

令和 2 年 6 月 23 日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K06949

研究課題名(和文) ファン騒音の数値計算と能動制御の高度化および現象解明の深化

研究課題名(英文) Sophistication and Deepening of Numerical Calculation and Active Control of Fan Noises

研究代表者

山崎 伸彦 (Yamasaki, Nobuhiko)

九州大学・工学研究院・教授

研究者番号：70166635

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：受動騒音制御羽根枚数ファンに対して、CFDと音響計算を実施し、幾何形状が発生音響場と性能に及ぼす効果について解明した。また、CompactスキームによるCAAを展開すべく周波数空間でのオイラー方程式の線形非定常音響計算の定式化・実装を行い、種々の音響場について検証した。また、2次元能動音響ライナについてCAAと系統的な実験、そして独創的な理論計算を行って、数値計算法の開発・音響流れ場の解明を行った。さらに、ファン騒音能動制御実験で、デジタルマイクロフォンを採用した能動音響制御システムを実現・検証した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

航空機のターボファンエンジンからファン騒音は、航空機騒音の支配的なものであり、その低減・予測技術は喫緊の課題である。本研究では、まず、ファン幾何形状を変化させて、発生騒音と性能に及ぼす効果を明らかにした。また、騒音の伝播、放射の解析に計算量が少なく高精度な解析手法を開発して議論した。一方で、ファン騒音を吸音する音響ライナで空気吹き出しにより吸音性能の向上の研究を行った。さらに発生騒音に、2次音をぶつけて減音する実証システムを開発した。

研究成果の概要(英文)：For the fan with passive-noise-control blade count, the CFD and the acoustic calculation were executed and the effects of geometrical shape on generated acoustics field and performance were clarified. Moreover, in order to develop the CAA using the Compact scheme, the formulation and implementation of the linear unsteady acoustic calculation of the Euler equations in the frequency domain were performed, and they were validated for various acoustic fields. In addition, we performed the systematic experiments, CAA on two-dimensional active acoustic liners, and original theoretical calculation to develop the numerical calculation methods and elucidate the acoustic flow field. Furthermore, in the fan noise active control experiments, the active acoustic control system using digital microphones was realized and validated.

研究分野：航空宇宙推進工学

キーワード：aeroacoustics fan noise CAA active noise control acoustic mode digital control CFD ANC

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

航空機用ガスタービンエンジンであるジェットエンジンからの騒音低減は重要で喫緊の研究課題である。近年多用されるターボファンエンジンからの騒音でもっとも大きな騒音源であるファン騒音であり、種々の数値計算と能動制御の高度化および現象解明の深化が望まれている。

2. 研究の目的

ファン騒音の数値計算と能動制御の高度化および現象解明の深化として、

- (1) CFD による受動騒音制御羽根枚数ファンと後退角を持つファン騒音の計算と現象解明
- (2) Compact スキームによる CAA のファン騒音の伝播・放射問題への展開
- (3) 能動音響ライナの実験・理論解析・数値計算法の開発・流れ場の解明
- (4) ファン騒音制御のためのデジタル高速度音響モード取得・能動制御実験を目的とした。

3. 研究の方法

- (1) CFD による受動騒音制御羽根枚数ファンと後退角を持つファン騒音の計算と現象解明
過去の論文で公表した実証モデルとそれに形状変更を加えたモデルについて、大規模数値計算を実施した。
- (2) Compact スキームによる CAA のファン騒音の伝播・放射問題への展開
単純化したモデルで検証後、比較的複雑な、伝播・放射問題への適用を実施した。
- (3) 能動音響ライナの実験・理論解析・数値計算法の開発・流れ場の解明
能動音響ライナについて、流れ場の解明のため、実験、理論解析、数値計算を実施した。
- (4) ファン騒音制御のためのデジタル高速度音響モード取得・能動制御実験
九州大学に設置のファン騒音実験装置において、デジタルマイクを用いた高速デジタル高速度音響モード取得によるファン騒音能動制御システムを構築する。

