

(続紙 1)

京都大学	博士 (エネルギー科学)	氏名	姜 正鎬
論文題目	天然ガス PCCI 機関およびデュアルフェュエル機関の燃焼改善に関する研究		
(論文内容の要旨)			
<p>本論文は、天然ガスを燃料とするレシプロ機関 (エンジン) の高効率化を目的とし、主に定置式機関において実用化が期待されている予混合圧縮自着火 (PCCI) 機関、ならびに定置式機関、船舶用機関、自動車用機関など幅広い用途における利用が検討されているデュアルフェュエル機関について、運転可能な出力範囲の拡大や有害排出物質の低減を目指した研究の成果をまとめたもので、6つの章から構成されている。</p> <p>第1章は緒論であり、本研究の背景と目的について述べている。最初に、天然ガスは、オクタン価が高いことから主として予混合吸気火花点火方式により実用化されているが、圧縮比の制限や絞り損失が理由で熱効率の向上が容易でないことを示している。そこで、高効率化に有利とされる2つの燃焼方式、すなわち、予混合気を圧縮により自着火させる PCCI 燃焼、ならびに、天然ガス予混合気を吸入した後、軽油を噴射して着火させるデュアルフェュエル燃焼が注目されていることを述べ、それぞれの問題点について論じ、燃焼改善の必要性を指摘している。</p> <p>第2章では、PCCI 機関の運転可能な出力が低く、狭い範囲に限られる問題について、その理由を検討している。単気筒試験機関において圧縮比を 18 から 22 の間で種々に設定した実験の結果から、圧縮比が高いほど運転可能な吸気温度を低くできるが、急激燃焼 (圧力上昇率) の限界を与える燃料の量はほとんど変化しないことを確認した。この限界の近くでは、圧縮比に関わらず、着火時期と圧力上昇率との間にほぼ一定の関係があり、燃料量の増加に伴い着火時期が遅れ側から上死点に急激に近づき、圧力上昇率も急激に増加することを見出した。化学動力学計算の結果によると、着火時期および圧力上昇率が圧縮圧力よりも温度の影響を強く受け、圧縮温度経過をほぼ等しくすると着火時期と圧力上昇率が圧縮比によらず一致することを示した。さらに、燃料量の増加に伴う着火時期の急激な進角の理由を考察するため、着火遅れ予測式を組み込んだサイクルシミュレーションを用いて着火時期と燃料投入量との関係を求めた。その結果、燃焼効率および燃焼期間の変化に伴う残留ガス温度の変化が着火時期に強く影響することが分かった。</p> <p>第3章では、PCCI 機関のもう一つの問題点である未燃炭化水素 (HC) や一酸化炭素 (CO) など未燃物質の排出について、その排出源を見出す目的で、単気筒試</p>			

験機関において燃焼室形状を変更した試験を行い得られた結果をまとめている。燃焼室くぼみの口径、または上死点隙間を小さくすると、HC の排出が増え CO の排出が減る。一方、トップランドクレビスの容積を小さくすると CO には変化がなく、HC の排出が減る。これらのことから、HC の排出には、燃焼室内の隙間部分の影響が強く、一方、CO の排出は燃焼室空間の混合気の燃焼が主に寄与するとの推定を述べている。

第4章では、高熱効率化をねらい希薄な天然ガス予混合気を用いるデュアルフェュエル機関において問題となる未燃物質の排出を改善する方法について検討している。ここでは、単気筒試験機関による試験結果をまとめ、噴射量、噴射時期、噴射パターン（単段、二段噴射）など着火に用いる軽油の噴射条件の選択方法について述べている。通常単段噴射では、噴射時期を早めることが低窒素酸化物（NO_x）排出の点で有利だが、ごく低い NO_x を得ようとして -30degATDC といった非常に早い噴射時期を選択すると、未燃物質と燃焼変動の急激な増加を招く。単段噴射での熱発生過程の解析から、軽油蒸気を天然ガス予混合気中に適度に分散させることが低い未燃物質排出につながることを見出し、噴射を二段に分け、一段目噴射により軽油蒸気の分散を図り、二段目噴射を着火のために用いる方法の可能性を調べた。その結果、一段目噴射を単段噴射よりも早い時期（～ -40degATDC）に行い、二段目噴射時期を適切に設定すれば、単段噴射よりも少ない未燃物質の排出とごく低い NO_x 排出が得られることを示した。また、一段目噴射の量を多く、二段目を少なくすると、この効果がより顕著になることも示している。

