

平成 21 年 4 月 30 日現在

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2007～2008

課題番号：19560186

研究課題名（和文） マイクロミストを含む安定流体膜形成時の
混相流界面における流れの可視化研究研究課題名（英文） Visualization on Flows from Multi-Jet Bundle for
Stretching/Stabilizing Efflux Fluid Films with Micro-Mists

研究代表者

梅田 眞三郎 (UMEDA SHINZABURO)

福山大学・工学部・教授

研究者番号：90031145

研究成果の概要：

本研究では、2年間にわたってマイクロミストを含むフリップ・フロップ流れとスリット流れが平面的に共存する混相流界面現象の可視化を行うことを目的とした。特に、(1)混相流界面での縦渦の変化、(2)安定流体膜厚さや到達距離の変化、のそれぞれの二つの項目に対して、PIVを中心とした可視化計測実験を行った。その結果、流出噴流場に形成される均等流量多数噴流群の形成及びスリット噴流が加わることによる安定流体膜形成の基礎的条件の提示を行うことができた。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	2,400,000	720,000	3,120,000
2008年度	1,200,000	360,000	1,560,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,600,000	1,080,000	4,680,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・流体工学

キーワード：可視化, 流体工学, フリップ・フロップ流れ, マイクロミスト, 安定流体膜, 混相流

1. 研究開始当初の背景

1990年代に開始した筆者らの交差流れの可視化研究においては、合・分流が連続したX字形の新しい流れであることから種々の工学的に興味ある特性を明らかにすることができ、ネットワーク流れの解明へと発展させることもできた。特に、菱形角柱群流路内

の流れにおいては、渦の自励振動によるフリップ・フロップ流れの発現を発見し、管路からの流出噴流場において均等流量多数噴流群を形成することも明らかにすることができた。さらに、フリップ・フロップ流れと薄膜噴流のスリット流れを組み合わせたエアーカーテンなどの応用開発にも挑戦する機

会を得ることができた。しかしながらフリップ・フロップ流れとスリット流れが平面的に接した二相の混相流界面では、縦渦を伴った主流の交差噴流とスリット流れが相互干渉を起こし、交差流れと縦渦が流れ方向に変形していることが想像され、大変複雑な流れとなっている。

一方、最近の自然科学分野では、マイクロバブルやマイクロミストと呼ばれる直径数百 μm 以下の微細な気泡に注目が集まっている。これは単位体積当りの表面積が広く、浮力の効果が小さいという特徴を有することから、種々の応用展開での効果の実施検証がなされつつある。しかしながら、それらのマイクロバブル/ミストが含まれる流水中の直径の大きさや分布状況についての計測は、バッチ的に行われ、全体にわたった連続的な把握がなされていない。

2. 研究の目的

本研究では、2年間にわたってマイクロミストを含むフリップ・フロップ流れとスリット流れが平面的に共存する混相流界面現象の可視化を行う。

まず、フリップ・フロップ流れとスリット流れが共存する流れ場の可視化から始め、フリップ・フロップ流れに発生している縦渦がスリット流れによってどのような変化をしているかを可視化計測によって明らかにする。また、その流れ場に形成される交差流れによる縞模様の流脈がスリット流れによってどのように引き伸ばされ、安定流体膜の形成に至るのかを明らかにするための流れ場の流速及びその変動計測を行う。

次に、マイクロミストについては、上述の混相流における発生確認としてマイクロミストの直径や分布の可視化から始める。そのミストの量によって混相流における流れの変化も調べる。

最後に、応用開発に適する流路延長化された安定した流体膜の形成に向けて、それぞれの流れの条件等を明らかにする。

3. 研究の方法

本研究計画・方法を説明するにあたって、先に研究対象流れである混相流によって安

定流体膜が形成されるという考え方やマイクロミスト発生方法とその計測方法を述べる。

(1) 安定流体膜形成

本研究における混相流界面については、図1に示す試験区間での流れの概略図の下流側に位置する $x-y$ 及び $x-z$ 平面である。その流出噴流場では、縞模様のネット状になった均等流量多数噴流群と縦渦及びスリット流れが複雑に相互干渉を起こしている。

