

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 6 月 10 日現在

機関番号：35409

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2010～2012

課題番号：22560180

研究課題名（和文） 菱形角柱群流路からの新しい混相噴流現象の可視化に関する基礎的研究

研究課題名（英文） Basic Study of Visualization for New Multiple Flows of Jet Streams from Diamond-Shaped Cylinder Bundles

研究代表者

梅田 真三郎（UMEDA SHINZABURO）

福山大学・工学部・教授

研究者番号：90031145

## 研究成果の概要（和文）：

本研究では、種々の可視化計測実験によって菱形角柱群管路内のポケット部の有無及び流路幅を変化させた場合の流出噴流のフリップ・フロップ流れの特性を明らかにするとともに、それらの菱形角柱群管路の圧力損失特性も明らかにすることができた。さらに、管路からの流出噴流場での混合・拡散効果を上げることのできる実用的な流体噴射装置条件の提案に漕ぎ着けることができた。

## 研究成果の概要（英文）：

The flow visualization work with the aid of PIV and Piezometer deals with flip-flop flow around diamond-shaped cylinder bundle revised with concavities on both bundle walls. It is disclosed that (i) the concavity constructed on both side-walls of a diamond cylinder induces a substantial change in the flow patterns in the exit jet-stream field and jet-stream dispersion, (ii) pressure characteristics are quantitatively measured in a diverging-flow region in the diamond cylinder and the cavity with bundles, and in its downstream region, and (iii) flip-flop flow occurs in the flow passages and its occurrence condition is obtained.

## 交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010 年度	1,800,000	540,000	2,340,000
2011 年度	900,000	270,000	1,170,000
2012 年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

## 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：流体工学・可視化・噴流・混相流・菱形角柱群流路

## 1. 研究開始当初の背景

流体機器や燃焼装置などの各種工業用機器においては、噴流拡散を促進させることにより、機器性能の効率を向上させる場合が見られる。このような噴流の制御に関しては、受動ならびに能動制御に関する数多くの研

究があるが、本研究では、受動制御に関する研究として均等流量多数噴流群を形成する自励振動噴流のフリップ・フロップ流れの応用開発に向けた流れの可視化による基礎的研究を開始した。図1には、噴流の制御開発研究からの展開フローチャートを示すよう

に、本研究の背景と目的は、X字形交差流の特性を活かし、これまでの取得・出願特許による種々の流体现象を利用して、受動的流体混合装置の高機能化を図るための流れの可視化研究を行うことである。

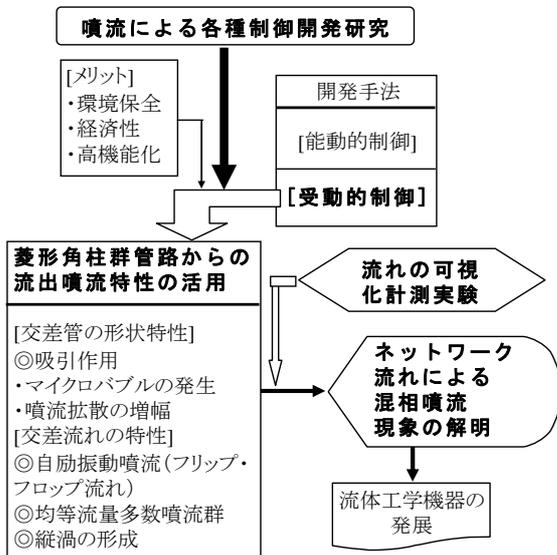


図1 研究展開フローチャート

## 2. 研究の目的

2010年度からの三年にわたって以下のような目的にて研究を進めた。

### (1) 2010年度

筆者は、2009年度までに交差流れ及びそれを主流とする菱形角柱群管路におけるネットワーク流れなどの新しい流れの特性を活かした受動噴流制御に関する「流体噴射装置」の特許出願することができた。本年度は、その実用化促進に向けた基礎研究として、流れの可視化実験による菱形角柱群管路内のポケット部に発生する渦と流出噴流場での拡散の変化に関する定量的把握から噴流現象の解明を行う。

### (2) 2011年度

前年度までには、流れの可視化実験による菱形角柱群管路内のポケット部に発生する渦と流出噴流場での拡散の変化に関する定量的把握から噴流現象の解明を行うことができた。本年度は、菱形角柱群管路内でのラム効果発現を利用してマイクロバブルを供給し、流出噴流場での気液混合特性を明らかにする。