4. 研究成果

- (1) CFD による受動騒音制御羽根枚数ファンと後退角を持つファン騒音の計算と現象解明
まず、リグ試験での条件でのファン騒音実験データとの比較を行い、よい一致を確認した。受動騒音制御羽根枚数ファンモデル(静翼枚数が多い)や、静翼に後退角をつけたファンモデルについて、CFD 計算を実施しファン騒音と空力性能計算を実施した。受動騒音制御羽根枚数ファンモデルでは、伝播音響モードが減少し発生音響強さが減少することを確認した。静翼に後退角をつけたファンモデルについては、0 度、10 度、20 度の騒音計算を行ったが、10 度がもっとも発生騒音が小さかった。空力性能については、ピッチ・コード比一定のモデルで比較を行ったので、設計回転数近くで受動騒音制御羽根枚数ファンモデルと従来ファンの空力性能差が大きくないことを確認した。静翼に後退角をつけたファンモデルの空力性能については、スweep角が大きくなるにつれて、チョークが起る流路断面面積が小さくなることで、ブロッカージュ効果が小さくなったことが原因と考えられるチョーク流量が大きくなることがわかった。

- (2) Compact スキームによる CAA のファン騒音の伝播・放射問題への展開

まず、周波数空間でのオイラー方程式の線形非定常音響計算の定式化を行った。そして、プログラムに実装して、検証を行った。まず、2 重円筒ダクトの伝ば音響場として、厳密解が存在する軸流流れがあるときの音圧分布の計算結果が厳密解と一致することを確認した。さらに旋回をとまなう 2 重円筒ダクトの伝ば音響場について近似解と一致することを確認した(図 1)。これにより定式化が確認された。また、実機幾何形状の円筒インレットからの伝播・放射場に適用され、放射場が 45 度方向の指向性を持つことを数値予測できることが確認された(図 2)。音響ライナを取り付けた矩形ダクトの伝ば音響場についても、定式化を行い、他所での実験と検証を実施して音響ライナの定式化・予測精度の確認を行った。

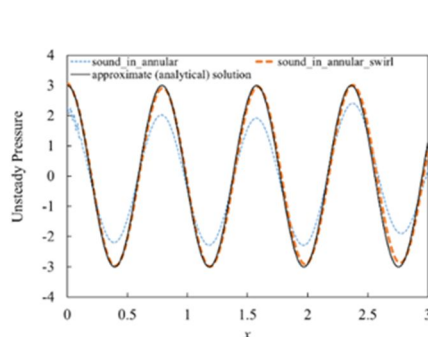


図 1 旋回のあるときの音圧分布

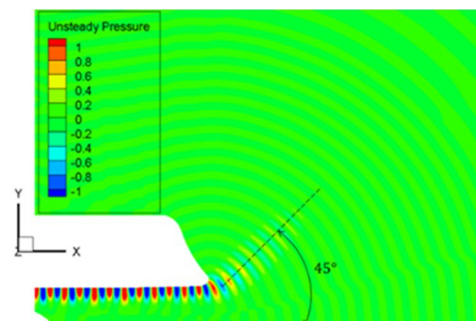


図 2 円筒インレットからの伝播・放射場

(3) 能動音響ライナの実験・理論解析・数値計算法の開発・流れ場の解明

従来からの音響ライナの穴あき板から空気を吹き出すことによって吸音性能を向上させる能動音響ライナ (2次元モデル) について ラージエディシミュレーション (LES) による CAA と系統的な実験,そして独創的な理論計算を行って,手法間の相互検証,音響流れ場の解明を行った. 図 3 に直線断面形状能動ライナの吸音特性, 図 4 にテーパ断面形状能動ライナの吸音特性を示す. 図中の SPL は音響圧力レベル (100 dB は完全に線形音響である一方, 115 dB は部分的に非線形音響), M は吹き出し空気流のマッハ数, 質量流量は吹き出し空気質量を表す. 実験, 数値計算, そして直線断面形状能動ライナしか適用できないが理論計算間によい一致が見られる. 穴あき板から空気を吹き出すことに, 吸音周波数範囲が大きくなり, 吸音率が格段に向上し, それとともに吸音ピーク周波数上昇することを見出した. 115 dB 高音圧では, 吹き出し流なしの従来型音響ライナについて, 吸音率が増加することを見出した. 音圧により吸音率の変化や, 断面形状による吸音率の変化は, 音波による穴エッジでの渦放出が促進されているためと物理的説明ができた.

