

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 19 日現在

機関番号：11401

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23560185

研究課題名(和文)回転円すいの外表面を上昇する液膜流の生成メカニズムと微粒化

研究課題名(英文) Generation mechanism of rising film flow along the rotating conical outer surface and the subsequent atomization characteristics

研究代表者

足立 高弘 (Adachi, Takahiro)

秋田大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：60344769

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,100,000円、(間接経費) 1,230,000円

研究成果の概要(和文)：本申請者等は、頂角を下にした円すい体を水に浸し回転させることで、円すい体の外表面を液が上昇し、液膜が形成される現象を見出した。液膜は円すい表面から剥離することなく上昇する。そして最終的には膜の状態を維持できず、液滴となってミスト流として周囲に噴霧される。

この液膜流の上昇メカニズムを明らかにするために、超音波センサーを用いて液膜の厚さを測定し、膜厚と回転数および供給流量との関係を調べた。また、液膜を揚水しミストに微粒化する際に必要となる消費動力を調べるためトルクセンサーを用いた動力計測を行った。その際、水面の位置変化も同時に測定し、回転数と液の揚程およびミスト噴霧流量との関係を調べた。

研究成果の概要(英文)：Thin liquid film flow rising along the outer surface of the cone is generated when the cone rotates, which is immersed in the liquid by turning the top upside down. The film flow becomes thinner as going upward, which leads to atomization of the liquid. We aim to clarify the rising mechanism of the film flow and the subsequent atomization characteristics.

We measured the film thickness using an ultrasonic distance measuring sensor to make clear the rising mechanism and obtained the correlation between the film thickness and the rotation rate. In addition, it is important to know the power consumption necessary for the generation of mist flow and rising film flow along the rotating conical outer surface. We measured the torque acting on the rotating cone by using the torque sensor. The values of torque depend on the mist flow quantity. So, we clarified the relationship between the mist flow quantity and power consumption necessary to pump up the liquid film flow and make the mist flow.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：流体工学

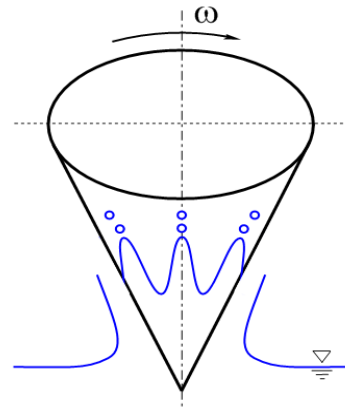
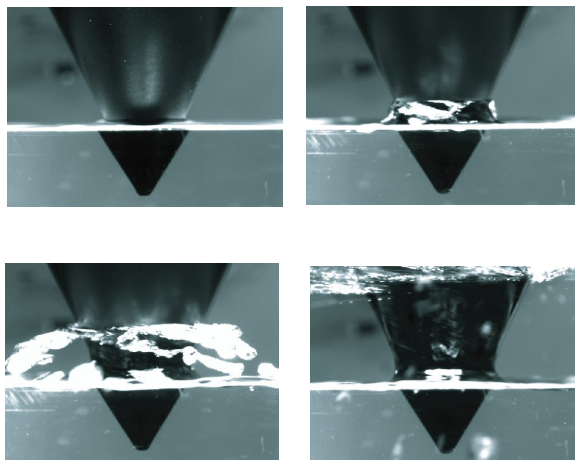
キーワード：微粒化 薄膜揚水 液膜流 回転円すい 渦糸 ミスト流 噴霧

1. 研究開始当初の背景

液体微粒化過程では、ファン、コンプレッサーおよびポンプなどを用いて液体に高圧をかけ、ノズルから噴出させることで液を微粒化させる方法がよく用いられている。しかし、複数の機械で構成されるため装置が大きくなることや噴霧特性(液滴の径や噴霧流の流量など)を制御することが難しいなどの問題点が存在する。そのため、コンパクトで消費動力が少なく手軽に噴霧特性を調節できる新しい噴霧流の生成機構が求められている。そのような新しい噴霧流の生成機構として、本研究では回転円すい体を利用した方式に着目する。すなわち、円すい体の頂角を下にして水に浸し回転させることで、円すい体の外表面を液が上昇し、液膜を形成し微粒化する現象を利用して、新しい噴霧流の生成機構と噴霧流の微粒化特性を調べることが研究開発当初の背景である。

