

令和元年6月25日現在

機関番号：17301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2018

課題番号：17K14589

研究課題名(和文)多目的最適化によるマルチスケール格子の形状最適化とそのメカニズム解明

研究課題名(英文)Geometry optimization of multi-iscale grid by multi-objective optimization and its mechanism elucidation

研究代表者

北村 拓也(KITAMURA, Takuya)

長崎大学・工学研究科・助教

研究者番号：30794648

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：ニューラルネットワークと遺伝的アルゴリズムによる多目的最適化手法およびマルチスケール格子乱流の直接数値計算コードを開発した。
遮蔽率が同じ条件の下、上流と下流の乱流レイノルズ数を目的関数とするマルチスケール格子形状の最適化を行った。その結果、乱流レイノルズ数は、格子形状に強く依存するが、圧力損失は、格子形状に依存しないことが分かった。また、ベースラインとなるフラクタル格子より乱流レイノルズ数が高い格子形状を探索することができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

乱流の騒音や圧力損失といった問題点を抑え、混合促進などの利点を生かした最適な格子形状の探索が、社会のニーズとして求められている。
本研究では、圧力損失が小さく、強い乱れを生成できる格子形状の探索を機械学習を通して実現した。

研究成果の概要(英文)：We developed the multi-objective optimization method using artificial neural network and genetic algorithm, and direct numerical simulation for multiscale grid.

Under the constraint of same blockage ratio, we carried out the geometry optimization of multiscale grid for the sake of increasing turbulent Reynolds number at upstream (production region) and downstream (fully developed region).

As a consequence, we found that turbulent Reynolds number strongly depends on the grid geometry, whereas pressure drop is not dependent on the grid geometry. We also explored the grid geometry which can generate high Reynolds number flow than fractal square grid.

研究分野：流体工学

キーワード：乱流 多目的最適化 ニューラルネットワーク 遺伝的アルゴリズム

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

流体工学的なアプローチとしての乱流分野に共通する研究課題は、混合促進といった利点を伸ばしつつ、騒音低減や圧力損失低減といった問題点を抑える工業装置の開発であり、その抜本的な技術革新が社会のニーズとして求められている。

Hurst and Vassilicos (*Phys. Fluids*, **19** (2007), 035103)の実験に始まり、従来の正方格子乱流に比べ、フラクタル格子乱流の方が乱れ強さが大きいこと、圧力損失が小さいこと、騒音が小さいことが報告されており、乱流の問題点を抑え、利点を生かした最適な格子形状が存在することが示唆されている。最適形状のマルチスケール格子を用いた工学的アプリケーションとして、高性能混合デバイス等の工業装置への応用、航空機におけるエアスポイラーや低圧力損失オリフィスなどが挙げられる。しかしながら、用途に適した格子形状の最適化はこれまで遂行されていないのが現状である。

また、マルチスケール格子乱流は、乱流構造、乱流の生成過程およびエネルギー輸送過程のメカニズムにおいて従来の正方格子乱流とは異なる未解明な点が多い。

2. 研究の目的

上述の背景のもとに、本研究の目的は、産業界のニーズに答えるべくした最適なマルチスケール格子の形状探索を行い、そのメカニズムを明らかにすることである。

3. 研究の方法

(1) 最適化方法

最適化手法として遺伝的アルゴリズム(GA)、応答曲面に三層ニューラルネットワーク(ANN)を使用した。また、Krigingモデルを補助的な役割として使用した。本研究で用いた最適化手法の概要図を図1に示す。図2に本研究の最適化で用いたマルチスケール格子の設計変数(=5)を示す。ラテン超方格法を用いて、直接数値計算(DNS)により初期のデータベースを作成した。

ニューラルネットワークの学習には、ランダムサーチ法と誤差逆伝搬法のハイブリッド法を用いた。隠れ層の数および過学習を防ぐための重み減衰といったハイパーパラメータに対しては、K-fold cross-validationを用いて最適値を決定した。

