

## 論文の内容の要旨

論文題目：

周方向溝型ケーシングトリートメントが遷音速圧縮機の失速特性と流れ場に及ぼす影響

氏名 佐久間康典 (37-117059)

ジェットエンジンの高性能化及び環境適合性の向上において、圧縮機の効率改善、段当り圧力比の上昇は、極めて重要な技術項目である。しかしながら圧縮機の翼負荷の増大は同時に旋回失速発生の危険度も高めることとなり、従来の翼形状の空力的最適化や段負荷分布の工夫、VSVや始動抽気の活用等に加えてデバイスの導入による空力的な安定性の底上げが期待されている。

圧縮機の失速発生を遅らせるデバイスとして古くからその効果が認められてきたものにケーシングトリートメントがある。これは圧縮機内壁に溝を彫る等の加工を施すことにより動翼の翼端近傍流れ場への干渉を試みるものであり、若干の効率低減と引き換えに失速マージンの拡大が見込めることが過去の研究や実機への適用例から確認されている。一方では失速マージン改善効果の流体力学的なメカニズムを解明しようと多数の実験的・数値解析的な研究がなされ、また一方では少ない効率低下で失速マージンを拡大しようと様々な新しい形状の提案がなされた。特に、近年に至って翼形状の最適化のみで圧縮機性能を向上させることが難しくなって以降、優れたケーシングトリートメント形状の開発の重要性は増大している。しかし効果的な形状の設計クライテリアについては、特に遷音速圧縮機において未だ一貫した知見が得られていない。遷音速流れは衝撃波、境界層、翼端渦などの流れの諸相が関連した複雑なものであるため旋回失速に陥る過程について未解明の要素が多い。加えて、ケーシングトリートメントがそれら遷音速流れに及ぼす影響も、旋回失速が抑制される流体力学的なメカニズムも未だ明らかになっていない。

このような状況から、本研究では周方向溝型ケーシングトリートメントが遷音速圧縮機の流れ場に及ぼす影響と旋回失速抑制のメカニズムについて知見を得ることを目的として数値解析を実施した。ケーシングトリートメントが圧縮機翼端近傍流れと失速特性に与える影響を純粋に抽出するために、本研究では1本の周方向溝を解析対象とし、その軸方向設置位置及び溝深さを対象としたパラメトリックスタディを実施した。

解析対象のNASA Rotor 37の本来の失速機構を明らかにするため、RANSコードを用いた定常解析を実施した。ブロッケージ領域や翼端の渦構造に着目して詳細に観察を行った結果、Rotor 37では失速点近傍の作動点において衝撃波と翼端漏れ渦の干渉によって渦崩壊が生じることが明らかとなった。この渦崩壊領域は壁面近傍で主流に対して強いブロッケージとして作用するだけでなく、隣接翼の腹側付近に接近しているために、渦崩壊による低速流れが隣接翼ミッドコード付近において翼端漏れ流れを構成する、いわゆるダブルリーケッジを引き起こすことが明らかとなった。これにより、Rotor 37の失速機構は以下のように解釈された。まず、作動負荷の上昇に伴い、翼端漏れ渦の渦崩壊が発生する。この渦崩壊によって生じた低運動量流体が隣接翼腹側において翼端間隙に取り込まれる結果、運動量の低いダブルリーケッジが発生する。この翼端漏れ流れは本来の運動量が小さいがために翼端間隙内において翼面間圧力差の影響を強く受け、その結果大きく流れの向きを変えられる。これにより翼端漏れ流れは隣接翼前縁付近に向かって進行することとなり、そこで主流に対して強いブロッケージ効果をもたらす。以上、渦崩壊と翼端漏れ流れの複合的な作用によって失速に陥るのがRotor 37の失速特性であることが明らかとなった。

以上の失速特性を有するRotor 37に対して、1本の周方向溝型ケーシングトリートメントを施した条件で溝の軸方向設置位置及び溝深さを対象としたパラメトリックスタディを実施した

結果、幾つかの溝位置において有意な失速マージンの改善が得られた。失速マージンの改善率は全体的に溝が深いほど大きくなる傾向にあり、特に前縁から 20%軸コード長位置下流に溝を配置した条件で改善が顕著であった。一方で前縁直上の溝は失速マージンを僅かに悪化させ、また、ミッドコードよりも下流の位置に配置した溝はほぼ失速の抑制に寄与しないことが示された。

ケーシングトリートメントが流れ場に及ぼす効果の一つとして、局所的に翼端間隙を拡大する効果がある。これは溝内に流入する流れの効果によってもたらされるものであり、溝が設置された位置における局所翼端負荷が大きいほど、この翼端間隙の拡大効果も大きくなることがわかった。翼端間隙の拡大は翼端漏れ流れの運動量を大幅に低減する効果をもたらす。これが失速初生に対して有効に作用するか否かが溝の位置によって異なるがために、溝条件の違いによる失速マージン改善率の違いを生んだものと推測された。

最も失速マージンが改善した条件では、局所的に翼端漏れ流れの運動量が低減される結果、翼端漏れ渦の経路が変化することがわかった。これにより渦崩壊がもたらす低運動量領域が隣接翼から引き離されることが明らかとなった。これは渦崩壊による隣接翼のインシデンス増大が緩和されるだけでなく、ダブルリーケッジの発生も抑制するため、これが大幅な失速マージン改善効果を生んだものと結論付けた。

以上のように本研究ではケーシングトリートメントが翼端近傍の流れ場に及ぼす影響を明らかにし、それにより失速が抑制されるメカニズムについても考察を行った。結果、ケーシングトリートメントが流れ場にもたらす効果は溝直下の流れの様子によって大きく異なり、ケーシングトリートメントが失速を有効に抑制するためには、ケーシングトリートメントによって生じる流れの変化が失速を誘発流れに対して効果的に作用するような位置にケーシングトリートメントを設置することが重要であることが示された。