

令和 3 年 6 月 14 日現在

機関番号：11301

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2018～2020

課題番号：18K18819

研究課題名（和文）油中析出実験と乱流解析による革新的キャビテーションモデルの開発

研究課題名（英文）Development of Innovative Numerical Model of Cavitation through Liberation Experiment in Oil and Simulation of Turbulence

研究代表者

伊賀 由佳（Iga, Yuka）

東北大学・流体科学研究所・教授

研究者番号：50375119

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,900,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、油圧作動油の回転同心円筒減圧実験を通じ、せん断流れにおける気体性キャビテーションの発生特性の解明を行った。その結果、流れ場のせん断が強いほど、また、減圧速度が遅いほど、気体性キャビテーションが発生しやすいことがわかった。また、その発生特性は、減圧速度が速いほど発生圧力が低下する非平衡析出領域と、発生圧力が減圧速度に依存しない平衡析出領域に分けられることを発見した。さらに、その発生特性の境界となる減圧速度と非平衡発生圧力の定式化を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で得られた気体性キャビテーションの発生条件をキャビテーション数値解析モデルに適用することにより、より現実に近いキャビテーション発生の数値予測が可能となる。キャビテーションの発生予測ができれば、キャビテーションによって性能が低下してしまうポンプの高性能設計が可能となる。特に、ロケットエンジン以外では未だ開発されておらず、しかし、今後はたる水素社会において必須となりこれから開発が始まる水素輸送ポンプにおいて、その吸込性能を向上する最適設計が可能となり、水素サプライチェーンのコスト低減に貢献できると期待できる。

研究成果の概要（英文）：In this study, decompression experiment of concentric rotating two cylinders with oil between the narrow clearance was done in order to clarify the characteristics of occurrence of gaseous cavitation in a shear flow field. As the result, it was shown that the gaseous cavitation is easy to occur in the flow field with higher shear and lower pressure-drop. And it was newly found that the occurrence characteristics are classified into two regions; one is non-equilibrium separation where the occurrence pressure decreases according to increase the decompression speed and the other is equilibrium separation where the occurrence pressure is constant despite of the change of the decompression speed. Furthermore, the equation of the boundary decompression speed between the two characteristics and the non-equilibrium occurrence pressure were derived.

研究分野：流体工学

キーワード：気体性キャビテーション 溶存気体 析出 テイラー渦 油圧作動油

1. 研究開始当初の背景

【水素ポンプ設計における問題点】

水素サプライチェーンと同様の液化天然ガス(LNG)のサプライチェーンで現在用いられているポンプでは、実液であるLNGを用いずに設計・開発され、最終的な性能確認のみ国内または海外の施設で実液を用いて行われている。これは、極低温かつ引火性の高い実液を大量に用いた実験が極めて高コストであることが要因である。

【設計に数値解析を用いることができない理由】

ポンプではキャビテーションという現象が発生する。キャビテーションとは、液体が加速する場所で圧力が局所的に低下し、飽和蒸気圧を下回ることで主に蒸発により気体が発生する現象で、ポンプを高性能化(小型・高速化)する際にしばしば発生し、逆に性能低下を引き起こしてしまう。このキャビテーションの信頼できる数値解析モデルが存在しないため、LNGポンプの設計に数値解析を用いることができず、かといってLNGを用いた実験もできず、LNGポンプの高性能化は簡単ではないのが現状である。このままでは、同じ極低温ポンプである水素ポンプも同様の開発方法となってしまう、高性能化は望めない。

【キャビテーションモデルの問題点】

現在、国内で入手可能なほとんどの汎用ソフトウェアや、研究者による内製コードは、最も単純な流れ場と言える単独翼まわりのキャビテーション流れであっても、ある条件で、時間平均揚力すら予測できないことがわかってきた。ポンプの設計に数値解析を用いるためには、キャビテーションモデルを根本から見直す必要がある。

2. 研究の目的

本研究は、来たる水素社会での水素サプライチェーンにおいて、エネルギーコスト低減に直結する水素ポンプの性能を向上するための、キャビテーション数値解析モデルの開発を目的とする。現状の全てのキャビテーションモデルで考慮されていない、液体中に溶存する非凝縮性気体が流れ場の流動刺激を受けて析出することによってキャビテーションの発生条件が動的に変化するという実事象を考慮した革新的数値解析モデルの開発を試みる。

3. 研究の方法

本研究で実験に用いる作動流体は、溶存する気体が多く、また、飽和蒸気圧が極めて低く、流れの減圧による蒸発に伴い発生する通常の蒸気性キャビテーションではなく、溶存気体の析出により発生する気体性キャビテーションが支配的であると考えられる油圧作動油を用いる。流れ場は、せん断の強さと、減圧速度を変化されることができる回転同心円筒減圧流れで、ホームビデオカメラを用いて気泡発生 of 可視化観察を行った。直径 $100\ \mu\text{m}$ を気泡発生 of 指標とし、減圧せん断流れにおける気体性キャビテーションの発生条件を求めた。得られた結果から発生特性を求め、発生 of 圧力条件や、発生特性 of 境界 of 定式化を行う。

