

令和 6 年 6 月 9 日現在

機関番号：24405

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K11926

研究課題名（和文）空力音響解析に基づく流れを伴う音響ライナの高音圧入射時における吸音現象の解明

研究課題名（英文）Investigation of Sound Absorption Phenomena of Acoustic Liner at High Incident Sound Pressure under Grazing Flow using Aeroacoustics Simulation

研究代表者

佐々木 大輔（Sasaki, Daisuke）

大阪公立大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：60507903

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：単一の孔とセルから構成される音響ライナに対して層流と乱流の条件下で3次元解析を実施し、孔形状の及ぼす影響に着目した。乱流解析の結果、矩形孔を持つ音響ライナは、正方形孔・円形孔と比較して流れ場中の抗力が小さく、セル部への流入出が異なる傾向を示すことが確認できた。可視化により、その要因は、孔頸部の側端に発生する渦構造の有無であることが明らかとなった。また、高音圧入射音における吸音性能を明らかにするため、非線形の領域となる高音圧域まで変化させた音波を入射した解析を実施した。音圧レベルの上昇と共に、非線形の効果による吸音性能の低下と共鳴周波数の変化が確認できた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

飛行中等、流れの存在する音響ライナにおいて、乱流の影響が大きく作用することが本研究により明らかとなった。特に、孔形状の変化に伴い、音響ライナ内に流入出する流れが大きく変化し、生成される渦構造も大きく異なる。その結果、音響ライナの抗力も大きく変化することから、音響ライナの吸音性能・抗力等の設計には、乱流解析が不可欠である。高音圧入射音における解析により、非線形の効果に伴う吸音性能の低下や共鳴周波数の変化が確認できた。そのため高音圧入射音の解析において、直接ナビエ・ストークス方程式を解く解析が不可欠である。また、吸音性能の推算には、レジスタンス・リアクタンス等の物性値の高精度な算出が必要である。

研究成果の概要（英文）：Three-dimensional computational fluid dynamics was conducted under laminar and turbulent flow conditions on an acoustic liner consisting of a single hole, a cell and a resonator to investigate the influence of the hole shape. As a result, it was investigated that the acoustic liner with rectangular holes in the flow field has a lower drag in the flow field than those with square or circular holes. The visualization results revealed that the vortex structures in the cell causes the difference of drag.

In addition, an acoustic propagation simulation was conducted to clarify the sound absorption performance of high-pressure incident sound. As the sound pressure level increased, the sound absorption performance decreased and the resonance frequency changed due to the nonlinear effect.

研究分野：数値流体力学

キーワード：音響ライナ 空力音響解析 乱流解析

様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

騒音対策の一つとしてヘルムホルツ共鳴器の吸音原理を利用した音響ライナが挙げられる。音響ライナは、多数のヘルムホルツ共鳴器が取り付けられたパネルであり、音波が入射された時、ライナの頸部における摩擦及び頸部からの吹き出しによる混合に伴い、音エネルギーが力学的エネルギーに変換されて吸音される。流れのある環境下においても音響ライナは効果があることが知られていることから、航空機のジェットエンジンやガスタービン等に対しても音響ライナが騒音低減に活用されている。しかし、航空機の飛行時等、流れが存在する場合、流れの無い場合に比べて吸音率のピークの低下やピークとなる周波数の変化が生じるなど、流れは音響ライナの吸音性能に対して多大な影響を与える。しかし、流れが音響ライナに対して与える影響は完全には理解されておらず、広い周波数帯域で高い吸音性能を実現するためには共鳴器付近で生じている現象を解明することが求められている。

加えて、流入音圧が 130dB 程度以上の大音圧になると、音波の伝播に伴って波形が歪む等の非線形性の効果が現れることが知られており、吸音性能を理論的に予測することは困難となる。そのため、ジェットエンジンのように流れがあり、かつ 160dB の高音圧の音源がある場合には、流れと音波の相互干渉が生じることから、流れが吸音性能に及ぼす影響、特に共鳴器付近で生じている現象を明らかにすることが求められている。

2. 研究の目的

音響ライナの吸音特性を実験で計測するためにはフローダクト音響試験が必要となり、特殊な実験装置であるリグ試験装置が必要となる。加えて、大音圧音源による実験が困難であることから、本研究では数値解析により音響ライナに対する流れの影響を明らかにし、共鳴器付近で生じる現象の解明を目指す。特に以下の 2 項目を目的として研究を実施する。

(1) 音響ライナに対する流れの影響を明らかにするために、層流流れ、乱流流れにおける共鳴器付近の現象の変化を明らかにする。その際、音響ライナ孔形状を変化させて、孔形状が及ぼす影響について解明する。

