

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 29 年 6 月 9 日現在

機関番号：82626  
研究種目：挑戦的萌芽研究  
研究期間：2015～2016  
課題番号：15K14295  
研究課題名(和文)高レイノルズ数条件における高精度流量計測のための複測線式多点同時計測LDVの開発

研究課題名(英文)Development of multi-path and multi-point LDV for high accurate flow rate measurement at high Reynolds number

研究代表者  
古市 紀之(Furuichi, Noriyuki)  
国立研究開発法人産業技術総合研究所・工学計測標準研究部門・主任研究員

研究者番号：10334921  
交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究においては、多点同時計測可能なLDVを流量計測法に応用する研究を行った。ライン状の計測部を構成し、瞬時の流速分布を計測することにより高精度の流量計測が可能となる。本研究においては、システムの開発後、円管流れに適用しその課題等について抽出した。特に、信号強度や周波数シフトの課題対応により、本システムが流量計測に十分適用可能であることを明らかにすることができた。この成果を元にし、複数の測定線における計測を行うことに対する解を、面的な計測を行うことに見出した。面的なLDVシステムを構築し、適用の可能性を検討したところ、十分に計測が行えることが明らかになった。

研究成果の概要(英文)：In this study, the development of flow rate measurement method using multi-point LDV system was performed. The multi-point LDV system construct the line-wise measurement volume which is applicable for high accurate flow rate measurement. After the LDV system was developed, it was applied to the pipe flow. Based on the experiments, the issues for the measurement was considered. Especially, the modification of the signal power and frequency shift was modified. Finally, the applicability of this system for the flowrate measurement was shown. Based on the results, the plane type measurement was tried as the multi-path measurement. The experimental results showed the applicability of the plane type measurement method for the flow rate measurement.

研究分野：流体工学

キーワード：LDV 流量計測 多点同時計測 流速分布

### 1. 研究開始当初の背景

福島第一原子力発電所の事故に端を発して、現在の電力供給のおかれた状況は依然厳しく、原子力発電における再稼働問題、火力発電所における高稼働率・老朽化の問題等、今後に対する懸念はつきない状況にあると言える。これらの問題に対して中期的な視点から考慮した場合、安全性を確保しつつ原子力発電の再稼働を実施することが、現実的な解であると考えられる。しかしながら再稼働が可能な原子力発電所の数については依然不明瞭であり、また新規建設については今後慎重にならざるを得ない現状、再稼働が可能となった発電所の効率的な運用を強く要求されることが予想される。原子力発電における、いわゆる計測精度向上型の増出力手法は1~2%の出力向上が期待できるとされており、効率的な原子力発電所の運用という目的に対して非常に有効な手法であると考えられる。この手法の重要なポイントは、水温 200℃ 以上において 2000 m<sup>3</sup>/h 以上という高温大流量、すなわち高レイノルズ数条件下における給水流量を 0.2%前後という非常に高精度にて計測する必要があることである。しかしながら、このようなシビアコンディションにおける流量計測では、超音波流量計のような流速分布を仮定する従来の流量計測手法においては実質的な精度の担保はまったくない(Furuichiら 2009)。したがって、高温大流量条件下または高レイノルズ数条件下における高精度な流量計測法を確立することが期待されていた。

### 2. 研究の目的

本研究においては、高精度流量計測およびその校正方法がまったく確立されていない高温大流量条件化および高レイノルズ数条件下における絶対的な高精度流量計測を、多点同時計測レーザードップラー流速計(LDV)をベースとした面的な流速分布計測可能な多点同時計測 LDV を新規に開発することにより行うことを目的とする。本システムは、LDV の高い精度および高い時空間分解能という特徴を有したまま、面的な流速計測を行うことができるまったく新しい流速計測方法である。本研究成果は、原子力発電における増出力を実現するための原子炉給水流量計測の精度を担保することができるシステムとなることが期待される。また、同様に蒸気タービンの高精度効率評価を実現できるように、現在の電力需給に対する大きな貢献が期待される。

### 3. 研究の方法

まず多点同時計測 LDV の開発を、送光系、受光系および信号処理ハードウェアに関して実施する。本システムは、複数の波長の異なる半導体レーザにより、測定線を作り出し、流速分布を計測するものである。これを円管流れに適用し、その可能性について検討する

