

報告日 2016年(平成28年)6月29日

報告者 青山学院大学 理工学部 助教

(前 法政大学マイクロ・ナノテクノロジー研究センター ポスト・ドクター)

坂間 清子

1. 研究概要

(和文)

(1) 課題名 (日本語)

油中気泡の除去による油圧動力伝達システムの高性能化に関する研究

(2) 研究者氏名

坂間 清子 青山学院大学 理工学部 機械創造工学科 助教

(研究実施期間中の所属・職名：法政大学マイクロ・ナノテクノロジー研究センター P・D)

(3) 研究概要 (日本語)

油圧動力伝達システムの作動油中の気泡は、システムの動特性の低下、作動油の劣化促進、機器の故障等の原因となる。本研究では、気泡を作動油から積極的に分離・除去する気泡除去装置を使用することでこれらの問題を解決し、油圧動力伝達システムの性能を向上させることを目的としている。本目的を達成するために、気泡除去装置の形状パラメータの選定法を検討し、気泡除去装置の高性能化を図った。さらに、油中気泡の除去が油圧システムで生じる問題の解決に有効であることを実験的に明らかにした。

(4) キーワード

気泡, 気泡除去装置, CFD, 油圧動力伝達システム

(英文)

(1) Research title

Performance Improvement of Hydraulic Systems by Removing Bubbles from Working Oil

(2) Name of researcher with title of position

Sayako Sakama, Assistant Professor, Aoyama Gakuin University

* Postdoctoral fellow, Research Center for Micro-Nano Technology,

Hosei University (until March 2016)

(3) Summary

Air bubbles in hydraulic oil lower the efficiency of hydraulic systems and contribute to instrument malfunctions. A bubble elimination device termed a bubble eliminator which removes air bubbles from hydraulic oil using swirl flow is useful to improve the efficiency of hydraulic systems. The purpose of this study is to increase the performance of the bubble eliminator, and we considered the selection method of the device shape parameters.

(4) Key Words

Bubble, Bubble eliminator, CFD, Hydraulic system

2. 本研究の意義・特色

気泡除去装置は、複雑な制御を必要とせず、油圧システムの回路内にインラインで接続するだけで油中気泡を除去することができる。しかし、装置に流入する流体の条件の違いが装置の気泡除去性能に大きく影響をおよぼすため、常に高い性能で効率よく油中気泡を除去するには流体条件の違いを考慮して装置の形状パラメータを選定する必要がある。本研究では、装置に流入する作動油の流量や動粘度、また気泡の量や大きさ等の様々な条件の違いを考慮した装置の設計法を検討している。この設計法に従って装置の形状パラメータを選定することで、使用環境に依存せず、常に高い性能で油中気泡を除去することができる。

3. 実施した研究の具体的内容、結果 (本文)

3. 1 気泡除去装置の構造と原理

気泡除去装置は、旋回流を利用して比重の小さい空気を作動油から分離・除去する装置であり、流体を流入させる流入口、気泡の取り除かれた作動油を流出させる流出口、作動油から分離された気泡を流出させる放気口の3つのポートを有する。Fig.1 に気泡除去装置の構造と原理を示す。流入口は管路の接線方向から流体が流入するように取り付けられており、流入口から流入した流体は旋回しながら流出口に向かう。この旋回流によって比重の小さい空気は管路の中心軸上に集合する。放気口は、流出口の反対側に取り付けられており、装置の中心軸上に集合した気泡は、流出口側に背圧をかけることで放気口から除去される。

