九州大学学術情報リポジトリ
Kyushu University Institutional Repository

車両過給機用可変ノズルタービンの空力性能に関する研究

山方，章弘

https://hdl.handle.net/2324/4110470

出版情報：Kyushu University, 2020, 博士（工学）, 課程博士
バージョン：
権利関係：

（様式２）

氏　　名　：　山方　章弘

論 文 名　：　車両過給機用可変ノズルタービンの空力性能に関する研究

区　　分　：　甲

論　文　内　容　の　要　旨

地球温暖化に伴い、自動車の CO_2 排出量規制が年々強化されている。今後数年内に CO_2 排出量すなわち燃費を 30%以上低減させる必要があり、自動車メーカー各社とも電動化とともに内燃機関の継続的な改善を行っている。その手段として欧州を中心にエンジンの小排気量化すなわちダウンサイジングによる低燃費化が進んでおり、小排気量化に伴うエンジン出力の低下を改善するため過給機（ターボチャージャ）の需要が増している。

一方、2018 年より世界で統一された燃費評価手法である Worldwide-harmonized Light vehicles Test Cycle（WLTC）が導入され、より実際の走行パターンに近い運転での燃費改善が求められる。WLTC では頻度の高いエンジン低回転数で、かつ高負荷な条件でのエンジン出力および燃費の改善が必要となり、過給機にはエンジン回転数が低く排ガス流量の少ない条件において高い過給圧を発生させることが求められる。その一方で定格出力点であるエンジン最高回転数付近でのより大きな流量もカバーする必要があり、必然的に可変容量型の過給機が必要となる。

特に可変ノズル機構を有した可変容量型タービンは、エンジンの作動条件に合わせてノズルベーンを開閉することにより、エンジンに適正な過給圧を供給するとともに、エンジンの背圧を制御することが可能であり、エンジンの低燃費化に欠かせないデバイスであるが、広い作動域をカバーしなければならないため、非設計点であるノズル小開度、大開度での性能低下を抑える空力設計が必要である。また車両過給機は高価な耐熱材料や冷却機構を使用することなく、900℃を超える排ガス温度下においても健全に稼働することが求められ、可変ノズル機構には各部品間にある一定の隙間や構造部材の流路への露出があり、これらによるタービン性能の低下を最小としなければならない。

これらを踏まえ本論文では、可変ノズルタービンにおいて最も重要な要素であるノズルベーンの設計と可変機構の導入によって生じる空力性能上の問題に焦点を絞り、以下の 2 章にわたって課題を解決することとした。

まず第 2 章では、可変ノズルベーンの設計指針を得るため、ベーン開閉時のノズル流路形状を分析する手法を構築し、ベーン形状の異なる 4 種類のノズルについて、流路幅、流路長さおよびベーン取付角の比較を行った。またこれらのノズルについて、全開状態から 20%開度まで徐々にノズル開度を変化させた条件での CFD 解析を行い、ノズルの流路形状と全圧損失係数の相関を調査した。また同じ 4 種類のノズルについて、可変ノズル機構を実際に設計・製作し、車両過給機を用いたタービン要素性能試験を行うことにより、CFD 解析結果の妥当性を確認した。上記により得られた知見を以下に記す。

・ノズル小開度の条件にて、ベーンコード長を拡大し、ノズル出入口での流路幅比 W_{in}/W_{th} と翼間流路長さと出口流路幅の比 L/W_{th} を増加させることにより、ノズル翼間での急加速が緩和され、ノ

ズルでの全圧損失が低減される。その結果、W_{in}/W_{th}およびL/W_{th}が大きいほどタービン効率が向上するため、可変ノズルを設計する上で上記 2 つのパラメータを適切に設定することが重要となる。
・ノズル大開度の条件にて、ベーン前縁の取付角α_vが過小すなわち流れに対して迎え角が過大なノズルでは、ベーン負圧面で流れが剥離しノズルでの全圧損失が増加する。その結果、タービン効率が大幅に低下するため、適切なインシデンス角を確保するために、ノズル前縁付近にキャンバーを持たせることが重要となる。

続く第 3 章では、可変ノズル機構の具現化に伴う隙間や突起などの詳細形状がタービン性能に及ぼす影響を明らかにするため、可変ノズル機構の詳細形状を再現した CFD 解析を行った。具体的には、ベーン端部の隙間（ハブ・シュラウドの隙間の偏りを含む）と回転軸、ストラットおよびノズル背面キャビティと前面シールを段階的に再現した CFD 解析モデルを作成し、第 2 章と同じくノズル開度を全開状態から 20%開度まで徐々に変化させた条件での CFD 解析を行い、各形状・部位がタービン内部流れとタービン効率に与える影響を定量的に評価した。上記により得られた知見を以下に記す。
・ノズル小開度では、ノズルベーンの偏りの影響も含めてベーン端部のクリアランスの漏れ流れによる効率低下が最も支配的であり、続いて背面キャビティおよび前面シール部の漏れの影響が大きい。
・ノズル中開度ではノズル端部のクリアランス、背面キャビティおよび前面シール部の漏れによる効率低下は減少し、ノズル最大開度ではノズル端部のクリアランスの影響が微小となる一方でストラット下流での損失増加の影響が支配的となる。
・上記の可変ノズル機構の詳細を考慮した CFD 解析を行うことにより、タービン効率を定量的に十分な精度で予測可能である。

第 2 章、第 3 章で得られたこれらの知見に基づき、可変ノズルベーンの好適な形状・形態に関する発明を行い、特許として申請、登録した。

〔作成要領〕

１．用紙はＡ４判上質紙を使用すること。
２．原則として，文字サイズ１０．５ポイントとする。
３．左右２センチ，上下２．５センチ程度をあけ，ページ数は記入しないこと。
４．要旨は２，０００字程度にまとめること。
（英文の場合は，２ページ以内にまとめること。）
５．図表・図式等は随意に使用のこと。
６．ワープロ浄書すること（手書きする場合は楷書体）。
この様式で提出された書類は，「九州大学博士学位論文内容の要旨及び審査結果の要旨」の原稿として写真印刷するので，鮮明な原稿をクリップ止めで提出すること。