ものである。この検討結果に合わせて、面的な流速分布計測から流量計測を行うことができる手法を検討することとする。

### 4. 研究成果

#### (1) 多点同時計測 LDV の開発および流量計測への適用

多点同時計測 LDV の概要を図 1 に示す。半導体レーザを、ビームスプリッタを用い分光後、ロッドレンズによりビームを拡大し、測定体積を作る。ここでは、線状の計測部となるように製作した。流量計測を行うことを前提にしており、逆流を計測する必要がないことから、周波数シフトのないシステムを構築した。

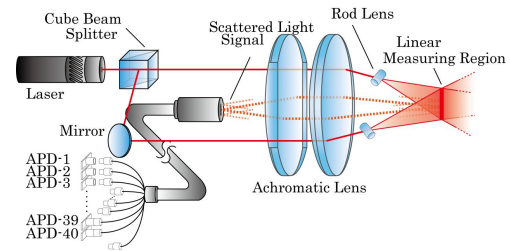


図 1. 多点同時計測 LDV システム

試作された本システムをウィンドーチャンバーによる測定部に適用し、流量計測への適用性について検討した。実験結果を図 2 に示す。適用性の検討のため、線計測および点計測による計測結果を示している。点計測による結果は配管内流速分布を明確に示している一方、線計測においては管中心部における分布や絶対値は概ね良好なものの、特に壁面近傍の流速分布に対する問題が生じていることが分かる。線計測においては、円管の曲率の影響等を受け信号強度が弱くなることや、計測される信号の周波数の影響から、壁面近傍の同時計測に課題があることが明らかである。

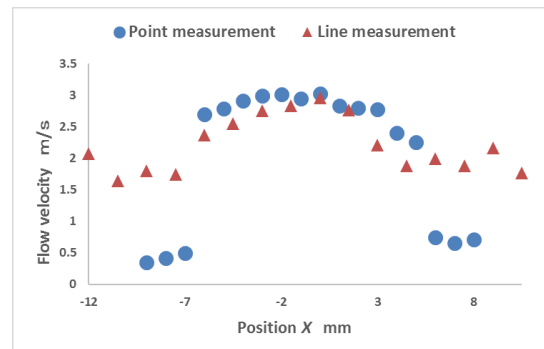


図 2. 流速分布計測結果

以上に示した問題点の解決のために、まず周波数シフトについての検討を行った。図 1 に示されるシステムに、AOM を用いた周波数シフトを導入した。周波数シフトについては、壁面近傍でのノイズ計測につながる恐れがあることから、信号処理の段階でノイズを除去するようにした。システムを図 3 に示す。

また、図4に流速分布の計測結果を示す。壁面近傍の流速分布が明瞭に計測されていることが分かる。周波数シフトによる計測の妥当性が示された。

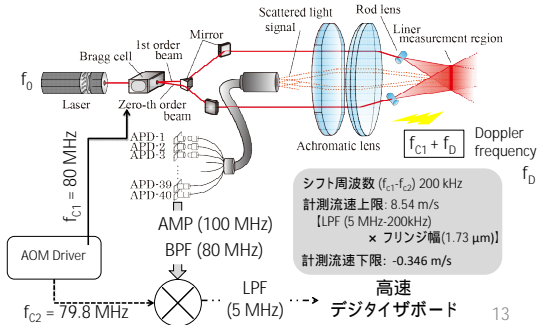


図3. 周波数シフトを用いたシステム概要

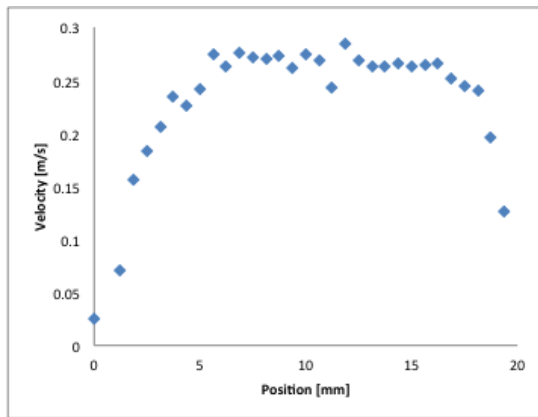


図4. 周波数シフトを用いたシステムによる流速分布計測結果

もう1点が信号強度である。レーザ強度を上げることが難しいため、ウィンドーチャンバーを透過することによる影響を調査した。ウィンドーチャンバーをなくし、直接的に円管にレーザを入射した。流速分布の計測結果を図5に示す。流速分布に関しては、壁面近傍にまで計測可能範囲が及んでいることが分かる。このことは、信号強度を強くすれば、十分に計測可能範囲が広がることを示している。

