

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 7 日現在

機関番号：82110

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2016

課題番号：15K18324

研究課題名(和文) 光干渉縞を用いた微粒子の粒径・数密度・速度同時計測法の微小液滴への拡張

研究課題名(英文) Extension of fine particle size, number density and velocity simultaneous measurement method to droplets using optical interference fringes

研究代表者

上澤 伸一郎 (Uesawa, Shinichiro)

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構・原子力科学研究部門 原子力基礎工学研究センター・研究職

研究者番号：80737073

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：原発再稼働に必要なフィルタードベントの1つであるベンチュリスクラバの性能評価のため、スクラバ内を高速で運動する微小液滴の計測技術開発が求められている。本研究では、レーザー光を用いた光干渉縞方式による微粒子の計測法を確立し、微小液滴への適用可能性について検討した。実験より、本方式では数百ナノメートルから数マイクロメートルの微粒子を個別で計測することができ、粒子数を計測できることが確認された。また得られた信号と粒径に相関関係があることが明らかになり、同時に粒径計測が可能であることも確認された。このような結果は微小液滴でも得ることができ、本方式で微小液滴計測が可能であることも確認された。

研究成果の概要(英文)：To evaluate the performance of Venturi scrubber which is one of the filter vents necessary for resuming nuclear power plant operations, development of measuring technology of micro droplets moving with high speed in the scrubber is required. In this study, we established the measurement method of fine particles by optical interference fringe method using laser light. Moreover, we investigated the possibility of application to droplets. In the experiments, fine particles with several hundred nm to several μm in diameter were individually measured by the method. The result shows that the number of particles can be measured by the method. In addition, we found the relationship between the obtained electrical signals and the particle diameters. The result means that particle size measurement is possible. In the droplet experiment, the electrical signals were obtained as same as the particle experiment. Therefore, we confirmed that the droplet measurement is possible by this method.

研究分野：熱流動

キーワード：微粒子 液滴 計測

1. 研究開始当初の背景

(1) フィルタ付ベントシステムは、原子炉格納容器の過圧破損等を防止するとともに、環境への放射性物質の放出量を低減する機能を持つ。そのフィルタ付ベントシステムの1つにマルチベンチュリスクラバがある。これは、数百本の縮小拡大管（ベンチュリ管）で構成されており、縮小部にて流速が増加することで圧力が低下するベンチュリ効果を利用した機器である。ベンチュリ効果により生じた内外の圧力差により、縮小部の管壁を貫通する細孔からスクラビング水が供給され、ガス流中に微小液滴として噴霧されることで、微粒子状の放射性物質を効率的に捕集されると考えられている。しかし、液滴の数密度やサイズ、速度などの、放射性物質の捕集の評価に必要な情報については、明らかにされていない。

(2) ベンチュリスクラバにおいて液滴の数密度やサイズ、速度等が明らかにされていない要因としては、生成される液滴が微小であり、かつ高速で運動することが要因として挙げられる。現状では高速で運動する微小液滴の性状ならびに挙動を容易に計測できる手法はなく、その計測手法の確立が強く求められている。

2. 研究の目的

(1) 本研究では、高速で運動する微小液滴の数密度、液滴径、速度の同時計測技術を開発するため、マイクロ・ナノ粒子計測技術の液滴計測への拡張を試みた。

(2) マイクロ・ナノスケールの微粒子計測については、流体中に存在する微粒子を検知し、その大きさと個数を計測する技術が開発されている。この計測技術は、パーティクルカウンターと呼ばれ、半導体産業の発展に歩調を合わせるように、マイクロメートルオーダーからさらに微小なナノメートルオーダーの粒子までの測定を可能にした経緯がある。

(3) 本研究では微粒子計測手法の1つである光干渉縞方式に着目した。光干渉縞方式は、レーザー光の最大の特徴である『コヒーレント性』すなわち『位相の揃った光』によりもたらされる、非常に強い干渉作用を利用するものである。レーザー光を微粒子に当てると、干渉作用によって、微粒子後方の受光面に同心円状の縞模様が結像される。この干渉縞を流動方向に並んだ2つの受光素子で受けることで、干渉縞のカウント数、縞模様の間隔（縞パターン）と縞全体の移動速度を同時に計測し、これにより微粒子の個数、粒径を同時に評価することが期待できる。従来の散乱光方式よりも受光素子を減らしたことで信号処理を容易にし、高時間分解での計測を可能とした。したがって、散乱光方式では得られない、流動中の微粒子の挙動を直接計測できる。