2. 研究の目的

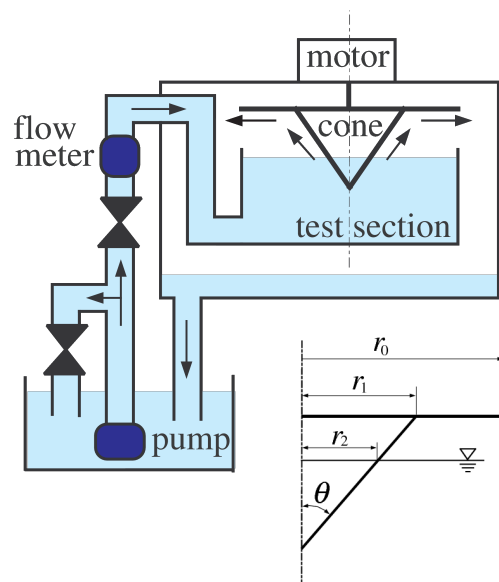
本申請者等は、頂角を下にした円すい体を水に浸し回転させることで、円すい体の外表面を液が上昇し、液膜が形成される現象を見出した。図1は、その様子を高速ビデオカメラを用いて可視化した結果であり、回転速度を0から6000rpm程度まで徐々に変化させた場合の上昇液膜流のパターンを示している。図1(a)は初期状態で、円すいが静止している状態である。円すいが回転し始めると、図1(b)に見られるように水面が持ち上がる。しかし、この時点では回転速度が小さいため、それ以上液が上昇することはない。さらに回転速度を増大させると、図1(c)のように持ち上がった水面位置が高くなり、半径方向に変形する。そして、変形した水面先端が、半径方向に放射状に飛散する。水面先端が飛散した後は、図1(d)に見られるように円すい体外表面に沿った均質な薄い液膜流が形成される。この薄い上昇液膜流は最終的には図2に示されるように微粒化し液滴となった後にミスト流として周囲に噴霧される。

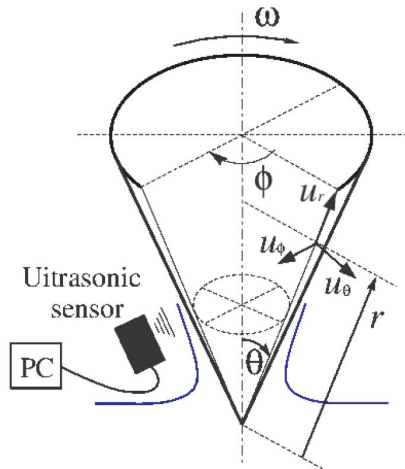


このとき円すい外表面の液膜には遠心力が加わるにも拘わらず液膜が飛散することはない。この興味深い現象を利用して液体を微粒化させ、手軽に噴霧特性を調節でき、なおかつ粒径のばらつきが小さいミスト流を生成する新しい噴霧生成機構についての研究を行う。このような回転円すいの外表面を薄い液膜流が上昇する現象はこれまでに報告例がなく、そのメカニズムは明らかではないので、本研究ではそのメカニズムを明らかにすることが目的である。

3. 研究の方法

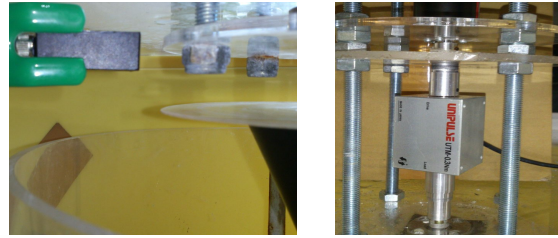
(1) 液膜流の上昇メカニズムを明らかにするためには、液膜流の流速、圧力分布を求めて液膜に加わる力の成分を調べる必要がある。本研究では、液膜流の膜厚を測定することにより、回転速度、浸水位置と液膜厚との関係を調べ、液膜流の微粒化特性を明らかにする。すなわち、液膜流の流量は水位によって判明しているので、特定の位置での平均速度は、膜厚が既知であれば流量を膜厚で割ることによって得ることが出来る。その平均流速から、圧力勾配等を算出することを試みる。