### (3) 2012年度

前年度までには、流れの可視化計測実験によって菱形角柱群管路内の形状特性と流出噴流の変化の定量的把握から混相噴流現象の解明を行うとともに、菱形角柱群管路内にポケット部を有する場合や下流側の菱形頂角を変化させた場合などの漸拡菱形角柱群形状に対する流出噴流場での拡散の

変化に関する定量的把握を行う。

## 3. 研究の方法

本研究では、PIVを中心とした流れの可視化計測実験を行ってきたが、トレーサ法や風速計による可視化とピエゾメータを用いた圧力測定実験も行った。以下に年度ごとの実験計画方法等をまとめた。

### (1) 2010年度

本研究に関係しては、既に数多くの流体力学的に興味ある現象を基礎的研究成果として例示できている。しかもそれらの現象は、二つの管路での交差角の違いで流れの特性が決定される交差流れを主流とするものである。従って実用化に向けてもそうであるが、管路内の角柱配列交差角を決めると、実験装置での流れの現象特性を推定できるので、目的の混合効能を支配すると考えられる対象機器の断面諸量と対象流体関係を設定・検討しなければならない。既に筆者は、PIV装置に連結する微小な部分の可視化が可能なカセグレン光学系を所有し、フリップ・フロップ流れの発現時のエッジトーン現象に関する可視化結果を出してきた。

このような研究対象流れの把握や研究展開状況から本研究の初年度である本年度では、

- ① 菱形角柱群管路内のポケット部の形状と流出噴流場での流れの変化を定量的に把握するための実験を開始する。既にポケット部の位置は、菱形角柱群管路内の4列目と6列目の両側壁側に設けることが決まっているので、その形状の変化に伴う噴流レイノルズ数と渦やその旋回に関する流れの特性の把握実験を行う。図2には、実験に用いた菱形角柱群管路のタイプ名や列数及び4列目付近の形状を図にして示した。

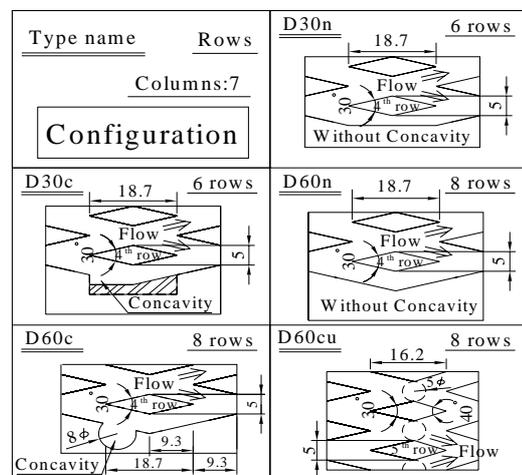


図2 菱形角柱群管路の種類

- ② 流出噴流場においても、フリップ・フロップ流れの振動特性と流れの乱れに関する諸量について、それぞれの噴流レイノルズ数に対する違いを調べる。
- ③ いずれの実験にも PIV 計測を適用するとともに、流路内での可視化実験に関しては、カセグレン光学系を導入した PIV 計測と微細なナイロンパウダーや蛍光粒子の投入によるトレーサ法を用いる。ピエゾメータによる渦領域内の圧力の変化も調べる。

(2) 2011 年度

菱形角柱群管路内の二つの菱形に挟まれる最も狭い流路断面においては、飛行機のジェットエンジンの吸い込み口に発生する航空力学でのラム効果と同じ現象が見られることを筆者らは明らかにしてきた。すなわち、この流路断面の菱形角柱寄りの部分には負圧が生じ、そこに小さな孔を開けることによってマイクロバブルを数多く発生させることも明らかにしてきた。

この孔からは、主流の流体と異なったものを供給することによって、例えば水と空気の密度の異なるものを供給することによって、流出噴流場における流体工学的な気液混合特性を明らかにすることが基礎研究として重要である。

この年度では、主流に水、気体として空気を供給し、マイクロバブルの時間的発生状況及び流出場での気液濃度特性を明らかにする実験を試みる。前年度末にデフューザーや関連ソフトなどを含めて、カセグレン光学系の利用拡大に向けた粒子径計測アップグレードシステムとしての計測関連機器の増設を行うことができている。このシステムを利用して、マイクロバブルの流動や分布に関する濃度分布特性を明らかにするために、フリップ・フロップ流れの振動周波数、吸引作用部での圧力変化などを決める角柱群管路断面諸量と主流流体に対する混合流体比率などの関係パラメータを解明する。

