

令和 元年 6 月 11 日現在

機関番号：14401

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K20906

研究課題名(和文)先進流体制御：Shape Optimizationで目指す乱流制御の革新

研究課題名(英文) Innovative Shape Optimization Problem of Flow Fields

研究代表者

中澤 嵩 (NAKAZAWA, TAKASHI)

大阪大学・数理・データ科学教育研究センター・准教授

研究者番号：20726765

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,700,000円

研究成果の概要(和文)：Snapshot PODを用いることで非定常流場を時間平均場と時間変動場にモード分解し、時間変動場の運動エネルギーを目的関数とするような最適化問題を構築し、数値的に実用性を検証した。具体的には、非定常Navier-Stokes問題とSnapshot PODの固有値問題を制約関数、Snapshot PODの固有値を目的関数とした形状最適化問題を定式化した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

産業界において流体機器を設計する際、非定常流を制御対象とすることが圧倒的に多い。例えば、航空機に焦点を当てると、ジェットエンジン内部では熱エネルギーを効率的に抽出するために高速回転させたタービンが乱流を発生させ、主翼周りでは安定な浮力を維持するために乱流を抑制させることが要求される。このように、非定常流を発生・抑制させることは産業上、重要な観点であるが、その強い非線形から極めて制御が困難な課題でもある。そのため、非定常流中の特徴的な空間構造を持つ時間変動場を考慮した形状最適化手法を構築することで、産業界における種々の課題を解決することを目指す。

研究成果の概要(英文)：By using Snapshot POD, time dependent flow is decomposed into time average flow and time fluctuation flow, and shape optimization problem suppressing and enhancing turbulence is constructed. In particular, Non-Stationary Navier-Stokes problem and eigenvalue problem of Snapshot POD are used as constraint function, and more eigenvalues of Snapshot POD is defined as the cost function.

研究分野：数値解析

キーワード：形状最適化 流れ問題 Snapshot POD

1. 研究開始当初の背景

流体力学における最適設計は、航空機産業において必須技術であり、航空機のエンジンや翼の設計は、その代表例である。このような最適設計による流体制御の先駆的な研究は、フランス人応用数学者 Pironneau (J. of Fluid Mech., 1973) によって、Stokes 方程式が定義された空間において散逸エネルギー最小化問題に対する感度解析を行うところから始まる。その後、航空工学からの要請を受け、数理・データ科学的手法を土台として Mohamadi et. al. (Annual Review of Fluid Mech., 2004) が遺伝的アルゴリズムや自己組織化マップ等を取り込んだ最適設計手法を構築している。近年においては、Chiba et. al. (J. of Aircraft, 2007) が多目的最適設計探索手法を提案している。このアルゴリズムは、膨大な初期形状を準備した後、それらに対して多目的形状最適化問題を解き、その最適形状に対して応答曲面法や自己組織化マップ等を用いることでトレードオフ情報を効率的に提示し、設計者が設計候補を容易に選択できる方法となっている。しかし、従来の最適設計手法 (Mohamadi et. al. や Chiba et. al. 等) では、大規模高精度計算による計算コストやビッグデータ解析に伴う作業工程が膨大となることから、それらの抑制が産業界において強く求められ、更には、現実的な非定常流に適用することが極めて困難であるという科学技術上の課題もまた存在する。

2. 研究の目的

上記の産業上の要請や科学技術上の課題に対して、データ科学手法と数理的な最適設計手法を包括的に導入した“初期形状の前処理”を行うことで計算コストや作業工程を抑制しつつ、非定常流に対応した効率的な設計を実現することを研究目的とする。