(4) 本研究では、この微粒子計測技術を液滴への応用を試み、ベンチュリスクラバにおける微小液滴の過度的挙動への適用可能性について検討する。

3. 研究の方法

(1) 初年度は微粒子計測を実施し、次年度より液滴計測への拡張を行った。先に微粒子計測を実施する狙いは、既知の数密度や粒径を持つ微粒子を用いることで、粒径や数密度に対するデータベースを構築するためである。

(2) 微粒子計測試験装置は、液ラインは給水用タンク、計測流路、吸引ポンプ、流量計、排水用タンクで構成されており、光学系は図1に示すようにレーザーダイオード、レーザー整形用レンズ、ハーフミラー、スクリーン、受光素子で構成される。スクリーンには微粒子との相互作用により発生する干渉縞が映し出され、ハイスピードビデオカメラで撮影する。受光素子はロガーに接続され、受光素子からの電圧信号を計測する。また、計測流路はレーザーが透過するように石英ガラスで製作されており、流路内の直接撮影も可能である。

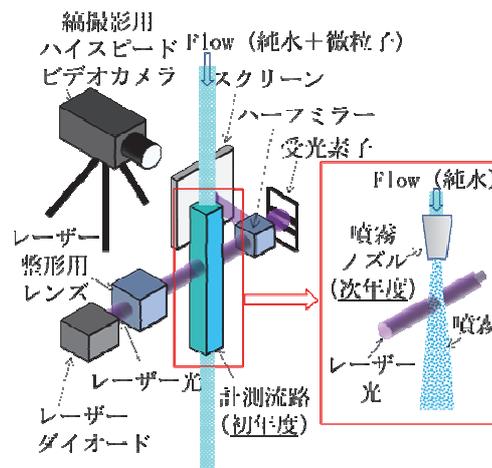


図1 実験装置

(3) データベースの構築ため、レーザーと微粒子による光学的な相互作用によって発生する干渉縞とその光を受けた受光素子から出力される電圧信号の特性を把握し、干渉縞と電圧特性の相関を明らかにするとともに粒径と受光素子からの電圧信号特性の相関関係について明らかにした。

(4) 液滴計測の適用範囲を拡大するため、試験装置の改造を行った。微粒子計測装置の計測流路を取り外し、図1に示すように噴霧ノズルを設けることで噴霧を生成し、その下流において液滴の計測を実施した。

(5) 最後に、微小液滴に対する試験データより、ベンチュリスクラバの液滴計測への適用

可能性について検討ならびに課題の抽出を実施した。

4. 研究成果

(1) 図2は直径0.4 μmのPSL粒子を混入させた時のフォトダイオードからの電気信号の時間変化を示している。流路上流と下流の電圧信号を区別しやすくするために、上流のフォトダイオードは受光の際に正の電圧が印加され、下流側は負の電圧が印加される。粒子を混入させない場合と比べ、PSL粒子が混入している条件では、図2のように多数のピークが確認される。ピークが計測された各時刻における可視化計測結果も図2に示す。左図は流路内の可視化計測結果であり、白い粒は粒子からの側方散乱を捉えたものである。この結果から粒子の存在ならびに位置を確認できる。右図はスクリーンに投影された干渉縞を示している。干渉縞は得られた画像に対して、背景除去ならびに二値化処理を行っている。閾値は255 [-]である。各ピークに対して、粒子の側方散乱と干渉縞を確認したところ、計測されないケースも見られたものの、多くは計測された電気信号のピークに対して側方散乱ならびに干渉縞と同期していた。このことから、粒子を個別に計測することができ、本方式で粒子数を計測することが可能であることが確認された。

