

科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成25年6月13日現在

機関番号：82645

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2011～2012

課題番号：23760169

研究課題名（和文） 低レイノルズ数環境での翼の非定常空力特性予測の研究

研究課題名（英文） Unsteady Aerodynamics Prediction of Low-Reynolds-Number Airfoils

研究代表者

池田 友明（IKEDA TOMOAKI）

独立行政法人宇宙航空研究開発機構・研究開発本部・研究員

研究者番号：00443276

研究成果の概要（和文）：高々度等の希薄大気中の飛行は、通常の飛行環境よりもレイノルズ数が大きく下がる。また、地表近傍で飛ばす模型飛行機よりも飛行速度は相当大きく、亜音速ながらマッハ数が高い。本研究では、このような環境で生じる音波と渦放出のカップリングを風洞実験により実証することを主目的とした。減圧風洞を用いて低密度流を作り、翼模型に対して風洞実験を行った。この結果、数値解析で予測される共鳴変動周波数と良好に一致する周波数特性が得られ、音波と渦放出のカップリングの存在が実験的にも明らかになった。

研究成果の概要（英文）：In a rarefied atmosphere, for instance, at an ultra-high altitude, the Reynolds number based on flight velocity and airfoil's length scale is lowered significantly. Besides, the flight velocity is usually far greater than that of hobby model planes, flying near ground surface; therefore, the Mach number becomes relatively high, although it is still subsonic. In this study, we would experimentally reproduce the coupling between acoustic and hydrodynamic disturbances, using wind-tunnel facilities. A model airfoil is placed in a rarefied flow, achieved in a low-pressure wind-tunnel. The frequency characteristics obtained in the experiments agree well with our numerical analysis, which strongly suggests the existence of acoustic-hydrodynamic coupling at low Reynolds number.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	3,400,000	1,020,000	4,420,000

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：圧縮流・音響

1. 研究開始当初の背景

高々度や火星大気などを想定した低密度流で実現する低レイノルズ数環境では、航空機の翼近傍の層流化に伴い、比較的大きなスケールの渦放出を伴う非定常流れが本質的となる。研究代表者らの数値解析に基づいた事前研究では、この非定常変動は翼後縁から発生する音響変動とカップリングを起し、翼に働く空気力の変動に重大な影響を与え

ることが予測されているが、実験的には実証されていない。

2. 研究の目的

(1) 本研究では、実験室環境では実現することが困難な低レイノルズ数且つ高亜音速の翼周り流れを対象として、解析的に予測される非定常変動を実験的に検証することを第一の目的とする。

(2) 研究の最終ゴールは、研究代表者らの数値計算と理論解析を組み合わせたアプローチの整合性の実証を通して、低レイノルズ数域での新しい空力設計手法の有用性を示すことにある。そのため、空力設計の観点から、NACA 翼など広く検証がなされている翼型に対して、数値解析手法を用いて空力特性の比較を行い、音響変動を含む非定常変動が空力特性に与える影響について検討を行う。

3. 研究の方法

(1) 非定常変動と音響変動のカップリングは、流れが低レイノルズ数かつ高マッハ数である時に発現しやすい。このため、真空チャンバ内に設置された減圧風洞により上述の流れ環境を再現し、翼の非定常変動を測定することを試みる。風洞には東北大学流体科学研究所の火星大気風洞を用いる。

(2) 渦と音とのカップリングが生じやすい環境において、より空力特性に優れた翼型を探る目的で、NACA 4 字系列翼型に対して、翼厚を固定しキャンパ位置と最大値を変化させるパラメトリックスタディーを行う。これは、数値解析により非定常計算を行った後、いくつかの代表的な翼型の模型を製作し、実験室環境の低乱風洞でレイノルズ数を合わせた実験を行い、流れ構造を比較検討する。

4. 研究成果

(1) 減圧風洞を用いた風洞実験

翼弦長と一様流速に基づいたレイノルズ数を 10,000 に固定し、マッハ数や迎角をパラメトリックに変化させて非定常変動を測定した。非定常圧力センサを埋め込んだ NACA0012 翼型に対して行った風洞実験では、閉流路の幅により決定される離散的な共鳴が支配的になることがわかり、翼周り流れ特有のカップリングによる共鳴現象が実現しているかどうかは確認できなかった。しかしながら、風洞壁を考慮に入れた数値シミュレーションにより、実際の周波数は渦変動と音波のカップリングにより周波数が離散的に選択され、流路幅の共鳴周波数に近いモードが励起されることが確認された(図1・図2)。壁なしのケースと比較して、大きく異なる周波数の渦変動が得られていることから、風洞壁の共鳴が周波数選択に支配的であることがわかる。実験的には、共鳴を抑える目的で風洞壁に吸音材を設置した場合にも複数の離散的なモードが励起された。このことから翼周り流れ特有のカップリングが起きていることが示唆されている。

