

## 【補助事業概要の広報資料】

補助事業番号 27-111  
補助事業名 平成27年度 実環境下での簡易流体計測システム開発 補助事業  
補助事業者名 東京大学大学院工学系研究科 白山晋

### 1 研究の概要

簡便に、安価に、安全に、リアルタイムで流れの情報を取得できる、設置性が高く、可搬性に優れた計測システムを、90年代後半から大きく発展したコンピュータビジョン、画像処理、可視化の方法を援用し、新たな光源と複数台のUSBカメラを用いて開発した。その計測システムによって、「日中・夜間の室内、屋外の環境において数メートルの範囲で2センチメートル程度の空間分解能、1/30秒程度の時間解像度、誤差が10%程度で3次元流れ方向が取得できること」、「日中の室内環境において数メートルの範囲で数センチメートルの空間分解能、1/30秒程度の時間解像度、誤差が10%程度で3次元流速が取得できること」を示した。

### 2 研究の目的と背景

近年の異常気象等による風環境の劇的な変化は、風が引き起こす事故の事前回避、即時対応、事故からの迅速な回復を難しくしている。実環境下の領域に対する流れの計測が重要になっている。点観測では情報が少なく、最新の気象観測でも数秒の時間間隔で50メートル程度の空間分解能が限界である。さらに詳細な情報を得る場合には、風洞実験や水槽実験で用いられている計測法が必要になる。しかしながら、大がかりな装置、大きな手間が必要とされ、適用対象は限定的である。また、安全性の面での問題もある。様々な状況下において、簡便に、安価に、安全に、リアルタイムで流れの情報を取得できる計測システムの開発が本補助事業の目的である。

### 3 研究内容

#### 実環境下での簡易流体計測システム開発

(<http://www.nakl.t.u-tokyo.ac.jp/shirayamaRingRing/>)

室内外の環境におけるタフト形状の自動抽出法、タフト形状の自動抽出法からの3次元流れ方向の定量計測法（デジタルタフト法）、簡易粒子画像流速計測法、タフト、および粒子画像の取得に必要な安全、かつ高輝度のスリット光（シート光）の生成法、夜間に対応するためのタフト法、車載カメラ映像の画像処理法からなる、実環境下での簡易流体計測システム開発した。様々な光源を用いて室内、および屋外環境に適したタフト形状の自動抽出のための背景差分法の検討を行い、流れの中のタフト形状を自動抽出するシステムを試作した。試作システムによって流れの3次元方向の計測を行った(図1)。図2にある時刻での左右のUSBカメラ画像から抽出したタフトの対応付けの結果を示す。また、タフト33の動きから得られ

た3次元流れ方向の時間変化を図3に示す。蛍光性を持つタフトと紫外光を利用して、夜間でのタフト形状の抽出を試みたものを図4に示す。このようにして、3次元流れ方向の定量計測が可能になる。

