

学位論文題名

希薄燃焼ガス機関に関する実験的研究

学位論文内容の要旨

近年地球規模の問題として大気汚染とエネルギー問題が指摘され、それに対する対応が急がれている。

その中において、天然ガスは石油に比較して燃焼排出ガスがクリーンな燃料として、また、コージェネレーション技術は省エネルギー化に対する有効な技術としてそれぞれ注目されている。そこで、天然ガスによってコージェネレーションシステムの運転が可能となれば熱あるいは電力供給システムとしての環境適合化と高効率化とを一層促進し得ることから、コージェネレーション用ガス機関の開発が切望されて来た。一方、ガス機関での希薄燃焼においては、高価な触媒が不要となることに加え、高熱効率化とノッキング限界の上昇による高出力化とが期待できる反面、燃焼の不安定性と失火という欠点が存在する。

本論文は、上述の状況を背景に副室式希薄燃焼ガス機関の開発を最終目標とし、その点火、燃焼、出力、排出ガスの各特性に対する解明と最適化とに関して研究を行った結果について論述したものであり、7章から構成されている。

第1章は序論であって、本研究の目的及び得られた結果の概要について述べるとともに、研究の背景、ならびに希薄燃焼ガス機関の研究動向について記述した。また、三元触媒と希薄燃焼の比較、および希薄燃焼の特性と課題についても言及した。

第2章では、供試機関、実験に用いた装置ならびに測定方法について記述した。特に本研究では、各種機関でのガス燃焼特性を解明するため、三種類の機関を試作して研究に供した。また、ガス組成を任意に変えることが可能な燃料ガス混合装置、ガス燃焼を基礎的に解明するための定容燃焼装置を製作した。

第3章では、単室式と副室式燃焼方式における希薄燃焼特性を比較検討した結果について論述した。まず、単室式希薄燃焼方式においては、点火数およびスワール強さの適合化など、主要燃焼因子のチューニングにより、希薄限界の延長あるいは希薄側での熱効率の改善が若干可能になるものの、 NO_x の著しい増加のため、高効率化と、低 NO_x 化との両立は極めて困難であることを明らかにした。

一方、TGP(Turbulence Generating Pot)燃焼方式をも含めて副室式燃焼方式について検討した結果、副室式希薄燃焼方式を用いることにより、高効率化と低 NO_x 化の両立を性能上達成し得ることを実証した。この場合希薄燃焼での熱効率の改善は、主として副室内ガスの燃焼により主室内希薄混合気の点火遅れならびに燃焼期間が増加しないことに、また NO_x の低減は、主室内での希薄燃焼限界が大幅に拡大することにそれぞれ起因することを併せて明らかにした。

なお副室式希薄燃焼に関しては、定容燃焼容器を用いた基礎実験によってもその特性と有効性を検証した。すなわち、副室内に燃料ガスを供給することによって、副室内の点火遅れが短縮すると同時に、それによって生じた大規模な火炎ジェットが主室に噴出し、主室内希薄混合気の着火と燃焼を著しく促進することを示した。

第4章においては、副室式希薄燃焼機関における副室の設計諸元と機関性能の関係について記述した。基本諸元である副室容積については、その増加にともない熱効率と NO_x 濃度の上昇が同時に得られるため、副室容積比は数%オーダーに減少させると同時に、副室噴口数と噴口径の最適化等の手段を併用することによって NO_x と熱効率の同時改善に成功した。なお、副室容積の増加にともなう熱効率と NO_x の増加は、副室内の NO_x 増加副室からの火炎ジェットのエネルギ増加による主室内混合気の燃焼期間の短縮にそれぞれ支配されることを明らかにした。

一方、燃焼を大きく支配する副室内空燃比に関連して、圧縮行程では主室内希薄混合気の副室内流入に起因する副室内混合気の希薄化現象が生ずるため点火時期進角によって点火が安定する特性が得られること、また副室への供給ガス量には、 NO_x が最大となる値が存在すること等も併せて明らかにした。

第5章では、副室式希薄燃焼機関における主室の設計諸元と性能の関係について論述した。

主室形状の主因子であるピストン開口径については、その拡大にともない、 NO_x と燃焼期間はわずかながら増加するものの、 HC の低減と熱効率の著しい向上が得られることを見出した。この場合の NO_x 低減には、主室内スワールの抑制により、また HC の更なる改善には燃焼室クレビス容積の縮小と副室噴口角度の増大によりそれぞれ対応できることを実証した。なお、通常のスワールが存在しない場合であっても、シリンダ内に縦渦が発生するような場合には、熱効率の向上は得られるものの、 NO_x が増加する傾向が生ずることも併せて示した。

第6章では、燃料ガスの組成と希薄燃焼特性あるいは機関性能との関係について記述した。ガス機関は種々のガス燃料で運転されることが想定される。それらの燃料は、大別してメタンに窒素等の不活性ガスが混合したガス、プロパンやブタンに水素が添加されたガス、ならびにプロパンガスである。

メタンに対する不活性ガスの混合割合が増加すると、燃焼期間の延長と NO_x 低下とが見られると共に希薄燃焼限界が減少すること、またその程度は不活性ガスが窒素の場合に比べて、二酸化炭素の方が著しいこと等を明らかにした。

