

氏 名	柄 澤 隆 夫
授 与 学 位	博 士 (工 学)
学位授与年月日	平成 4 年 1 月 8 日
学位授与の根拠法規	学位規則第 5 条第 2 項
最 終 学 歴	昭 和 32 年 3 月 群馬大学工学部機械工学科卒業
学 位 論 文 題 目	内燃機関の燃料供給系における燃料液滴の挙動に 関する研究
論 文 審 査 委 員	東北大学教授 永井 伸樹 東北大学教授 箱守京次郎 東北大学教授 小林 陵二 東北大学教授 太田 照和

論 文 内 容 要 旨

発明以来めざましい発展を遂げてきた自動車は、これからも当分の間、身近で最も便利な交通手段、運搬手段として利用されるものと考えられる。しかし現在もなお自動車について解決しなければならない問題は山積みしており、特に駆動用原動機としての内燃機関には排気中の有害成分除去とエネルギー有効利用の両面からきわめて厳しい課題が課せられている。

機関に供給される液体燃料は微粒化、蒸発、空気との混合、加熱といった変化の過程をへて燃焼にいたる。在来型ガソリン機関では微粒化は気化器で行なわれ、蒸発・混合は気化器から吸気マニホールドをへて気筒内まで引き続いて行なわれる。こうした準備段階ともいべき過程は後に続く燃焼に深くかかわって影響するはずであるが、従来これらの分野に関してなされた研究は多くない。本論文は、これらの各過程に対応する基本特性を究明した結果を第 2 章～第 5 章に、キャブレタ性能の改善対策を第 6 章に、そしてそれを実機に応用した結果を第 7 章に記し、これら一連の研究を通していささかでも機関の進歩に寄与しようと意図したものである。以下に各章ごとの内容を要約する。

第 1 章は序論で、まず本研究の背景となる状況を詳説し、ついで本研究の意図するところを内容順に明らかにし、関連する従来の研究の状況を概観した。

第 2 章「液浸式噴霧粒径測定法の条件設定」では噴霧粒径測定法の一つ液浸法をとりあげ、その誤差要因の内容を実験的に明らかにし、次いで筆者の開発になる液体窒素凍結法と比較して測定精度の確認を図った。液体燃料を機関に供給する際に燃料を微粒化することは不可欠の手順であり、

その微粒化の程度を評価するには得られた液滴径を測定することもまた不可欠である。液浸法は本論文中でも各所で用いる方法で、従来一般に多用されているにもかかわらず、この方法に本質的に内包される誤差の要因のために精度上あいまいさを残していた。その誤差要因のうち、液粒捕捉の際に粒子捕集器の挿入によって曲げられた気流に乗って微粒子が採取装置から逃げることに、同じく粒子捕捉時に起こる受止液上で複数の粒子が衝突合体することの影響についてはこれまで明らかにされていなかった。究明のために行なった実験の結果、粒子の逃げにはそれほど考慮をほらなくても平均粒径の測定結果を大きく誤らせることはないことがわかった。他方、捕捉時の受止液面上での粒子の合体はたやすく起こる上に粒径誤差への影響が大きく、しかも気付かれにくい現象であること、受止液の粘性、液噴射量、捕捉距離などが適正にとられなければならないことなどを明らかにし、標準的な採取条件を測定した。その後、同一条件の水噴霧を液浸、凍結両方法で比較計測する実験を行い、霧化がよく微細粒の割合が増える高噴霧圧条件になるほど液浸法による粒径は凍結法によるより数十%も大きめに出ること、それは液滴の蒸発のためであること、しかし粒子捕捉距離を1m以内とすれば液浸法でもかなりの精度が期待できること、凍結法は蒸発、粒子の逃げ、粒子の合体がなくしかも粒子そのものの実体を写し取るため高精度で粒径測定の基準器になりうることなどを明らかにした。

なお、凍結法の開発の経緯、構造、特性の詳細は付録として巻末に採取した。

第3章「液体噴流の微粒化機構解明と噴霧特性の提示」では、内燃機関で要求される燃料噴霧の特性は機関の形式や要求される性能によってかなり変わり、その要求に対応するには液体の微粒化に関する基礎的な知見をもっていることが必要であるとの考えにもとづき、噴孔から流出する液の分裂現象を流出速度の広い範囲にわたって主として微粒化機構と発生粒径との関係に着目しつつ解析した。すなわち、0.22mmから1.93mmまで5種類の噴孔径の単一噴孔を用い、液の噴射速度を最低0.03m/sから最高140m/sまでとり得る限り広い範囲にわたって変えて実験を行なうことにより、微粒化機構の変化を液流速の低速側から滴下、平滑流、波状流、部分噴霧流、噴霧流という典型滴な5段階の領域に分類、解析し、それぞれの領域の粒径特性を分裂機構との関係のもとに説明した。現用の気化器のメインノズルからの燃料流出速度は最大出力時でも3m/s前後で、平滑流領域にあり、もし液の流出速度だけの微粒化であれば発生粒径は粗大に過ぎる。燃料噴射式の場合でも液の速度はせいぜい20m/s程度で、波状流領域には入るが、平均粒径において気化器の場合と大差はない。いずれも実用上は吸気速度の助けを借りて微粒化されていることがわかる。