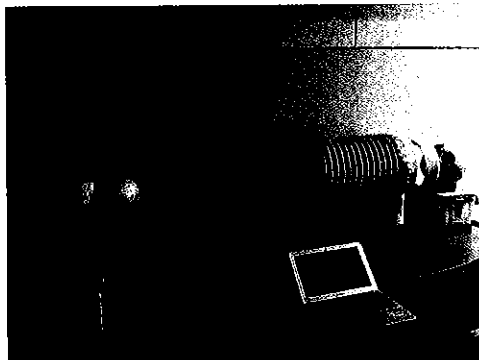


図1 開発したシステムによる計測実験

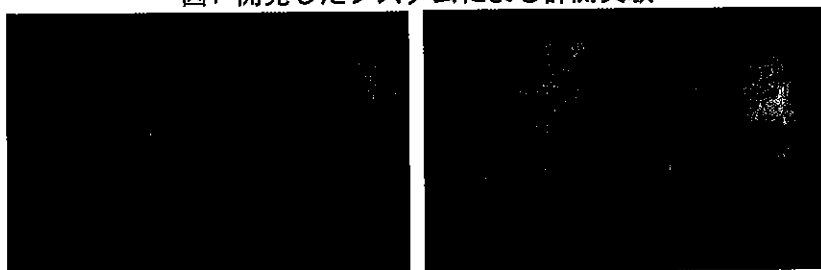


図2 左右のUSBカメラ画像間でのタフトの対応付け

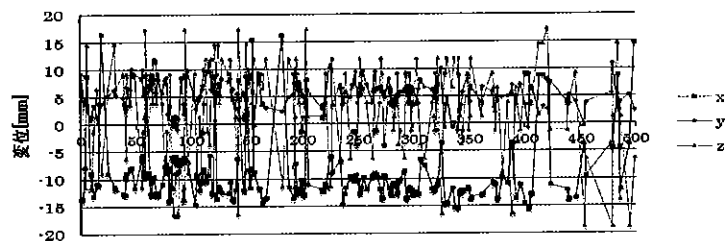


図3 タフト33の動きから得られた3次元流れ方向の時間変化

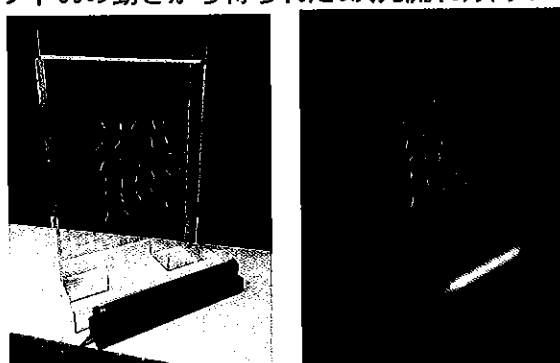


図4 夜間でのタフト形状の抽出実験（昼間（左），夜間（右））

簡易粒子画像流速計測法の構築のために、少数のトレーサー粒子とタフト形状の自動抽出システムを併用するというシステムを作成し、室内実験を行った。ある時刻での左右のUSBカメラ画像から抽出したトレーサー粒子の対応付けの結果を図5右図に示す。左図は、計測結果となる3次元の流速ベクトルである。

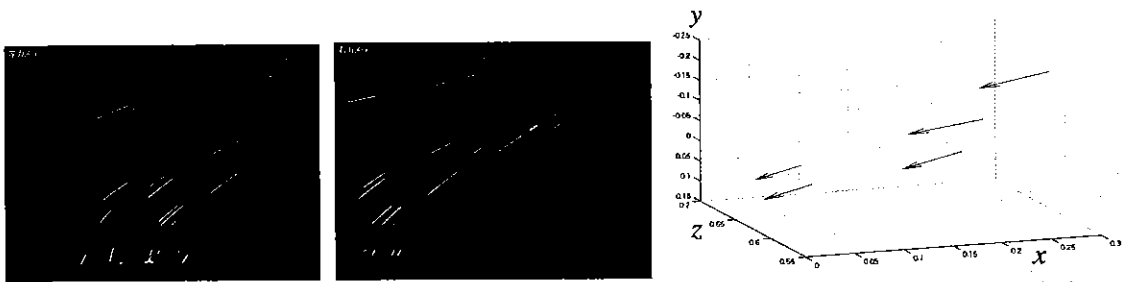


図5 左右のUSBカメラ画像間でのトレーサー粒子の対応付けと計測された3次元流速

スリット光（シート光）生成装置に関しては、移動式複数光源という新たな基本原理を提案し、試作システムによる流れの可視化実験を行った。実験結果からこの生成装置の有用性が確認できている。車載カメラの利用に関しては、研究室内に模擬的に構築した環境を用いて、アクティブカムカメラによる計測を行い、固定型のUSBカメラ画像からのタフト形状抽出法が利用できることを明らかにした。また、隠れマルコフモデルを用いた流れの3次元方向の時系列データのクラスタリングと状態分類手法を開発した。これにより定量的速度変動の抽出条件をより明確にできる可能性を示した。

#### 4 本研究が実社会にどう活かされるかー展望

本事業で構築したシステムは、自動車等に搭載されているカメラによって簡単に実装できる。これにより、実際の走行時の風況を常に把握することができるようになる。結果として、風が引き起こす事故の事前回避、即時対応、事故からの迅速な回復を支援できるものと考えられる。また、流れのデータをその状況とともに蓄えることで、実環境下で利用される乗り物、建築物、風力発電機等の設計、性能評価を支援することも可能になる。さらに、予測に基づく設計からセンシングに基づく設計への転換を促すことになる。より安全性が高い流体機器の開発に直結する技術である。また、開発したシステムは、様々な場所に簡易的に設置できるものであり、現在の自然環境情報をできるだけ多く、忠実に残すことにも寄与する。