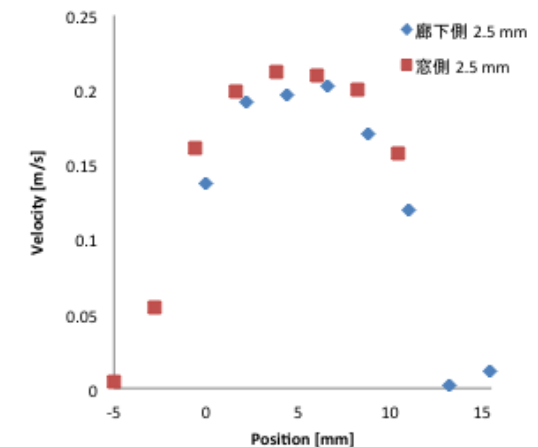


図5. ウィンドーチャンバーを用いない場合の計測結果

以上から、周波数シフトおよび信号強度を上げることにより、十分に線計測可能なLDVとして円管流れに適用できることが明らかになった。

## (2) 面計測への応用

多点同時計測LDVシステムを用いた流速分布計測による流量計測については、測定線が1本のために、偏流等があった場合には流量計測に対する誤差になりうる。そのため、面的な計測法を検討した。当初予定していた複線式に関しては、1本の測定線による試験において、円管流れに適用するには信号強度や周波数シフト等の追加的機能が要求されることが明らかになったため、他の方法を検討した。本研究においては、面的な計測法として、オプティカルファイバーアレイを用いた手法を検討した。システムを図6に示す。シリンダリカルレンズにより拡大されたレーザは図に示すように配管内において面的に交差する。ここにできたフリンジからの信号を、オプティカルファイバーアレイに焦点を結び、ドップラー信号を取得する手法である。自作したアナログおよびデジタル信号処理システムを用い、計測を行った。

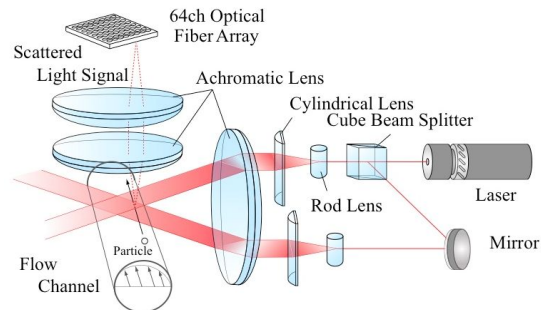


図6. 面的な計測システム

実験結果を図7に示す。同時計測できるチャンネル数が限られていたために、3回に分けて同時計測された結果である。配管内における流速分布を計測することに成功していることが分かる。本システムをさらに多チャンネル化することにより、面的な計測が可能になるとともに、高精度の流量計測が可能となることを期待される。

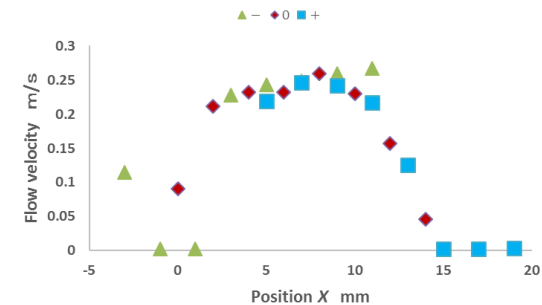


図7. 面計測システムによる流速分布結果

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 件)

〔学会発表〕(計 1 件)

服部純暉、莊司成熙、経田僚昭、秋口俊輔、百生登、寺西恒宣、八賀正司、古市紀之、安東嗣修 (富山大) 脈動流の完全非侵襲 3 次元イメージング手法に基づく流量計測システムの提案、日本伝熱学会 北陸信越支部 春季セミナー (富山県立大学、富山市)

〔図書〕(計 件)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
出願年月日：  
国内外の別：

取得状況 (計 件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
取得年月日：  
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

古市 紀之 (FURUICHI, Noriyuki)  
産業技術総合研究所・工学計測標準研究部門・主任研究員  
研究者番号：10334921

(2) 研究分担者

八賀 正司 (HACHIGA, Tadashi)  
富山高等専門学校・商船学科・教授  
研究者番号：80123305

(3) 連携研究者

( )

研究者番号：

(4) 研究協力者