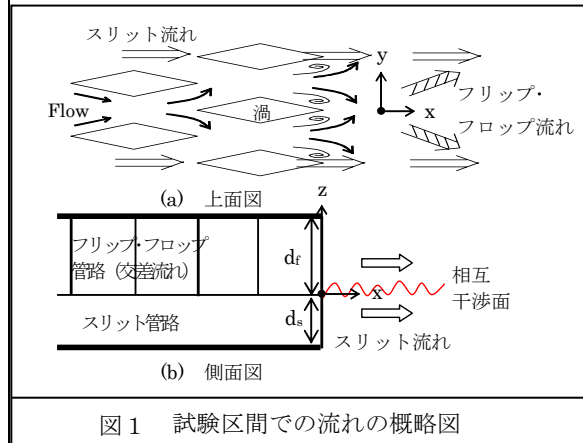


図1 試験区間での流れの概略図

ここでその流出噴流場に形成される縦渦がスリット流れの有無によってどのように変化しているのかを想像した概略図を図2に示す。図2(a)に示すようにフリップ・フロップ流れだけの場合には、主流の交差流れが自励振動を伴うフリップ・フロップ流れとなり、その流れに縦渦を形成していることを筆者らは明らかにしている。それに対してスリット流れが共存すると、図2(b)に示すようにフリップ・フロップ流れにおける縦渦が扁平な形に伸ばされ、交差流れの流脈で形成される縞模様も密になった形に変化すると考えられる。これによって破断し難い安定流体膜を形成することができると考えている。

(2) マイクロミスト発生方法

菱形角柱群管路内の最狭断面位置には、図3に示すようにラム効果が発現し、その位置の負圧部に穴を開けることによってマイクロバブルが発生することを見出している。図4に示すように管路への供給流体を空気にして、ラム効果利用の穴の位置からは水蒸気を供給すると、マイクロミストを発生することが可能である。

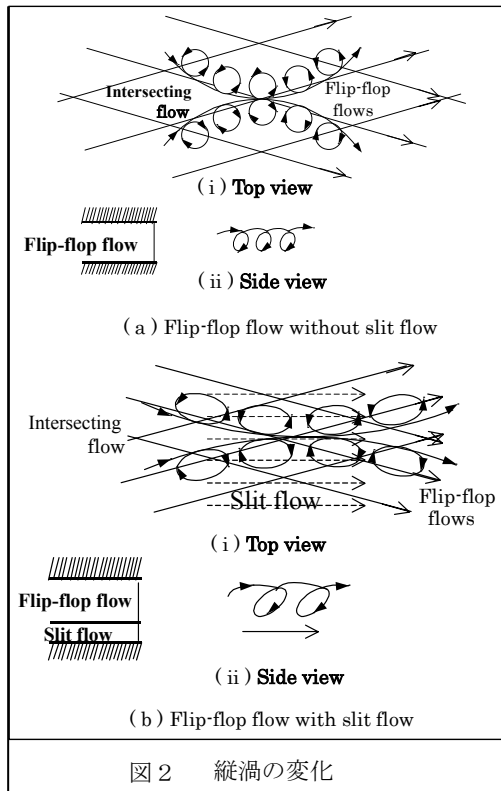


図2 縦渦の変化

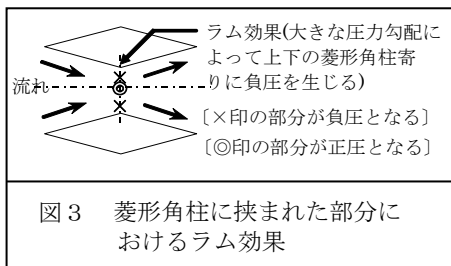


図3 菱形角柱に挟まれた部分におけるラム効果

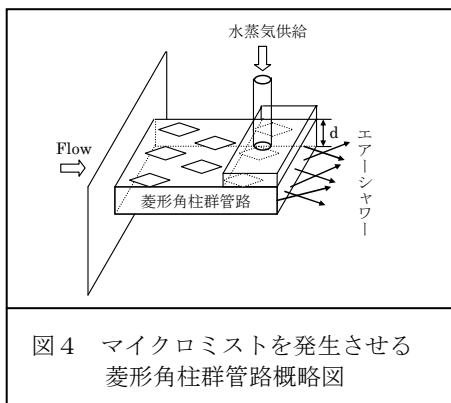


図4 マイクロミストを発生させる菱形角柱群管路概略図

(3) マイクロミスト測定方法

流水中に含まれるマイクロバブルや今回のマイクロミストを測定するにあたっては、これまで顕微鏡やコールターカウンターなどの計測装置を用いて流水中の一部の溶液を採取するバッチ的に処理計測を行ってきた。これを連続的に計測して、粒子径やその分布を求めるには新たな方法を考えなければ

