

令和 2 年 6 月 30 日現在

機関番号：33302

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2017～2019

課題番号：17K05148

研究課題名（和文）実測データに基づく形状の局所変形を考慮したロバスト最適設計手法の構築と実証

研究課題名（英文）Robust Aerodynamic Design Optimization considering Local Deformation based on Measured Data

研究代表者

佐々木 大輔（Sasaki, Daisuke）

金沢工業大学・工学部・准教授

研究者番号：60507903

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）：本研究では、流体解析と組み合わせた効率的なロバスト設計手法を構築することを目的として研究を実施した。その内容は、解析精度の高い直交格子法に基づく流体解析手法に対してレベルセット法を適用することで、飛行中の形状変化に伴う局所変形のばらつきを表現する手法を実現することである。円柱に対してレベルセット法による局所変形を行い、円柱周りの低レイノルズ数解析を実施した。その結果、円柱に付した微小な突起をレベルセット法により表現することができ、局所変形に伴う流れ場の変化を効率的に解析できることを確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

直交格子法に基づく流体解析手法の解析精度・信頼性の向上を示すために、トンボの翅であるコルゲート翼の凹凸を解析することで、局所的な変化が空力性能に与える影響を明らかにした。また、今回、直交格子法とレベルセット法を組み合わせることで、効率的に局所変形に伴う流れ場の解析できることを示した。そのため、今回提案した流体解析法に基づいたロバスト最適化を実施することで、将来の航空機や様々なデバイス等の設計高度化に貢献できる。

研究成果の概要（英文）：The aim of the study is to establish an efficient robust design optimization system coupled with computational fluid analysis. Level-set approach is applied to high-order computational fluid dynamics, which can efficiently represent the local variation of airfoil and geometry in flight. Low Reynolds number flow around a cylinder shape with local variation is conducted. Because the implementation of level-set approach in the Cartesian-mesh CFD, the local variation is efficiently represented within the computation context and the change of flow is effectively captured.

研究分野：数値流体力学

キーワード：数値流体力学 直交格子 レベルセット法

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

数値流体力学 (CFD) の進展に伴い、定常流体解析を使用した航空機設計・最適化は日常的に実施されている。従来、設計点での設計最適化がよく行われてきたが、設計点のみでの最適な形状は、実際の設計に役立てることが難しい場合も多々あった。そのため、近年では設計点近傍での様々な不確定性を考慮したロバスト最適設計手法の研究が行われている。その一例として、人力飛行機主翼を構成する発泡材料の変形による凹凸やフィルムの上による局所変形を考慮したロバスト最適設計が挙げられる。設計点近傍における様々なばらつきの影響を考慮することができるロバスト最適設計であるが、流体解析手法の解析精度や必要となる解析時間の多さにより、研究室レベルでの適用に留まっており、現実の設計への適用が限定的となってしまうという現状がある。

2. 研究の目的

今後、流体解析を伴うロバスト設計を一般に普及させ、実際の航空機設計やデバイス製造に適用するためには、局所変形を効率的に扱う流体解析法の確立が不可欠であることから、直交格子法とレベルセット法を組み合わせた解析手法の確立を行うことが本研究の目的である。レベルセット法では各セルから物体距離までの符号付距離を用いることで、直交格子上に物体を効率的に表現可能である。そこで、直交格子法に基づく CFD 解析手法にレベルセット法を組み込むことで、形状変形前 (オリジナル形状) と形状変更後 (局所変形) の形状変化を効率的に再現することが可能である。直交格子法において一般に用いられるレベルセット法を曲面形状の表現だけではなく、局所変形の分布をも考慮したレベルセット関数として設定することで、CFD の回数を抑えた効率的なロバスト最適設計が可能となる。それを実現するためには、微小変形・微小変化に対する流体解析が、直交格子法で実現可能であることを示す必要があることから、妥当性の検証を中心として研究を行う。

3. 研究の方法

(1) 直交格子法による流体解析法の検証

本研究においては、直交格子法に基づく流体解析の解析精度・信頼性の確立が不可欠である。特に、局所変形や微小変形を扱うことから、低レイノルズ数領域下での非定常流体解析精度について、実験と比較することで検証を行う。そこで、微小な凹凸から構成されるトンボの翅 (コルゲート翼) を対象とし、微小変形として凹凸の有無を変えた非定常流体解析を行い、空力性能の比較を行うと共に流れ場の比較を行う。

