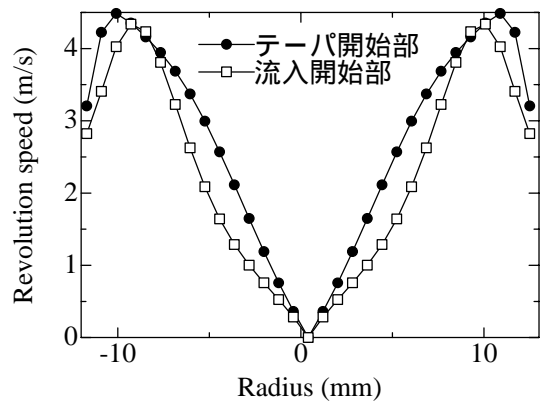
Fig.7 に流入口形状の違いによる流入開始部 ($z=0$) およびテーパ開始部 ($z=15$) の横断面における旋回速度の大きさをそれぞれ示す．流入口形状 No.1 のときは2つの断面における旋回速度の違いはほとんど見られない．一方流入口形状 No.2 のときは流入開始部より，テーパ開始部のほうが旋回速度は大きくなっている．このことから，流入開始部とテーパ開始部の旋回速度の差が圧力勾配の大きさに影響を与えていることがわかる．旋回流速が大きくなり，旋回流を加速させるような流入口形状が，効率よく気泡を集合・除去できることが予測される．

6. おわりに

提案した空冷装置に用いるミキサーと気泡除去装置の内部流れについて数値解析を行い，形状や寸法の違いが流れの挙動に与える影響を検討した．その結果，ミキサーでは衝突筒体の効果を確認し，気泡除去装置では流入口の形状寸法（アスペクト比）が旋回流速と圧力分布に影響をおよぼすことが明らかとなった．数



(a) 流入口形状 No.1



(b) 流入口形状 No.2

Fig.7 流入口形状の違いによる旋回流の速さ

値解析結果は今後の装置製作の設計指針を与えるものであり極めて有効である．

最後に本研究の数値解析は法政大学計算科学研究センターにおいて行われた．この場を借りて関係者に謝意を表す．

7. 参考文献

- (1) Suzuki, R., Tanaka, Y., Yokota, S., Reduction of Oil Temperature Rise by Use of a Bubble Elimination Device in Hydraulic Systems, Journal of the Society of Tribologists and Lubrication Engineers, March 1998, Vol.54, No.3, pp.23-27, 1998-3
- (2) 鈴木:気泡除去装置,油圧と空気圧,24 巻 3 号,340/345, 1994.
- (3) 杉浦, スタティックミキサー, 公開特許平 9-299776, 1997.

キーワード.

数値解析、フルードパワーシステム、油圧、旋回流れ、気泡、冷却装置

Summary

Numerical Investigation of Active Heat Exchanger for Fluid Power Systems

Yutaka Tanaka, Toshiyuki Yoshida, Nobuhito Hazama
Department of Mechanical Engineering, Hosei University, Tokyo Japan

Ryushi Suzuki
Opus System Inc., Tokyo Japan

Kazuo KOIKE
Ihara Science Co., Nakaizucho, Tagatagun, Shizuoka, Japan

One trend in industrial manufacturing is for fluid power systems, as well as fluid power components, to be designed in a more compact fashion. The benefits of smaller fluid power systems are obvious — economy of materials, less energy consumption, less square-footage required. But one often overlooked drawback is the increased probability of air entrainment for fluid power systems that incorporate smaller reservoirs. Also a recent trend in fluid power systems, an environmental protection movement has gained momentum under the global issue. Bubbles or foam in working oils greatly influence the performance of fluid power systems and may cause major problems. Recently, one of the authors has developed a new device using swirl flow for bubble elimination capable of eliminating bubbles and of decreasing dissolved gases. We call this eliminating device a bubble eliminator. In our previous study, we have reported that the bubble eliminator is useful for preventing oil temperature rise caused by the bubbles under low, moderate and high system pressure conditions. A new device for mixing gases and liquids is also developed by one of the author's company. We also call this device a static mixer.

In this paper, a new heat-exchanging system for fluid power systems are proposed and developed by using a principle of the static mixer and the bubble eliminator. The heat-exchanging system consists of an injection, mixing and elimination parts. Firstly, surrounding air is directly and occasionally infused in oil line at the injection parts. Secondary, the air is efficiently mixed with the oil by the static mixer at the mixing part. Thermal energy of the oil is transferred to the adjoining air through the surface of the air bubbles in the oil. The oil is cooling down at the mixing part and the temperature rise of the oil is restrained. Finally, the air bubbles with thermal energy are separated from the oil by the bubble eliminator at the elimination part. We call this system an active heat exchanger. Flow pattern in the static mixer and the bubble eliminator has great influence on thermal efficiency of the active heat exchanger. Numerical analysis of the flow in the static mixer and the bubble eliminator is carried out to investigate the influence of mixing and separating the air to the oil.

Keywords.

Numerical Analysis, Fluid Power System, Swirling Flow, Bubble Elimination, Heat Exchanger