

(論文内容の要旨)

航空機用ガスタービンエンジンの開発は、様々な工学分野の結集であり、その過程は、流体力学、熱工学、燃焼工学、制御工学など主要な工学分野における種々多様な学術的、技術的問題との戦いの連続であると言っても過言ではない。本論文は、それらの質の異なる問題を、電子計算機を多面的に活用することによって解決した研究の成果をまとめたもので、序論と八つの章および結論から成っている。

第1章は序論で、本論文の目的とガスタービンエンジン開発における計算機の利用分野の総合的な分類と概要、および本論文の構成を述べている。

第2章は、ガスタービンエンジン開発に関連する様々な分野において、計算機が歴史的にどのように係わり、計算機自体の発達と共にその利用範囲と適用レベルがどのように拡大向上してきたかの記述であり、本論文の背景を与える。また、第1章とあわせて、計算機利用の技術マップを構成しており、以下の各章を俯瞰している。

第3章は、ガスタービンエンジンの空気力学的設計における計算機の利用に関するものである。ガスタービンエンジン内部の様々な流れ、具体的には、タービン、圧縮機および燃焼器における気体の流れを数値流体力学によって詳しく解析し、流れの様子と圧力損失についての詳細な情報を得ている。また、要素試験で得られた圧力損失データなどとの比較検討を行い、数値流体力学による解析結果の精度を確認している。さらにその結果をもとに、圧縮機の最適設計と開発、燃焼器周りの非燃焼空気流に対する最適流路の設計、小型エコエンジン用燃焼器の設計などを行っている。

第4章では、ガスタービンエンジンの出力制御に、エンジン搭載型の計算機を用いる技術の研究開発を、ハードウェア、ソフトウェアおよびシミュレーションの各分野を総合して行っている。具体的には、回転加速度の制御および可変入口案内翼の制御を行い、これによってガスタービンエンジンの出力応答性を向上させることに成功している。

第5章は、ガスタービンエンジンの燃焼器における燃焼の制御に計算機を利用する研究に当てられている。その内容は、燃焼希釈空気流量を最適化するファジー関数を用いたシステム、および学習機能をもった燃焼温度分布を制御するシステムの構築である。さらに、これらを応用することによって、燃焼時有害排出物である窒素酸化物の削減が可能であることを、数値シミュレーションおよび制御実験で実証している。

第6章は、計測分野への計算機適用の研究結果のまとめである。まず、ガスタービンエンジンロータの回転速度および各種可変要素の回転角を検出するためのセンサーに、M系列乱数列を含む直列循環符号を応用することを発案し、その存在を数学的に証明するとともに、その生成法を明らかにしている。さらに、実機搭載環境に耐え得る回転速度検出および角度検出用のセミアブソリュート式光エンコーダを製作し、高温作動環境でその性能を実証している。次に、燃焼器冷却のためのピンフィン冷却の特性を、ナフタレン昇華法によって実験的に評価し、さらにその結果と数値流体力学による流れのシミュレーションを組み合わせ、効率的なピンフィンの配置と形状に関する新たな知見を得ている。

第7章では、部品製作における計算機の利用を取り上げている。具体的には、遠心圧縮機の3次元翼型を、5軸NC加工機により側面切削で生成するための数学的根拠を明らかにするとともに、これに基づく工具軌跡の算出と実際の製作を行い、その正当性を実証している。また、検査法についても新たな手法を開発し、翼面形状の仕上がり検査に適用している。

第8章は、飛行中のガスタービンエンジン性能の収集と整備情報の取得を行うモニタリングシステムの研究に当てられており、数学的根拠のある非常に簡潔な方法を考案するとともに、その性能を数値シミュレーションによって確認している。また、エンジンシステムに不具合が生じたときの安全性に関する冗長制御システムの設計思想を整理し、これに基づく設計・開発を行って実際に有人機に搭載している。

第9章では、本論文で扱った以外の分野における計算機利用、および今後の計算機利用の可能性に関する論評を行っている。すなわち、今後利用拡大が期待される領域は、LES（ラージ・エディ・シミュレーション）による燃焼器内部の燃焼流れ解析、および設計に関する知識のIT（情報技術）による管理（ナレッジマネジメント）であると予測している。

第10章は結論で、本論文で得られた成果の要約である。

(論文審査の結果の要旨)

航空機用ガスタービンエンジンの開発過程は、流体力学、熱工学、燃焼工学、制御工学などの様々な工学分野における問題解決を重要な要素として含んでいる。本研究は、それらの様々な問題解決に電子計算機を多面的に活用することを試みたもので、得られた主な成果は以下の通りである。

1. エンジン内部の様々な流れを数値流体力学によって詳しく解析し、流れの様子を明らかにするとともに、その結果を圧縮機の最適設計などに応用して成果を上げた。

2. 回転加速度や可変入口案内翼の制御に、エンジン搭載型の計算機を用いる技術の研究開発を行い、これによってエンジンの出力応答性を向上させることに成功した。

3. 燃焼器における燃焼希釈空気流量を最適化するファジー関数を用いたシステム、および学習機能をもった燃焼温度分布制御システムの構築に成功し、これによって燃焼時有害排出物の削減が可能であることを示した。

4. エンジンの回転速度および回転角検出用センサーに、M 系列乱数列を含む直列循環符号を応用することを発案し、その存在を数学的に証明して生成法を明らかにした。さらに、これを用いて実機搭載環境に耐え得る回転速度・角速度検出器を製作し、要素試験ではあるがその性能を実証した。

5. 燃焼器冷却のためのピンフィン冷却の特性を、ナフタレン昇華法によって実験的に明らかにし、効率的なピンフィンの配置と形状に関する知見を得た。

6. 遠心圧縮機の 3 次元翼型を、5 軸 NC 加工機により側面切削で生成するための数学的根拠を明らかにするとともに、これによって実機を製作し、その正当性を実証した。

7. 飛行中のエンジン性能の収集と整備情報の取得を行うモニタリングシステムの研究を行い、数学的根拠のある非常に簡潔な方法を考案した。

以上のように、本論文は、航空機用ガスタービンエンジンの開発過程で生じる様々な学術的、実際的問題を、電子計算機を多面的に活用することによって解決したもので、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成 21 年 8 月 17 日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。