

デュアルカメラ PIV による物体の軌跡と流れ場の同時計測
Simultaneous measurement on object trajectory and flow field with dual camera PIV

○西嶋一欽・宮町凜太郎・飯田琢也

○Kazuyoshi NISHIJIMA, Rintaro MIYAMACHI, Takuya IIDA

This study is conducted as part of the research for developing a novel technique on wind tunnel experiment that uses liquid as medium, instead of air. The particular focus in this study is on the possibility of simultaneous measurements of flow and magnetic particles that are distributed in the liquid, and the movements of which are controlled with applying magnetic field. The developed method takes its basis in the PIV technique, uses fluorescent particles to trace liquid flow and captures these two types of particles with two high-speed camera with appropriate filters. The result is promising, enabling one to separate particles into two photo sets. A simplistic PIV also demonstrates that the movement of magnetic particles can excite liquid flow.

1. はじめに

著者らの研究グループでは、大気境界層中に配置された建築物等の風圧力評価のために、従来の大型風洞を用いた風洞実験と同等以上の実験が可能な新たな風洞実験手法を開発している。この新たな風洞実験手法は、「現象の模擬のためには相似則を満たせば作業流体の種類にはよらない」という考えに基づき、作用流体に水または動粘性係数の小さい液体を用いることで、同じ流速比において、空気を用いた場合よりも大きな幾何学的縮尺比において同じレイノルズ数を実現できる。この考えに基づいて著者らの研究グループはテーブルトップサイズの回流型水槽を開発した¹⁾。

一方、風洞実験において風圧力を評価するためには模型表面の圧力を計測する必要があるが、著者らの研究グループでは、模型表面に設けた圧力測定孔に接続したチューブから導圧された圧力をセンサで計測する従来の手法に代わり、印加圧力によって色が変わる光応答性複合材料を模型表面に塗布しカメラで色の変化を撮影することで圧力計測を行う技術を開発している²⁾。

本研究の目的は、模型への接近流をアクティブに制御するために、流体中に分散させた磁性粒子を磁場によってその運動を駆動し、磁性粒子の運動によって励起される流体の流れを制御することを目的としている。この方法が実現すれば、境界層乱流を生成するために従来のような粗度ブロックを並べる必要はなくなり、直接的に乱流を制御

することが可能になる。

本発表では、マイクロメートルオーダーの磁性粒子を水で充填した直方体状の水槽中に分散配置し、外部磁場を与えることで、(1)凝集することなく粒子群を駆動することが可能であること、(2)駆動した粒子群によって水槽内に流れが発生すること、(3)異なる波長を透過するフィルタを装着した2台のハイスピードカメラを用いることで磁性粒子および流れを独立して計測できることを示す。

2. 実験概要

磁性粒子は、鉄粉（協和純薬工業株式会社製 #200）適量を混合したアルギン酸ナトリウム水溶液（質量比約1%）を塩化カルシウム水溶液（質量比約16.7%）に滴下することで製作した。製作された磁性粒子の直径は約2.5mmであった。

実験装置を図1に示す。図中の直方体状水槽の寸法は縦44.2mm×横44.6mm×高さ31.4mm（内容積）であり、この中に精製水を充填し磁性粒子4粒を分散配置した。これらの磁性粒子に対して、水槽外部でネオジム磁石を近づけたり離したりすることで、磁場を制御し、磁性粒子を駆動した。

光源には532nmにピークを持つレーザー（Dantec社製RayPower5000 5W連続波レーザー）を用い、水の流れを可視化するための蛍光トレーサーとしてKanomax FLUOSTAR MODEL0459を用いた。磁性粒子及び蛍光トレーサーに反射した光は、ハーフミラーによって2方向に分かれる。これにより同じ領域を二つのカメラで撮影することができ、分かれた光は、波長約532nmの光のみを選択

¹ 作用流体に液体を用いるので厳密には風洞ではないが、用語を統一するためにここでは風洞という言葉を用いる。

的に透過する 532nm 狭帯域フィルタを取り付けた
 ハイスピードカメラ、波長 550nm 以上の光のみを
 選択的に透過する >550nm フィルタを取り付けたハ
 イスピードカメラでそれぞれ撮影される。