ならない。

本研究では、既にマイクロPIV計測ができるようにカセグレン光学系装置を所有し、図5に示すように、ディフューザやサイジングマスターマウントの追加することによる粒子径計測アップグレードシステムを導入することによってマイクロミスト計測を連続的測定が可能となった。

ダブルパルスYAGレーザーに取り付けるディフューザは、蛍光励起を用いた光学系で、レーザーの可干渉性を完全になくすことにより、気泡まわりからの回折光を除去することができる。これにより、気泡輪郭を高精度に撮影することが可能である。また、発光時間が5~7nsecという時間は保持されるため、流れている流体中においても粒子気泡画像を凍結した撮影が可能であり、コンピュータ処理によって粒子やその分布が求められる。

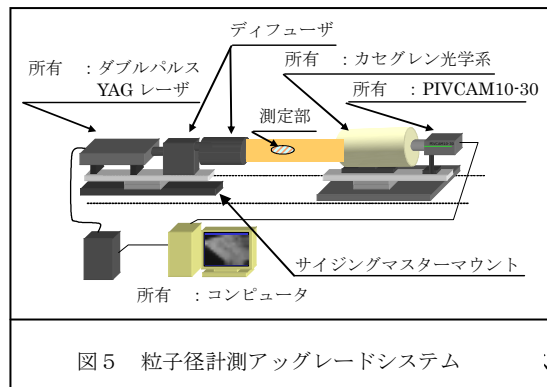


図5 粒子径計測アップグレードシステム

4. 研究成果

マイクロミストを含むフリップ・フロップ流れとスリット流れが平面的に共存する混相流界面現象について、主として微視的PIV計測によって可視化を行ってきたが、それらの考察結果の一部を示し、結論も含めて以下にまとめた。

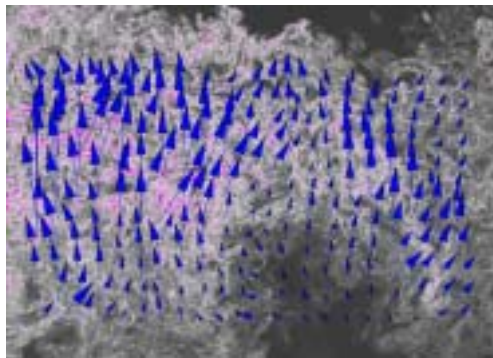
(1) 混相流界面での縦渦の変化

流出噴流の斜め下流側から見た場合のフリップ・フロップ噴流のみの鉛直断面における噴流画像を図6(a), (b)に示す。それらの図には、ある瞬時の煙によるフローパターンと流速ベクトルが同時に示され、それらの前後の画像は省略しているが、(a)図の煙の濃い部分が図の左側に現れ、噴流の切れ目の部分が右寄りの下側に見られ、フリップ・フロップ流れの振動噴流を想像できる。(b)図では、

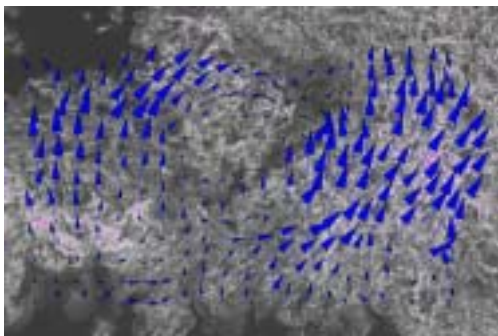
中部付近のベクトルの向きと大きさがのものと大きくなり、渦の形成をはっきりと認めることができる。この渦については、既に明らかにしてきたリップ・フロップ流れの縦渦の形成であると考えられる。

それに対して、図を省略しているが、スリット噴流がした場合など複合管路からの流出噴流については、全体的なフローパターンはよくれているが、スリット噴流による流れのせ断の影をけて、リップ・フロップ流れに発現する縦渦が流れ方向に引き伸ばされるような形となり、明な渦の形成が見られなくなった。

