

令和 6 年 6 月 3 日現在

機関番号：14401

研究種目：若手研究

研究期間：2021～2023

課題番号：21K14302

研究課題名（和文）流体现象と空力騒音を同時に評価できる新たな風洞実験手法の確立

研究課題名（英文）Establishment of wind tunnel experimental methods to evaluation of fluid phenomena and aerodynamic noise

研究代表者

小林 典彰（Kobayashi, Noriaki）

大阪大学・大学院工学研究科・技術職員

研究者番号：60880656

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,500,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は、流れ場と音場を評価できる新たな風洞実験手法の確立を目的とし、ステレオPIVによる流れ場、精密騒音計による音場の計測を行った。また、物体に作用する流体力の計測するシステムの構築も行った。主に渦の放出周波数が特定の周波数に卓越した影響を及ぼすことが知られる円柱や角柱などの鈍頭物体を対象とした。今回の手法や計測システムを用いることで、風洞の基本性能の評価と円柱や角柱から発生する空力騒音（エオルス音）のスペクトルや指向性の評価を実施できた。また、物体に作用する流体力を物体の各軸（XYZ方向）に作用する力とモーメント（いわゆる6分力）にて計測することができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

室内における快適さを妨げる要因の一つに空力騒音があげられ、工学的に重要な問題となっている。空力騒音は空気の流れに起因する騒音で、流れ場や物体周りを通過する渦の変形に伴い生じる現象であり、空力騒音の低減や発生メカニズムを明らかにするためには、その要因となる流体现象を詳細に調べることが極めて重要である。本研究は、流れ場と音場を評価できる新たな風洞実験手法の確立を目的とし、各種計測手法の実証を行った。さらに、本研究によって構築した風洞実験システムは、本研究のみならず本学風洞装置を利用する複数の利用者にも提供され、他の実験にも貢献することができた。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this study is to establish a new wind tunnel experimental method capable of evaluating flow and sound fields, and measurements are taken of the flow field using stereo PIV and the sound field using a precision sound level meter. A system is also constructed to measure the fluid forces acting on objects. The main subjects are bluff objects such as cylinders and rectangular prisms, which are known to have a prominent effect on certain frequencies due to the shedding frequency of vortices. By using this method and measurement system, we are able to evaluate the basic performance of the wind tunnel and evaluate the spectrum and directionality of aerodynamic noise generated from cylinders and rectangular prisms. We are also able to measure the fluid forces acting on the object in terms of the 3 forces and 3 moments acting on each axis of the object.

研究分野：流体工学

キーワード：流体工学 空力騒音 風洞実験 流体計測 可視化

4. 研究成果

実験に用いた風洞の基本性能を評価するとともに、風洞主流の可視化と計測を行った。計測には2台の高速度カメラと半導体レーザーを用いて、Particle Image Velocimetry (PIV)にて計測を行った。高速度カメラは2台とも400 FPSに設定し、レーザーの出力は5 Wである。ここで、2台のカメラを用いるPIVはステレオPIVとよばれ、2次元3成分の流れ場を評価することが可能である。また、風洞の主流は基準となるピトー管を用いて2 m/sに設定し、スモークマシンを用いてトレーサーとなる煙を噴霧した。ここで、煙はグリコールを気化している。このときの高速度カメラの画像とカメラの配置の概観を図2、ソフトウェアによって解析した可視化画像(平均速度場のコンター図)を図3に示す。また、ある断面の流速の速度分布を図4に示す。ここで、表示値は速度3成分を合成している。この結果、ステレオPIVのシステムを用いることで、風洞の主流を可視化するとともに、定量的な値を確認することができた。ここで、PIVは流れ場の検出にトレーサーを用いているため、トレーサーがない部分の速度は検出されない。今回はトレーサーとなる煙をホースから噴霧して風洞の一樣流に与えている。したがって、実際の風洞の流れはこのような局所的な分布ではなく一樣であることに留意されたい。ここでは、PIVの性能や速度検出における課題を明確にする意味でトレーサーがない部分の可視化も含めた比較的広い範囲の流れ場を示している。