(2) 入射音波の音圧を変化させて、吸音性能の変化について明らかにする。特に、非線形領域と考えられる 130dB 以上の高音圧における解析結果を分析し、その変化に関する知見を得る。

3. 研究の方法

音響ライナの数値解析には、流れの平均場を解いてから音波の解析として線形化ナビエ・ストークス方程式を解く分離解法が一般的に行われている。その場合、流れが音波に対して与える影響は評価できる一方、音が流れに対して与える影響は評価できない。ジェットエンジンのような大音圧の音波が流入する場合、非線形性の影響が大きく、流れ場に対して与える影響は無視できない。そのため、本研究では直接ナビエ・ストークス方程式を解く空力音響解析を実施することで、大音圧の音波が流入した際の現象を解明する。また、共鳴器に対する流れの影響を評価するには、高精度な非定常空力解析が不可欠であり、ラーゼエディシミュレーションにより共鳴器近傍の渦構造等の解明を行う。

本研究では、図 1 に示す単一の孔をもつ共鳴器モデルを対象とする。2 次元 / 3 次元解析を実施し、ダクト内に設置された共鳴器モデル近傍での現象に着目する。図 1 に示す共鳴器モデルでは、孔形状が円形であるが、これを同一の面積を持つ正方形や矩形の孔形状に変えて、孔形状が音響ライナに与える影響を調べる。



図 1 音響ライナモデル (単一円形孔)

4. 研究成果

(1) 音響ライナに対する流れの影響

マッハ数 0.3 の層流流れの条件下で音響ライナモデルに対する解析を実施し、異なる孔形状における特性の相違について調べた。その結果、流れ場に対して矩形孔 (スリット状) を持つ音響ライナは、正方形孔・円形孔と比較して、流れ場中の抗力が小さく、セル部への流入出が異なる傾向を示すことが確認できた。可視化により、その要因は、孔頸部の上流側の側端に発生する渦構造の有無であることが明らかとなった。また、音響ライナ後方に、図 2 で示す周期的な流れ場が生成されることが分かった。

更に、同様の音響モデルに対して3次元乱流解析を実施した。その結果、音響ライナの孔及びセル内に生成される流れ場は、層流解析と乱流解析において大きな相違が見られた。これは、孔壁面において生成される流れ場が大きく異なるためである。図3に示すセル内の渦構造を見て分かるように、正方形孔では大きな渦構造が後方に密に現れており、かつ壁面近傍にも見られる。一方、矩形孔では、全体的に小さな渦が分布している。その結果、正方形孔では速度変動の大きい領域が存在し、レイノルズ応力の増大につながるため、円形孔の抗力は非常に大きい。孔形状による音響ライナ近傍への影響は大きく、乱流を考慮した音響ライナの設計が不可欠である。