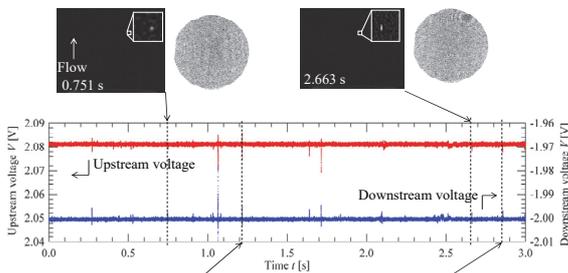


図2 粒径0.4 μmのPSL粒子の実験結果

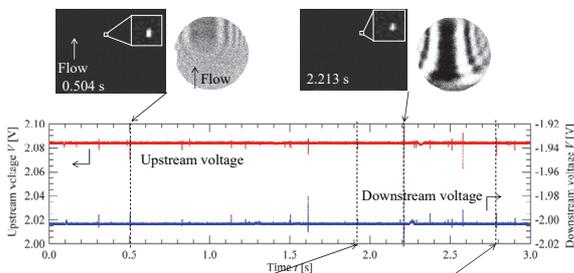


図3 粒径1.0 μmのPSL粒子の実験結果

図3は直径1 μmのPSL粒子を混入させた時のフォトダイオードからの電気信号の時間

変化、側方散乱光、干渉縞の可視化結果である。各ピークに対して、粒子の側方散乱と干渉縞を確認したところ、計測された電気信号のピークに対して側方散乱ならびに干渉縞と同期していた。0.4 μmの結果とは異なり、電気信号ピークの変動値が0.4 μmに比べて大きくなっている。また、側方散乱光や干渉縞も明瞭になった。このように粒径が大きいほど電圧信号が大きくなり、側方散乱光ならびに干渉縞が明瞭になることが示された。

(2) ピークを拡大すると、図4のように上流下流ともに裾を持つ山型の信号として計測される。また、上流と下流の信号は必ずしも同時刻に発生しているわけではなく、ミリ秒から数百マイクロ秒程度の時間差が発生している。この上流側の電圧の振幅を ΔV_{up} 、下流側を ΔV_{down} 、時間差を Δt とする。電圧振幅の定義は1秒間の電圧の平均値と振幅の最大振幅の差の絶対値を電圧振幅とする。時間差は、上流もしくは下流のフォトダイオードで生じる山もしくは谷の頂点から対となるもう片方の谷もしくは山の頂点の時間幅とする。

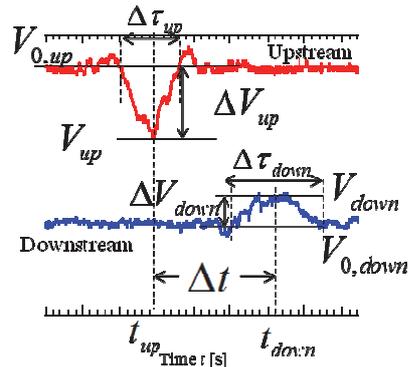


図4 電圧ピークの拡大図

(3) 図5はある時間差 Δt において得られた電圧値を粒径ごとにまとめた結果である。この結果からわかるように粒径と電圧には相関がある。このように信号の電圧から粒径を計測できる。

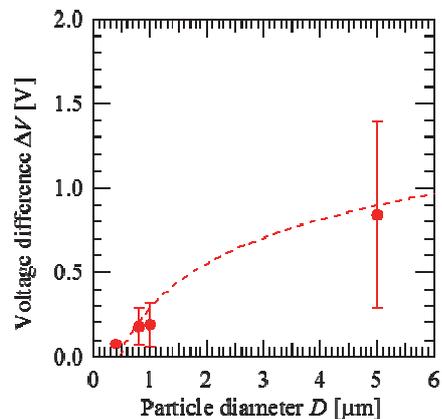


図5 電圧信号と粒径の関係

(4) 図6は液滴における信号計測結果である。図2や図3の粒子実験結果と同様に多数のピークが確認される。このことから粒子と同様に液滴でも計測が可能であることがわかる。また、液滴の数密度が液滴計測に及ぼす影響について検証したところ、噴霧ノズル近傍では良好な結果が得られなかった。これはノズル近傍では液滴の数密度が高く、レーザーが透過できなくなったためと考えられる。一方で、ノズルから十分離れた距離では計測ができることを確認した。

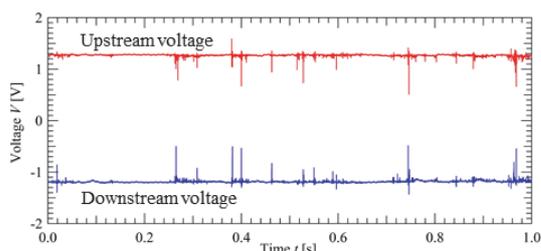


図6 液滴での実験結果

(5) 以上の微小液滴に対する試験データから、液滴が十分に分散しているベンチュリスクラバ下流であれば計測が期待できると考えられる。しかしながら、ベンチュリスクラバの作動条件によっては液滴の速度は数百 m/s になるので、今後、時間応答のさらなる高速化が求められる。

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 0 件)

[学会発表] (計 0 件)

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

[その他]

特になし。

6. 研究組織

(1) 研究代表者

上澤 伸一郎 (Uesawa, Shinichiro)

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構
原子力科学研究部門 原子力基礎工学
研究センター・研究職

研究者番号：80737073