実験と数値計算との共鳴周波数は精度良

く一致し、壁面の影響があってもカップリングが起きていることが確認された。さらに、動圧の低い火星大気風洞中の希薄流を熱線流速計により測定し、翼後流部の速度変動を取得することに成功した。その結果、実際に後流の渦変動も音響変動の周波数と一致し、フィードバックにより渦が励起されていることが確認された。低レイノルズ数において音響変動とのカップリングによる共鳴周波数を実験的に明らかにしたのは、恐らく世界初の成果である。今後の低レイノルズ数翼型の空力設計に関して音響変動を含めた非定常変動の重要性が示され、工学的にも流体物理学の観点からも非常に重要な成果であると言える。

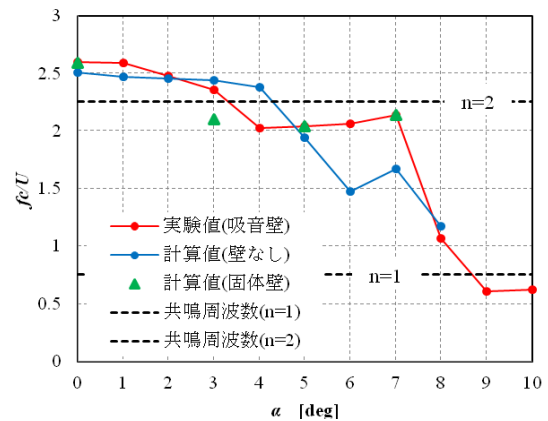


図1 レイノルズ数 10^4 、マッハ数 0.2 時の NACA0012 翼型の変動周波数と迎角の比較

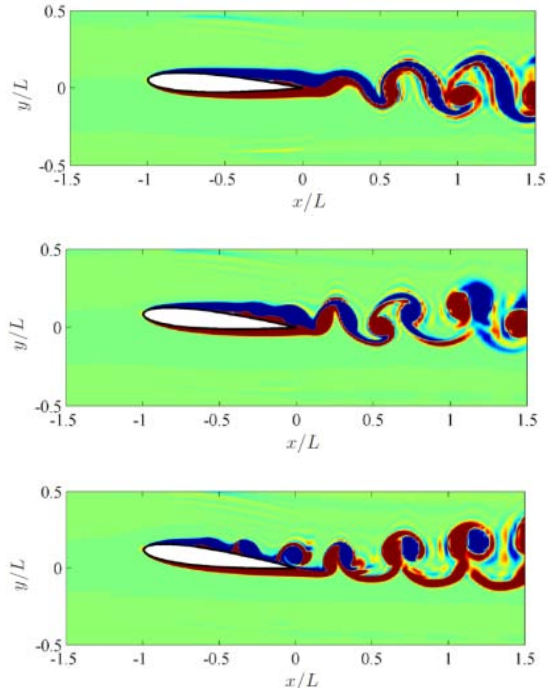


図2 閉流路中の NACA0012 翼型から放出される渦パターンの数値解 (上から：迎角 3 度, 5 度, 7 度)

(2) NACA翼を用いたパラメトリックスタディーと流れの可視化実験

翼厚みを6%に、レイノルズ数とマッハ数をそれぞれ10,000と0.2に固定し、翼キャンバと迎角をパラメータとして変化させ、翼に働く空気力を調べた(図3)。この結果、渦と音波のカップリングが励起されると渦の放出パターンが大きく変化し、さらに揚力が不連続的に変化することが確認された(図4)。これは揚力傾斜で見ると、最大キャンバが翼後縁側に来る翼の方が平均的に空力性能が高いのに対し、性能が低い前縁側に最大キャンバが来る翼では、前縁付近の逆圧力勾配により剥離泡が生じやすく、剪断層の不安定に起因するカップリングが起こると、不連続的に空力特性が改善されることを示している。低レイノルズ数翼においては、時間平均的な空力特性を得る場合であっても、翼周り流れの非定常性の重要性が示唆され、非定常空力現象を考慮に入れた翼設計が望ましいと言える。

また、実験室環境において、首都大学東京所有の低乱・低騒音風洞を用いた実験を行った。実験室環境では低レイノルズ数を実現するためにはマッハ数を0.01程度に低く取らなくてはならず、数値計算で得られたような音響カップリングが発生しない。流れの3次元性の影響もあり、数値シミュレーションの結果とは異なる可視化結果となったが(図5)、翼上面側の剥離が得られている点、渦変動の周波数が低下する点など共通点も見られる。今後、継続してより詳細な検討を行う予定である。

