OUKA
The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	Heat transfer enhancement by optimization methods suitable for nonlinear flow systems
Author(s)	久保, 晃
Citation	大阪大学, 2021, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/82308
rights	
Note	やむを得ない事由があると学位審査研究科が承認したため、全文に代えてその内容の要約を公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、大阪大学の博士論文についてをご参照ください。

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

The University of Osaka

様式３

論　文　内　容　の　要　旨

氏　名　（　久保　晃　）	
論文題名	Heat transfer enhancement by optimization methods suitable for nonlinear flow systems （非線形性流れに適した最適化法による伝熱促進）

論文内容の要旨

近年、伝熱促進や流動抵抗低減などを目的として最適制御理論が流体制御技術の研究開発に利用されることが増えている。しかし、その変分法に基づいた最適化法は流れの本質とも言える非線形性を十分に捉えることが原理的あるいは数値的に困難であるため、得られた解が実際に期待通りの性能を発揮するかは定かでない。一方、遺伝的アルゴリズムや強化学習といった非変分的方法は非線形性を捉えることができるものの、その計算コストの高さゆえ適応できる問題が限られる。そこで本論文では、非変分的方法の低コスト化を図ることで、非線形性流れに適した最適化法を構築し、それを用いて伝熱促進を実現することを目的とした。

第二章では、最適化を行う前に、熱輸送が運動量輸送を超過する、いわゆる非相似的伝熱促進の知見を得るべく、一定の温度差を有する層流平面クエット流に様々な条件の渦管を導入し、その熱・運動量輸送を数値解析した。スパン方向に渦軸を持つ強いアンチサイクロニック渦が、既知のサイクロニック渦よりも非相似的伝熱促進を実現することを見出した。また、渦周辺に生じる主流方向圧力勾配分布を解釈することで両渦における非相似性発現の物理的機構を解明した。これらの知見は、流れが乱流であっても有効である。

第三章では、探索空間が制約条件を満たす許容部分空間に制限されるよう修正した、NGnet法とマイクロ遺伝的アルゴリズムを組合わせた非勾配的トポロジー最適化法を提案した。元のNGnet法を採用した既存法に比べ、解の収束性は格段に向上し、劇的な計算コスト低減に成功した。乱流場における伝熱フィンの最適化に適応したところ、先行研究を超過する伝熱特性を示した。

第四章では、流れの散逸性を組み込むことにより、たとえ観測が少ない場合でも厳密な学習ができる強化学習アルゴリズムを開発した。一般に、強化学習を流体制御問題に適応する際には、マルコフ決定過程を構築するために多くの観測が必要であったが、この手法を用いればそのコストが低減される。実際、この手法で得られた最適方策は先行研究に比べ単純な関数、また少ない観測で構成されたにもかかわらず、先行研究を超過する性能を示した。

様式７

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏　　名　（　久保　晃　）		
論文審査担当者	（職）	氏　　名
	主 査　教 授	河原 源太
	副 査　教 授	後藤　晋
	副 査　教 授	杉山 和靖

論文審査の結果の要旨

2021年2月12日，審査委員会を開き，全員出席のもとに，久保晃君に博士論文の内容について説明を行わせ，それを中心に一般的な問題についても質疑・討論及び口頭試問を行った結果，最終試験に合格と判定した．

同君の研究は，強い非線形性とエネルギー散逸とを伴う粘性流体の運動による熱，運動量輸送の解明と制御を目指したものである．従来この課題に対しては，実験あるいは数値シミュレーション（順問題）による試行錯誤的なアプローチにより，流動抵抗を意識しつつ伝熱促進が試みられてきた．同君は，まず熱と運動量の輸送メカニズムを直接数値シミュレーションにより探求し，剪断流の渦度と平行あるいは反平行となる渦度をもつ管状渦構造が運動量に比べ熱の輸送をより顕著に輸送する現象を見出し，かつそれらに理論的解釈を与えた．さらに，このような工学的に望ましい輸送現象を実現する伝熱促進体を開発するため，伝熱促進体の位相最適化に関する変分理論を定式化し，熱伝導や低レイノルズ数流れに対して理論の有効性を示した．また，強い非線形性を有する高レイノルズ数流れに対しては，位相最適化に変分を用いることができないため，遺伝的アルゴリズムを基礎とする独自の手法を開発し，乱流において運動量に比べ熱輸送を顕著に促進する伝熱促進体を見出すことに成功した．さらには，散逸力学系における低次元アトラクターの存在に着目し，変分に代わるデータ科学的最適化手法として独自に開発した強化学習を導入し，伝熱促進を含む流れの制御を実現することに成功した．以上の研究成果は，従来困難とされてきた高レイノルズ数の乱流における効率的な伝熱促進体の開発に向けた新しい理論的アプローチを提示した点で工学的に極めて重要な意義を有し，博士（工学）の学位論文として価値のあるものと認める．