Scale: 14.2m/s →



(a) $t = t_1$



(b) $t = t_2$

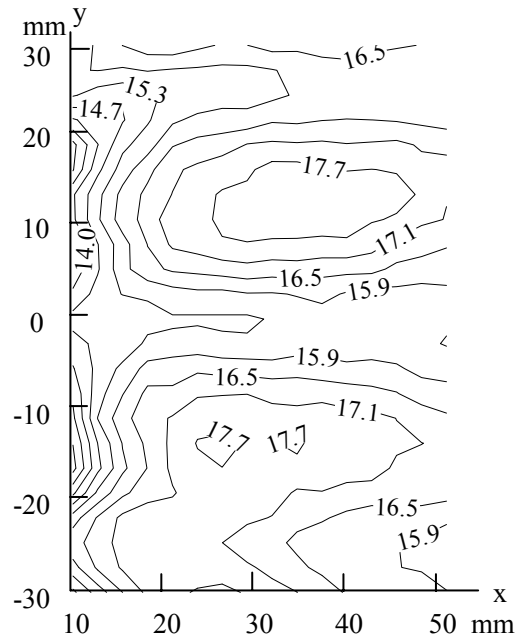
図6 下流側から見た場合のリップ・フロップ流れの鉛直断面でのフローパターン画像

(2) 安定流体膜厚さや到達距離の変化

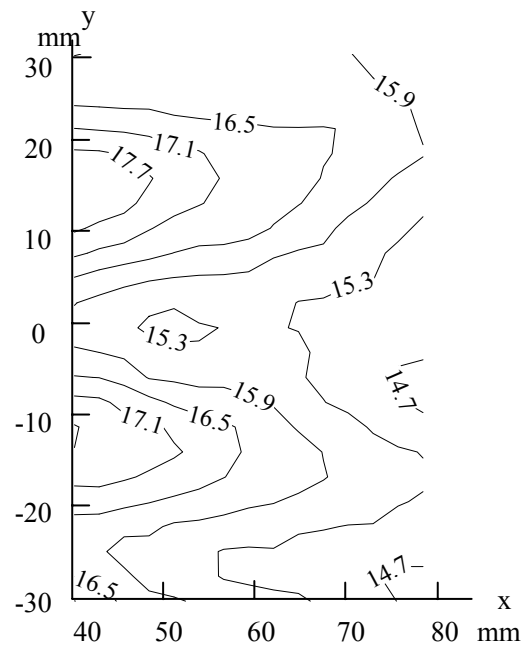
PIVによる平均流速及び渦度にするそれぞれの等流速分布図の二を図(a), (b)に示す。これらの結果は、上下方向からスリット噴流でリップ・フロップ噴流を挟む形で共存させた場合の複合管路からの流出噴流

の水平断面における可視化結果である。

それらの図に示すように、x 10 から 80mmの間にまでわたって、流れの中縦断位置を対として流れの対性を示して



(a) x 10~50mm の



(b) x 40~80mm の

図 スリット噴流とリップ・フロップ流れが共存した場合の流出噴流場の等流速分布図

いる。また、流速の についてはずか 1 度となり、計測 全体にわたって流出噴流の速度をかなり 持することができる。

その の図を省略した場合の結果も含めた考察結果については、管路厚さの小さなスリット噴流では、流下方向に流速の が大きく、流量を やす形で管路厚さを大きくすると、その を しは えることができるが、水平流れ場での中 縦断 に対する流れの対 性が れやすくなっている。それに対して、フリップ・フロップ噴流にスリット噴流を共存させる形の複合管路からの流出噴流については、流れの対 性を 持することができる、流速の も大きく えることが可能であることを明らかにすることができた。

(3) マイクロミストの可視化

図 5 に示してきた粒子径計測アップグレードシステムを用いてマイクロミストの可視化を試みたが、今回のマイクロミストの発生については、その量が 的 なく、1.5 × 2.5mm の計測対象 においては、数多くのミスト粒子を同時に計測することが 難であった。この を する粒子は確認することができたが、 数的に最大数での画像

