

審査の結果の要旨

氏名 中村昌道

修士（工学）中村昌道提出の論文は、「流れ場の最適制御に関する研究」A study on applying optimal control theory to unsteady flow problemと題され、本文6章から構成されている。

流体制御の分野においては能動的制御デバイスによる流体の最適制御の研究が活発に行われつつある。これらの研究により最適制御理論が偏微分方程式系で記述される流体運動の制御に対して有効であることが示されている例があるが、風洞内や実機の周りなどの実際の流れ場を制御する問題に適用することを意図した研究は現状では行われていない。この理由の一つとして、最適制御理論においては流れ場の全空間の物理量を知ることが必要であることが挙げられる。本研究では、最適制御による流れ場の制御に加えて、状態推定手法を用いて、限られた観測点における観測値を用いて全空間の物理量を推定し、この推定値を用いて最適制御理論によって制御量を算出する形で、フィードバック制御的な制御スキームを提案し、風洞中の流体運動の制御や実機の制御への適用の実行可能性について議論することを研究の目的としている。

このように最適制御および状態推定を制御システムとして実際の流れ場に応用することを視野に入れた研究は現在まで行われておらず、本研究の独自性は極めて高い。本論文で扱う具体的な制御システムの構築では、例題として細長物体の3次元大迎角剥離に伴う非定常空気力を抑制する問題を考え、これを単純化する形で2次元円柱周りの流れ場において、カルマン渦の発生による流れの非定常性および非対称性によって発生する横力をジェットなどのアクチュエータによって制御しこれを抑制する問題を設定して解析を行っている。

第一章は序論であり、本研究の背景や過去の研究の要約がなされ本研究の位置づけや目的が述べられている。第二章では問題の設定と定式化および用いる解析手法などを概観し、第3章では最適制御理論の適用による制御性の検討、第4章では観測値から流れ場の全状態量を推定する方法とその考察、第5章では第3および4章の結果を組み合わせ物理的に実行可能な制御システムを構成することを試み、その特性や限界について議論している。第6章には本論文の結論がまとめられている。

まず最適制御に関しては、円柱表面上に配置された離散的な吹き出し・吸い込みが可能なジェットにより流れ場全体の非対称性を小さくして円柱の横力を抑制することができ、その際の抑制のメカニズムを最適制御の結果として得られるジェットの吹き方と、これが流れ場の非対称性の抑制に効果を及ぼしている様子について考察し、最適制御理論を適用することの効果として理解できることを示した。またこの結果は、微小なジェットによる制御効果が、大局的な流れ場の非

対称性を生み出す構造に効果的に作用してこの非対称性を抑制することに成功し、本解析によって最適制御の有効性が示されたと言える。

次に、物理的に実行可能でかつ現実的な方法として、どのような観測値を用いて流れ場の全空間の状態量を精度よく推定することが可能であるかの議論がなされている。物体表面上の圧力計測値、剪断力計測から類推される表面近傍の流速、および流れ場中のある空間内での速度計測値などを観測値の例として用いて、状態推定手法を用いて流れ場の全空間における状態量の推定がどの程度の精度で行われるかについて考察している。また円柱表面上に配置されたジェットによる制御入力のある場合の推定精度の劣化の程度についても議論している。結果としてこれらの観測地からの状態推定が可能であり、推定値の収束までの時間や現象の時間変化の位相誤差などが状態推定のパラメータによって影響を受けることが示され、用いる観測値に対応した推定精度の定量化など、後の制御システム構築の議論へと繋げるための有用な結果が得られた。

以上の最適制御理論による制御器と、観測値から状態推定をおこなう観測器の両者に対する考察を元にして、これらを組み合わせる形で観測値から制御力を求めてフィードバック制御に相当する最適な流体制御システムの構成を提案し、観測値の選び方と制御性の関係や、流れ場の特性周波数に代表される現象の時定数と、制御サイクルの時間間隔の関係が制御性に与える影響などの解析を行った。ここで議論する例題の場合では観測値として物体表面上の計測値によるのでは制御は困難であるが、特定の場所の速度を観測値として使うことによって最適制御の目的は達成されることが示され、結果としてこの観測値から出発する最適制御システムを機能させることに成功した。また全状態量が知りうるとした場合との比較において、観測値から状態量を推定する場合の制御システムが機能するための条件や、現象の特性時間と制御入力の更新間隔などの関係において、制御系を構成するパラメータと制御性能の関係などについて知見を得た。

以上まとめると、本論文は非定常流体問題の非対称性の抑制と言う目的のために最適制御理論を流体運動に適用し、観測値から制御入力を求めるスキームを提案し、物理的に実行可能な制御システムが機能することを示すことに成功しており、将来の実用化の可能性とそれに向けた指針や方向性を示すことも含め、重要な知見を多く得たものであり、航空宇宙工学に貢献するところが大きい。

よって、本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。