

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
 Pressure measurement in table-size wind tunnel experiment: Photoresponsivity of crystal-liquid
 nano-particle composite material under pressure

○西嶋一欽・大間知誠也・林康太・石倉諒汰・田村守・床波志保・飯田琢也
 ○NISHIJIMA Kazuyoshi, OOMACHI Seiya, HAYASHI Kota, ISHIKURA Ryota,
 TAMURA Mamoru, TOKONAMI Shiho, IIDA Takuya

This study aims at developing a novel method for wind tunnel experiment for the evaluation of aerodynamic characteristics of building structures in boundary layer. Novelty of the developing method lies in the use of liquid, instead of air to satisfy the similarity law in terms of Reynold's number and develop pressure sensor made with crystal-liquid nano-particle composite material that exhibits photoresponsivity. This presentation outlines the newly developed "wind tunnel" and presents a preliminary result of the performance of the pressure sensor that the authors have developed.

1. はじめに

本研究は、テーブルトップ型風洞実験装置における風圧分布測定法の開拓を目的とし、圧力応答性の液晶と強い光散乱を示す金属ナノ粒子を用いたハイブリッド型の光応答材料とそれを用いた圧力センサの開発を目指すものである。

2. テーブルトップ型風洞実験

2. 1. 概要

建築物の空気力学的特性を把握することを目的とした風洞実験において従来用いられてきた境界層風洞は、断面が 2m×2.5m、全長が 50m (京都大学防災研究所が保有する風洞の場合) と大型である。大型の風洞を用いることの主な利点は、実験に用いる模型の縮尺比を小さくできることである。これにより、小型の風洞を用いた実験と比較して、相対的に高いレイノルズ数での実験や、より細部を再現した詳細な実験・計測が可能になる。このことから、これまで境界層風洞の大型化が進んできた。一方で、大型の境界層風洞の建設には多大なコストがかかることから、施設数が少なく、実験を実施できる研究グループに限られること、また風洞ごとに設計が異なることから全く同一の条件で実験を行うことが困難であるという欠点が挙げられる。

これらの欠点を踏まえ、著者らのグループでは、大型風洞実験装置と同等の性能を有するテーブルトップサイズの小型風洞実験装置の開発に着手した。コアとなるアイデアは、大きな縮尺比および

風速比において相似測を満足するため、あるいは十分な高レイノルズ数を達成するために、空気よりも動粘性係数が小さい液体を用いることである。例えば、流体として水 (20°C) を用いることで空気 (20°C) の場合と比較して動粘性係数は約 1/15 になる。これにより、同じ流れを再現する際、流速および代表長さを小さくすることが可能になる。

2. 2. 流速および圧力の計測

本テーブルトップ型風洞実験において、流速の計測には既存の PIV 技術を活用することができる。一方、模型に作用する圧力は、従来模型表面に圧力測定用の孔にチューブを接続し圧力センサへと導圧することで計測していたが、同様の方法で圧力を計測することは困難である。そこで、本風洞実験では、圧力によって光応答が変化する液晶-ナノ粒子複合材料を新たに開発し、この材料を模型表面に塗布し色の変化を観察することで圧力を計測する技術開発に取り組んでいる。

3. テーブルトップ型風洞実験装置概要[1]

図 1 に試作したテーブルトップ型風洞実験装置の概要を示す。実験装置の主要部は回流型水槽で、ポンプ駆動によって流れを発生させるものである。流路部の大きさは幅 1245mm 奥行 500mm (ポンプ除く)、測定部及びポンプ以外の流路の断面は 100mm×100mm、測定部の断面は 30mm×30mm でその長さは 335mm である。測定部にはハニカムによって整流し縮流した流れを流入させ

る。流速はポンプの出力を変えることで制御する。本実験装置では、流速を 1m/s から 4.3m/s の範囲で、安定して制御することが可能である。例として、図 2 に 2.7mm の立方体ラフネスブロックを測定部前方に千鳥状に配置した場合について、計測開始から 2/15 秒、150/15 秒、852/15 秒における流れ方向の速度成分を示す。

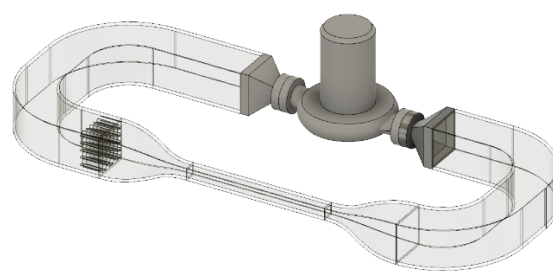


図 1. 実験装置全体図 ([1]より)