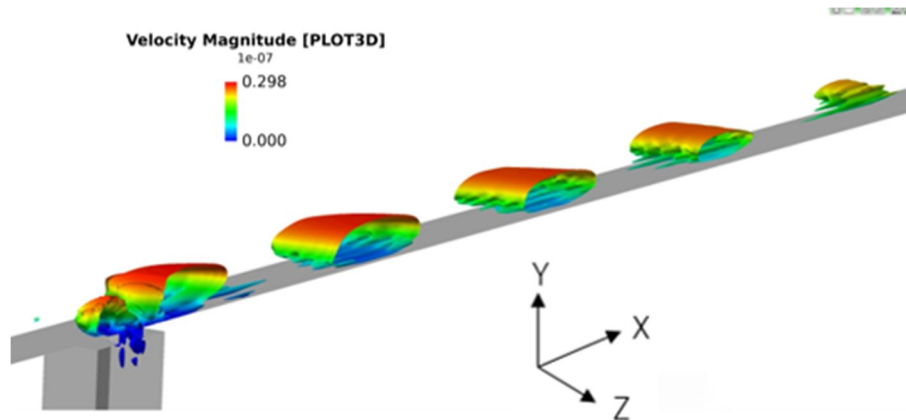


図2 層流解析における円形孔における後流の渦構造

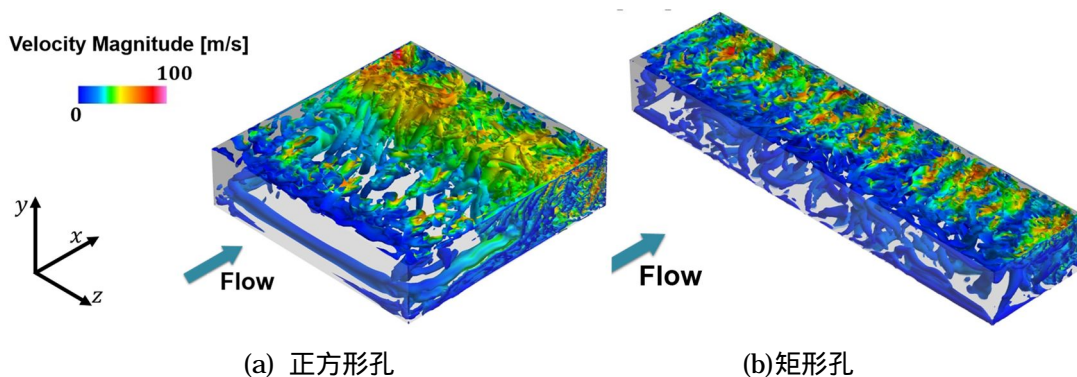


図3 乱流解析におけるセル内の渦構造

(2) 音圧を変化させた際の吸音性能への影響

高音圧入射音における吸音性能を明らかにするため、音圧レベルを変化させた音波（平面波）を入射して、音響解析を実施した。図4に、流路中央で取得した圧力波形の反射率と透過率から算出した吸音率と流入音波の周波数の関係を示す。音圧レベルが100 [dB]、120 [dB]においては吸音率の高い共鳴周波数が明確に確認できる一方、140 [dB]では吸音性能の低下が確認できる。更に音圧レベルを上げると、今回使用した方法で吸音率を求めることは困難であった。そこで、音響ライナのセル内や頸部での粒子速度等を調べることに加えて、解析で得られた非定常データを元に、レジスタンス・リアクタンス等の物性値を算出した。音圧レベルの低い領域では、レジスタンスに関しては定性的な一致が確認できる一方、リアクタンスに関しては不一致が大きかった。そのため、音響ライナの吸音性能を正しく推算するためには、高音圧入射音波に対する解析手法の更なる改善が不可欠である。

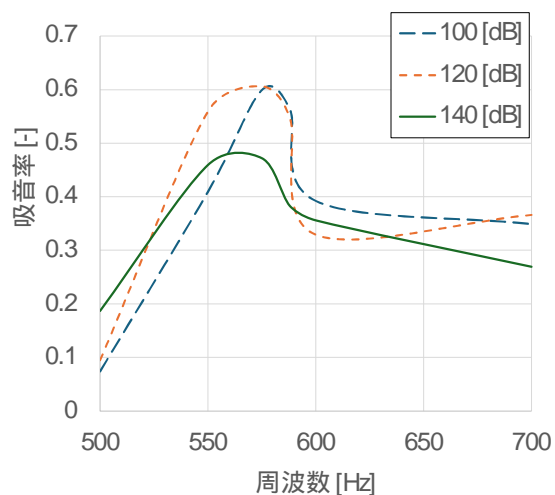


図4 周波数毎の吸音率の変化

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計6件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 3件）

1. 発表者名 野口翔信, 佐々木大輔, 大木純一, 榎本俊治
2. 発表標題 3次元空力音響解析を用いた吸音ライナ孔形状による渦構造の相違
3. 学会等名 第54回流体力学講演会 / 第40回航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Daisuke Sasaki, Shono Noguchi, Junichi Oki, Shunji Enomoto
2. 発表標題 Influence of a Hole Shape of an Acoustic Liner to Vortex Structures Using 3D Aeroacoustics Simulation
3. 学会等名 13th Asian Computational Fluid Dynamics Conference (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Takeru Nomura, Daisuke Sasaki
2. 発表標題 Influence of Sound Pressure Level to 2D Acoustic Liner Model with 3 Resonators under Grazing Flow
3. 学会等名 AIAA AVIATION 2021 FORUM (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 野口翔信, 佐々木大輔, 榎本俊治, 大木純一
2. 発表標題 吸音ライナ孔形状に対する 3次元空力音響解析
3. 学会等名 日本機械学会北陸信越支部 2022年合同講演会講演論文集
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 松浦英明, 佐々木大輔, 榎本俊治, 大木純一
2. 発表標題 グレージング流れにおける吸音ライナの抗力推算
3. 学会等名 第56回流体力学講演会 / 第42回航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 Hideaki Matsuura, Daisuke Sasaki, Shunji Enomoto, Junichi Oki
2. 発表標題 Computational Estimation of Drag on an Acoustic Liner under Three-Dimensional Turbulent Flow
3. 学会等名 Twelfth International Conference on Computational Fluid Dynamics (ICCFD12) (国際学会)
4. 発表年 2024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
---------	---------