

平成 21 年 3 月 31 日現在

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2007 ～ 2008

課題番号：19360079

研究課題名（和文） 流体騒音発生機構の解明と制御

研究課題名（英文） Basic research of the generation mechanism of aerodynamic Noise and its control

研究代表者

井上 督（INOUE OSAMU）

東北大学・流体科学研究所・教授

研究者番号：00107476

研究成果の概要：

航空機のジェット騒音や自動車の排気音など交通輸送機関の高速化に伴って生ずる騒音の多くは流体力学的な原因に基づく音（流体音）である。本研究課題では、高次精度（空間 8 次精度、時間 4 次精度）の差分スキームを用いることにより、流体の運動を支配する方程式、即ち圧縮性ナビエ・ストークスの式を精度良く解くことにより、渦運動が中心的役割を果たしている流れ場に生ずる流体騒音の発生機構を明らかにし、その制御方法を提案することができた。

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	4,100,000	1,230,000	5,330,000
2008 年度	2,800,000	840,000	3,640,000
年度			
年度			
年度			
総計	6,900,000	2,070,000	8,970,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・流体工学

キーワード：流体騒音、エオルス音、キャビティ騒音

## 1. 研究開始当初の背景

騒音問題は生活環境保護のための最重要課題の一つであり、近年特に注目を浴び、国の内外を問わず学界、産業界の双方で盛んに研究されている。航空機のジェット騒音や新幹線のパンタグラフ騒音、ヘリコプタ騒音、自動車の排気音など交通輸送機関の高速化

に伴って生ずる騒音の多くは流体力学的な原因に基づく音（流体音）である。従って、流体の運動を支配する方程式を精度良く解くことが出来れば、流体音発生のメカニズムを解明し、騒音を制御する方法を見出すことができると思われる。我々は先に圧縮性ナビエ・ストークスの式を精度良く解くための高

次精度の差分スキームを開発し、円柱や翼などの物体周りの流れから発生するエオルス音の問題や渦と渦の干渉により発生する音の問題などに適用し、音をナビエ・ストークス方程式の解として直接（近似式を用いることなく）求めることにより、これらの問題における音の発生と伝播のメカニズムを、特に二次元或いは軸対称の流れ場について、ほぼ解明することができた。しかしながら、三次元流れ場については主としてコンピュータの性能不足による制限から定性的な議論にとどまらざるを得なかった。

## 2. 研究の目的

本研究課題では、これまでに開発した計算コードをさらに高精度化し、(1) 複数の三次元渦の相互干渉により作り出される音場、および(2) 二次元複数物体周りの流れ場から発生する音場を直接数値解法により調べ、より複雑な流れ場における音の発生のメカニズムを明らかにするとともに、(3) 三次元物体周りの流れ場から発生する音場に適用できる簡易予測法を提案することをめざした。また(4) キャビティを過ぎる流れから発生する音場を数値計算と実験の両面から調べ、音場の特性を明らかにすることを目的とした。

## 3. 研究の方法

高次精度（空間八次精度、時間四次精度）の差分スキームを用いて、音をナビエ・ストークス方程式の解として直接（近似式を用いることなく）求める方法を用いた。

## 4. 研究成果

井上は、乱流中に存在する多数の渦の相互作用による音波発生のメカニズムを探るための第一歩として、二つの渦輪の三次元的な相互作用による流体音発生の問題を取り上げ、当研究課題で高精度化した計算コードを用いて数値的に調べた(Physics of Fluids, 2008a)。得られた計算結果はこれまでに得られている実験結果と定性的に良く一致する

のみでなく、渦輪の継ぎ換えによる音波発生や、渦輪と壁面の干渉による音波発生などこれまで知られていなかった新しい現象を発見し、またそのメカニズムを解明することができた。また渦音理論を改良することにより、遠距離場の音をこれまでより精度良く予測する新しい方法を提案した。

井上はまた、複数の物体まわりの流れ場が相互干渉する際に発生する音の場の性質を知るための基本問題として、二つの大きさの異なった角柱が存在する場合の流体音発生メカニズムを数値的に調べた(Physics of Fluids, 2008b)。その結果、二つの角柱の大きさの比及び角柱間隔に依存して流れ場及び音場は大きく変化し、また多くの場合“うなり”が発生すること、2種類の異なった“うなり”が存在することなどを見出した。また、流れに三つの角柱が平行に置かれた場合に発生する流体音の問題も取り上げ、レイノルズ数と角柱間距離に依存して流れ場及び音場が大きく変化することも見出した(Physics of Fluids, 2007)。

