

なかの よしかつ

氏 名 仲野 是克

授 与 学 位 博士(工学)

学位授与年月日 平成 18 年 3 月 8 日

学位授与の根拠法規 学位規則第4条第2項

最 終 学 歴 昭和 42 年 3 月

東京工業大学理工学部機械工学科卒業

学位論文題目 二輪車用エンジン動弁系制御機構及び
燃料供給系機能部品に関する研究と開発

論文審査委員 主査 東北大学教授 太田照和 東北大学教授 井上克己
東北大学教授 升谷五郎 東北大学教授 小林秀昭

論 文 内 容 要 旨

自動車による大気汚染問題が顕在化してきたのは 1960 年代以降であり、都市交通起因の環境問題に対し、米国の環境保護局(EPA)が 1970 年に四輪車大気浄化法(マスキー法)を打ち出したことに始まる。この潮流は二輪車へも波及し、1978 年に排出ガス低減に関する法規が米国で施行された。その後、二輪車の排出ガス規制は欧州から日本へ波及し、2000 年以降は二輪車需要の多いアジア地域での法規制化が進んでいる。このような背景のもとに、本論文では、二輪車用エンジンにおいてエンジン性能の向上と排出ガス低減や燃費の向上を実現するために必要不可欠である、エンジン動弁系制御機構(高回転速度エンジンに対応する油圧式ラッシュアジャスタ機構:HLA、作動ロッカーアーム数を切り換えるバルブ休止機構:REV)および燃料供給系部品(キャブレタ改善、小型二輪車用燃料噴射システムの要素部品)について各章別に述べる。

第一章では二輪車における排出ガス法規制の動向、二輪車の環境対応技術の方向性、次に本論文の主要課題であるエンジン動弁系の制御技術および燃料供給系の排出ガス低減技術に関する研究開発の狙いとその技術動向について述べる。

第二章では動弁系の弁隙間調整を不要とし、かつ静粛性とエンジン性能を向上させる、高回転速度に追従可能な空冷二輪車エンジン用の小型油圧式ラッシュアジャスタに関する研究と開発について述べる。既存の四輪車エンジン用油圧式ラッシュアジャスタに対し、10,000rpm を超えることが多い二輪車高回転速度エンジンに新たに求められる技術課題は、HLA への供給油過剰や HLA 自体の油密漏れなどによるバルブ異常挙動を全エンジン回転速度域で抑制すること、オイルパン内油温が 150℃を超えることが多い空冷エンジンの広範囲の油温幅に対して HLA 機能を確保すること、エンジン搭載性要求からオイルパンが浅くかつオイル量が制約される高回転速度エンジンにおける供給油への空気混入増加を抑制させることなどである。

この課題に対し、既存エンジンに対し大幅な関連変更なしに HLA が装着できること、12,000rpm 以上の実用オーバーレブ回転速度まで正常なバルブ挙動が得られること、HLA の装着においてエンジン機能、性能、信頼性が維持向上することなどの目標を設定し研究開発に取り組んだ。

HLA の剛性を支配するプランジャ寸法、高压室容積、油密漏れ時間や供給油圧などの最適化により、12,000rpm 以上まで安定作動する小型 HLA を完成した。HLA への供給油の空気混入が課題であったが、オイルパン内のオイル攪拌を少なくするための油圧制御バルブの構造と取り付け位置の最適化や供給油路に脱泡

室を配置することなどで対応した。さらに供給油に溶け込んだ空気の発泡を抑制するために供給油温の低減や高めの油圧設定などで対応し、HLA機能と信頼性を確保した。さらに生産性の高い製造技術として、プランジャの塑性加工とチェックボールケージのかしめ固定方法を完成した。この新設計小型 HLA の適用により、エンジン最大出力の若干の向上、アイドリング安定性の向上、冷機始動性と暖機性の向上、動弁系タペット音の低減などが得られ、エンジン性能の向上に貢献した。