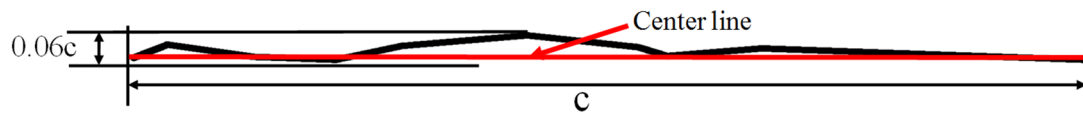
(2) レベルセット法による局所変形形状の解析

直交格子法における形状表現法としてレベルセット法を構築し、直交格子上に円柱及び微小突起を追加した変形円柱形状を表現し、低レイノルズ数における流体解析を行う。レベルセット法により、突起高さを変化させた局所変形を行い、その流れ場の変化を通して本手法の有効性を確認する。

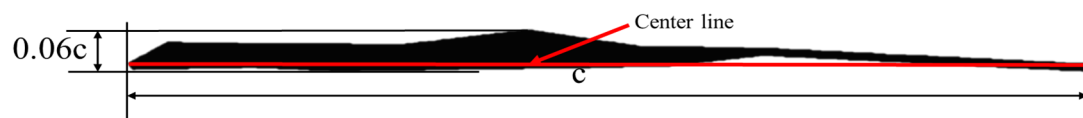
4. 研究成果

(1) 直交格子法によるコルゲート翼の流体解析

直交格子法を用いてレイノルズ数 3000 におけるコルゲート翼の 3 次元非定常流体解析を行い、空力特性を実験と比較することで流体解析手法の妥当性検証を行う。ここでは、トンボの翅 (コルゲート翼) を対象として、図 1 に示す通常のコルゲート翼 (Default モデル) と凹凸を塞いだコルゲート翼 (Closed モデル) を用いた。図 2 に示す迎角に対する揚力係数及び抗力係数の分布より、本解析手法が実験と定性的な一致を示していることを示した。図 3 では、最大揚抗比となる迎角 3 度において、通常のコルゲート翼と凹凸を塞いだコルゲート翼の可視化図を比較している。通常モデルでは、翼型上面に存在する凹部にて 2 次元的な渦が形成され、この渦が層流剥離泡における死水域のような役割を果たし、揚抗比を向上させている。一方、凹凸を閉じたモデルでは、上面の前縁から 1 つ目の凹部でのみ 2 次元的な小さな渦が発生しているだけであることが分かる。本研究により、コルゲート翼に存在する微小な凹凸の効果により、コルゲート翼が昆虫の飛行する低いレイノルズ数帯で有効であることを明らかにした。