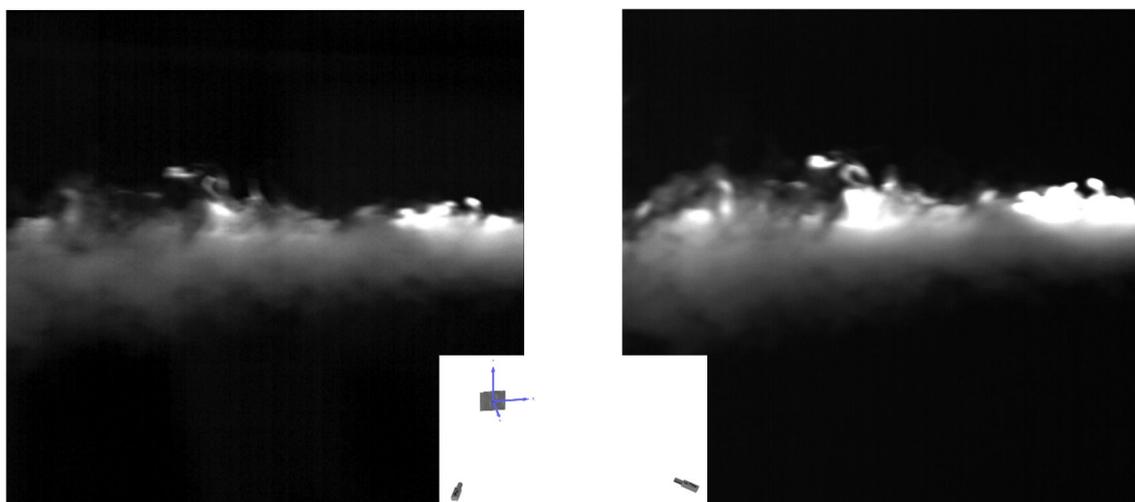


図2 2台の高速度カメラで撮影した流れ場とカメラ配置の概観図

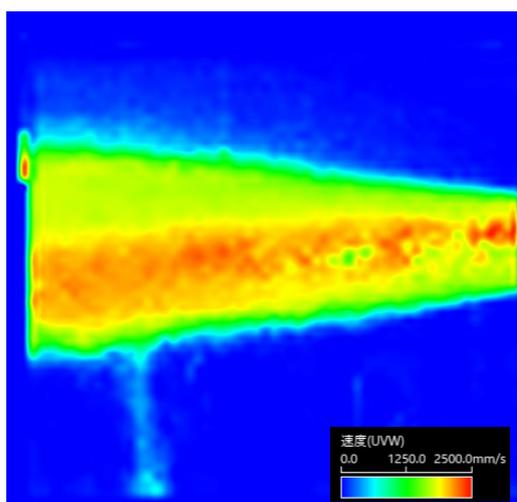


図3 ステレオPIVによって算出した流れ場

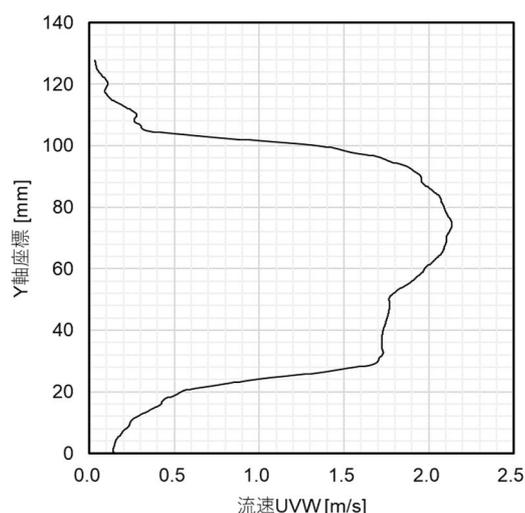


図4 ステレオPIVによって得られた速度分布

風洞実験にて空力騒音を計測する基礎的なケースとして、円柱と角柱から発生する空力騒音の計測を行った。円柱や角柱などの鈍頭物体は流速に比例した周期的な騒音を発することが知られており、日常的に発生する空力騒音としても問題となる事例が多い。ここでは、風速40 m/sにおいて、直径12 mmの円柱と直径5 mmの角柱を対象とし、精密騒音計を用いて円柱あるいは角柱の中心から1 mの位置における空力騒音を計測した。図5に円柱や角柱などの模型が存在しない風洞装置自体から発生する暗騒音、図6に円柱を設置した場合の空力騒音のスペクトルをそれぞれ示す。ここでは流速をパラメータとし、0~40 m/sで変化させている。このとき、流速40 m/sに着目し、暗騒音、円柱、角柱から発生する空力騒音を比較したものが図7である。また、図7で示された円柱から発生する空力騒音のスペクトルでピークを示した620 Hzに着目し、精密騒音計の設置角度を変化させて空力騒音の指向性を示したものが図8である。これらの