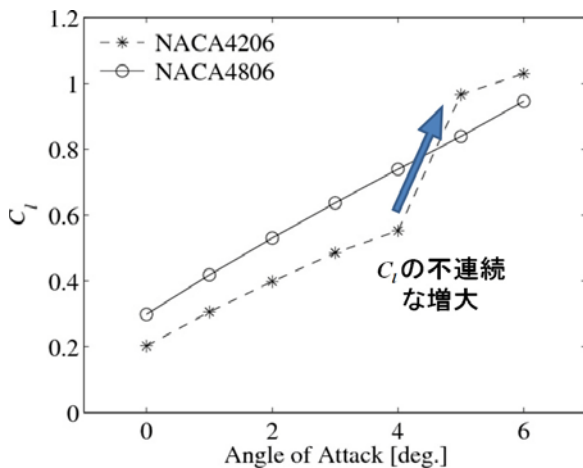


図3 NACA翼のキャンバの違いによる揚力傾斜への影響

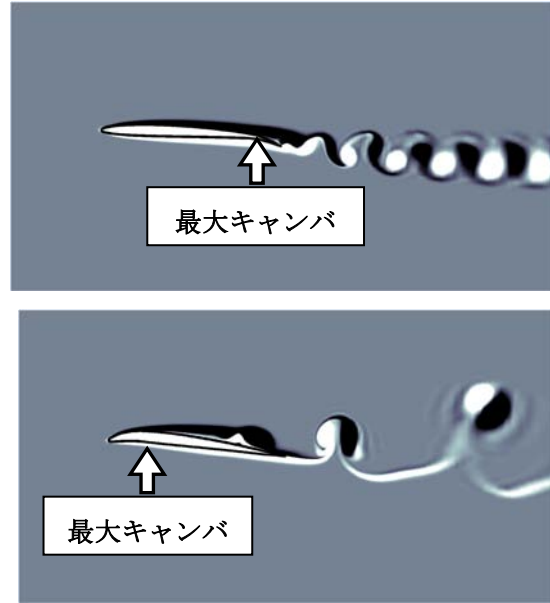


図4 NACA翼のキャンバの違いによる渦放出パターンの変化. 迎角5度
上: NACA4806 (最大キャンバ位置: 翼弦80%)
下: NACA4206 (同20%)

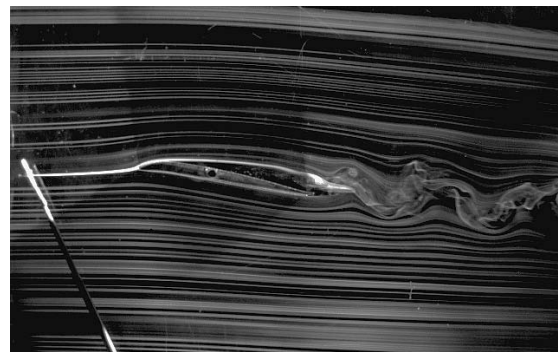


図5 NACA4206翼のスモークワイヤを用いた風洞実験可視化結果(迎角6度)

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1件)

(1) 跡部隆, 池田友明. "孤高の翼、火星の空へ" 日本航空協会「航空と文化」特集記事, 2012年1月号, 査読無

[学会発表] (計7件)

(1) T. Ikeda and T. Atobe, "Numerical studies of acoustic effects on 2D airfoil aerodynamics at a low Reynolds number," AIAA Paper 2012-0700, 2012

(2) 池田友明, 跡部隆, 野瀬慶, 酒井宣明, 永井大樹, 浅井圭介. 風洞壁との共鳴を伴

う低 Re 数二次元翼流れの数値計算. 日本流体力学会年会, 2012.

(3) 野瀬慶, 永井大樹, 浅井圭介, 池田友明, 跡部隆, 低レイノルズ数翼に生じる音響フィードバックの実験的研究. 第 44 回流体力学講演会, 2012

(4) 藤本大介, 池田友明, 浅井雅人, 稲澤歩. 低レイノルズ数非定常流における NACA4 字系列翼のパラメトリックスタディー. 飛行機シンポジウム, 2012

(5) K. Nose, N. Sakai, D. Numata, H. Nagai, K. Asai, T. Ikeda, and T. Atobe, "Unsteady aerodynamic experiment of NACA0012 airfoil at low Reynolds number," Eight International Conference on Flow Dynamics, 2011

6. 研究組織

(1) 研究代表者

池田 友明 (IKEDA TOMOAKI)

独立行政法人宇宙航空研究開発機構・

研究開発本部・研究員

研究者番号: 00443276