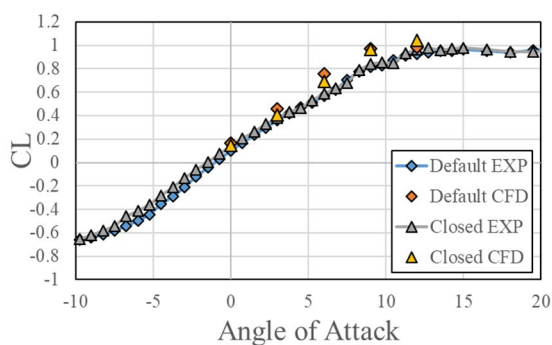


(a) Default モデル

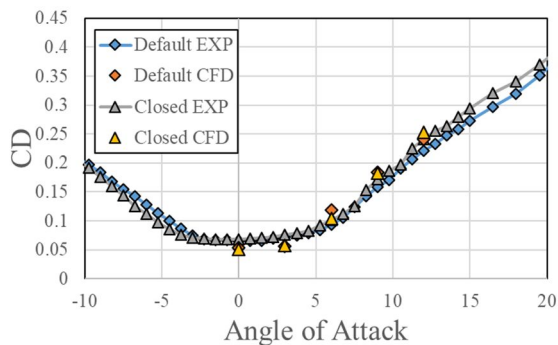


(b) Closed モデル

図 1 コルゲート翼モデル

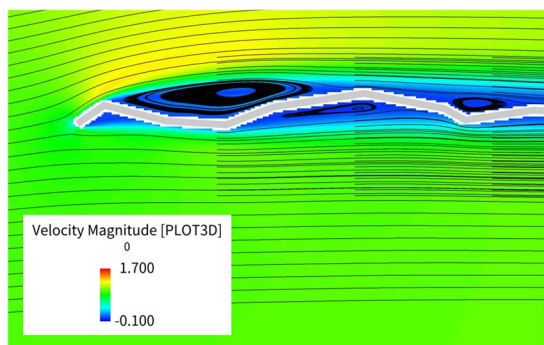


(a)揚力係数

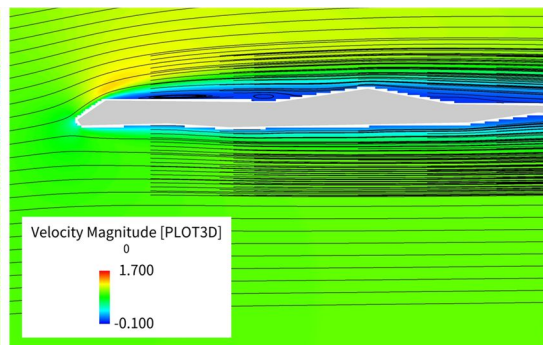


(b)抗力係数

図 2 空力係数の比較



(a) Default モデル



(b) Closed モデル

図 3 流れ場の比較

(2) レベルセット法による局所変形円柱の流体解析

レベルセット法による形状表現法が有効であることを示すために、円柱及び流れに対して垂直方向に突起を付けた凸型円柱を対象として非定常流体解析を実施した。図 4 に円柱及び直径に対して 5%高さの突起を付けた凸型円柱 1 周りの直交格子を示す。同一の直交格子に対し、レベルセット法を適用することで微小変形を効率的に表現することが可能である。凸型円柱 2、凸型円柱 3 と突起の高さを変えて行った流体解析の結果をそれぞれ図 5 に示す。図 5 より、円柱に対する局所変形を変えた際の流れ場の変化の傾向が確認できる。その局所変形に伴い変化する流れが、流体力学的に正しい流れ場を表していることから、本手法による効率的な局所形状変更法は有効である。また、表 1 に平均化した抗力係数及びストローハル数を示す。抗力係数及びストローハル数の変化からも、局所形状変形に伴う流れ場の変化の傾向が妥当であることが示された。