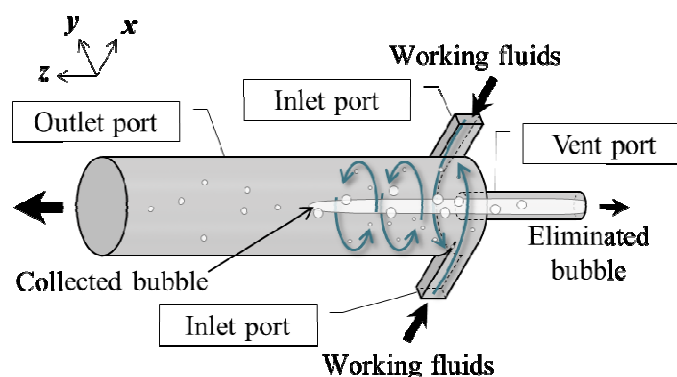


Fig.1 Principle of bubble eliminator

3. 2 気泡径の違いを考慮した気泡除去装置の設計指針の確立

装置の気泡分離除去性能は、装置に流入する流体の条件や装置各部の形状パラメータの違いで大きく変化する。2015年度の研究では、装置に流入する気泡の大きさに注目し、

気泡径の違いが装置の性能におよぼす影響を確認した。Fig.2 は、気泡の径 D_B と装置の大きさを相対的に変更して実施した数値解析の結果であり、装置の断面と中心軸上の気泡の含有率分布を表す。図中の D_2 は気泡除去装置の流出口径である。また、 D_B / D_2 は、気泡の大きさを相対的な尺度で表すために導入した指標であり、無次元気泡径と呼ぶ。本解析では、装置の流出口径を代表長さとし、作動油の流量と動粘度を用いて算出されるレイノルズ数は全て同じ値になるように条件を設定している。ここでは No.1 を基準の条件としており、No.1 と No.2 は気泡径のみ異なる条件である。No.3 は、気泡径と装置の大きさ、装置に流入する流体の流入流量を変更し、レイノルズ数と無次元気泡径がそれぞれ No.1 と同じになるように条件を変更している。No.1 と No.2 の条件で比較すると、気泡径 D_B が小さいほど装置の中心軸上に気泡が集合し難く、放気口から除去される気泡の量が減少することがわかる。一方、No.1 と No.3 の条件で比較すると気泡含有率分布はよく一致しており、気泡径 D_B が小さくても、無次元気泡径が同じ条件であれば装置内部の気泡の挙動は一致することがわかる。以上のことから、レイノルズ数と無次元気泡径がそれぞれ一致する条件で装置を設計すれば、装置の使用環境が異なる条件においても高い性能で気泡を分離除去できることが明らかになった。

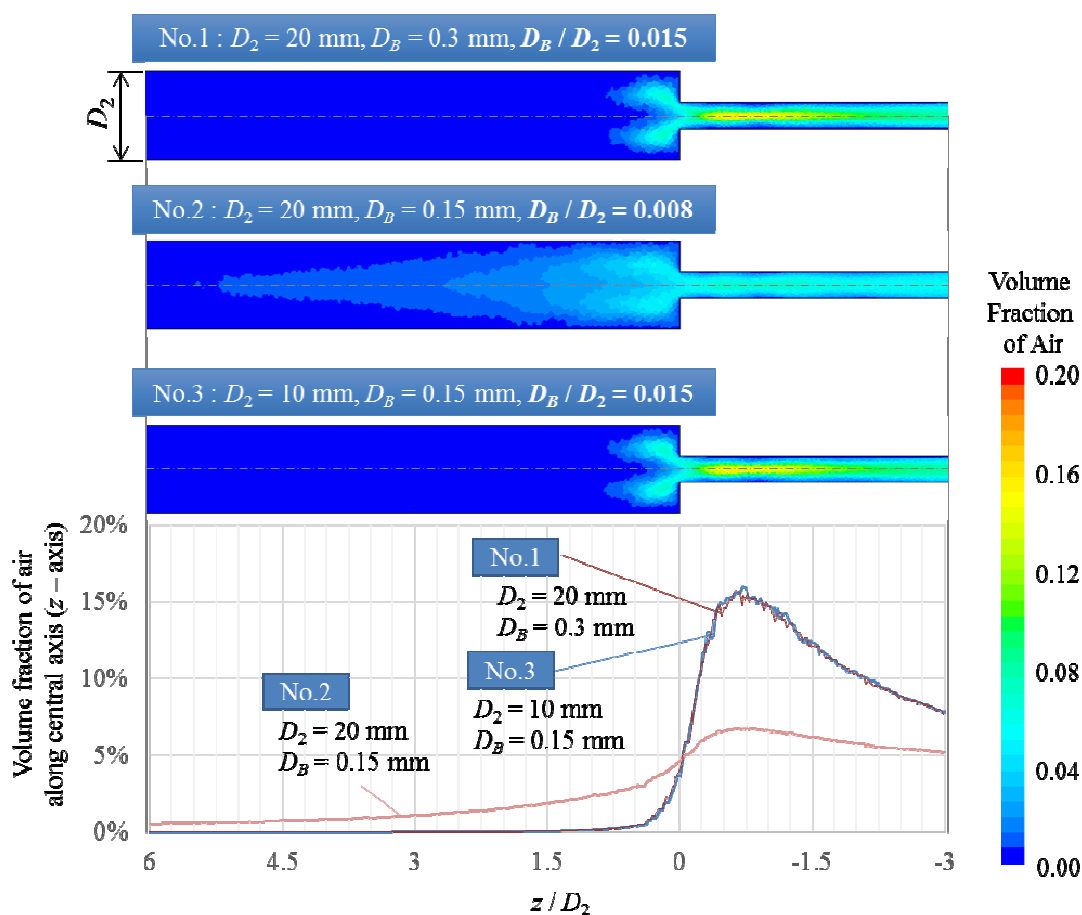
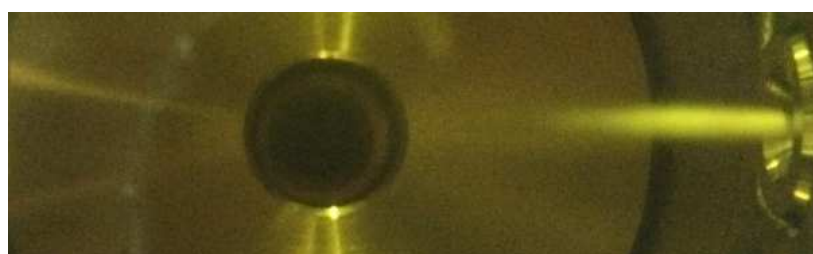