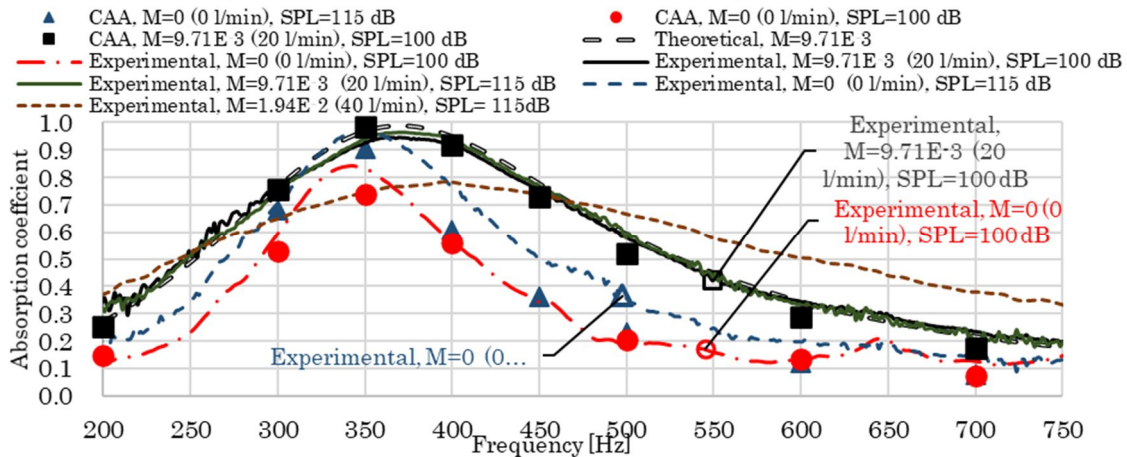


図 3 直線断面形状能動ライナの吸音特性

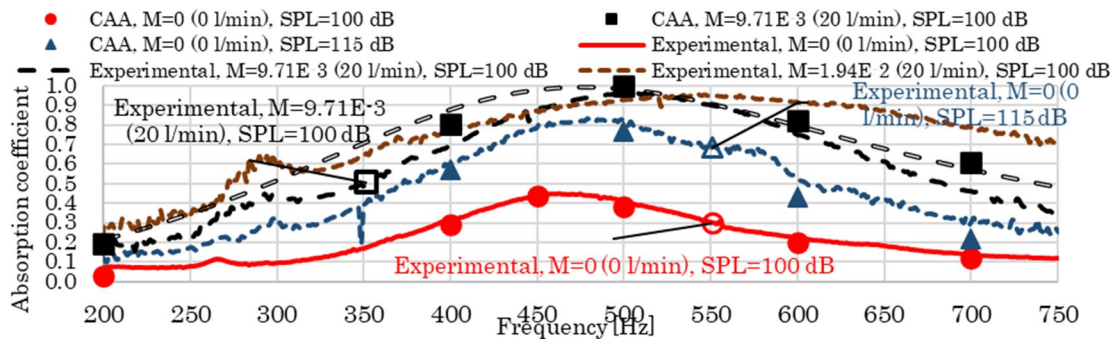


図 4 テーパ断面形状能動ライナの吸音特性

(4) ファン騒音制御のためのデジタル高速度音響モード取得・能動制御実験

ファン騒音能動制御実験で従来のアナログマイクからデジタルマイクに換装したシステムを構築した. デジタルマイクから信号は FPGA (Field Programmable GateArray) を使って処理することとし, これにより, 従来の課題であった多チャンネルの音圧サンプリングの DA (デジタル・アナログ) 変換でのチャンネル間での時間差をなくすることが可能となった. さらに, x-LMS 手法で能動制御を実装して, ファン騒音能動制御システムを実現した (図 5). アナログマイクでの試験より約 8 dB の騒音低減結果が得られ, デジタル MEMS マイクロフォンによる能動音響制御の有用性を明確に実証することができた.