4. 研究成果

本研究では、油圧作動油 of 回転同心円筒減圧実験を通じ、せん断流れにおける気体性キャビテーション of 発生特性 of 解明を行った。実験では、せん断 of 強さに相当する回転速度と、圧力履歴に相当するその結果、図1に示すように、流れ場 of せん断が強いほど、また、減圧

速度が遅いほど，気体性キャビテーションが発生しやすいことがわかった．

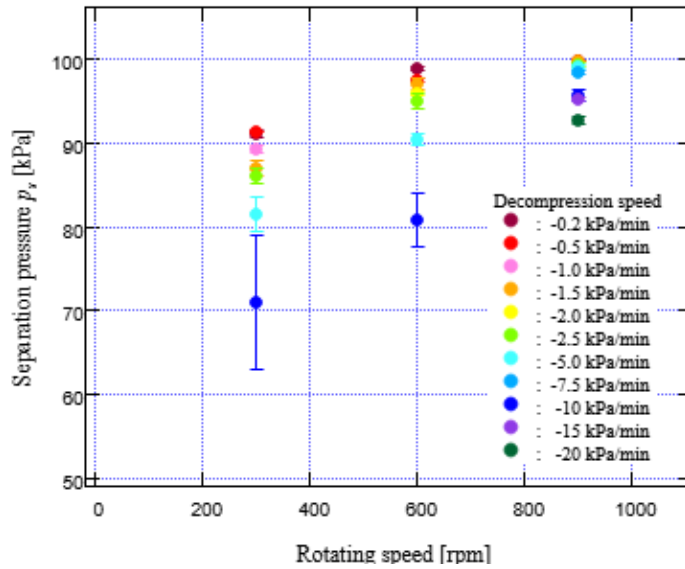


Fig.1 Separation pressures of 100 μ m bubble in each decompression speed at 300, 600, 900 rpm.

また，その発生特性は，図2示すように減圧速度が速いほど発生圧力が低下する非平衡析出領域と，発生圧力が減圧速度に依存しない平衡析出領域に分けられることを発見した．

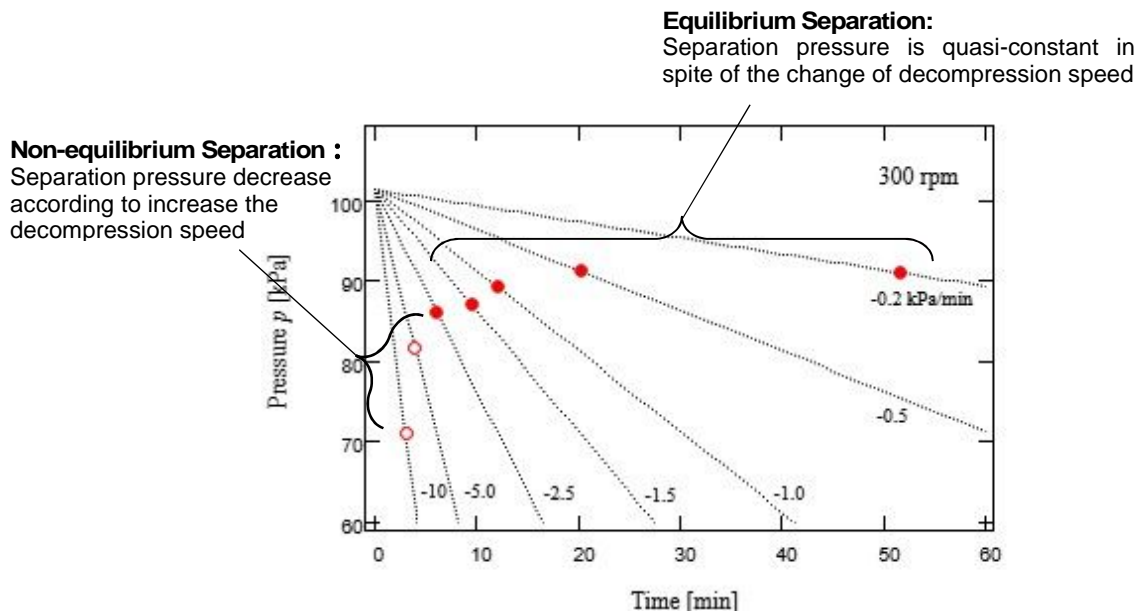


Fig. 2 Pressure history and the separation pressure in each decompression condition at rotating speed 300 rpm.