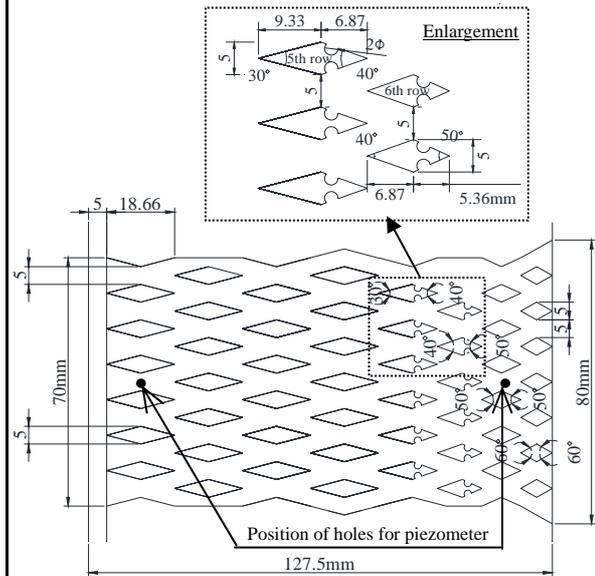
(3) 2012 年度

前年度までに菱形角柱群管路内の側壁部にポケット部を作り、そこに発生する渦の吸引作用によって管路からの自励振動流出噴流のフリップ・フロップ流れの発現及び振動の変化が生じ、流出噴流場での流れの混合・拡散の大きな変化が出ることを明らかにしてきた。また、図 3 に示すように、管路内の流れ方向に 6 列以上の菱形角柱を並べ、その 4 列目以降の下流側の菱形頂角を徐々に広げて行った場合の管路を作成することによって、フリップ・フロップ流れの広がりやさらに大きくなるとともに、攪拌・混合を促進させる効果が現れていることを明らかにすることができた。同時に、それらの菱形角柱群管路の圧力損失特性も明らかにすること

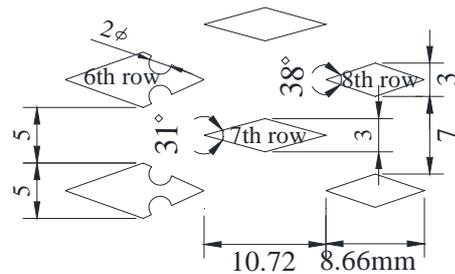
ができた。

本年度は、更なる発展実験としては、PIV 計測などの流れの可視化実験を用いて、図 3 に示す漸拡菱形角柱群流路内の下流側の菱形角柱の分流側にくぼみ部を付け、後流に変化を生じさせ、流れのレンズ効果による流出噴流の変化を調べる。このくぼみ部に発生する渦によっても吸引作用が発生すると考えられ、菱形角柱群管路の圧力損失特性も明らかにする。

これらの実験から管路からの流出噴流場での混合・拡散効果を上げることでできる実用的な流体噴射装置条件の提案に漕ぎ着けたいと考えている。



(a) 漸拡菱形角柱群管路 Type D60cd 概略図及び部分拡大図



(b) 漸拡菱形角柱群管路 Type D60Wcd 部分拡大図

図 3 漸拡菱形角柱群管路概略図

4. 研究成果

各年度ごとに得られた研究成果を以下にまとめた。

(1) 2010 年度

菱形角柱群管路内のポケット部の形状と流出噴流場での流れの変化を定量的に把握するための実験を開始し、既にポケット部の

位置は、菱形角柱群管路内の4列目と6列目の両側壁側に設けることが決まっているので、その形状として矩形や円形のものを選び、菱形角柱群管路を製作した。さらに、流出方向の5列目以降の菱形頂角を $30^\circ \sim 60^\circ$ まで順次広げて行く漸角形菱形角柱群管路も製作した。

その結果、図4に一例を示すように、トレーサ法によるポケット部での渦の可視化を行い、ポケット形状の違いによる渦の変化を明らかにした。また、流出噴流場での流れの横断方向における平均流速の変化率である $dV/dy$ の値を求め、図5に示すように噴流レイノルズ数に対するその値の定量的な変化を明らかにすることができた。