撮影に用いたハイスピードカメラは Dantec 社
 製 SpeedSense V341 (画素数 2560×1600) および
 Veo-E310 (画素数 1280×800) である。いずれも
 フレームレートは 100fps、露光時間は 3ms である。

3. 実験結果

レーザー光を水槽に向けて照射した状態で撮影
 を開始し、ネオジウム磁石を水槽上面に近づけたり
 遠ざけたりすることで磁場を変動させ、その応答
 として磁性粒子を駆動させた。図 2 および図 3 は
 撮影中のある時点においてそれぞれ 532nm 狭帯域
 フィルタを取り付けたカメラ、>550nm フィルタを
 取り付けたカメラで撮影された画像である。まず、
 前者の画像では、磁性粒子のみが選択的に写って
 いることが確認できる。これは、磁性粒子の反射
 光は 532nm であるのに対して、蛍光トレーサーの
 励起反射光は 580nm 付近にピークを有するため
 である。一方、後者の画像では、薄く磁性粒子も写
 っているものの²、蛍光トレーサーが選択的に写っ
 ていることが確認できる。このことにより、それ
 ぞれのカメラで撮影された画像群に対して個別に
 PIV/PTV 技術を用いることで、水の流速および粒
 子の運動を計測することが可能であることが示さ
 れた。

次に、PIV 手法により >550nm フィルタを取り付
 けたカメラで撮影された画像群から流速を推定し
 た結果を図 4 に示す。磁性粒子の運動に伴って周
 辺に流れが生じていることが確認できる。このこ
 とは、磁性粒子の運動で適切に制御することで水
 流を間接的に制御できる可能性を示している。

4. まとめ

磁性粒子を外部から磁気で駆動することによる
 乱流制御技術の確立に向けて、粒子と流れの同時
 計測方法を構築するとともに、磁性粒子を駆動す
 ることで流れ場を変化させることが可能であるこ
 とを示した。

謝辞 本研究は科研費挑戦的研究(開拓)20K20541 の成果である。

参考文献

- 1) 西嶋一欽, 小型回流型水洞実験装置における流れ場の制御,
 2018 年度日本建築学会大会(東北)学術講演会梗概集, 構
 造 I, pp. 177-178, 2018.

² 磁性粒子にも微量の蛍光トレーサを混ぜており、画像中の磁性
 粒子内の輝度の高い点は蛍光トレーサの反射である

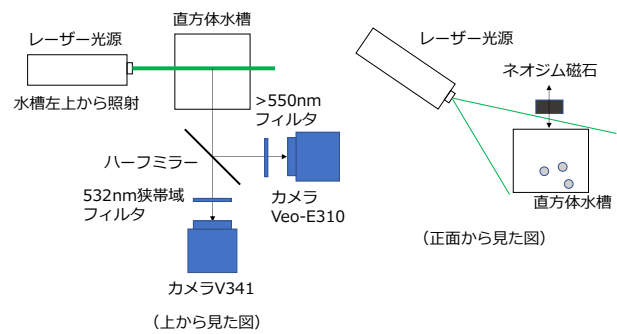


図 1. 実験装置概要



図 2. 画像 (532nm 狭帯域フィルタ)



図 3. 画像 (>550nm フィルタ)

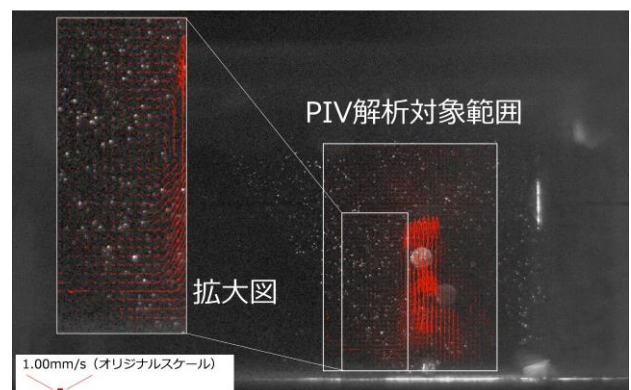


図 4. 流速ベクトル図

- 2) 西嶋一欽他, テーブルトップ風洞実験における圧力計測: 液晶-
 ナノ粒子複合材料の圧力下での光応答, 令和元年度京都大学防
 災研究所研究発表講演会, C31, 2020.