結果から渦の放出周波数が特定の周波数に卓越した影響を及ぼすことが知られる円柱や角柱から発生する空力騒音の特徴であるピーク周波数を捉えている。特に円柱から発生する空力騒音のピーク周波数は、流速と直径で無次元化した周波数(ストローハル数)が0.2に近似されることが知られている。今回の場合は620 Hz 近傍のピークがその特徴を示唆するものである。また、これらの騒音はエオルス音とも呼ばれ、工学的にも問題となることが多く、対策として流線形状の採用によるピーク周波数の低減などが必要となる。また、直径や流速に異存してそのピーク周波数が変化するため、これらの結果ではそれも捉えている。さらに、空力騒音は流速の5~6乗に比例する性質もあるため、流速変化による騒音増大も捉えていると考えられる。また、空力騒音の指向性としては二重局音(ダイポール音)に近い形状を確認することができた。

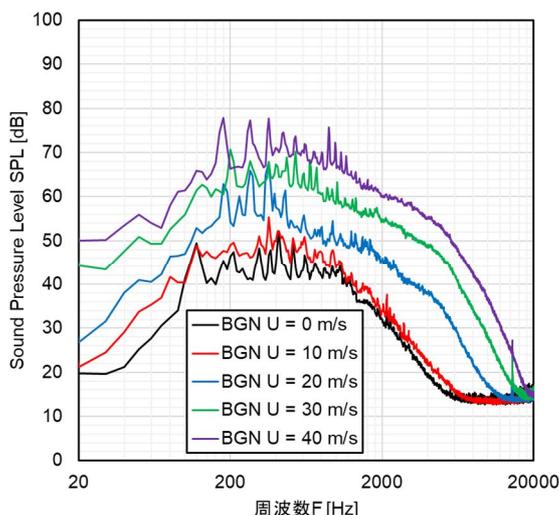


図5 風洞暗騒音のスペクトル

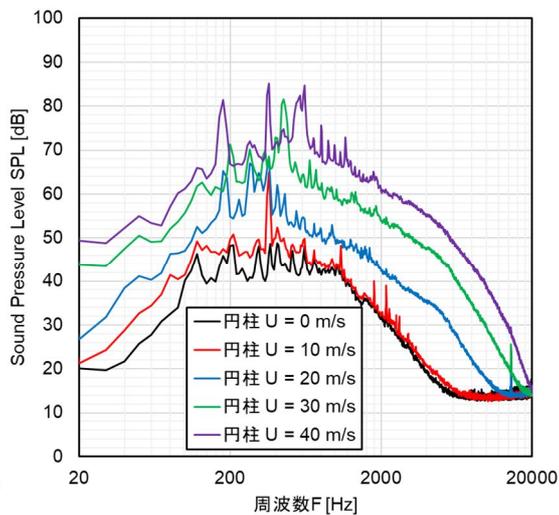


図6 円柱から発生する空力騒音の特性

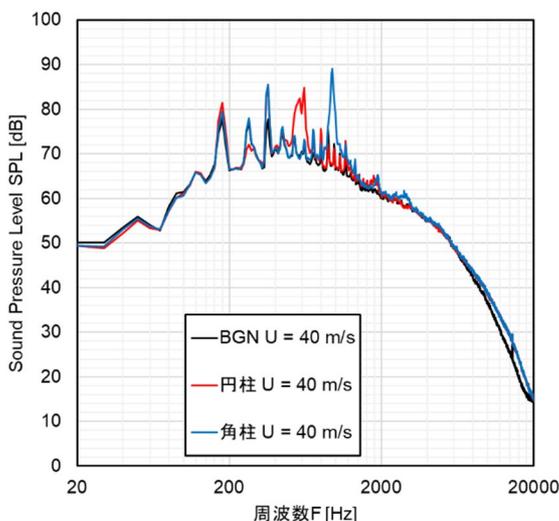


図7 円柱と角柱から発生する空力騒音の比較

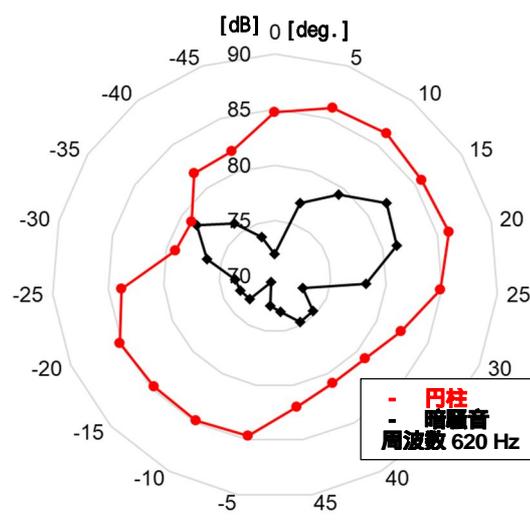


図8 円柱から発生する空力騒音の指向性

次に円柱に生じる流体力の計測するため、6分力ロードセルを用いて計測システムの構築を行った。6分力ロードセルでは物体の各軸(XYZ方向)に作用する力とモーメント(いわゆる6分力)を評価することができる。図9に示すのは計測中のシステムの画面である。6分力ロードセルは構造上、6種のロードセルが相互に干渉するため、厳密な測定のためにはこの干渉を補正する必要がある。メーカーの出荷時にこの干渉を補正係数が計測されているため、図10に示す通りこのシステムの内部では干渉補正係数(6×6の行列式)を考慮した演算処理が行われている。この処理を行うことで、リアルタイムで物体に作用する流体力の計測が可能となる。このシステムは操作をするGUIの設計や内部の演算コードの構築はグラフィカルシステム開発ソフトウェアを用いて自身が行った。図9に示す通り、円柱に生じる流体力の変動(カルマン渦列による周期的な渦の放出)を捉えることもできる。また、このシステムは本研究のみならず本学風洞装置を利用する複数の利用者にも提供され、工業製品に作用する流体力を定量的に計測する風洞実験にも用いられるなど、より実践的に使用されている。本研究によって構築した風洞実験システムは、他の実験にも貢献することができた。