第4章「管内気流中での噴霧液滴の挙動と浮遊率特性」は気化器を想定した気流管の内部での液滴の挙動に関する研究で、気流管中に供給される液粒群がどれほど気流に乗って機関の気筒まで運ばれるものかを、液の浮遊量を定義して実験と理論の両面から調べた。気流速度を数m/sから200m/sまで変えて浮遊量の実測を行い、気流速度に対する浮遊率変化の曲線を得た。浮遊率は気流速度の増加に対して単調に増加するものではなく、浮遊率曲線の変遷を液挙動の観察の結果6段階に分類した浮遊の機構にもとづいて説明した。浮遊量を求める理論式を液粒の飛跡と粒度分布をもとに誘導し、理論値がおおよそ実測値と一致することから理論式が浮遊液量の推定に用い得るものであることを明らかにした。浮遊率に及ぼす他の各種因子の影響の仕方は概略において、ノズ

ル径，気流管径が大きく，液流量，気流管長が小さいほど浮遊率が高くなるというようになる。また単純な直管型ノズルの他に衝突型ノズル，エルボ型ノズルなどによる浮遊率特性も明らかにしたが，現用の燃料噴射式に近いエルボ型ノズルで気流の順方向に噴射する場合には浮遊率は大変高いが，液滴径は大きいということがわかった。

第5章「熱面衝突における各種燃料液滴の挙動と加熱・蒸発特性」では，前章でも明らかにされたように機関に供給された燃料のかなりの量が吸気管壁面に付着するという事実にかんがみ，壁面付着燃料の挙動を解明した。現象の単純化のために壁面に衝突する単一滴を扱うこととし，その挙動を，従来とりあげられることの少なかった壁面への衝突速度の影響に重点をおいて，壁面温度を変えて実験的に調べた。内容は三部に分けられる。まず壁面への衝突時の滴の拡がりの挙動についてその拡がり径を求める演算処理の簡単な理論式の誘導を試みるとともに，拡がり径の実測実験を行ない，常温では理論値が実測値とよく一致することを示した。また，本実験の範囲内では乾いた面に衝突した滴は大部分の液ではねを起さず，濡れた面ではクラウン状のはねが起る最大拡がり径は面の性質の影響を受けない，滴の比重量，滴径および衝突速度が大きいほど最大拡がり径は大きくなる，などのことがわかった。第二に新発見の特異現象，すなわち常温をやや上まわる温度域で壁面温度の低い方が蒸発寿命が短くなるという現象が，低級アルコールを初めとする極性物質に現われることを示し，実験的手法によってその原因が水素結合による面の濡れ現象の変化にあり，周囲空気の湿度に応じて変化するある限界値以下の温度で液がより広く濡れ拡がるようになりその結果伝熱面積が増大するためであることを明らかにした。これは，内燃機関で，管壁付着燃料の蒸発促進のために通常行なわれている吸気管加熱の設定に際して壁面温度の決定の指針となる。三番目に，壁面の温度を広い範囲に変えて蒸発寿命を計測する実験を7種の燃料滴と水滴について行い，それらの蒸発特性を衝突速度の影響を考慮しながら明らかにした。熱面温度に対する液滴の蒸発寿命は複雑に変化する曲線を描き，それを典型的な蒸発挙動の変化と関連づけて論じた。液滴の蒸発挙動は低温側からレンズ状蒸発領域，核沸騰蒸発領域を含む付着蒸発領域，遷移領域，膜沸騰蒸発領域のように典型的に分類できることを示した。高温の膜沸騰蒸発領域では蒸発寿命は衝突速度によって異なる衝突時の液滴の分裂形態すなわち，ボス型分裂，粗大分裂，微細分裂と名付けた3種の分裂形態の影響を強く受けること，分裂形態の変化による分裂後の液滴径の大小によって寿命が決定されることを明らかにし，分裂形態の変化の境界はウェーバ数で整理できることを示した。

第6章「微粒化促進による燃料供給系の特性改善」では，現用の気化器における燃料の微粒化をさらに促進するための二種類の手段について，それらの特性を実験的に調べた。まず気化器において現在不可欠な要素とされているエアブリードの作用を明らかにした。メインノズル内の二相流は6種に分類される流動様式をもつこと，ピストン流と長ピストン流では二相流に間欠性が顕著に現われスラグ流とエマルジョン流ではほとんど現われないこと，二相流の間欠性は噴霧液量の間欠的な変動を引き起こすことによって供給燃料混合比の変動をもたらすこと，二相流の気相体積割合を増すと最大30%程度の噴霧粒径の減少をもたらすこと，ベンチュリのど部の空気流速が高い場合にはブリードエアによる微粒化促進効果は表われていないことなどを明らかにした。二番目に代替燃料としてアルコール燃料を使用した場合における冷間始動性悪化などの問題解決のために，燃料への

