

1. 研究実施計画

課 題 名：乱流制御に関する基礎的研究

研究機関名：独立行政法人産業技術総合研究所

任期付研究員氏名：瀬川武彦

①研究の意義・目的・必要性

本研究は、省エネルギー化の実現を困難にしている原因の主要素である乱流現象の制御に関するものである。昨年末に開かれた地球温暖化防止京都会議において、二酸化炭素などの温室効果がガスの排出低減が、世界的規模でかつ具体的な数値目標をもって決議され、わが国においても、排出量の低減に向けた多面的な取り組みを早急に開始しなければならない。これを解決する科学技術的手段のひとつの可能性が、本研究のテーマである「乱流制御」である。これは、乱流抵抗を低減させることにより、現在よりエネルギー効率を飛躍的に向させ、温室効果ガスの生成を抑制しようというものである。乱流制御には Passive 制御と Active 制御の2つがあるが、より大きい効果が期待される後者の研究はまだ始まったばかりであり、実用的に応用するには程遠い段階である。よって、近い将来に実用的な技術へ転換するための基礎的研究として、本研究は重要な役割を果たすと考えられる。

②研究の概要

本研究では、研究開始時は既存装置利用による予備実験を行うことにより基礎データを収集し、精密制御を行うための装置の提案、設計、製作を経て、乱流 Active 制御のための基礎を確立する。

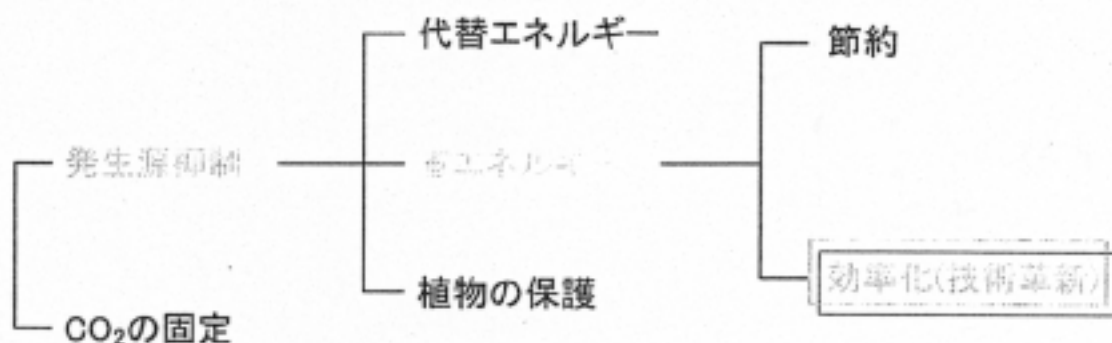
- (1) 既存するトルク検出器を利用し、Passive 乱流制御と Active 乱流制御の比較に関する予備的実験を行う。
- (2) 精密に流体の速度を制御できる実験装置（風洞など）及び、乱流の Active 制御法として、流体が流れる管の側壁に取り付け可能な振動装置を作製し、流体抵抗を測定する。
- (3) コンピュータシミュレーションによる現象の理解と乱流制御に関する基本法則を見出すことにより、そのメカニズムを解明する。省エネルギー対策などの実際の諸問題に対する応用として、乱流制御の適応性及び可能性を検討する。

③研究目標

本研究では、Active 乱流制御による流体抵抗を様々な条件で測定し、振動数に対する抵抗の変化に関する支配法則を見出す。また空間構造を解析することにより、乱流内部での流体の振る舞いや、乱流抵抗の原因となる要素を見出す。また、実験及びコンピュータシミュレーションにより抵抗低減のメカニズムを解明し、より効率よく抵抗低減を行うための条件を模索し、省エネルギー対策だけでなく、騒音問題や航空工学などの現実の系へ応用できるように、乱流制御法を検討する。

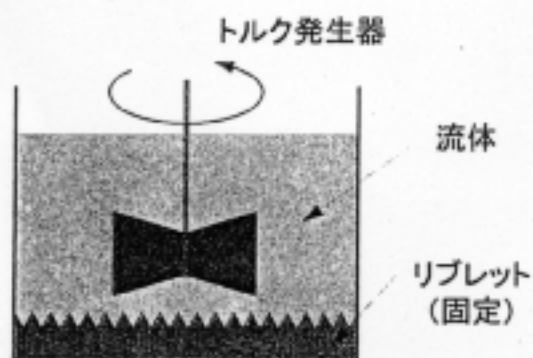
④ボンチ絵 別紙の通り（次頁）

CO₂削減対策の分類

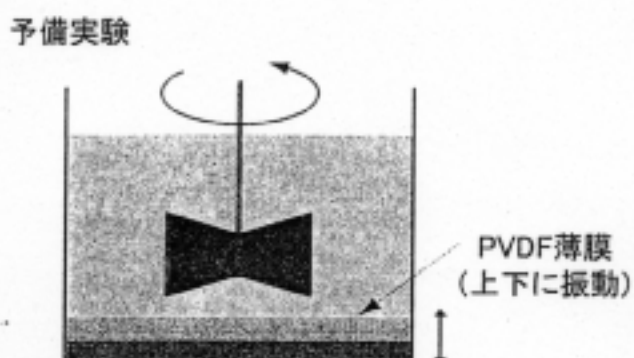


乱流制御

Passive 乱流制御

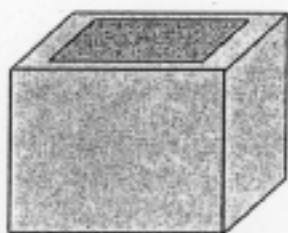


Active 乱流制御(本研究)