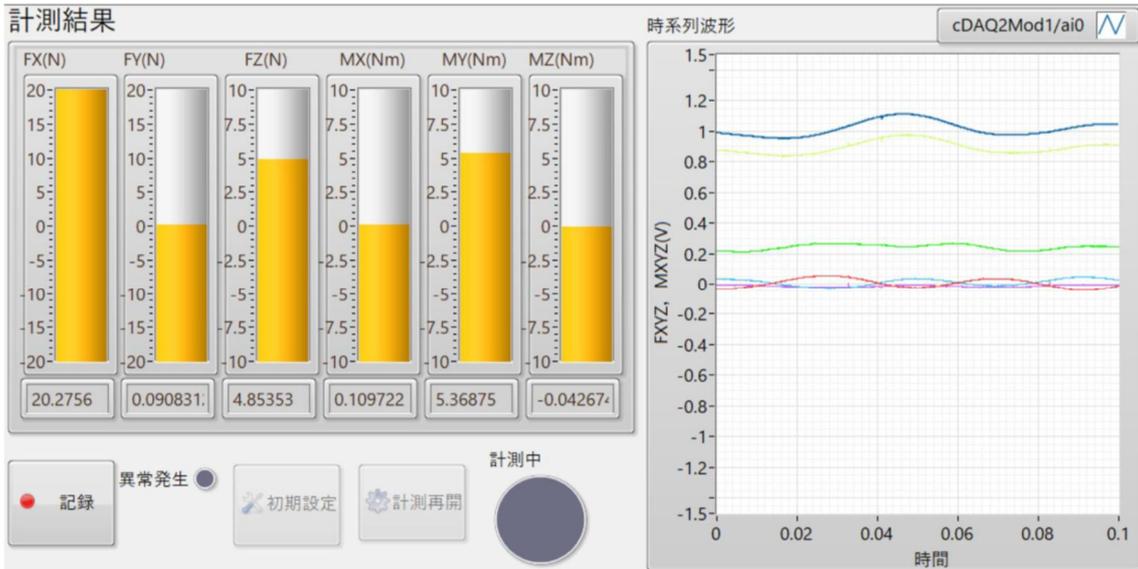


図9 6分力ロードセルを用いた流体力計測の様子

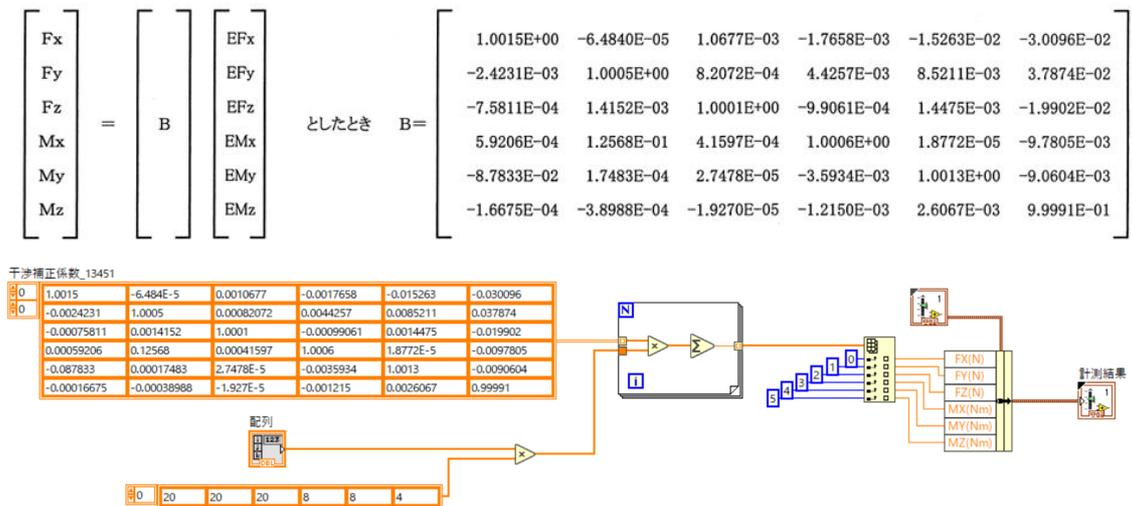


図10 6分力ロードセルの干渉補正係数と計測システムの内部コードの一部

本研究は、流れ場と音場を評価できる新たな風洞実験手法の確立を目的とし、ステレオ PIV による流れ場、精密騒音計による音場の計測を行った。また、物体に作用する流体力の計測するシステムの構築も行った。主に渦の放出周波数が特定の周波数に卓越した影響を及ぼすことが知られる円柱や角柱などの鈍頭物体を対象とした。今回の手法や計測システムを用いることで、風洞の基本性能の評価と円柱や角柱から発生する空力騒音(エオルス音)のスペクトルや指向性の評価を実施できた。また、物体に作用する流体力を物体の各軸(XYZ方向)に作用する力とモーメント(いわゆる6分力)にて計測することができた。さらに、本研究によって構築した風洞実験システムは、本研究のみならず本学風洞装置を利用する複数の利用者にも提供され、他の実験にも貢献することができた。本研究においては、各計測機器の連携した流れ場と音場の評価には課題が残った。しかしながら、流れ場と音場の評価手法については確立した。今後は流れ場と音場の高度化についても引き続き取り組む。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 小林典彰
2. 発表標題 流体計測システムの開発と高度化～風洞実験による多点同時計測～
3. 学会等名 2023年度機器・分析技術研究会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 小林典彰
2. 発表標題 風洞実験用計測システムの構築
3. 学会等名 九州地区総合技術研究会2024 in 大分大学
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 小林典彰
2. 発表標題 流体計測システムの開発と利活用
3. 学会等名 2023年度高エネルギー加速器研究機構技術研究会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 Noriaki Kobayashi, Yasumasa Suzuki, Chisachi Kato
2. 発表標題 A STUDY OF AERODYNAMIC SOUND GENERATED FROM AN AIRFOIL SUBJECTED TO CIRCULAR-CYLINDER
3. 学会等名 The 7th International Conference on Jets, Wakes and Separated Flows 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------