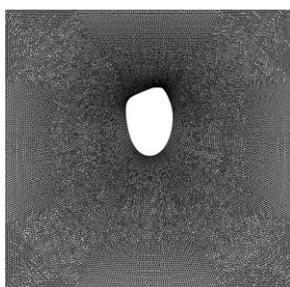
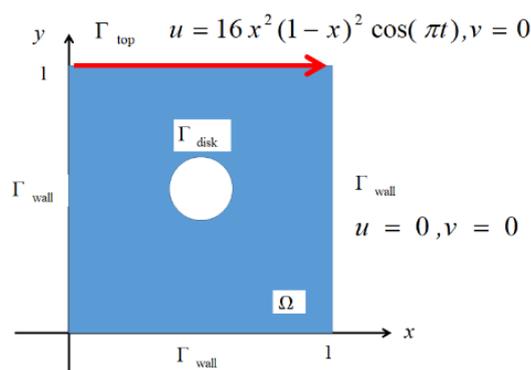
具体的な内容を以下に記載する。産業界では流体機器を設計する際、非定常流を制御対象とすることが圧倒的に多い。例えば、航空機に焦点を当てると、ジェットエンジン内部では熱エネルギーを効率的に抽出するために高速回転させたタービンが乱流を発生させ、主翼周りでは安定な浮力を維持するために乱流を抑制させることが要求される。このように、非定常流を発生・抑制させることは産業上、重要な観点であるものの、その強い非線形から極めて制御が困難な課題でもある。そのため、従来の最適設計手法では、取り扱いが比較的容易な時間平均場を用いて目的関数が定義されており、非定常流中の特徴的な空間構造を持つ時間変動場は考慮されてこなかった。そこで、当該研究構想における研究のねらいは、データ科学的手法 (Snapshot POD 等) により非定常流から時間変動場のエネルギーを抽出し、それを用いて目的関数を定義した形状最適化問題を解くことで、これまで困難とされてきた“時間変動場の直接制御”を実現する。この研究のねらいを基に、研究の目的の達成を目指す。その際、所望するジェットエンジンのような流体機器の設計要件 (非定常流の発生・抑制) に対して“初期形状の前処理”として最適設計 (時間変動場の最大化・最小化) を行い、その後は従来の手法で設計プロセスを進める。このような“初期形状の前処理”を加えることで「初期形状の許容範囲を絞り込む」という視点を持ち込み、効率化を図りつつ (産業上の要請)、技術的な面で困難であると考えられていた複雑な設定 (時間平均化に頼らず非定常流の特徴を最大限考慮した形状最適化問題) への対応 (科学技術上の課題) を可能とする。

3. 研究の方法

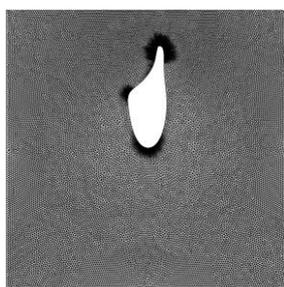
非定常速度場を各時刻からサンプリングして、主成分分析と同様のアルゴリズムである Snapshot POD (Snapshot Proper Orthogonal Decomposition)を用いることにより、時間に依存する流れ場を時間平均と時間変動にモード分解し、各モードの固有値と基底を抽出する。そして、時間変動モードの固有値を目的関数と定義し、Navier-Stokes 問題と Snapshot POD の固有値問題を制約関数とした際の形状最適化問題を設定する。

4. 研究成果

概要：右図に示した領域を初期形状及び境界条件として、非定常 Navier-Stokes 問題が定義されているとする。そして、設計境界は Γ_{disk} としており、目的関数が最小化するように Γ_{disk} が変形することとなる。目的関数としては、Snapshot POD で得られた固有値、制約関数としては非定常 Navier-Stokes 問題と Snapshot POD の固有値問題を定義した。数值的に、この形状最適化問題を解く際に、AMR を使用・不使用の場合に分けて計算を行った。その結果、AMR を使用し、時間変動モードの固有値を目的関数と定義することで、より効率的に時間変動成分を最小化することに成功した。しかしながら、産業応用を念頭に置いた場合、複雑流体場への拡張や、DMD を導入することによる周波数制御、3次元空間における大規模高精度計算等、様々な課題が存在したため当該研究で遂行することにする。

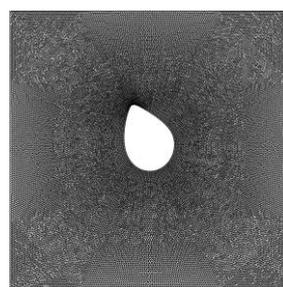


(a) Without AMR

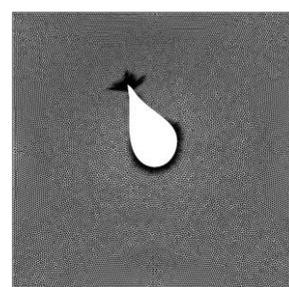


(b) With AMR

Fig.1 時間平均・時間変動モードの固有値を目的関数とした際の最適形状



(a) Without AMR



(b) With AMR

Fig.2 時間変動モードの固有値を目的関数とした際の最適形状

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 3 件)

[学会発表] (計 30 件)

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年：
国内外の別：

○取得状況（計 0 件）

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年：
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

<https://rabao0511.jimdo.com/publications/>

6. 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名：

ローマ字氏名：

所属研究機関名：

部局名：

職名：

研究者番号（8桁）：

(2) 研究協力者

研究協力者氏名：

ローマ字氏名：

※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。