本実験

流体



マイクロマシンによる 壁面の強制振動

- Active 制御により抵抗が低減するか?
- 抵抗低減のメカニズム

2. 研究成果の概要

①研究成果

乱流制御による抵抗低減効果、及び制御用アクチュエータの性能評価を行うための装置として、「トルク検出型乱流制御評価装置」を試作した。測定分解能は、0.01mNm と従来のトルク検出型のものと比べて高精度の測定が可能となった。また同装置で乱流状態を実現し、流体を注入した容器を、加振器を用いて 100 μ m の振幅で垂直方向に振動を加えた結果、振動周波数が 10Hz 以下の条件ではトルクが減少するという新しい現象を発見した。計算シミュレーションで流れ場を解析し、さらに他の研究で見られる抵抗低減減少との比較から、以下のようなことがわかった。1) 振動を加えた結果回転円板に、回転軸に対して垂直成分（半径方向）の流れが発生する。2) 発生した流れは、壁面近傍の流れに対して乱れを抑制する効果がある。3) 乱れの抑制によって、流れの乱流化に伴って生成した摩擦抵抗が減少し、全体としてトルクが減少する。

回流型乱流制御装置を使用した乱流制御実験では、壁面近傍に存在し、乱れの発生に大きく影響を及ぼすと考えられる縦渦構造の可視化に成功した。ミクロ流れ可視化計測装置を使用した実験では、それらが流れに応じて下流に流れていく様子をリアルタイムで可視化計測することができた。また、積層型圧電セラミックスを複数組み合わせ、100 μ m 程度の変位が得られ、かつ大きな力も発生できる小型アクチュエータ（断面：4mm \times 3mm）の試作に成功した。さらにこのアクチュエータを 8 個 4mm 間隔に並べて、複数個の信号発生器によって独立して振動することができるアクチュエータアレーを試作した。本研究では、隣り合うアクチュエータの位相差を 0, 45, 90, 180 $^{\circ}$ と様々に変化させてそれによる乱流構造の変化を解析した。その結果、位相差を 45 $^{\circ}$ にしたモード（Wavy モード）で 12.5Hz 以上の振動を加えた場合、壁面近傍に存在する縦渦構造が破壊され、秩序構造が少なくなることがわかった。これに関しても、理論による解析と他グループの研究結果と比較し、以下のことがわかった。1) Wavy モードによってアクチュエータの下流方向に流れに対して垂直方向（スパン方向）の擾乱が与えられる。（この方向は上記回転円板の実験と対比すると、半径方向の流れと一致する。）2) スパン方向の流れは抵抗低減効果を与える可能性がある。3) 抵抗低減や秩序構造の破壊のための条件としては、乱流に特徴的なバーストと呼ばれる現象（突然起こる上昇流）の周期に対して、その 1/10 程度の時間スケールの振動を加えなければならない。

上記の結果から、乱流制御をリアルタイムで、かつ、高効率に行うための知見を

得ることができ、今後のさらなる発展が期待される。またこれらの結果に関する論文及び特許申請も随時行っており、研究目標成果は十分達成されたと考える。

②波及効果、発展方向、改善点等

本研究で試作した様々なアクチュエータは、サイズ、重量、消費電力等を考慮に入れた場合、まだ実用機械に搭載することは難しいと考えられる。しかし、小型化に関してはマイクロマシン技術も取り入れて現在も開発中であり、消費電力に対して抵抗低減による省エネ効果があるか、あるいは剥離の防止といった機械システムの高機能化が図れるかという問題に対して具体的なシステムの設計が進展しつつある。センサに関しても、時間応答が良く、小型で消費電力の小さいものを開発中である。より効率よく乱流制御を行うために制御アルゴリズムについては、今後ともより高速で現実の環境に適応できるものを引き続き開発する必要がある。これらのハードとソフトがロバストなシステムとして機能することが可能になると、小型翼（例えば風力発電機や小型飛行機、無人探査機等の翼）の起動特性の向上、剥離の防止、定常運転時の抵抗低減による燃費の向上、ガスパイプラインシステムによる天然ガスの高効率輸送、高速列車の摩擦抵抗低減と騒音防止といった分野に大きく貢献すると期待される。