4. 光応答性圧力センサの開発

圧力に対して光応答性を示すセンサとしては、酸素の消光作用を利用した感圧塗料が知られており[2]、航空宇宙分野での風洞実験に用いられているが、この塗料の低風速領域への適用は困難である。そこで、筆者らの研究グループでは、金属ナノ粒子集積構造の局在表面プラズモンの協効効果[3]と、コレステリック液晶中の分子の螺旋構造が温度・濃度・圧力に敏感な光応答を示すことに注目した。特に、化学的に調製した金ナノ粒子を添加した、コレステリック液晶センサを作製し、より低風速領域での圧力測定に向けた光学スペクトルの圧力応答特性の制御可能性を探索した。結果として $10^2 \sim 10^3$ Pa の分解能で透過光および反射光の色が圧力に応じて変化することを確認し、金ナノ粒子の有無によって色の変化の圧力依存性を調整できる可能性を示した[4] (図 3)。

5. まとめ

テーブルトップ型風洞実験に応用可能な光応答性圧力センサを試作し、同実験への適用可能性を明らかにした。

参考文献

- [1] 西嶋一欽 (2018) 小型回流型水洞実験装置における流れ場の制御, 日本建築学会大会 (東北) 学術講演梗概集, pp.177-178.
- [2] 亀田正治, 浅井圭介, 中北和之 (2003) 高速応答型感圧コーティング, ながれ (22), pp.299-307.
- [3] S. Tokonami, T. Iida, et al. "Multipole Superradiance from Densely Assembled Metallic Nanoparticles" J. Phys. Chem. C; 117, 15247- 15252. (2013).
- [4] 大間知誠也, 林康太, 石倉諒汰, 田村守, 床波志保, 西嶋一欽, 飯田琢也 (2020) ナノ粒子添加液晶の光学応答における圧力依存性, 応用物理学会春季学術公演会 (梗概提出、発表予定)
- [特許出願中: 特願 2020-025551]

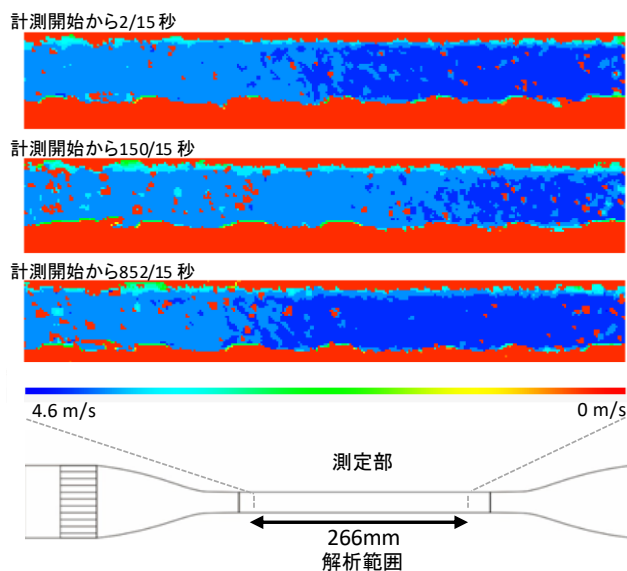


図 2. 流れ場スナップショット ([1]より)

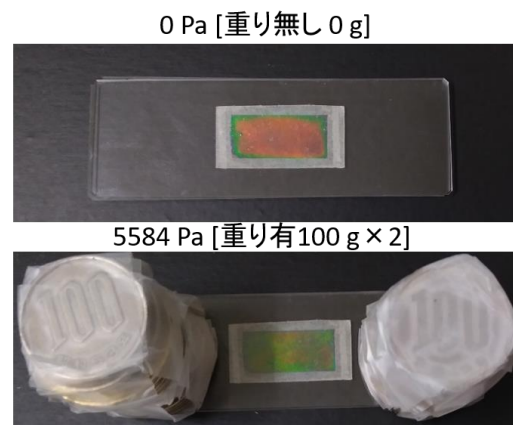


図 3 開発した圧力センサの色の变化

謝辞

本研究のうち、テーブルトップ型風洞実験装置の開発は、科研費 (16K14340) の助成を受けたものである。流速計測実験においては、京都大学防災研究所技術職員米田格氏と波岸彩子氏に支援していただいた。光応答性圧力センサの開発は、京都大学防災研究所一般共同研究 (2019G-07) の成果である。