第三章では走りと経済性、排出ガス低減を両立させるエンジン動弁系制御機構(バルブ休止機構:REV)の研究と開発について述べる。この機構は、低速域の出力低下要因である吸排気弁のオーバーラップ期間と出力の関連性を確認するために、4気筒4バルブ吸排気弁のそれぞれ一本を休止させ、2バルブ状態としてエンジン性能を評価したところ、不安定であったアイドリング性能が著しく向上することを確認したことにより着想が生まれた。そこで、動弁系制御技術に焦点をあてた研究開発に取り組み、数種の案別の中から機構の簡索性、信頼性、汎用性を重視して切り換えピン装着ロッカーアーム構造を選択した。この機構の課題は、最大エンジン回転速度が12,000rpm以上の二輪車エンジンにおける動弁系バルブ挙動の安定化と、2バルブと4バルブ作動切り換えの応答性にあった。前者に対しては、切り換えピン位置の最適化によりロッカーアームの質量増を抑制しながら剛性向上を図ることと、バルブリフト曲線の最適化により対応した。後者に対しては、切り換えピン部とスプール弁部の最適設計により、応答性と耐振性の高い油圧制御機構とすることにより対応した。全エンジン回転速度域で出力性能・機能・信頼性を満足させ、かつ規制排出ガスの低減や省燃費を実現させる動弁系制御機構(バルブ休止機構)は、二輪車エンジンにおいてバケット(直押し)式バルブ休止機構へ発展し、一方排出ガス低減と省燃費要望の高い四輪車エンジンにおいて新たに四輪車要求項目を加味したVTECシリーズへ発展したことで、その技術価値がさらに高まった。

第四章ではCO排出ガスを低減させる燃料供給系機能部品であるキャブレタの開発について述べる。規定耐久保証距離走行後の量産車の全数が排出ガス規制を満足するためには、排出ガスばらつき幅(3 σ)と劣化係数(DF)を考慮に入れた量産車の上限側排出ガス値が規制値を下回る必要性があり、初期排出ガス値をできるだけ濃厚側に設定し、走行性能評価を満足させ易くするためには、ばらつきと劣化係数をできるだけ小さくすることが必要である。一方、ばらつき幅(3 σ)を考慮に入れた量産車の下限側排出ガス値は走行性能を許容する排出ガス下限値を上回る必要性があり、そのためにはエンジンの希薄混合気性能を向上し、走行性能を許容する排出ガス値をできるだけ低めに設定する必要がある。希薄混合気性能の向上はキャブレタの燃料流路の改善、新設計小型コンスタントバキューム(CV)キャブレタや二輪車用新加速ポンプおよび空気遮断バルブ(ACV)などで対応した。CO排出ガスばらつき低減は、その多くがキャブレタの部品精度に起因していることを解明し、要素部品の寸法精度向上と主燃料系のジェットニードル(JN)斜め押し付け機構により対応した。排出ガス劣化低減はJN斜め押し付け機構とJNとニードルジェット(NJ)の表面処理による耐摩耗性の向上で対応した。さらにキャブレタの空燃比精度のさらなる向上と付加デバイス、および排気孔への新気導入(AI)システムとの連動で小型二輪車の2003年欧州2次排出ガス規制をキャブレタ仕様車で達成した。

第五章では排出ガスの低減と走行性能を両立させる技術として、搭載性と幅広い使用環境下における信頼性向上を目指した、小型二輪車用に新設計した燃料噴射システム要素部品の開発について述べる。二輪車エンジンは、1気筒当たりの排気量幅が50cm³から650cm³と大きいこと、エンジン回転速度幅が1,000rpmから18,000rpm以上と幅広いことなどの特徴があり、燃料噴射システム(FI)にはインジェクタによる高精度燃料流量の計量とエンジン電子制御用ユニット(ECU)の高速演算処理などが求められる。さらに二輪車用FI部品は、直接外部環境にさらされる状態で装備されることや搭載に寸法的制約があることなどから、対環境信頼性と小型化も併せて求められる。主要構成4部品毎の要求項目を機能、信頼性と搭載性などに分類し、その目標達成に向けた開発に取り組んだ。

小型インジェクタ(INJ)は霧化性能、噴霧形状、応答性、静粛性、粗悪燃料対応、小型軽量、幅広い燃料流量などの要求に対し、噴霧の微粒化と狭角形状、高効率磁路設計とダイレクトストップ構造で小型化と高応答性を実現させた。また衝撃エネルギーを低減させる可動部の軽量化設計と樹脂充填材の選択で作動音の低減を実現した。製造方法としては YAG レーザ溶接技術にて部品点数の削減と小型化を実現し、さらに精密プレス加工技術にて高精度燃料噴射孔を実現し、高性能小型インジェクタに貢献した。