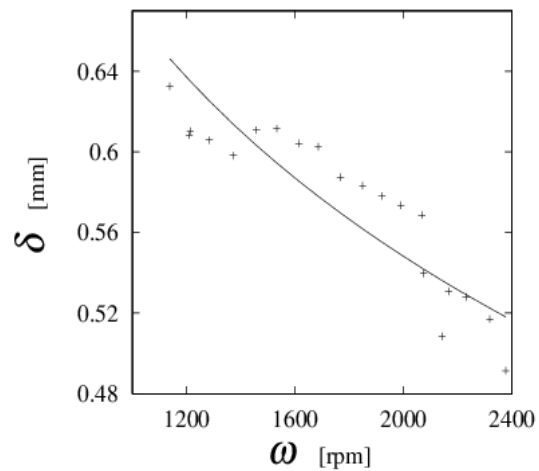
実験装置の概略図を図3に示す。テストセクションでは、作動媒体である水で満たされた円筒タンク中心に円すい体が設置される。円すい体を回転させると、円すい外表面を液膜が上昇し円すい上部の円板を伝って微粒化され外部に噴霧流として放出される。放出された水は回収され、流量を調節した上で再び円筒タンクに送られる。今回実験に使用した円すいは、先端角  $\theta = 30^\circ$ 、円すい下部の最大半径  $r = 40$  [mm] である。材質はアクリロニトリルブタジエンスチレン (ABS) 樹脂であり、表面粗さ  $Ra = 1.6$  [ $\mu\text{m}$ ] である。また、円すいの表面に特別な処置は与えられていない。液膜は高速回転している円すいの外表面に沿って上昇する。そのため、膜圧を測定するためには非接触式のセンサーを使用する必要がある。そこで本研究では、超音波センサーを用いて図4のように側面から非接触で膜厚の測定を行う。

(2) 液膜流の微粒化特性を明らかにする上で、微粒化の際に必要な消費動力を明らかにする必要がある。そこで、微粒化に必要な液の供給量と水面位置との関係および本現象を実現するのに必要となる消費動力を計測する。液膜流を維持するには外部から流量を供給する必要があるが、円すいの回転数と供給流量の程度により水面水位が変化する。液はその水面を基準として円すいの底部に設置された円板まで揚水されるので、必要となる消費動力を明らかにするためには、微粒化に必要な動力の他に揚水の動力についても考察する必要がある。そこで、水面位置を図5(a)に示される超音波センサーを用いて非接触に計測する。一方、動力に関しては、図5(b)に示されるトルクセンサーを用いて計測を行う。



(a)

(b)