三次元物体周りの流れから発生する音場を直接数値解法で解くことは現在のスーパーコンピュータの性能をもってしても非常に困難であるが、実際の問題では三次元音場を予測することを求められることが多い。そこで井上は流れ場と音場を分離して考えるハイブリッド法を用いて三次元物体周りの音場を予測することを試みた。有限長さの円柱周りの流れから発生する音場の問題を取り上げ、流れ場は非圧縮性三次元ナビエ・ストークス方程式を解くことにより求め、音場は流れ場の解を用いて Curle の音響理論に基づいて求めた。その結果、流れ場は円柱の長さでレイノルズ数に依存して大きく異なることを見出した(Physics of Fluids, 2008c)。また円柱が十分長くて渦の斜め放出が生ずる場合には、音場の予測に通常の Curle の式を用いることができないことを明らかにし、正しく予測できる新しい式を提案した。

福西は fluidic oscillator を用いることにより、キャビティ上流の境界層が層流の場合には1個の fluidic oscillator で、乱流の場合には2個の fluidic oscillator を

用いることにより、いづれもキャビティ騒音を大きく低減できることを実験的に明らかにした (Theoretical and Applied Mechanics Japan 2008)

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 5 件)

- ① M. Shigeta, T. Miura, S. Izawa and Y. Fukunishi  
Active Control of Cavity Noise by Fluidic Oscillators.  
Theoretical and Applied Mechanics Japan, Vol.57, (2008), (Accepted), 査読有
- ② O. Inoue and A. Sakuragi  
Vortex Shedding from a Circular Cylinder of Finite Length at Low Reynolds Numbers.  
Physics of Fluids, Vol.19, No.3, (2008c), 033601 (12 pages), 査読有
- ③ O. Inoue and Y. Suzuki  
Beat of Sound Generated by Flow past Two Side-by-side Square Cylinders of Different Sizes.  
Physics of Fluids, Vol.20, No.7, (2008b), 076101 (7 pages), 査読有
- ④ Y. Nakashima and O. Inoue  
Sound Generation by a Vortex Ring Collision with a Wall.  
Physics of Fluids, Vol.20, No.12, (2008a), 126104 (16 pages), 査読有
- ⑤ O. Inoue and Y. Suzuki  
Beat of Sound Generated by Flow past Three Side-by-side Square Cylinders.  
Physics of Fluids, Vol.19, No.4, (2007), 048102 (4 pages), 査読有

[学会発表] (計 6 件)

- ① Y. Fukunishi, M. Shigeta and S. Izawa  
Suppression of Cavity Noise by Controlling the Spanwise Phase of the Separating Flow. (Invited Paper)  
2nd International Conference on Jets,

Wakes and Separated Flows, September 16-19, 2008, Berlin, Germany.

- ② S. Izawa, T. Miura, M. Shigeta and Y. Fukunishi  
Suppression of Cavity Noise by Fluidic Oscillators.  
2nd International Conference on Jets, Wakes and Separated Flows, September 16-19, 2008, Berlin, Germany.
- ③ Y. Nakashima and O. Inoue  
DNS of Acoustic Sound Generated by Collision of Vortex Rings.  
5th European Congress on Computational Methods in Applied Science and Engineering (ECCOMAS2008), June 30 – July 4, 2008, Venice, Italy.
- ④ Y. Nakashima and O. Inoue  
3-D DNS of Vortex Sound by a Finite Difference Method with an L-grid System.  
10th ISGG Conference on Numerical Grid Generation, September 16-20, 2007, Crete, Greece.
- ⑤ Y. Suzuki and O. Inoue  
DNS of Aeolian Tones by a Highly-Accurate Finite Difference Method.  
10th ISGG Conference on Numerical Grid Generation, September 16-20, 2007, Crete, Greece.
- ⑥ Y. Nakashima and O. Inoue  
Three-Dimensional DNS of Sound Generated by Oblique Collision of Vortex Rings.  
AIAA Paper 2007-3502, 13th AIAA/CEAS AeroAcoustics Conference, May 21-23, 2007, Rome, Italy.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

井上 督 (INOUE OSAMU)

東北大学・流体科学研究所・教授

研究者番号： 00107476

(2) 研究分担者

福西 祐 (FUKUNISHI YU)

東北大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：60189967

畠山 望 (HATAKEYAMA NOZOMU)

東北大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号：50312666

(3) 連携研究者

該当なし