(2) 流体乱流の数値計算方法

支配方程式は、非圧縮性三次元Navier-Stokes方程式である。非線形項および粘性項は、四次精度中心差分を用いた。時間積分には、三次精度低用量Runge-Kutta法を使用した。複雑な形状を有すマルチスケール格子における境界条件に対しては、簡易直接埋め込み境界法を適用した。最適化に用いた計算のメッシュ数は、 $2048 \times 256 \times 256$ である。

本研究で対象とする流れ場は、スパン方向に比べて流れ方向の格子が多いため、一次元分割によるMPIの並列化を行った。Poisson方程式の解法には、四次精度中心差分を用いるため、スパン方向への高速フーリエ変換を行ったあと、七重対角化行列解法(PDMA)を流れ方向に行う必要がある。そこで、図3に示すように、一次元分割から二次元分割にMPI_ALLTOALLVを用いて転置し、七重対角化行列を解き、元に戻すといった手法を採用した。

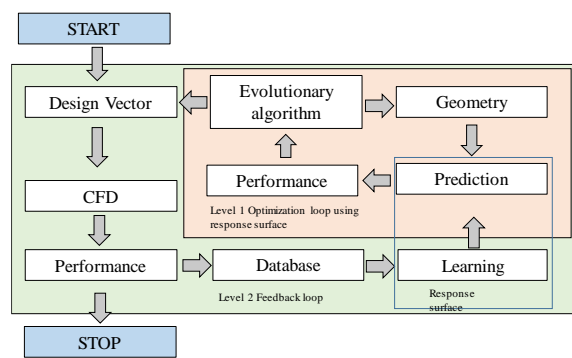


図1 最適化概要図

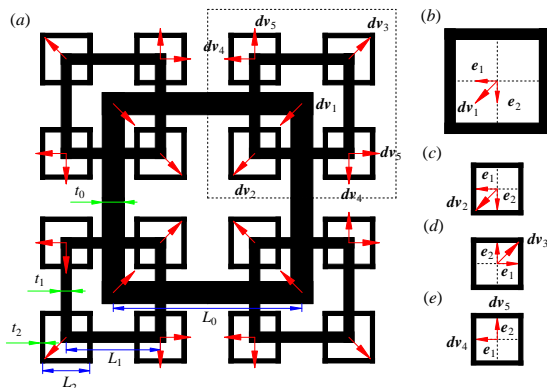


図2 マルチスケール格子の概要図と設計変数

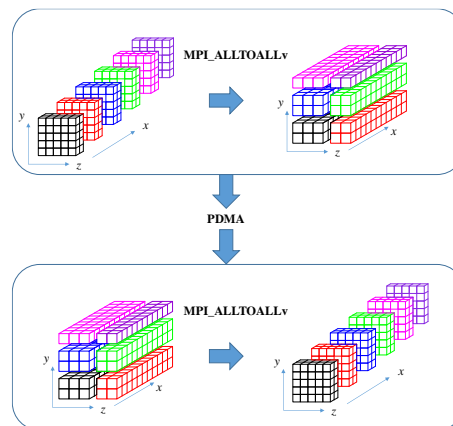


図3 Poisson方程式の解法

4. 研究成果

当初の予定では、エネルギー消費に関連する流体力学的指標として圧力損失、混合促進の簡易指標として乱流レイノルズ数を目的関数とし、多目的最適化を実行する予定であったが、初期のデータベースの DNS の結果より、圧力損失は、同じ遮蔽率の下では、大きく変化しないことが分かった。これは、圧力損失と混合促進がトレードオフ関係にあるといった正方格子乱流で見られる性質がマルチスケール格子乱流では必ずしも満足されないという新事実である。このことから、上流 (乱流生成領域, $x/x^*=0.4$) および下流 (十分発達した領域, $x/x^*=1.0$) の乱流レイノルズ数 Re_λ を目的とする二目的最適化を行った。ここで、 x^* はマルチスケール格子の最大格子から決まる特性長である。

図 4 に最適化結果を示す。初期データベースをもとに、5 回ほど最適化ループの更新を行った。図 4 に示すように、上流および下流の乱流レイノルズ数は、トレードオフ関係にある。図 5-7 に最適化により得られた流れ場のスナップショットを示す。比較のために、初期のデータベースの中で最も乱流レイノルズ数が低い格子により得られた流れ場のスナップショットを図 8 に示す。このように、遺伝的アルゴリズムとニューラルネットワークを用いた最適化手法によりフラクタル格子より高レイノルズ数流れ場が形成できる最適な格子を探索することができた。

