

遠心圧縮機の翼端漏れ流れ制御による作動範囲拡大

富田, 勲

<https://hdl.handle.net/2324/4110507>

出版情報 : Kyushu University, 2020, 博士 (工学), 課程博士

バージョン :

権利関係 : Public access to the fulltext file is restricted for unavoidable reason (3)

氏 名 : 富田 勲

論 文 名 : 遠心圧縮機の翼端漏れ流れ制御による作動範囲拡大

区 分 : 甲

論 文 内 容 の 要 旨

地球温暖化抑制への取り組みが世界的に本格化するなか、産業界全体でのCO₂排出抑制が課題となっている。日本のCO₂排出量の約15%を占める自動車業界において、自動車の燃費、すなわちCO₂排出を低減する手段として、エンジンのダウンサイジング(小型軽量化)・ダウンスピーディング(低速運転による摩擦損失などの低減)を実現する過給機は費用対効果が高く、近年急速に搭載が進んでいる。過給機の性能向上はエンジン性能向上と直結するため世界的にも研究が盛んであり、計算機能力の向上と相まって、実験流体力学(EFD: Experimental Fluid Dynamics)だけでなく数値流体力学(CFD: Computational Fluid Dynamics)の活用が一般的になっている。しかし、過給機の主要要素である遠心圧縮機は様々な条件下で安定して運転できることが求められており、特に複雑な三次元流動かつ非定常現象が発生する小流量作動条件においては、EFD・CFDともに十分な能力があるとは言えないのが実状である。そのため、作動範囲の拡大を実現するために、いかに流動を解明し、それを制御するかが技術課題となっている。

本論文は全5章からなり、遠心圧縮機の実作動範囲拡大を目的に、EFDとCFDを援用して現象解明にアプローチするEFD/CFDハイブリッド流動解析を活用し、翼端漏れ渦の崩壊現象が旋回失速時の内部流動構造を支配していることを解明するとともに、積極的に漏れ渦崩壊を促進することで遠心圧縮機の実作動範囲を拡大する手法を創出・検証した結果について述べている。

第1章の緒言に引き続き、第2章では、失速特性に良い対比を示す二つの遠心圧縮機に発生する非定常現象の違いについて、EFD技術の一つである圧力変動計測により分析して以下の現象を抽出し、第3章以降の研究の焦点を絞り込んだ。

- ・ 作動範囲が狭い圧縮機では、流量の減少に伴い翼負荷が増加するが、失速点を境に急激に翼負荷が低下することで明確な圧力比ピーク点を示す。失速点以下の流量では、羽根車回転の60～80%で伝播する擾乱が2～4つに絶えず変動し続ける不安定現象が確認された。
- ・ 作動範囲が広い圧縮機では、流量変化に対して翼負荷の変化が小さいことで失速点が不明確となり、安定した右下がりの圧力-流量特性が得られた。

第3章では、第2章で得られたEFD結果についてCFDによる現象解明を図った。渦中心の抽出と無次元ヘリシティにより三次元内部流動構造を分析し、失速現象に関して翼端漏れ流れが支配的である以下の現象を解明した。

- ・ 作動範囲が狭い圧縮機では、失速点よりも大流量側において翼負圧面の二次流れは小さく、高い効率を維持できている。小流量側では、翼負圧面に足を持つ竜巻状の剥離渦が下流に流れながら隣接翼に干渉し、新たな失速セルを発生させることで翼列内を伝播する旋回失速現象を明らかにした。

- ・ 作動範囲が広い圧縮機では、そうでない圧縮機と比べて、前縁剥離と流れに伴う翼端漏れ渦が強く発生する傾向にあった。その結果、崩壊した翼端漏れ渦が翼先端付近で周方向に均一なブロック効果をもたらすことで、局所的な翼の失速を阻害し、急激な流動・特性変化を抑制できていることを示した。

以上の結果から作動範囲を拡大する手段の一つとして翼端漏れ渦を制御する着想を得たことにより、第4章にてその有効性を検証することとした。

第4章では、第3章までに得られた知見に関して、以下の手順で検証を行い、翼端漏れ渦の崩壊を促進することが作動範囲を拡大する手段として有効であることを示した。

- ・ 明確な失速点を持つ異なる遠心圧縮機をベースライン圧縮機として選定し、EFD/CFDハイブリッド解析により小流量作動領域で不安定な現象が発生していることを確認した。
- ・ 翼端漏れ流れを強める目的で、翼入口部の転向を増加させた翼を新たに設計し、崩壊していなかった翼端漏れ渦が同じ作動条件で崩壊するようになったことをCFDにより確認した。
- ・ 新設計翼の性能計測を行ったところ、同一回転数での最大流量を維持したままサージ限界流量を3%低減でき、さらにサージ限界点の圧力比が2.8から2.9に向上したことを確認した。これは、回転数を変化させて計測したサージ限界ラインで評価すると、圧力比2.8でのサージ限界流量が8%低減したことに相当する。

最後に第5章では以上の結果をとりまとめている。