

平成 30 年 4 月 12 日現在

機関番号：13903

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2016～2017

課題番号：16K14159

研究課題名(和文)竜巻状旋回流を用いて遠隔吸引を可能とする集塵装置の開発

研究課題名(英文)Development of remote dust collector using tornado-like swirling flow

研究代表者

森西 洋平(Morinishi, Yohei)

名古屋工業大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：40222351

交付決定額(研究期間全体):(直接経費) 2,800,000円

研究成果の概要(和文): 本研究では、竜巻状旋回流を利用する遠隔吸引装置を開発した。本実験装置は、集塵装置、遠心分離機、バルブ、超音波流量計、公転用モータ、駆動部、および回転ノズルから成る。開発された遠隔吸引装置は、吸引ノズルを公転軸まわりに回転させる事で竜巻状旋回流を発生させる事に特徴がある。まず、竜巻状旋回流の生成はドライアイスミストの可視化実験で確認された。次に、本実験装置により生成された竜巻状旋回流の速度分布がPIVにより計測された。固形粒子の遠隔吸引性能は、比重2.5のガラスビーズの吸引実験により確認された。

以上の成果から、国内および国際特許として、竜巻状旋回流を利用する遠隔吸引装置を申請した。

研究成果の概要(英文): In this study, a remote dust collector using tornado-like swirling flow was developed.

The experimental apparatus is composed of dust collector, centrifugal separator, valve, ultrasonic flowmeter, motor for revolution, driver division, and revolution nozzle. The tornado-like swirling flow is generated by rotating the suction nozzle around the revolution axis. First of all, the generation of tornado-like swirling flow was demonstrated through flow visualization with dry ice mist. The velocity profile of the tornado-like flow was then measured using particle image velocimetry (PIV). The remote suction capability for solid particles was also demonstrated in the suction experiment for glass beads of specific gravity of 2.5.

Finally, domestic and international patents are applied as the invention of remote dust collector using tornado-like swirling flow.

研究分野：流体工学

キーワード：流体機械 竜巻

### 1. 研究開始当初の背景

竜巻は車両や家屋が吸い込まれる程の強いエネルギーを持つ事が知られている。本研究では、竜巻状気流の強い吸引力を工学的に利用することを試みる。研究代表者は平成21年2月から現在まで厚生労働省粉じん対策指導委員を委嘱され、流体工学の専門家の立場から工場の指導を行い、粉じん・有害ヒューム、および固形粒子の有効な除去装置の開発が急務である事を実感した。そこで、JST-ASTEP 研究課題「竜巻型吸込ノズルの開発」(研究代表者：森西洋平) (平成24年11月～平成25年10月)においてノズルの自転を利用し竜巻状吸引流を実現する装置を開発した。しかし、ノズルの自転の利用のみでは吸引力に限界があり、固形粒子の遠隔吸引までは実現できなかった。その後、気流の渦度を強めて遠隔吸引を実現するにはノズルに公転も加えて竜巻状旋回流を生成する方式が有効との着想に至った。

### 2. 研究の目的

竜巻状旋回流を用いて遠隔吸引が可能な集塵装置を開発し特許出願を行う。竜巻状旋回流は自転および公転を行う回転ノズルを用いて実現する。流量に対する自転角速度、公転角速度、および公転半径の最適運転条件を可視化実験で特定する。可視化実験と同時に流れ場のPIV計測も行う。さらにピーズの吸引実験を行い、固形粒子の遠隔集塵性能の評価を行う。特許出願においては流れの可視化観察結果やPIV計測結果を用いて本集塵装置の原理や有効性を説明する。本研究はこれまでに実現されていない遠隔集塵を可能とする。

### 3. 研究の方法

#### 3・1. 実験装置概略

図1に実験装置の概略図を示す。本実験装置は、(1)集塵装置、(2)遠心分離機、(3)バルブ、(4)超音波式流量計、(5)公転用モーター、(6)駆動部および回転ノズルから構成される。(1)集塵機は、本実験装置において100 m<sup>3</sup>/h程度の流量まで得ることができる。(3)バルブを用いることで流量は調整可能であるが、本研究では一定流量100 m<sup>3</sup>/hとした。また、吸引実験を行うために(2)遠心分離機を導入した。(5)公転用モーターを用いて(6)駆動部を回転させ、公転(結果的に竜巻状流れ)を与える。(6)駆動部の下端から下壁面までの枠で囲った領域が(A)観察領域である。また、PIV計測を行うため、下壁にはアクリル板を使用した。

