

審査の結果の要旨

論文提出者名 田口 秀之

修士(工学)田口秀之提出の論文は、「スペースプレーンに適用する予冷サイクルエンジンに関する研究」と題し、7章から成っている。

現在の宇宙輸送システムの主流である使い切りロケットは、その質量の90%程度が推進薬であり、残りの10%程度で人工衛星等のペイロードとロケット本体を製作する必要がある。ここで、大気中の空気を酸化剤として活用する空気吸込式エンジンを実用化できれば、推進薬質量を低減させることが可能となり、その代わりに翼を搭載することで、飛行機のように離着陸できるスペースプレーンを実現できる可能性がある。ただし、空気吸込式エンジンを用いたスペースプレーンは、全質量に占めるエンジン質量の割合が大きいため、推力重量比の高いエンジン方式を選ぶ必要がある。また、従来のロケットとは大きく異なる飛行軌道と機体構成となるため、軌道解析と質量推算を行った上で、ペイロード運搬性能を検討する必要がある。このような背景から、本論文においては、空気吸込式エンジンの中で高い推力重量比を達成できる予冷サイクルエンジンに着目し、同エンジンを適用したスペースプレーンのペイロード運搬性能の解析方法を確立し、最適なエンジン方式を提案している。

第1章は序論であり、スペースプレーンのエンジンに要求される技術課題を整理している。その中で、推力重量比の大きいロケットエンジン、比推力の大きいターボジェットエンジン、およびその中間的な特徴を有する予冷サイクルエンジンを、同一条件で比較検討する方法が確立されていないことを指摘している。また、予冷サイクルエンジンの特徴を述べた上で、本研究の意義と目的を示している。

第2章では、予冷サイクルエンジンの特性を検討している。この検討で、予混合方式より熱交換方式の方が予冷による空気流量の増大効果と圧縮仕事の低減効果が大きいこと、および液体メタンより液体水素の方が予冷効果は大きいことを示している。また、マッハ0~6において、予冷サイクルエンジンの比推力が無冷却エンジンに比べて高くなること、燃料過濃で作動させることによって推力重量比が著しく向上すること等を示している。

第3章では、予冷サイクルエンジンを構成する要素の特性を実験的に解明している。超音速インテークについては、空気流量が整合しない時に起きる不始動現象を、シュリーレン画像および推力の測定結果から解明するとともに、バイパス機構で流量整合を保つことにより、過大な推力低下を防止できることを実証している。予冷熱交換器については、質量と圧力損失を最小化するフィン配置を設計計算から導出し、その妥当性を風洞実験で確認している。超音速エンジンにつ

いては、高空性能試験と同一条件におけるエンジン性能解析を実施し、十分な解析精度が得られていることを確認している。

第4章では、スペースプレーンの飛行性能解析方法を示している。エンジン性能解析においては、マッハ0～6の環境条件に対応して、エンジン各部の流量バランス、熱バランス、および動力バランスを保つような収束計算手法を示している。飛行性能解析においては、空気吸込式エンジンの性能を最大にする一定動圧軌道を得るような、迎え角と推力の最適スケジュールを求める手法を示している。また、解析精度を確保しつつ計算時間を短縮するために、飛行軌道をマッハ数で分割する手法を提案している。エンジン質量推算と機体質量推算においては、既存部品に対する経験式と新規設計部品に対する設計計算を組み合わせた手法を示している。

第5章では、エンジン方式の比較検討を行っている。その結果、予冷サイクルエンジンを用いた低加速度飛行では、比推力を犠牲にしても推力重量比を大きくした方が、ペイロード比は大きくなることを示している。また、単段式スペースプレーンに適用する場合は、液体酸素の付加や液化器の追加が必要とならない範囲で当量比を上げることが有効であり、当量比5程度で最大のペイロード比が得られることを示している。さらに、二段式スペースプレーン用のエンジンについては、最適な比推力と推力重量比のバランスが変わり、当量比が1程度のエンジンを用いることで最大のペイロード運搬性能を得られることを示している。

第6章では、解析結果に関連した技術的課題について、考察を加えている。

第7章は結論であり、本研究において得られた結果を要約している。

以上要するに、本論文は、スペースプレーンに適用する予冷サイクルエンジンについて、構成要素の特性を実験的に解明するとともに、単段式スペースプレーンと二段式スペースプレーンに適したエンジン方式を導出する手法を確立したものであり、予冷サイクルエンジンに関する多くの学術的知見をもたらすとともに、今後の宇宙輸送システムの開発に資する技術的指針を与えたものであり、航空宇宙推進工学上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。