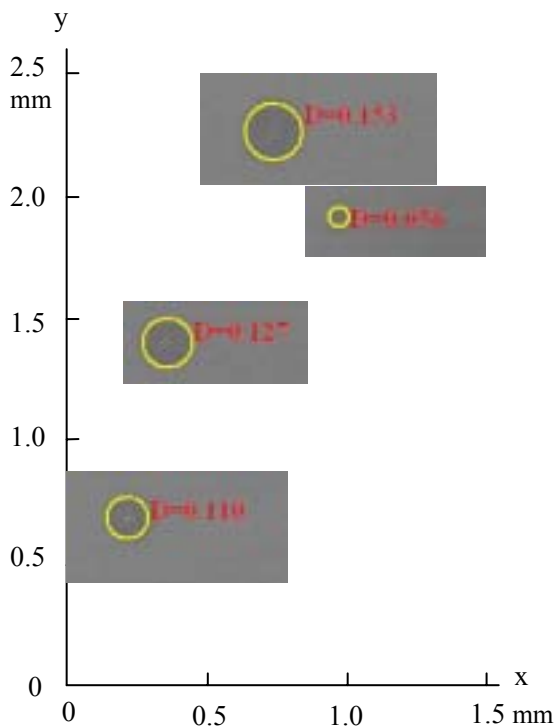


図 8 マイクロミスト分布画像

結果が図 である。この計測装置での計測可能な最小粒径が μm 前後の もあり、図に示す結果では 56~153 μm の 4 つの粒子を確認することができた。

今後は、マイクロミストの発生量を やす工 を試み、そのミストを含む混相流界面現象の可視化計測の向上にも めたいと考えている。

5. 主な発表論 等

(研究代表者 研究分 者及び連 研究者には下)

[雑 論] (計 9 件)

- 1) me a an Yan e e men
an V s a z a n
a ns V s a z Ima e
P cess 有り V 16 1
2009 85 103
- 2) eyama a abayas me a
an Yan a ac e s cs
nea e In e e ence n P n
ns e a am n a e y ne
n e V s a z Ima e
P cess 有り V 15 4
2008 351 364
- 3) Yan an P ee an me a
ec an cs n e s n e
s a e V s a z Ima e
P cess 有り V 15 2 2008
167 180
- 4) me a an Yan A y n
A ca ns In e sec n s n
a e ese Im emen
a e n nmen P b ems esea c
nA c a n nee n 有り
V 54 2 2008 68 79
- 5) Yan an me a
a ac e s cs be n n e
am n a e y nes n ee
eam In ynam cs s
有り V 4 2 2008 83 92
- 6) me a an Yan m s e
e s e c n / ab z n
x ms V s a z
Ima e P cess 有り V 15 1
2008 35 45

- 7) me a eyama s an
 Yan A e eans
 an bb e Gene a n n a
 e am n a e y n e
 n e V s a z Ima e
 P cess 有り V 14 4 2007
 409 416
- 8) me a a abayas Yama a
 a am s an Yan
 c bb es/ xe
 x m a am n a e y n e
 n e V s a z Ima e
 P cess 有り V 14 3 2007
 305 315
- 9) me a eyama I ma
 e a an Yan x m a
 m s e e a n
 n Pa a e
 s V s a z Ima e P cess
 有り V 14 3 2007
 317 337
 [学会発表] (計 9 件)
- 1) me a an Yan a n s s
 In e sec n s n V s a za n
 e s I 3 2008年12月
 a an
- 2) eyama a abayas me a
 an Yan I en y n e ne
 ce n a am n a e y n e
 n e s n c PIV e I V 13
 2008年7月 ce
- 3) me a an Yan
 a ac e s cs n a e
 c In e sec n anne s by eans
 c PIV I P 19 2008年8月
 ey a c
- 4) me a eyama an Yan
 eas emen s
 P en men n ns e am n a e
 y n e n es by eans Van PIV
 I 2 2007年9月 sa a
- 5) Yan an P ee an me a
me a x e men a ec an cs n
 e s n I s In ancy I 2
 2007年9月 sa a
- 6) _____ en e

- Yan 菱形角柱群流路内の干渉 目 付近
 における微視的PIV計測 可視化 2007
 年7月
- 7) _____ 明
 力 en e Yan PIVを用いた複合ネッ
 トワーク流出噴流の可視化 可視化
 2007年9月
- 8) me a eyama an
 V s a za n n s s n
 PIV na P a n a 2007(A)
 2007年7月 an e
- 9) me a a abayas Yama a
 a am s an Yan
 sc a n n a n n
 c bb es m am n a e
 y n e n es P VIP 6 2007年5月
 a a
 [図] (計 1 件)
- 1) _____ en e Yan 共 出
 ネットワーク流れの可視化に向けて交差
 流れを る 2007 1 206
 []
 出 状況 (計 0 件)
 なし
 取得状況 (計 1 件)
 : マイクロバブル及びマイクロミスト
 発生装置
 発明者:
 利者: 広
 種 : 特
 : 4093272
 取得年月日: 2008年3月14日
 内の : 内
 [その]
6. 研究組
 (1) 研究代表者
 (I A A)
 大学・工学部・
 研究者 : 90031145
 (2) 研究分 者
 なし
 (3) 連 研究者
 なし