

研究成果報告書

(国立情報学研究所の民間助成研究成果概要データベース・登録原稿)

研究テーマ (和文) AB		極超音速流れ境界層における層流—乱流遷移後期過程の渦動力学制御理論の構築			
研究テーマ (欧文) AZ		Development of Control theory for Vortex Dynamics during the Late Stage of Laminar-Turbulent Transition in Hypersonic Boundary Layers			
研究氏 代表 者	カナ文字 CC	姓)マツウラ	名)カズオ	研究期間 B	2015 ~ 2017 年
	漢字 CB	松浦	一雄	報告年度 YR	2017 年
	ローマ字 CZ	Matsuura	Kazu	研究機関名	愛媛大学
研究代表者 CD 所属機関・職名		愛媛大学大学院理工学研究科生産環境工学専攻・准教授			
概要 EA (600 字~800 字程度にまとめてください。)					
<p>極超音速流れにおける層流から乱流への境界層遷移過程は、密度変動や温度変動といった複雑因子が多く、それらの相互作用も多彩となるため、その渦動力学に関する詳細解明の発展が期待されている。応用の観点からも、将来の実用化が期待されるスクラムジェットエンジンでは境界層が乱流化しないとエンジン内で消炎したり、衝撃波との干渉による境界層剥離でエンジン効率が低くなるため、乱流化の促進が重要である。一般に極超音速流れの境界層は圧縮性のため遷移しにくく、如何に早く乱流化できるかが機体の設計・運用に重要である。遷移過程における複雑な擾乱発展を上手に選択・制御することが鍵となるが、どのような擾乱を境界層内部で制御し作り出せば流れを早急かつ確実に乱流へ至らしめることができるかは未解決問題である。</p> <p>本研究では、極超音速流れで起きる境界層遷移後期過程における擾乱の空間発展を制御するための理論を開発するため、数値計算を援用した研究を実施した。楔状の表面突起列による擾乱生成を再現するために必要な非適合インターフェースにおける特性線に基づくインターフェース条件を開発することができた。これを用いて、マッハ数6の境界層において縦渦列の空間発展を明らかにした。擾乱発展を定量的に詳細解明できる完全非線形擾乱方程式を新たに提案した。遷移後期過程では一般的にヘアピン渦が形成される。乱流へ持続的発展するための対称・非対称ヘアピン渦の安定性や形成条件を解明した。ラグランジアン渦法分野において提案された Hon & Walker モデルに基づき、ヘアピン渦パラメータを連続的に変化させることができる擾乱モデルを直接シミュレーション分野に初めて提案し、循環の強度や境界層における渦管の傾きがヘアピン渦の安定性や壁面近傍流れに対して与える影響を解明した。線形安定性の観点から near-wall mode と off-wall mode が存在し、これら両者の発現が小スケールの乱れを作り遷移進行を促す上で重要なことを初めて示した。</p>					
キーワード FA	極超音速流れ	層流—乱流遷移	直接シミュレーション	安定性	

(以下は記入しないでください。)

助成財団コード TA					研究課題番号 AA								
研究機関番号 AC					シート番号								

発表文献（この研究を発表した雑誌・図書について記入してください。）									
雑誌	論文標題 ^{GB}	Direct Numerical Simulation of a Straight Vortex Tube in a Laminar Boundary-Layer Flow							
	著者名 ^{GA}	K. Matsuura	雑誌名 ^{GC}	International Journal of Computational Methods and Experimental Measurements					
	ページ ^{GF}	474 ~ 483	発行年 ^{GE}	2	0	1	6	巻号 ^{GD}	4(4)
雑誌	論文標題 ^{GB}	Evolution of a Modelled Hairpin Vortex in a Laminar-Boundary Layer Flow							
	著者名 ^{GA}	K. Matsuura	雑誌名 ^{GC}	Proc. of 20 th Australasian Fluid Mechanics Conference					
	ページ ^{GF}	1~4	発行年 ^{GE}	2	0	1	6	巻号 ^{GD}	
雑誌	論文標題 ^{GB}	Research on the Late-Stage of Laminar-Turbulent Transition							
	著者名 ^{GA}	K. Matsuura	雑誌名 ^{GC}	Proceedings of the 6th International and 43rd National Conference on Fluid Mechanics and Fluid Power					
	ページ ^{GF}	1~6	発行年 ^{GE}	2	0	1	6	巻号 ^{GD}	
雑誌	論文標題 ^{GB}	DNS Study on a Tertiary Instability Process in the Late Stage of Boundary-Layer Transition							
	著者名 ^{GA}	K. Matsuura	雑誌名 ^{GC}	Proceedings of the 6th International and 43rd National Conference on Fluid Mechanics and Fluid Power					
	ページ ^{GF}	1~5	発行年 ^{HD}	2	0	1	6	巻号 ^{GD}	
図書	著者名 ^{HA}								
	書名 ^{HC}								
	出版者 ^{HB}		発行年 ^{HD}					総ページ ^{HE}	

欧文概要 EZ

Because boundary-layer transition in hypersonic flows has many complicated factors such as density and temperature fluctuation, and also their interaction, detailed elucidation on the vortex dynamics is expected. Also from the viewpoint of application, transition promotion is important for the design of a scramjet engine.

In order to develop a new theory to control the spatial development of disturbance in the late stage of hypersonic transition, a study was conducted with numerical simulation. An interface condition based on the characteristic lines at non-conforming interfaces, which is necessary for generating disturbance by a train of wedge-shaped surface protrusions, is developed. The spatial development of longitudinal vortices was clarified at Mach 6. A system of completely nonlinear disturbance equations which can quantitatively and precisely elucidate the disturbance evolution was derived. Stability and formation conditions of symmetric/asymmetric hairpin vortices were elucidated for its sustainable development to turbulent flow. Based on the Hon & Walker model proposed in the field of Lagrangian vortex method, a hairpin disturbance model which can continuously vary its vortex parameters in the field of direct numerical simulation are proposed for the first time. Effects of the circulation and inclination of a vortex tube on its stability and near-wall flows are clarified. It is shown that near-wall mode and off-wall mode exist from the viewpoint of the linear stability, and the emergence of both modes is important for the generation of small scale disturbance and turbulence promotion.