なお、ピエゾメータによるポケット部での渦領域内における圧力の変化を時間の関係で測定ができず、次年度に実験計測を行うこととなった。

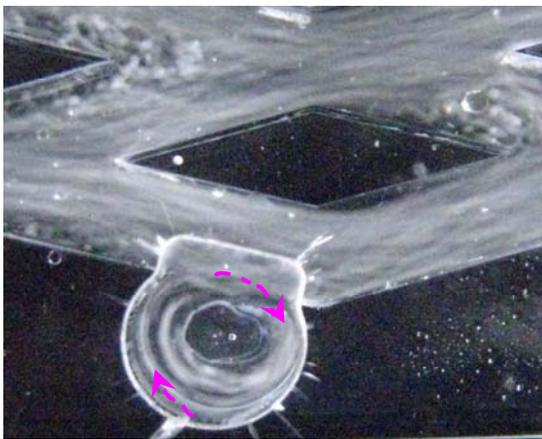


図4 ポケット部内における渦の可視化 (Type D60c ( $Re=7,600$ ))

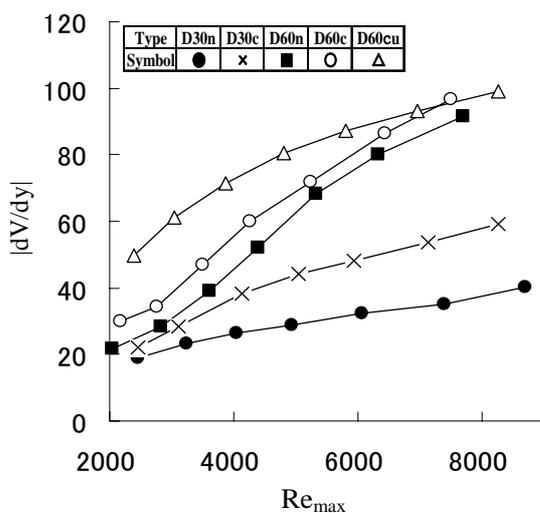


図5 レイノルズ数に対する流れの横断方向の流速変化率の変化 (5種類の管路)

## (2) 2011年度

前年度に引き続き、トレーサ法によるポケット部での渦の可視化を行い、ポケット形状の違いによる渦の変化を明らかにし、そこに発生する渦の吸引作用によって管路からの自励振動流出噴流のフリップ・フロップ流れの発現及び振動の変化が生じ、流出噴流場での流れの混合・拡散の大きな変化が出ることを明らかにしてきた。また、4列目以降の下流側の菱形頂角を徐々に広げて行った場合の漸拡菱形角柱群管路を作成することによって、図6に流出噴流の横断方向の流速の変化率を調べた結果を示すように、フリップ・フロップ流れの広がりだけでなく、攪拌・混合を促進させる効果が現れていることを明らかにすることができた。同時に、それらの菱形角柱群管路の圧力損失特性も明らかにすることができた。

その他に、マイクロバブルの分布特性等も明らかにすることができ、それらの流出噴流特性の解明結果については、国内外への論文発表ができた。

## (3) 2012年度

前年度に続く更なる発展実験としては、下流側の菱形角柱の分流側にくぼみ部を付け、後流に変化を生じさせ、流れのレンズ効果による流出噴流の変化に関してPIV計測などの流れの可視化実験及びピエゾメータによる圧力測定実験を行った。その結果、このくぼみ部に発生する渦によっても吸引作用が発生することを確認でき、図6に示すように、漸拡菱形角柱群管路における流れの横断方向の流速変化率特性を明らかにすることができた。また図7に示すように、その漸拡菱形角柱群管路の圧力損失特性も定量的に明らかにすることができた。なお、図中の $C_{p1}$ は上流側ヘッドタンクと管路末端部でのピエゾヘッドの差を、 $C_{p2}$ は管路内の上流側と末