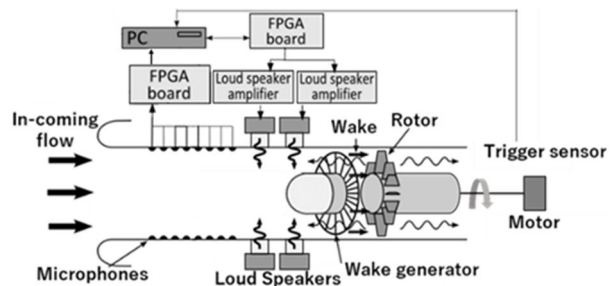


図 5 構築したファン騒音能動制御システム

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 2件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Soufiane Ramdani, Nobuhiko Yamasaki, Yuzo Inokuchi and Tatsuya Ishii	4. 巻 GT2017-63693
2. 論文標題 Large Eddy Simulation of Conventional and Bias Flow Acoustic Liners	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Proc. ASME Turbo Expo 2017: Turbomachinery Technical Conference and Exposition	6. 最初と最後の頁 1-16
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1115/GT2017-63693	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Shuhei Tomita, Hiroki Hano, Yuzo Inokuchi and Nobuhiko Yamasaki	4. 巻 ISABE-2017-22509
2. 論文標題 Effect of fan design parameters and CFD conditions on fan noise and aerodynamic performance	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Proc. 23rd International Symposium on Air Breathing Engines(ISABE)	6. 最初と最後の頁 1-13
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Takuma Fujii, Nobuhiko Yamasaki, and Yuzo Inokuchi	4. 巻 170724
2. 論文標題 Rotor/Stator Interaction Noise and Aerodynamic Performance of Fan with Passive Controlled Blade Numbers	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Proc. Asian-Pacific Conference on Aerospace Technology and Science	6. 最初と最後の頁 1-9
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Soufiane Ramdani, Nobuhiko Yamasaki, Yuzo Inokuchi and Tatsuya Ishii	4. 巻 ACGT2018-TS1
2. 論文標題 Bias Flow Acoustic Liner with Tapered Aperture	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings of Asian Congress on Gas Turbines (ACGT) 2018	6. 最初と最後の頁 1-8
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Genki Omagari, Shuhei Tomita, Takuma Fujii, Nobuhiko Yamasaki and Yuzo Inokuchi	4. 巻 160079
2. 論文標題 Effect of Stator Sweep and Blade Number on Fan Noise and Performance	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings of Asian-Joint Symposium on Aerospace Engineering 2018	6. 最初と最後の頁 1-8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Soufiane Ramdani, Nobuhiko Yamasaki, Yuzo Inokuchi and Tatsuya Ishii	4. 巻 10-3
2. 論文標題 Bias Flow Acoustic Liner with Straight and Tapered Apertures	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 International Journal of Gas Turbine, Propulsion and Power Systems	6. 最初と最後の頁 1-8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Genki Omagari, Nobuhiko Yamasaki and Yuzo Inokuchi	4. 巻 ISABE-2019-24289
2. 論文標題 Rotor/Stator Interaction Noise and Aerodynamic Performance of Fan with Swept Back Stators and Different Stator Count	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of 24th ISABE Conference (ISABE 2019), 2019	6. 最初と最後の頁 1-8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Shogo Uehata and Nobuhiko Yamasaki	4. 巻 1509 012005
2. 論文標題 Accurate Finite-Volume High-Order Compact Interpolation with Nonorthogonal and Non-Uniform Grids for Computational Aeroacoustics	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IOP Journal of Physics: Conference Series	6. 最初と最後の頁 1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1742-6596/1509/1/012005	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔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 Soufiane Ramdani, Nobuhiko Yamasaki, Yuzo Inokuchi and Tatsuya Ishii
2. 発表標題 Large Eddy Simulation of Conventional and Bias Flow Acoustic Liners
3. 学会等名 ASME Turbo Expo 2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Shuheji Tomita, Hiroki Hano, Yuzo Inokuchi and Nobuhiko Yamasaki
2. 発表標題 Effect of fan design parameters and CFD conditions on fan noise and aerodynamic performance
3. 学会等名 Proc. 23rd International Symposium on Air Breathing Engines(ISABE) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Takuma Fujii, Nobuhiko Yamasaki, and Yuzo Inokuchi
2. 発表標題 Rotor/Stator Interaction Noise and Aerodynamic Performance of Fan with Passive Controlled Blade Numbers
3. 学会等名 Proc. Asian-Pacific Conference on Aerospace Technology and Science(APCATS) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 富田修平, 山崎伸彦, 猪口雄三
2. 発表標題 高速ファンCFDからの動静翼干渉騒音の同定に関する研究
3. 学会等名 日本航空宇宙学会西部支部講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 渡邊正直, 山崎伸彦, 猪口雄三
2. 発表標題 非直交・非一様格子におけるコンパクトスキーム有限体積法の正確化
3. 学会等名 日本航空宇宙学会西部支部講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 藤井琢馬, 山崎伸彦, 猪口雄三
2. 発表標題 受動制御翼枚数をもつファンの動静翼干渉騒音と空力性能
3. 学会等名 日本航空宇宙学会西部支部講演会
4. 発表年 2017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
研究分担者	猪口 雄三 (Inokuchi Yuzo) (30274509)	九州大学・工学研究院・准助教 (17102)	2018 年度まで