#### 4. 研究成果

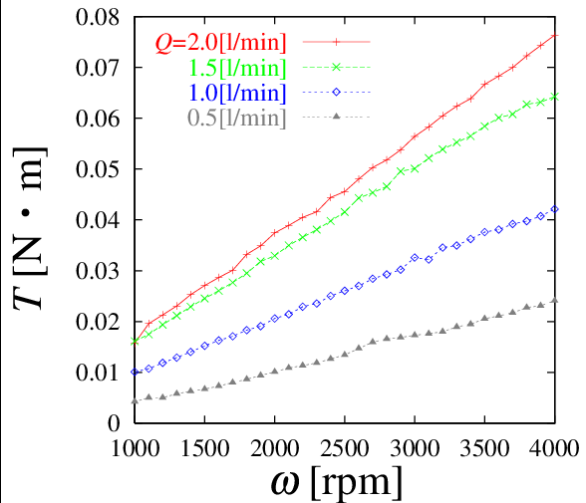
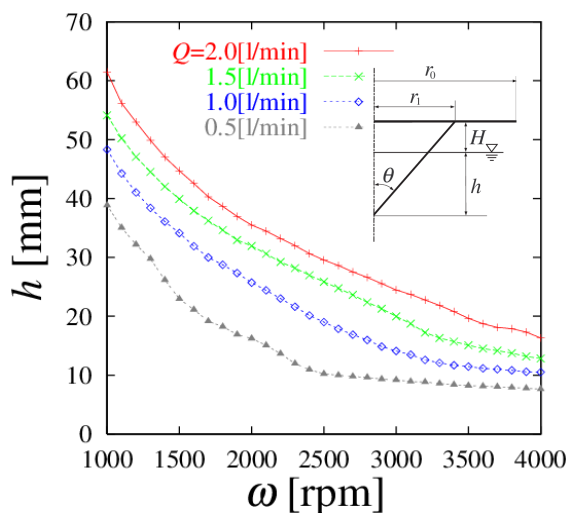
(1) 本研究で膜厚計測に用いるセンサーの分解は  $0.003$  [mm] であり膜厚を測定するのに十分な分解能である。円すいの回転速度は  $1000$  から  $2500$  [rpm] で、供給流量は  $Q = 1.0$  で測定を行う。図6は回転速度と膜厚の関係を示したものである。これより、回転速度が上昇するに従って膜厚が減少することがわかる。このことから、本研究の実験条件では供給流量が一定なので、回転数が增大するに伴い平均流速が増加したことがわかる。これは、回転速度の増加により液膜に作用する遠心力が大きくなり、液膜の揚水に必要な円すいの稜線に沿った駆動力が増大したことにより、液膜上昇の効果が増大したためと考えられる。

上昇液膜流のメカニズムを明らかにするためには、円すい外表面の速度分布を調べ、その流速の変化率からコリオリ力、遠心力および圧力勾配を求める必要がある。超音波センサーによる膜厚測定と流量とによる平均流速を求める方法に取り組んだ。膜厚と回転速度との定性的な関係が得られたが、上昇液膜流のメカニズムを明らかにするまでには至らなかった。

(2) 液膜流の揚水と微粒化に必要な消費動力を調べるために、水面位置を図 5(a) に示される超音波センサーを用いて非接触に計測する。一方、動力に関しては、図 5(b) に示されるトルクセンサーを用いて計測を行う。円すいの回転速度は 1000 から 4000[rpm]で、供給流量は  $Q=0.5$  から 2.0 [l/min] の範囲で測定を行う。図 7 は回転速度と水面水位との関係を示したものである。図より、回転速度が上昇するに従って水面位置  $h$  が減少する。それぞれの曲線は流量を一定とした場合の結果を表わしており、回転速度の増加に伴い液を揚水するための遠心力が増大することになるが、流量が変わらないため、余計に増大した遠心力分を浸水半径を小さくすることで相殺している。そのため、回転数が増加すると水面位置が低下する。ただし、このとき液を揚水する高さ  $H$  は増加することになる。

次に、回転数の増加に伴うトルクの測定結果を図 8 に示す。先に示したように、回転数が増加すると揚水高さ  $H$  が増加する。図 8 より、回転数の増加に伴いトルクの測定値が増加することがわかる。すなわち、回転速度が増大し、水面位置が減少すると揚水距離  $H$  が増大することになるので、揚水に必要な動力が余分に必要となるためトルク  $T$  が増大する結果になる。

円すいの回転による水面水位の変化と必要なトルクを調べ、微粒化および液膜流の揚水に必要な消費動力に関する考察を行った。実用的な整理式を導出することを試みたが、実験条件の制約から結果のデータ数が足りず、回転速度と水面水位および消費動力の間の関係を得るまでには至らず、上昇液膜流の生成メカニズムと微粒化特性の解明には至らなかった。