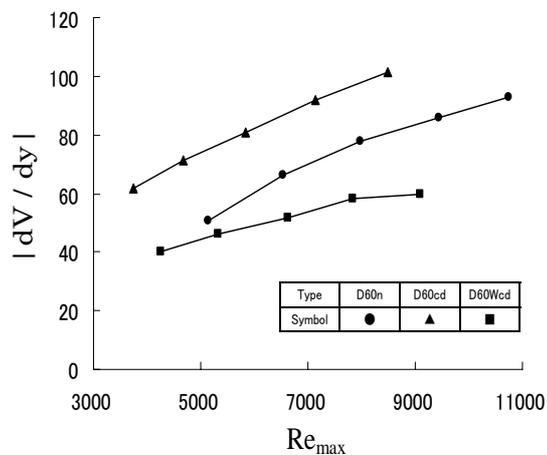


図6 漸拡菱形角柱群管路におけるレイノルズ数に対する流れの横断方向の流速変化率の変化

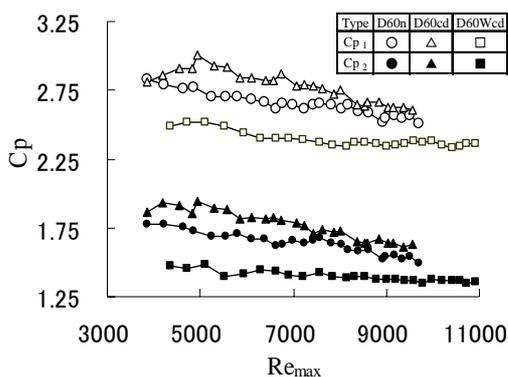


図 7 漸拡菱形角柱群管路における  
レイノルズ数に対する圧力損失係数

端部でのピエゾヘッドの差を、それぞれとつて圧力損失係数を求めたものである。

これらの実験成果によって、管路からの流出噴流場での混合・拡散効果を上げることのできる実用的な流体噴射装置条件を提案することができた。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 5 件)

- (1) S. Umeda, Flip-Flop Flow Characteristics inside Streamwise Diverging Diamond-Shaped Cylinder Bundles, Journal of Materials Science and Engineering, 査読有り, A2(9), 2012, 616-623
- (2) S. Umeda, K. Iijima, K. Shinmura and W.-J. Yang, Effects of Wall Concavity on Oscillations of Flip-Flop Flows from Diamond-Shaped Cylinder Bundles, Journal of Flow Visualization & Image Processing, 査読有り, 18-2, 2011, 165-183
- (3) S. Umeda, Visualization of Flip-Flop Flows from Diamond-Shaped Cylinder Bundles with Wall Concavity by Means of PIV, Proceedings of the 11th Asian Symposium on Visualization, 査読有り, ASV11-16-09, 2011, 1-7
- (4) S. Umeda, K. Iijima, K. Shinmura and W.-J. Yang, Effects of Wall Concavity on Oscillations of Flip-Flop Flows from Diamond-Shaped Cylinder Bundles, The 21th International Symposium on Transport Phenomena, 査読有り, 2010, 445 - 451
- (5) S. Umeda and W.-J. Yang, Fluid-Surface Interaction inside Diamond-Shaped Cylinder Bundles Explored by Means of LDV, The 14<sup>th</sup> International Symposium on Flow Visualization, 査読有り, 2010, 1 - 5

〔学会発表〕(計 7 件)

- (1) S. Umeda, Flip-Flop Flows inside Streamwise Diverging Diamond-Shaped Cylinder Bundles, 23rd International Symposium on Transport Phenomena, 2012 年 11 月 19 日～22 日, Auckland, New Zealand
- (2) 梅田真三郎, 菱形角柱群管路からの噴流拡散, 日本機械学会流体工学部門講演会, 2012 年 11 月 17 日～18 日, 同志社大学
- (3) 梅田真三郎, ポケット部を有する菱形角柱群管路からの流出噴流の変化, 日本流体力学会年会 2012, 2012 年 9 月 16 日～18 日, 高知大学
- (4) 梅田真三郎, 漸拡菱形角柱群管路からのフリップ・フロップ流れの可視化, 日本機械学会 2012 年度年次大会, 2012 年 9 月 9 日～12 日, 金沢大学
- (5) S. Umeda, Flow Visualization of Flip-Flop Flows inside Streamwise Diverging Diamond-Shaped Cylinder Bundles, 15th International Symposium on Flow Visualization, 2012 年 6 月 25 日～28 日, Minsk, Belarus
- (6) 梅田真三郎, PIV を用いたポケット部を有する菱形角柱群管路からのフリップ・フロップ流れの可視化, 第 8 回日本流体力学会中四国・九州支部講演会, 2011 年 12 月 10 日, 九州大学
- (7) 梅田真三郎, 飯嶋和明, 新村浩一, Wen-Jei Yang, 菱形角柱群管路内でのポケット部による流れの影響, 日本機械学会流体工学部門講演会, 2010 年 10 月 30 日, 山形大学

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.fukuyama-u.ac.jp/htmls/info/eng/ace/umeda.html>

## 6. 研究組織

- (1) 研究代表者  
梅田 真三郎 (UMEDA SHINZABURO)  
福山大学・工学部・教授  
研究者番号 : 90031145

- (2) 研究分担者  
なし

- (3) 連携研究者  
なし