図2に駆動部と回転ノズルの概略図を、図3に駆動部と回転ノズルの写真を示す。駆動部は回転ノズルに自転と公転を同時に与える事ができるもので、本研究で新たに設計・製作した。駆動部の大きさは、回転部の高さが450 mm、軸を含めると710 mm、直径が約

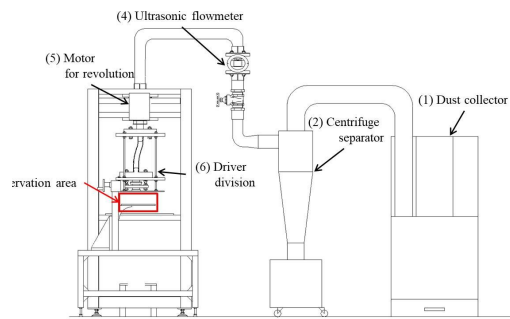


図1 実験装置概図

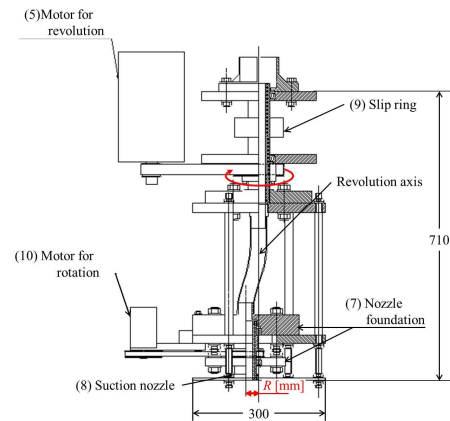


図2 駆動部と回転ノズルの概略図

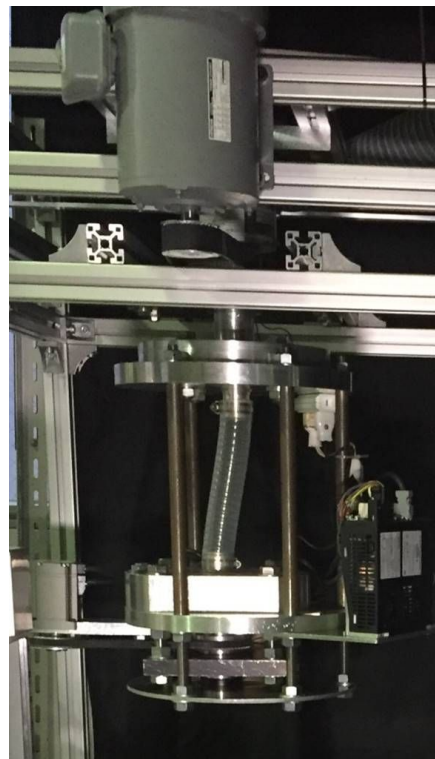


図3 駆動部と回転ノズルの写真

300 mm である。駆動部は、(5)公転用モーター、(7)ノズル固定部、(8)吸引ノズル、(9)スリップリング、そして(10)自転用モーターで構成される。また、(5)公転用モーターの

回転数  $N$  [rpm]はインバータを用いて制御する。この公転用モーターを用いて駆動部全体を回転させる。その公転軸から(8)吸引ノズルの中心を離すことで公転を与える。(8)吸引ノズルの中心から公転軸までの距離が公転半径  $R$  [mm]となる。また、(7)ノズル固定部を動かしてからボルトで固定することによって、 $R$  [mm]を  $0 \sim 30$  mm の範囲で調整できる。駆動部には(10)自転用モーターで(7)吸引ノズルを自転させられる機構を組み込んでいる。(9)スリップリングを介して、公転中での(10)自転用モーターへの電力供給が可能である。

### 3・2．ドライアイスミスト発生機構

竜巻状流れの可視化観察のため、ドライアイスミスト発生機構を設計・製作した。図4にドライアイスミスト発生機構の概略図を示す。ドライアイスミスト発生機構は、(20)IHヒーター、(21)ケトル、(22)バッファータンク、(23)ミスト供給部で構成される。(20)IHヒーターで(21)ケトル内の湯を沸騰させ、そこにドライアイス投入することでドライアイスミストを生成する。ドライアイスミストはケトルの吐出口から排出され、(22)バッファータンクに流れ込む。このバッファータンクが供給部と接続されており、(23)ミスト供給部の穴から観察領域に流れ込む。(22)バッファータンクは、ケトルから放出されたミストの勢いを減少させ、竜巻状流れへの影響を減らす役割も果たす。