(3) 本研究で取り扱った、回転円すいの外表面を薄い液膜流が揚水され、最終的には膜状流の条件を維持できずに液滴に分裂し、ミスト流となって周囲に噴霧される一連の現象は、これまでに研究例がなく不明な多く非常に興味深い現象である。今回の研究期間で十分に解明できなかった部分について、今後もさらに研究を続けていく必要がある。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 1 件)

- 1, 足立高弘, 回転円すいを用いて生成されるミストによる酸素濃度の溶解促進, 日本機械学会論文集(B編), 第 79 巻 800 号, pp. 632-165(2013 4), 査読有り

〔学会発表〕(計 10 件)

- 1, Takahiro Adachi and Akihiro Arai: Mist Type Purifier Using Pumping-up Mechanism Generated by Thin Film Flow, 24th European Conference on Liquid Atomization and Spray Systems, Estoril, Portugal, September 5-7, 2011, CD-ROM.
- 2, Keisuke Matsuda, Takahiro Adachi, Yusuke Ryu, Okajima Junnosuke and Takeshi Akinaga: Generation Mechanism of Rising Film Flow along the Rotating Conical Outer Surface and the Subsequent Atomization Characteristics, Proc. 9th International Conference on Fluid Dynamics, Sendai, Japan, September 19-21, 2012, pp.158-159.
- 3, Takahiro Adachi, Water purification technique using the mist flow generated by a rotating cone, Proc.

International Symposium on Green Manufacturing and Applications, Honolulu, Hawaii, USA, June 25-29, 2013.

- 4, Keisuke Matsuda, Takahiro Adachi, Okajima Junnosuke and Takeshi Akinaga: Generation Mechanism of Rising Film Flow along the Rotating Conical Outer Surface and the Subsequent Atomization Characteristics, Proc. of the 13th International Symposium on Advanced Fluid Information, November 25-27, 2013, Sendai, Japan, p.158-159.
- 5, Takahiro Adachi, Float-type water purifier using the mist flow generated by rotating cones, Proc. Water Supply and Water Quality-Water 2014, June 20-25 Torun, Poland 発表予定.
- 6, Keisuke Matsuda, Takahiro Adachi, Okajima Junnosuke and Takeshi Akinaga: Generation Mechanism of Rising Film Flow along the Rotating Conical Outer Surface and the Subsequent Atomization Characteristics, Proc. 11th International Conference on Fluid Dynamics, Sendai, Japan, October 8-10, 2014, 発表予定.
- 7, 新井晶大, 足立高弘: 回転円すいによる薄膜揚水メカニズムを用いたミスト型水質浄化装置の開発, 日本機械学会東北支部第 47 期秋季講演会講演論文集 No.2011, (2011 年 9 月 22 日)pp.284-285.
- 8, 足立高弘, 新井晶大: 回転円すいによるミストの生成と酸素濃度の溶解促進, 第 20 回微粒化シンポジウム講演論文集, (2011 年 12 月 19 日) pp.211-214.
- 9, 竜優介, 足立高弘: 自律的で自由自在に水面を移動できる推進機構を備えた回転円すい浮体式水質浄化装置の開発, 日本機械学会東北支部第 47 期秋季講演会講演論文集 No.2011, (2011 年 9 月 22 日) pp.326-327
- 10, 松田圭祐, 足立高弘: 回転円すいの外表面を上昇する液膜流と噴霧流の生成に必要な消費動力量と噴霧流量との関係, 日本機械学会熱工学コンファレンス 2013 講演論文集(2013 年 10 月 19, 20 日)pp.75-76.

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 1 件)

名称: 繊維の製造装置およびこれを用いた不織布の製造方法

発明者: 足立 高弘

権利者: 秋田大学

種類:

番号: 特願 2014-090840

出願年月日: 平成 26 年 4 月 25 日

国内外の別: 国内

取得状況(計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等

[http://www.mech.akita-u.ac.jp/~lab-adachi/99\\_blank005.html](http://www.mech.akita-u.ac.jp/~lab-adachi/99_blank005.html)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

足立 高弘 (ADACHI Takahiro)

秋田大学・大学院工学資源学研究科・准教授

研究者番号: 21225643