Fig.2 Volume fraction of air

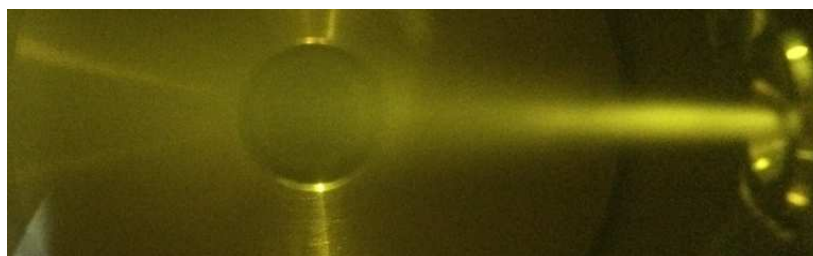
3. 3 気泡除去装置の利用が油圧動力伝達システムの性能に与える効果

本研究では気泡除去装置の利用が油圧動力伝達システムの性能にあたる効果を確認するために、キャビテーション噴流の可視化実験と気泡の混入した作動油の剛性評価実験を実施した。

キャビテーション噴流の可視化実験では、気泡除去装置を使用して油中気泡の除去を行った条件と行っていない条件で、円筒形絞りで発生するキャビテーションの様子を比較した。Fig.3 に実験で撮影されたキャビテーション噴流の様子を示す。(a)は気泡除去装置を使用した条件、(b)は気泡除去装置を使用していない条件である。気泡除去装置を用いて油中気泡を積極的に除去することでキャビテーションによって析出する気泡の量が減少することが確認され、気泡除去装置の利用がキャビテーション発生抑制に効果があることを実験的に明らかにした。



(a) Bubble eliminator ON



(b) Bubble eliminator OFF

Fig.3 Cavitation jet

作動油の剛性評価実験は、気泡の混入した作動油と気泡を除去した作動油で等価体積弾性係数を実験的に測定し、作動油のみかけの剛性の変化を比較した。体積弾性係数は流体の剛性を表す指標であり、次式で定義される。

$$K = -V \frac{dp}{dV} \quad (1)$$

ここで p は圧力、 V は動作点における体積である。空気は作動油に比べて圧縮性が高いため、作動油に空気が混入すると体積の変化に対する圧力の変化が小さくなり、体積弾性係数の