高圧静電気印加を試みた。その結果、微粒化促進のためには誘導帯電とコロナ帯電の二種の帯電様式が同時に働く必要があるとともに、帯電した液塊が強い電界中で静電気力を受けるという三要因が整わなければならないという静電気的作用の機構が明らかとなり、また本来微粒化の悪くなる空気流速が低い条件下の方が微粒化促進作用が著しい利点を生むこと、燃料の壁面付着の様子も微粒化の促進とともにノズル側壁膜流が減少し対面側が増加するというように変化することなどがわかった。

第7章「機関性能に及ぼす改善気化器の効果」では、実機を用いて前章で特性の明らかになったエアブリード付気化器と静電気印加アルコール気化器の機関運転特性に及ぼす影響を調べた。はじめに、エアブリードによるメインノズル内二相流は、平均としての機関トルクやHC濃度に影響しないこと、機関出力のサイクル変動は燃料量に間欠性の現れるピストン流のとき大きくなること、希薄限界はピストン流で狭まること、などの結果を得た。つぎにアルコール使用気化器への静電気印加によって、絞り弁開度が大きいときにトルクの空燃比依存性が希薄側に移動すること、サイクル変動もまた同様の傾向をもつこと、全ての条件下で始動性が良好となること、などを明らかにした。最後に、第8章「結論」において以上の結果のまとめを行なった。

審 査 結 果 の 要 旨

内燃機関に供給される液体燃料は、微粒化、蒸発、空気との混合、加熱などの過程を経て着火・燃焼に至る。気化器を使用する機関では、これらの過程の多くが気化器や狭い吸気マニホールド内で行われるため、管内での噴霧生成や噴霧流動は機関性能に主要な影響を与えるが、それらの基本特性についてはなお不明確な点が多い。本論文は、燃料の微粒化、管内噴霧流動、壁面付着燃料の加熱・蒸発などの基礎的事項や微粒化促進による気化器性能の改善について一連の研究を行った成果をまとめたもので、全編8章より成る。

第1章は序論で、本研究の背景と目的について述べている。

第2章では、本研究で採用した液浸式噴霧粒径測定法について、測定誤差要因を詳細に調べた結果から、高精度測定に必要な受止液の粘性、捕捉噴霧量、捕捉位置などの条件を規定し、汎用簡便な液浸法に対して有用な指針を与えている。

第3章では、微細液体噴流の分裂現象を広範囲な噴射速度にわたって観察し、微粒化機構と噴霧粒径の対応を調べた結果について述べている。従来分裂領域は噴流速度によって典型的な4領域に分類されていたが、これに新たに部分噴霧流領域を加えて5領域とし、各領域の特徴と粒径特性を分裂機構に基づいて説明している。

第4章では、管内気流によって生成される噴霧の運動をノズル形状と配置を変えて調べ、浮遊率特性を実測と理論の両面から解明している。その結果、浮遊量は液滴の飛跡と粒度分布から誘導される理論式から求められることを明らかにし、現象に関与する各種因子の影響を求めて浮遊率が高くなる条件を示している。

第5章では、噴霧液滴の管壁付着と蒸発特性について述べている。すなわち、壁面衝突による液滴の広がり径を実験と理論によって求め、壁面の乾湿による液滴の付着状態を比較し、次いで低級アルコール燃料では、常温をやや上まわる温度域で壁面温度の低いところで液滴の蒸発寿命が短くなる特異現象を発見し、周囲空気の湿度と関連して水素結合による壁面の濡れ状態が変化する結果、液滴の広がりが増大することがその原因であることを証明している。これは注目すべき成果である。さらに各種燃料液滴の蒸発現象を調べてそれぞれの特徴を比較し、液滴の寿命曲線を求めている。

第6章では、気化器の性能改善に関する二種類の手段について述べている。はじめに気化器におけるメインノズル内の二相流動状態と燃料供給との関係やエアブリードの効果を調べて最適条件を求め、次いで、アルコール燃料を使用したときの冷間始動性を向上させるために燃料に高電圧を印加して微粒化促進を試み、低負荷時では促進効果が著しいこと、帯電液滴の運動によって壁面付着状態が変ることを示している。第7章ではこれらの手段を実用機関に応用し、機関性能に及ぼす影響を調べて性能向上を立証している。第8章は結論である。

以上要するに本論文は、内燃機関の燃料供給系における噴霧生成と管内液滴挙動に関し、それらの機構と基本特性を解明して新たな知見を加え、機関設計と性能向上に資する方策と基礎データを提供したものであり、内燃機関工学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。