### 3・3．PIVによる速度分布計測方法

竜巻状流れの速度分布を計測するため、画像処理流速計(PIV)を導入する。本研究では、トレーサー粒子としてオリーブオイルミストを観測領域に充満し、ダブルパルスレーザーのシート光で切断された鉛直および水平断面をCCDカメラで動画撮影する。取得された画像から、解析ソフトウェアFtrPIV(フローテック・リサーチ社製)を用い、画像の輝度分布から直接相互相関法を通して撮影断面内の流速を算出する。図5にPIV計測の概略図(水平断面計測の場合)を示す。

### 4．研究成果

公転半径  $R$  [mm]と回転角速度  $N$  [rpm]の条件を設定して実験を実施した。全実験においてノズル直径は  $D = 32$  mm である。図6に、流れの可視化実験の一例として、公転半径  $R = 8$  mm、公転回転数  $N = 120$  rpm、流量  $Q = 100$  m<sup>3</sup>/h の条件での鉛直および水平断面の可視化写真を示す。下図中の赤丸は動画撮影により確認された渦芯の振れ回り範囲を示す。この条件では、竜巻状流れが回転ノズルから下壁まで至る構造を持ち、下壁近傍では渦芯が多少振れ回るものの安定に竜巻状旋回流が形成される事が確認された。公転回転数  $N = 150, 180$  rpm の条件についても同様に安定な竜巻状流れが形成されることが確

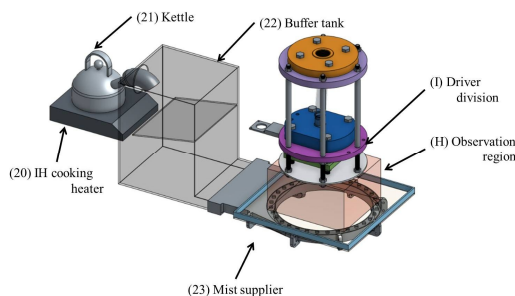


図4 ドライアイスミスト発生機構の概略図

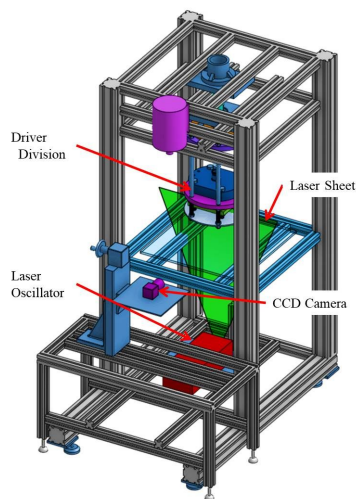


図5 PIV計測の概略図(水平断面計測)



図6 ドライアイスミストによる流れの可視化写真 ( $R = 8$  mm,  $N = 120$  rpm,  $Q = 100$  m<sup>3</sup>/h (上: 鉛直断面, 下: 下壁近傍の水平断面, 赤丸は渦芯の振れ回り範囲))

認められた。また、竜巻状旋回流の生成には自転よりも公転が重要な事も明らかになった。

PIV計測による結果として、図7に鉛直断面の流速分布を示す。公転無し ( $N=0$ ) の場合 (図7上)、流速が大きい領域はノズルの吸い込み口付近に限定され、流れが放射状に広がり、この場合に良く知られたポテンシャル流となる事が確認できる。一方、ノズルに公転を与えた場合 (図7下、 $N=150$  rpm)、比較的流速の大きな領域がノズル付近から下方へ延び、遠方でも上昇流が維持される、つまり今回転ノズルによって遠隔吸引が可能となる事が確認された。

最後に、固形粒子の遠隔吸引実験を行った。吸引実験の結果の一例として、ノズル出口から下方  $H=130$  mm の床上にガラスビーズ (比重 2.5、粒径 0.1 mm) を 25 g 撒き、公転半径  $R=12$  mm、公転回転数  $N=180$  rpm、流量  $Q=100$  m<sup>3</sup>/h で吸引を開始し、床面が現れた時点で運転を止めた際の床面の写真を図8に示す。これより、提案する方式により、固形粒子の局所的な遠隔吸引も可能な事が確認された。