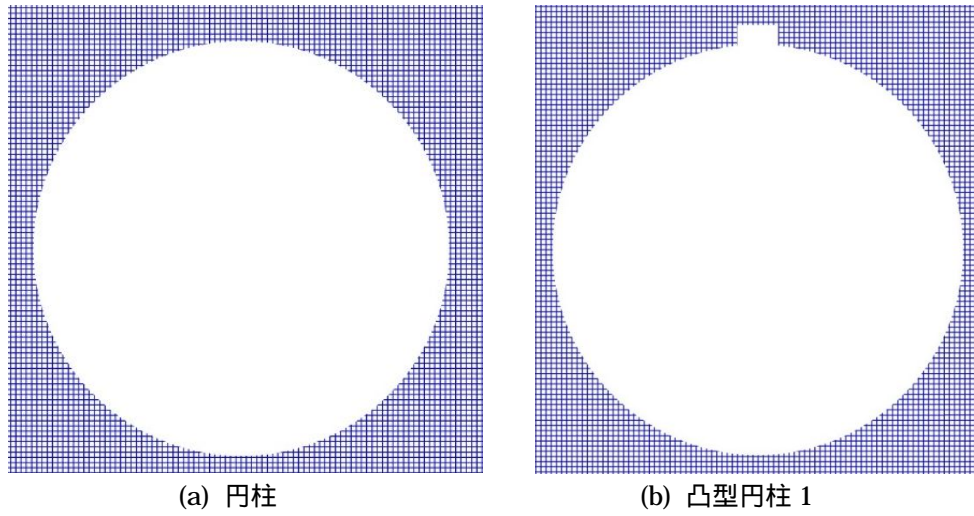


図 4 円柱周りの直交格子

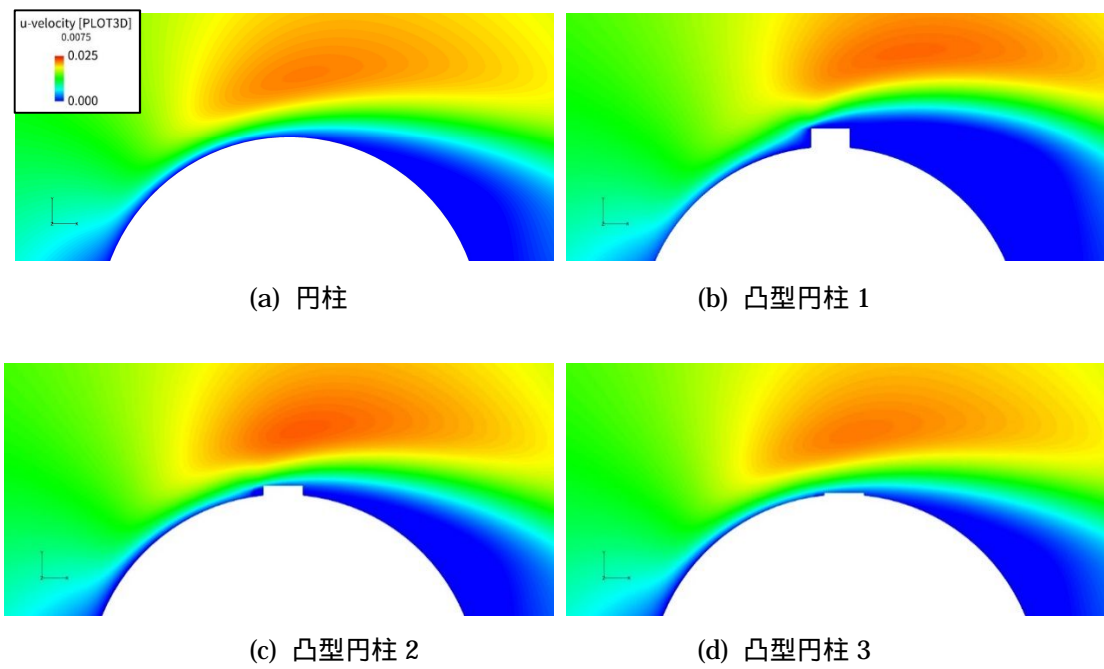


図 5 円柱及び凸型円柱周りの主流方向速度分布

表 1 抗力係数及びストローハル数

形状	抗力係数	ストローハル数
円柱	1.40	0.238
凸型円柱 1 (5.00%突起)	1.64	0.174
凸型円柱 2 (2.50%突起)	1.50	0.177
凸型円柱 3 (1.25%突起)	1.44	0.187

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 YAMAGUCHI Yuya, SASAKI Daisuke, OKAMOTO Masato, SHIMOYAMA Koji, OBAYASHI Shigeru	4. 巻 14
2. 論文標題 Numerical investigation of geometrical corrugation influence to vortex flowfields at low Reynolds number	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Fluid Science and Technology	6. 最初と最後の頁 JFST0018
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） https://doi.org/10.1299/jfst.2019jfst0018	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計11件（うち招待講演 0件／うち国際学会 2件）

1. 発表者名 山口裕也, 岡本正人, 佐々木大輔, 下山幸治, 大林茂
2. 発表標題 コルゲート翼における凹凸が空力性能に与える影響の数値解析
3. 学会等名 第50回流体力学講演会 / 第36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 2018年

1. 発表者名 Yuya Yamaguchi, Daisuke Sasaki, Masato Okamoto, Koji Shimoyama, Shigeru Obayashi
2. 発表標題 Numerical Investigation of Geometrical Corrugation Influence to Vortex Flowfields at Low-Reynolds Number
3. 学会等名 Fifteenth International Conference on Flow Dynamics (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 鹿田侑右, 岩船翼, 岡本正人, 佐々木大輔, 小島貴哉, 焼野藍子, 下山幸治, 大林茂
2. 発表標題 高揚力翼型に対するCFD解析における初期値の影響
3. 学会等名 日本機械学会北陸信越支部第56期総会・講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大内健太郎, 岩船翼, 岡本正人, 佐々木大輔
2. 発表標題 直交格子法を用いたバックステップ流れの流体解析
3. 学会等名 日本機械学会北陸信越支部第56期総会・講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 三輪恭也, 夏目雄太, 岡本正人, 下山幸治, 佐々木大輔
2. 発表標題 超低レイノルズ数領域における低アスペクト比矩形翼の流体解析
3. 学会等名 日本機械学会北陸信越支部第55期総会・講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山口裕也, 岡本正人, 佐々木大輔
2. 発表標題 低レイノルズ数におけるコルゲート翼の流体解析
3. 学会等名 日本機械学会北陸信越支部第55期総会・講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山口裕也, 佐々木大輔, 岡本正人
2. 発表標題 低レイノルズ数領域におけるコルゲート翼の数値解析
3. 学会等名 第32回計算力学講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名	Daisuke Sasaki, Takeshi Akasaka, Masato Okamoto, Kentaro Ouchi, Yusuke Shikada, Yuya Yamaguchi, Shota Fukatsu, Akira Shirakawa, Hiroki Ohshima, Shigeru Obayashi, Koji Shimoyama
2. 発表標題	Experimental and Numerical Study on Unsteady Aerodynamic Characteristics
3. 学会等名	Nineteenth International Symposium on Advanced Fluid Information (国際学会)
4. 発表年	2019年

1. 発表者名	水野雄太, 佐々木大輔, 高橋俊
2. 発表標題	直交格子法による微小変形状の流体解析
3. 学会等名	日本機械学会北陸信越支部第57期総会・講演会
4. 発表年	2020年

1. 発表者名	長沼龍太, 佐々木大輔, 高橋俊
2. 発表標題	直交格子法によるヒーピング運動する平板周りの解析
3. 学会等名	日本機械学会北陸信越支部第57期総会・講演会
4. 発表年	2020年

1. 発表者名	林 尚央人, 岡本正人
2. 発表標題	柔軟性を持つ低レイノルズ数翼の空力特性
3. 学会等名	第25回スカイスポーツシンポジウム
4. 発表年	2019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	岡本 正人 (Okamoto Masato) (70462124)	金沢工業大学・工学部・教授 (33302)	
連携 研究者	高橋 俊 (Takahashi Shun) (60553930)	東海大学・工学部・准教授 (32644)	