値は小さくなる。本研究では、作動油の圧力と体積の変化を実験的に測定し、式(1)を用いて作動油の体積弾性係数を算出することで作動油の剛性を評価した。さらに、本研究では気泡の混入した作動油の等価体積弾性係数の理論モデルの検討も行い、理論モデルと実験値の比較を行った。Fig.4 に実験で測定された圧力と体積変化の値から算出した等価体積弾性係数と、理論モデルから算出した等価体積弾性係数の変化を示す。ここでは、横軸に圧力、縦軸に体積弾性係数をとっている。離散的に示されているプロットは、実験結果から算出された作動油の等価体積弾性係数を表しており、青と赤のプロットはそれぞれ気泡の混入した作動油と気泡が除去された作動油の等価体積弾性係数の変化である。また、各結果の丸いプロットは昇圧行程、三角のプロットは降圧行程の体積弾性係数を表している。気泡が混入した作動油は、気泡が除去された作動油に比べて等価体積弾性係数の値は小さく、また昇圧行程と降圧行程で比較すると昇圧行程の方が等価体積弾性係数は小さい。昇圧行程と降圧行程で体積弾性係数の変化に違いが生じたのは、混入空気が圧縮・膨張するだけでなく、作動油中で溶解・析出することが影響している。空気の析出は瞬間的に生じる現象であるのに対し、気泡の溶解は数十秒要することが知られており、この空気の溶解と析出現象の時間的な違いを理論モデルでも考慮する必要がある。図中の実線は理論モデルから算出された作動油の等価弾性係数の変化であり、赤い線は大気圧下での気泡混入率 x_{p0} が 0%、青い線は気泡混入率 x_{p0} が 0.15% のときの結果である。本理論モデルでは空気の溶解と析出を考慮しており、これらを考慮することで実験の結果とよく一致することが確認された。

1) 新井澄夫, 油圧作動油, 日刊工業新聞社, 1964

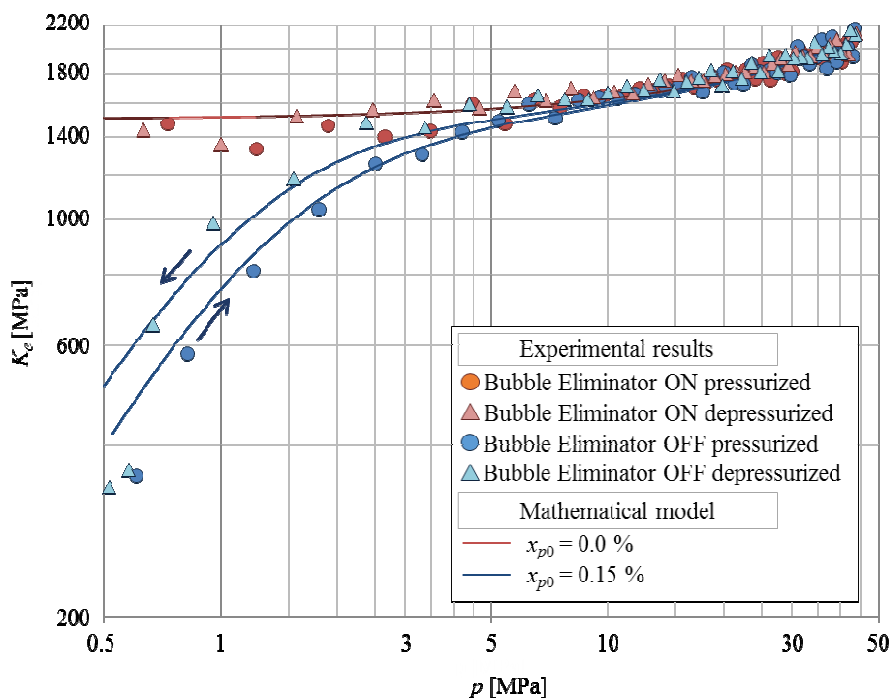


Fig.4 Effective bulk modulus change

4. 本研究を実施したグループに属するおもな研究者の氏名・役職名

坂間清子・青山学院大学 工学部 機械創造工学科 助教

田中豊・法政大学 デザイン工学部 教授

鈴木 隆司・(株) オーパスシステム 気泡技術研究所・所長

五嶋 裕之・(株) 菊池製作所 (前 財団法人機械振興協会 技術研究所・センター長代理)