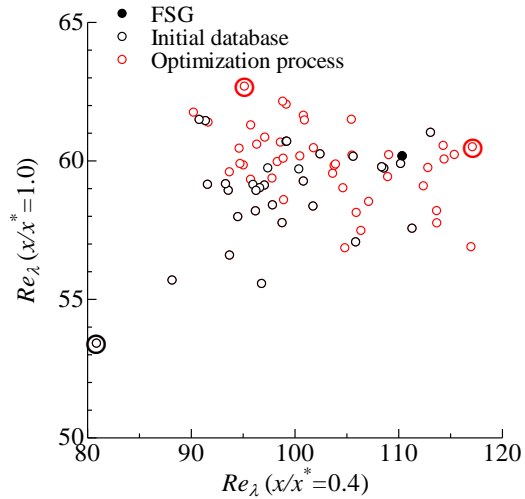


図 4 最適化結果

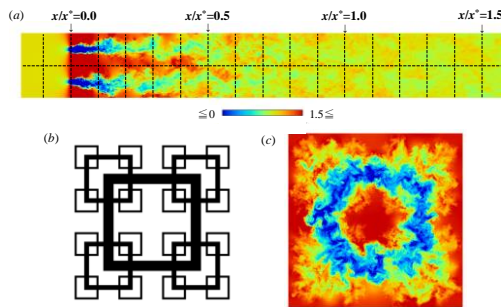


図 5 フラクタル格子(FSG)の流れ場の様子 (a) $z=0$ における x - y 平面, (b) 格子形状, (c) $x/x^*=0.1$ における y - z 平面

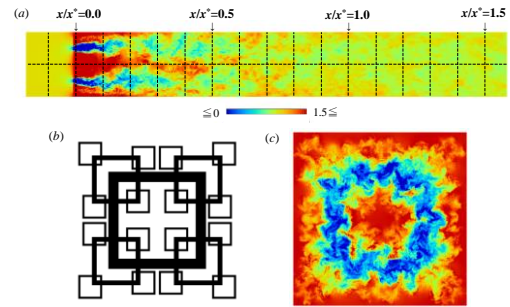


図 6 $Re_\lambda(x/x^*=0.4)$ が最大となる格子の流れ場の様子 (詳細は図 5 と同様)

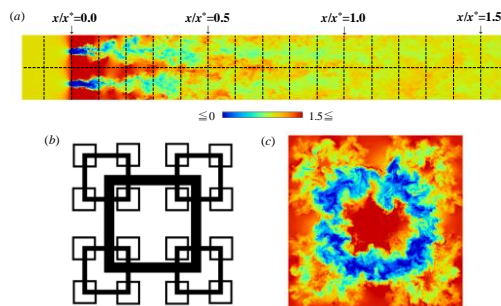


図 7 $Re_\lambda(x/x^*=1.0)$ が最大となる格子の流れ場の様子 (詳細は図 5 と同様)

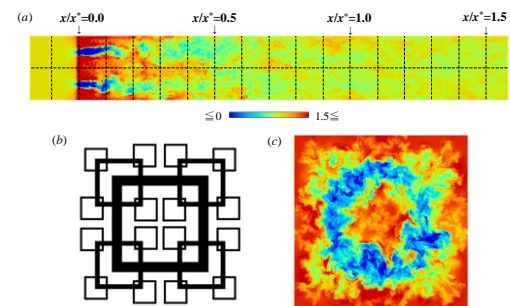


図 8 $Re_\lambda(x/x^*=0.4)$ および $Re_\lambda(x/x^*=1.0)$ が最小となる格子の流れ場の様子 (詳

5. 主な発表論文等

〔学会発表〕（計 1 件）

- ① 北村拓也, 回転流体から発生する音について, 第 38 回流力騒音シンポジウム, 2018

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.mech.nagasaki-u.ac.jp/>

6. 研究組織

(1)研究分担者

無し

※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。