その発生特性の境界となる減圧速度と非平衡発生圧力の定式化を行った．さらに，図3に示すように，平衡析出では，析出圧力が減圧速度に対しては一定であるものの，回転速度に対して不連続的に3つの領域に分かれて値を取ることがわかった．これらの3つの領域では，乱流数値解析の結果，回転数の上昇に伴い流れ場が層流クエット，直線状テイラー渦，波状テイラー渦と変化しており，平衡析出では流れ場の形態によりそれぞれ一定値となる析出圧力の値が不連続的に変化することがわかった．

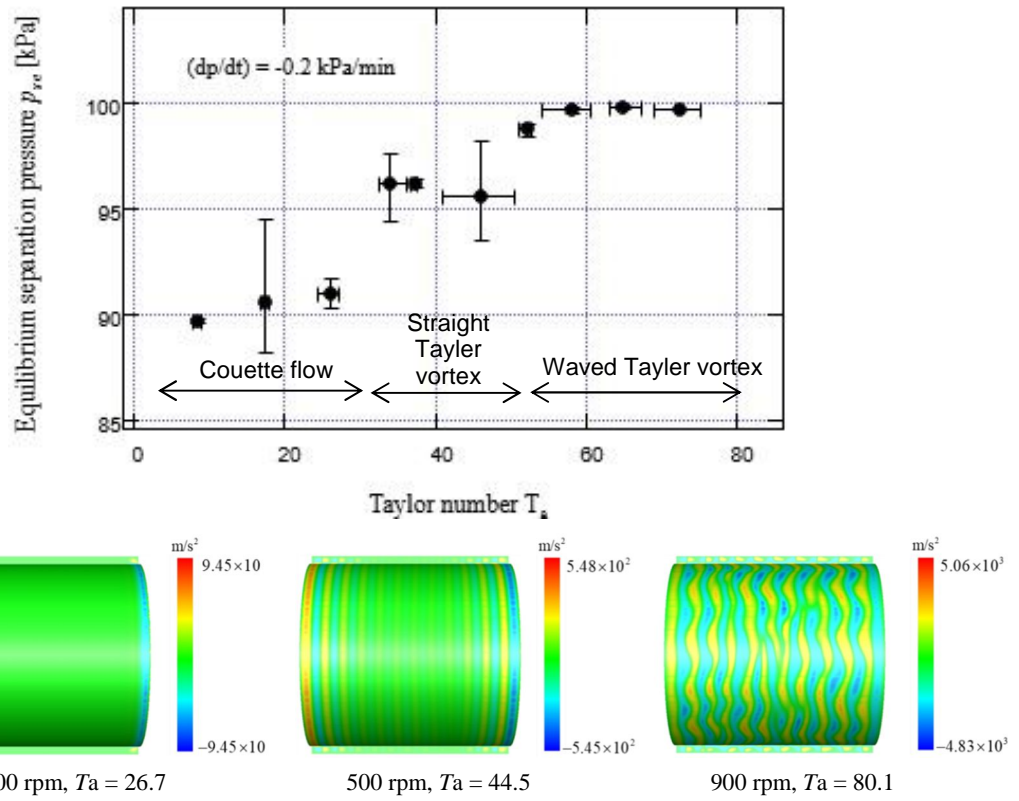


Fig.3 The change of equilibrium separation pressure in each rotating speed at constant decompression speed -0.2 kPa/min against Taylor number.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 伊賀由佳, 楨井大輝, 佐々木裕章	4. 巻 85
2. 論文標題 非定常キャピテーション流れの流動刺激が促進する溶存気体の析出に関する一考察	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 日本機械学会論文集	6. 最初と最後の頁 19-00217
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 0件／うち国際学会 4件）

1. 発表者名 Yuka Iga, Junnosuke Okajima, Shunpei Takahashi, Yousuke Iyata
2. 発表標題 An Experimental Consideration of Occurrence Condition of Gaseous Cavitation in Oil
3. 学会等名 11th International Symposium on Cavitation (CAV2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Daiki Makii, Hirotooshi Sasaki, Yuka Iga
2. 発表標題 In-Situ Measurement of Liberation of a Dissolved Gas in Unsteady Cavitating Flow in a Water
3. 学会等名 ASME-JSME-KSME Joint Fluids Engineering Conference 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shunpei Takahashi, Tomohiko Usui, Yuka Iga
2. 発表標題 Numerical Study of Appearance of Gaseous Cavitation around a Stator Blade in Torque Converter
3. 学会等名 15th Asian International Conference on Fluid Machinery (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yosuke IBATA, Yudai MATSUURA, Shunpei TAKAHASHI, Yuka IGA
2. 発表標題 Development of gaseous cavitation model in hydraulic oil flow considering the effect of dynamic stimulation
3. 学会等名 29th IAHR Symposium on Hydraulic Machinery and Systems (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 井畑陽輔, 薄井友彦, 伊賀由佳
2. 発表標題 作動油中での気体性キャピテーション発生における流動刺激の影響
3. 学会等名 日本流体力学会年会2018
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関