ガス燃料中の水素については、その混合割合の増加によって、希薄燃焼限界の拡大、 NO_x 増加とが誘起されることを示した。

更に、プロパンにおいては、メタンに比較して燃焼期間が短縮するため、熱効率は向上するものの NO_x と煙の増加が得られるが、とくに後者の煙に関しては、副室への混合気供給量の最適化、あるいは副室内でのガス混合を促進する副室形状の採用によってその低減が可能であることを実証した。

第7章は、本研究の結論であって、得られた結果を総括した。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 宮 本 登
副 査 教 授 村 山 正
副 査 教 授 伊 藤 獻 一
副 査 教 授 真 田 雄 三

学位論文題名

希薄燃焼ガス機関に関する実験的研究

近年地球規模の問題として大気汚染とエネルギー問題が指摘され、それに対する対応が急がれている。

その中において、天然ガスは石油に比較して燃焼排出ガスがクリーンな燃料として、またコージェネレーション技術は省エネルギー化に対する有効な技術としてそれぞれ注目されている。そこで、天然ガスによってコージェネレーションシステムの運転が可能となれば熱あるいは電力供給システムとしての環境適合化と高効率化とを一層促進し得ることから、コージェネレーション用希薄燃焼ガス機関の開発が切望されて来た。

本論文は、このような状況を背景に、副室式希薄燃焼ガス機関の開発を目標とし、その点火、燃焼、出力、排出ガスの各特性に対する解明と最適化とに関して研究を行った結果について論述したものであり、7章から構成されている。

第1章は序論であって、本研究の目的、得られた結果の概要、研究の背景、ならびに希薄燃焼ガス機関の研究動向等について記述している。

第2章では、供試機関、実験に用いた装置ならびに測定方法について記述している。特に本研究では、各種機関でのガス燃焼特性を解明するため、三種類の機関を試作して研究に供している。

第3章では、単室式と副室式燃焼方式における希薄燃焼特性を比較検討した結果について論述している。まず、単室式希薄燃焼方式においては、点火数およびスワール強さなどの主要燃焼因子のチューニングにより、希薄限界の延長あるいは希薄側での熱効率の改善が若干可能になるものの、 NO_x の著しい増加のため、高効率化と低 NO_x 化の両立は困難であることを明らかにしている。

一方、TGP(Turbulence Generating Pot)燃焼方式をも含めて副室式燃焼方式について広範に検討し、副室式希薄燃焼方式において高効率化と低 NO_x 化の両立が達成可能であることを実証している。この場合希薄燃焼での熱効率の改善は、主として副室内ガスの燃焼によって主室内希薄混合気の点火遅れならびに燃焼期間が増加しないことに、また NO_x の低減は、主室内での希薄燃焼限界が大幅に拡大することにそれぞれ起因することを明らかにしている。

第4章においては、副室式希薄燃焼機関における副室の設計諸元と機関性能の関係について記述している。基本諸元である副室容積については、その増加にともない熱効率と NO_x 濃度の上昇が同時に得られるため、副室容積比は数%オーダーに減少させると同時に、

副室噴口数と噴口径を最適化することによって NO_x と熱効率の同時改善に成功している。なお、副室容積の減少にともなう特に NO_x の減少は、副室内で生成される NO_x 量の減少に支配されることを明らかにしている。

第5章では、副室式希薄燃焼機関における主室の設計諸元と性能の関係について論述している。主室形状の主因子であるピストン開口径については、その拡大にともない、 NO_x と燃焼期間はわずかながら増加するものの、 HC の低減と熱効率の著しい向上が得られることを見い出している。この場合の NO_x 低減には、主室内スワールの抑制により、また HC の更なる改善には燃焼室クレビス容積の縮小と副室噴口角度の増大によりそれぞれ対応できることを実証している。なお、通常のスワールが存在しない場合であっても、シリンダ内に縦渦が発生するような場合には、熱効率の向上は得られるものの、 NO_x が増加する傾向が生ずることも併せて示している。

第6章では、燃料ガスの組成と希薄燃焼特性あるいは機関性能との関係について記述している。まず、メタンに対する不活性ガスの混合割合が増加すると、燃焼期間の延長と NO_x 低下とが見られると共に希薄燃焼限界が減少すること、またその程度は不活性ガスが窒素の場合に比べて、二酸化炭素の方が著しいことを明らかにしている。ガス燃料中の水素については、その混合割合の増加によって、希薄燃焼限界の拡大、 NO_x 増加とが誘起されることを示している。

更に、プロパンでは、その混合によりメタンの場合に比較して燃焼期間が短縮するため、熱効率は向上するものの NO_x と煙の増加が得られるが、特に後者の煙に関しては、副室への混合気供給量の最適化、あるいは副室内でのガス混合を促進する副室形状の採用によってその低減が可能であることを実証している。

これを要するに、著者は、希薄燃焼ガス機関において低 NO_x 化と高効率化とを同時に達成するための系統的な新知見を得ており、内燃機関工学および燃焼工学の進歩に寄与するところ大なるものがある。

よって著者は、北海道大学博士（工学）の学位を授与される資格ある者と認める。