5. 研究実施時期

2015年(平成27年)3月1日 から 2016年(平成28年)3月31日

6. 本研究に関連して発表した主な論文等

【学術論文(査読有り)】

- 1) Sayako SAKAMA, Yutaka TANAKA, Hiroyuki GOTO, Mathematical Model for Bulk Modulus of Hydraulic Oil Containing Air Bubbles, Mechanical Engineering Journal, Vol.2, No.6, 15-00347, 2015

【国際会議】

- 1) Sayako SAKAMA, Yutaka TANAKA, Hiroyuki GOTO, Proposal on Mathematical Model for Bulk Modulus of Hydraulic Oil Containing Air Bubbles, Proceedings of the 6th International Conference on Manufacturing, Machine Design and Tribology, No.15-204, pp.482-483, 2015

【国内講演会】

- 1) 五嶋裕之, 坂間清子, 舟知亮祐, 田中豊, 油中気泡量の測定によるキャビテーションの評価, 日本機械学会山梨講演会講演論文集, pp.74-75, 2015
- 2) 五嶋裕之, 舟知亮祐, 坂間清子, 田中豊, ハイスピードカメラによるキャビテーション噴流の可視化, 平成27年秋季フルードパワーシステム講演会講演論文集, pp.98-100, 2015
- 3) 坂間清子, 鈴木隆司, 田中豊, 混入気泡径の違いを考慮した気泡除去装置の設計法, 平成27年秋季フルードパワーシステム講演会講演論文集, pp.23-25, 2015

7. 内外における関連研究の状況

本研究では油中気泡を積極的に除去することでキャビテーションの発生や機器の動特性の低下を抑制することを提案しているが、これらの問題の解決には他にも多くの方法が提案されている。油圧システムにおけるキャビテーションに関する研究では、キャビテーションの発生やキャビテーションによって生じる騒音や部材の壊食を抑制するために、これらの問題が生じる部品の設計法に関して有効な方法が数多く報告されている¹⁾³⁾。また、油圧機器の動特性の向上に関する研究では、作動流体に剛性の高い油を使用することで機器の応答性が向上することが報告されている⁴⁾。しかし、最近ではこういった油圧の基礎的な

問題の解決に関する研究は少なくなっている。

- 1) 青山邑里, 小山寿, 則武宏昭, 山本全男, 小池昇, 松岡祥浩, 円筒形絞りに発生するキャビテーションの可視化 (第2報, 絞り部形状の違いによる比較), 日本機械学会論文集 (B編), Vol. 64, No. 625, pp. 2889-2896, 1998
- 2) 稲熊義治, 日比昭, 市川常雄, “油圧システムの絞りにおけるキャビテーション”, 油圧と空気圧, Vol. 7, No. 6, pp. 341-347, 1976
- 3) 風間俊治, 三浦頼仁, “噴流キャビテーション壊食の低減(絞り出口および噴流衝突面近傍形状による流れ場制御)”, 日本フルードパワーシステム学会論文集, Vol. 38, No.6, p. 77-82, 2007
- 4) 留滄海, 芦金石, 坪内俊之, 大坂一人, 大場孝一, 北川能, 高剛性作動油による油圧サーボシステムの性能向上 (第1報, 圧力応答の向上), 日本フルードパワーシステム学会論文集, Vol. 42, No.2, p. 25-30, 2014

8. 今後の発展に対する希望

機器の小形化, 高出力化が求められている油圧システムは, 使用される環境が今後ますます厳しくなっていくことが予想され, キャビテーションの発生や機器の動特性の低下は避けられない問題である。油圧機器のさらなる高性能化には, 油中の気泡に起因して生じる問題に限らず, 油圧システムで生じる様々な問題の解決法を検討していく必要がある。最近では油圧の基礎的な研究に取り組む研究者が減ってきているが, このような基礎的な研究は継続して取り組まれていかなければならない。