第5章では、前章の研究に引き続き、噴射条件に加えて、燃焼室形状の選択による燃焼改善の可能性を調べている。単気筒試験機関を用いて、燃焼室くぼみ口径を 56mm から 80mm の範囲で変更して試験した結果、単段噴射のもとでは、噴射時期が早い時に、くぼみ口径を大きくすると主燃焼の熱発生が活発になり、未燃物質排出の低減が得られることを見出した。これは、流動が弱まることにより軽油蒸気の過剰な拡散を防げるためと推定した。しかし、前章で良好な性能を示した二段噴射を用いると、燃焼室くぼみ口径の影響は弱まる。

第6章は結論であり、本論文で得られた結論を整理するとともに、今後の課題について述べている。

(続紙 2)

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、天然ガスを燃料とするレシプロ機関の高効率化を目的とし、予混合圧縮着火 (PCCI) 機関、ならびにデュアルフェュエル機関について、運転可能な出力範囲の拡大や有害排出物質の低減を目指した研究の成果をまとめたもので、得られた主な成果は以下のとおりである。

1. PCCI 機関の運転可能な出力が低く、狭い範囲に限られる問題について、その理由を検討した。単気筒試験機関による実験、化学動力学計算、ならびにサイクル計算の結果から、圧縮比に関わらず、燃料の増加により急激に着火時期が早まり、ほぼ等しい燃料量で圧力上昇率の限界を迎えること、着火時期と圧力上昇率は圧縮温度経過に依存し、両者の間に一定の関係があること、残留ガス温度の変化が着火時期に影響を与えることなどを明らかにした。
2. PCCI 機関のもう一つの問題点、未燃物質 (未燃炭化水素、一酸化炭素) の排出原因を明らかにするため、燃焼室くぼみ、および隙間と未燃物質排出との関連を調査した。その結果、未燃炭化水素の排出は上死点隙間やトップランドクレビスにおける混合気の冷却が主原因であり、一酸化炭素は燃焼室空間から発生する可能性があることを示した。
3. 希薄天然ガス予混合気を用いるデュアルフェュエル機関における未燃物質の排出を低減するため、着火補助軽油の噴射条件の選択方法について検討を行った。単気筒試験機関による実験結果から、軽油蒸気を天然ガス混合気中に適度に分散させることが肝要であり、噴射を二段に分け、一段目の量を多く、ごく早い時期に噴射し、少量の二段目噴射をこれに応じた時期に行うことで未燃物質と窒素酸化物の排出がともに低減できることを見出した。
4. デュアルフェュエル機関の燃焼改善をさらに進めるため、燃焼室形状の選択について検討した。二段噴射においては燃焼室くぼみ口径の影響がごく小さいが、単段噴射では、くぼみ口径を大きくして空気流動を抑えると早い噴射時期において未燃物質の排出が抑えられることを明らかにした。

以上、本論文は、天然ガスを高効率のもとで利用するポテンシャルを持つ二つの燃焼方法の欠点を克服する方法について論じたもので、得られた成果は、学術上、實際上寄与するところが少なくない。

よって、本論文は博士 (エネルギー科学) の学位論文として価値あるものと認める。また、平成 25 年 8 月 27 日に実施した論文内容とそれに関連した試問の結果合格と認めた。

なお、本論文は、京都大学学位規程第 14 条第 2 項に該当するものと判断し、公表に際しては、当該論文の全文に代えてその内容を要約したものとすることを認める。

論文内容の要旨及び審査の結果の要旨は、本学学術情報リポジトリに掲載し、公表とする。特許申請、雑誌掲載等の関係により、学位授与後即日公表することに支障がある場合は、以下に公表可能とする日付を記入すること。

要旨公開可能日： 年 月 日以降