#### 5 教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

研究代表者は、これまでに計算結果の可視化技術、流れ場の解析手法の開発を行ってきたが、コンピュータシミュレーション技術の発展を主眼とするものであった。今回の研究において、新たな流体計測システムが開発できたことは、実用面でのコンピュータシミュレーションと実験の融合研究を加速させることになる。教育面では、仮想空間（コンピュータシミュレーション）と実空間の両面からのモノの見方の重要性を説く事例になると考えている。

#### 6 本研究にかかわる知財・発表論文等

##### 【発表論文等】

- [1] 尾亦範泰, 白山晋: 3次元非定常速度データの定量的可視化法, 第30回数値流体力学シンポジウム, D02-2, 2016

- [2] 高藤圭一郎, 白山晋: 回転方式複数光源によるシート光生成装置の改良, 日本機械学会第94期流体工学部門講演会, GS22, 2016
- [3] 安達健二, 白山晋: 実環境下での3次元流速の簡易計測法に関する研究, 日本流体力学会年会2016講演論文集, 175, 2016
- [4] 白山晋, 尾亦範泰: 時系列3次元流れ方向データからのパターン抽出法, 第44回可視化情報シンポジウム講演論文集, C208, 2016
- [5] 白山晋: 時系列速度データからのパターン抽出法, 特集・注目研究 in CFD29, ながれ, 35巻, pp. 147-152, 2016  
[http://www.nagare.or.jp/download/naauth.html?d=35-2\\_tokushu12.pdf&dir=61](http://www.nagare.or.jp/download/naauth.html?d=35-2_tokushu12.pdf&dir=61)
- [6] 白山晋: 実環境下での流速の計測法に関する研究, 日本機械学会第93期流体工学部門講演会, GS45, 2015

## 7 補助事業に係る成果物

### (1) 補助事業により作成したもの

研究報告書: 実環境下での簡易流体計測システム開発報告書

<http://www.nakl.t.u-tokyo.ac.jp/shirayamaRingRing/JKAReporH27Shirayama.pdf>

補助事業番号 27-111		目次	
	1章 総 論	4.3.4項 実験4 (断面における流れの計測)	76
	2章 調査研究	4.3.5項 タフト計に関するその他の事項	81
	2.1節 タフト計	4.4節 粒子画像を利用した流速計測	83
	2.1.1項 一般的なタフト法による計測例	4.4.1項 計測精度を向上させた実験	85
	2.1.2項 初期のタフト法の定量化に関する研究	4.4.2項 粒子画像を利用した流速計測に関するその他の事項	88
	2.1.3項 定量的デジタルタフト法に関する研究	5章 結 語	89
	2.2節 粒子画像に基づく方法	6章 参考文献	92
	2.2.1項 PIV		
	2.2.2項 PIV		
	2.2.3項 流線解析法		
	2.2.4項 粒子画像に基づく方法のまとめ		
	3章 調査方法		
	3.1節 定量的デジタルタフト法		
	3.1.1項 基本原理		
	3.1.2項 牙板の構造		
	3.1.3項 タフトの自動対向決定および測定時の自動判別		
	3.1.4項 断面計測のためのフラッシュライトを用いたタフトの可視化		
	3.2節 粒子画像を利用した流速計測法		
	3.2.1項 露光時間の決定		
	4章 計測システムの構成法と実験		
	4.1節 予備実験		
	4.1.1項 位置計測の精度検証		
	4.1.2項 露光時間の決定		
	4.1.3項 カメラ側の調整		
	4.1.4項 トレーサ粒子への露光の影響の検証		
	4.2節 実験装置の作成		
	4.2.1項 流速線の取得		
	4.2.2項 タフトとトレーサ粒子		
	4.3節 タフト法による流れの計測		
	4.3.1項 実験1 (多数のタフトを取り付けた場合の流れの計測)		
	4.3.2項 実験2 (複雑な形状の物体周囲近傍の流れの計測)		
	4.3.3項 実験3 (タフトグリッドを用いた流れの計測)		

## 8 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名: 東京大学大学院 (トウキョウダイガクダイガクイン)

住 所: 〒113-8656 東京都文京区本郷7-3-1

申 請 者: 准教授 白山 晋 (シラヤマ ススム)

担 当 部 署: 工学系研究科・システム創成学専攻

(コウガクケイケンキュウカ・システムソウセイガクセンコウ)

E-mail: sirayama@sys.t.u-tokyo.ac.jp

URL : <http://www.nakl.t.u-tokyo.ac.jp/shirayamaRingRing/>