以上の成果により、本研究で提案する遠隔吸引装置を、まず2016年6月22日に国内特許 (名称: 吸引装置、特願 2016-123282) として出願した。さらに、2017年6月21日に国際特許 (名称: 吸引装置および駆動装置、PCT/JP2017/022850) として出願した。

## 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)

[学会発表] (計 1 件)

本郷理博, 池田大, 山田格, 玉野真司, 森西洋平, 竜巻型吸引装置の開発, 第15回日本流体力学会中部支部講演会, 愛知県, 名古屋工業大学, (2017.12.01), 講演番号 4-5 (1p).

[産業財産権]

出願状況 (計 2 件)

名称: 吸引装置

発明者: 森西洋平, 玉野真司, 本郷理博

権利者: 森西洋平, 玉野真司, 本郷理博

種類: 特許

番号: 特願 2016-123282

出願年月日: 2016年06月22日

国内外の別: 国内

名称: 吸引装置および駆動装置

発明者: 森西洋平, 玉野真司, 本郷理博

権利者: 森西洋平, 玉野真司, 本郷理博

種類: 特許

番号: PCT/JP2017/022850

出願年月日: 2017年06月21日

国内外の別: 国外

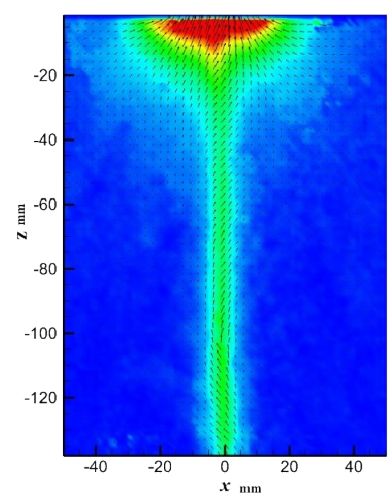
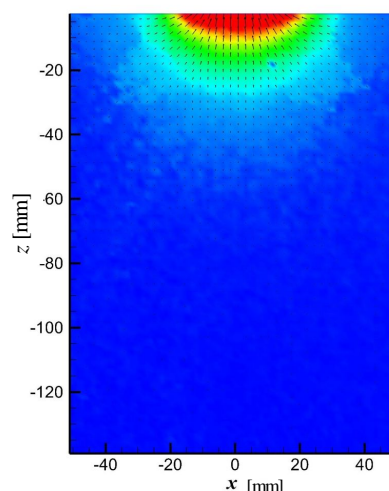


図7 鉛直断面のPIV計測結果,  $R=8$  mm,  $Q=100$  m<sup>3</sup>/h (上:  $N=0$  (公転無し), 下:  $N=150$  rpm). 色コンターは青が流速  $V=0$ , 赤が  $V=20$  m/s に対応

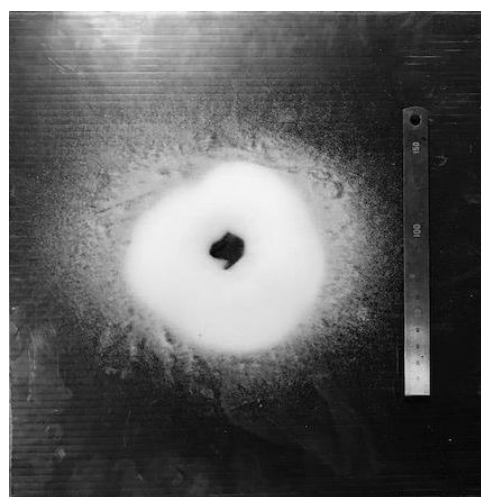


図8 固形粒子の吸引実験の写真,  $R=12$  mm,  $N=180$  rpm,  $Q=100$  m<sup>3</sup>/h

〔その他〕

ホームページ

<http://flow-design-lab.web.nitech.ac.jp>

/

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

森西 洋平 (Morinishi Yohei)

名古屋工業大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：40222351

### (2) 研究協力者

玉野 真司 (Tamano Shinji)

山田 格 (Yamada Toru)

本郷 理博 (Hongo Masahiro)

池田 大 (Ikeda Dai)