小型燃料ポンプ(FFP)は、燃圧安定性、省電力、粗悪燃料対応、小型軽量などの要求に対し、ネオジウム磁石の採用によるモータ効率の向上とポンプ部流路を含むポンプ諸元の最適化を図ることで、従来並み寸法で定格消費電流1A 以下を実現した。

スロットルボディ(TH-B)は、高精度空気流量制御、防水性、機能集約などの要求に対し、多種の小型二輪車用スロットルボディを共通加工治具での製造を可能とし、さらに各種センサのモジュール設計、アイドリング空気流量を高精度に制御する制御バルブ(IACV)などの機能集約を実現した。

電子制御ユニット(ECU)は高回転速度追従性、高速演算処理、大容量メモリ、防水性、耐振性などの要求に対し多機能部品を専用 IC に集約して小型化と信頼性の向上を図るとともに、基板への接続端子固定にスナップフィット挿入方式を採用し全実装工程の自動化を可能とした。さらに小型二輪車のキック始動における ECU 機能(5V 作動)をバッテリー劣化状態でも保証する低電圧に強い回路設計、点火ノイズに強い回路設計などで性能と信頼性の高い仕様を確立した。半田無鉛化においては ECU 実装工程に適した Sn-Ag 系半田を採用することで、半田接合の信頼性向上を図った。上記の FI 機能部品を開発することで、小型二輪車の規制ガス低減と省燃費を達成した。

これまで述べた二輪車用エンジン動弁系制御機構および燃料供給系機能部品によるエンジン性能の向上と規制排出ガスの低減や燃費の向上を研究開発していくことを通じて、二輪車における環境保全に貢献した。

今後の課題はさらに強化される排出ガス規制への対応とともに、燃費向上と新エネルギー対応である。

論文審査結果の要旨

二輪車用エンジンの性能向上、排出ガス低減ならびに燃費の向上を実現するためには、エンジン動弁系の制御機構および燃料供給系機能部品の高性能化、高信頼性化が必要不可欠である。本論文は、二輪車用高回転速度エンジンに適合する油圧式ラッシュアジャスタ機構および動弁系制御機構を開発することにより、エンジンの性能と信頼性を向上させ、さらに、キャブレタの改善と種々の高性能燃料噴射システム要素部品を開発することにより、燃費の向上と排出ガスの低減を実現した研究・開発の内容をとりまとめたものであり、全編6章よりなる。

第一章は緒論である。

第二章では、エンジン回転速度が12000rpmを越える空冷二輪車エンジン用の小型油圧式ラッシュアジャスタ機構を研究・開発することにより、高回転速度への追従性を著しく向上させたのみならず、耐久信頼性を確保し、低回転速度における安定性も向上させている。これらは二輪車用エンジンにとり重要な成果である。

第三章では、高回転速度かつ高出力エンジンの低中出力時における性能ならびにアイドル時における安定性を向上させる動弁系制御機構を研究・開発し、排出ガスの低減と燃費の向上、騒音低減を実現させている。これらは貴重な成果である。

第四章では、二輪車用排出ガス規制に対応することができるキャブレタを研究・開発し、希薄混合気における走行性能を向上させたのみならず、排出ガスのばらつきおよび排出ガス劣化を低減させている。これらは有用な成果である。

第五章では、小型二輪車用エンジンに要求される性能、機能、信頼性、搭載性に優れた燃料噴射システム構成部品として、小型インジェクタ、小型燃料ポンプ、機能集約スロットルボディやエンジン電子制御ユニット等を開発している。これらは実用上きわめて有益な成果である。

第六章は結論である。

以上要するに本論文は、二輪車用エンジンの動弁系制御機構および燃料供給系機能部品の研究・開発により、エンジンの高性能化、高信頼性化を達成したのみならず、燃費の向上と排出ガス低減を実現させた内容をまとめたもので、機械工学および自動車工学の発展に寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として合格と認める。