

## 学位論文の要旨

氏名

伏見 和代

学位論文題目

バイオブタノール混合燃料のディーゼル燃焼特性に関する研究

本論文は、セルロース系を含む有機物から発酵などによって製造されるバイオブタノールをディーゼル燃料として利用するために、ブタノール混合燃料のディーゼル燃焼・排ガス特性に及ぼすブタノール異性体の影響、アルデヒド類の排出特性について実験的に検討し、さらに、ブタノール混合燃料の混合基材としてのバイオディーゼル燃料（BDF）の利用、および混合基材として軽油を用いる場合の着火性・潤滑性の改善について実験的に検討し、これらの結果をまとめたものである。

第1章では、研究背景として、我が国を取り巻くエネルギー事情や法規制について整理を行い、バイオブタノールのディーゼル代替燃料としての可能性について述べた。また、ディーゼル代替燃料としての液体燃料（バイオアルコールおよびバイオディーゼル燃料）の文献レビューと課題の整理を行い、バイオブタノールのディーゼル燃料利用の意味についてまとめた。章の最後に、本研究の目的と学位論文の構成について述べた。

第2章では、本研究に用いた実験装置と実験方法、データ解析および整理方法について述べた。

第3章では、ブタノール混合燃料のディーゼル燃焼・排ガス特性に及ぼすブタノール異性体の影響を明らかにするために、ブタノール異性体の中で1-ブタノール、2-ブタノール、イソブタノールの3つをJIS 2号軽油に対して40 mass % 混合した燃料を作製し、その燃料性状の測定とディーゼル燃焼実験を行った。その結果、分子の側鎖性が強くなる1-ブタノール、2-ブタノール、イソブタノールの順に着火遅れが長くなること、それに伴って低負荷における排ガス中のHC・CO濃度が高くなるものの、中・高負荷におけるNO<sub>x</sub>・Smoke濃度に有意な差が無いこと、ジャーク式燃料噴射ポンプのディーゼル機関において何ら改造を加えない場合、3つのブタノール異性体の中で1-ブタノールが混合用燃料として最も有利であることを示した。

第4章では、ブタノール混合により排出増加が懸念されるアルデヒド類に対し、ホルムアルデヒド、アセトアルデヒド、アクロレインの3種についてはFT-IR法を用い、ブチルアルデヒド、イソブチルアルデヒドの2種についてはGC/FID法を用いて測定を行い、1-ブタノール混合軽油のディーゼル燃焼におけるアルデヒド排出特性について検討を行った。その結果、1-ブタノール混合割合の増加に伴い、排ガス中のアルデヒド類が特に低負荷において増加するが、高負荷になるほど増加割合が小さくなることを明らかにした。特に、アクロレインは全ての負荷において数ppmの濃度であることを示した。さらに、イソブタノール混合軽油の場合も実験を行い、1-ブタノールに比べ着火性の劣るイソブタノールを混合させた場合、燃焼の中間生成物としてのイソブチルアルデヒドが多く排出されることを示した。

第5章では、ブタノール混合燃料の混合基材としてBDFの利用を検討した。BDFとして着火性に優れたパーム油メチルエステル(PME)を選定し、1-ブタノールとの混合燃料を製造し、ディーゼル燃焼実験を行い、軽油混合の場合と比較した。その結果、ブタノール混合割合が同じ場合、PME混合の方が着火性、排ガス特性に優れ、機関回転の安定性、熱効率、燃焼・排ガス特性の観点から1-ブタノール混合割合の上限値が、軽油混合の場合の40 mass %を上回り、50 mass % となった。しかし、PMEは、流動点が12.5 °Cと高く、冬季や寒冷地での利用ができないので、BDF製造時に使用するメタノールを2-ブタノールに替えたパーム油 2ブチルエステル(P2BE)を新たに製造し、実験検討した。その結果、P2BEは、流動点が-2.5 °Cまで改善し、PMEと同様に着火性に優れ、軽油に比べ排ガス中のHC・CO・Smokeを低減でき、ブタノール混合燃料のベース燃料として有望であることを示した。

第6章では、ブタノール混合燃料の着火性と潤滑性の改善の検討を行った。着火性の改善として、ブタノール40 mass % 混合軽油に2種類のセタン価向上剤(2EHNおよびDTBP)の添加を試みた結果、これらはいずれも同程度の着火改善を示し、セタン価向上剤添加は有効であることを示した。また、ブタノール混合燃料の混合基材として軽油を用いる場合に対して、着火性・潤滑性を同時に改善する方法としてPMEの添加が考えられるが、この場合、流動点が上がってしまうことが問題となるため、PMEの代わりとして第5章で製造・検討したP2BEの利用を試みた。その結果、流動点をJIS 2号軽油程度に保ちながら、ブタノール混合軽油の着火性・潤滑性を向上させることができた。

第7章では、本研究の結論を総括した。

## Summary of Doctoral Dissertation

Title of Doctoral Dissertation:

Study of the diesel combustion characteristics of bio-butanol blended fuels

Name: Kazuyo Fushimi

Bio-butanol is derived from organic substances such as cellulosic material via fermentation process. In order to utilize bio-butanol as a diesel fuel, the impacts of butanol isomers on the diesel combustion and exhaust emission characteristics of butanol blended fuels are investigated. Additionally, the aldehydes emissions of butanol blended fuels and the applicability of biodiesel fuel (BDF) as base material for blending with butanol are studied. Moreover, the improvements of ignitability and lubricant ability needed for the use of gas oil as base material for blending with butanol are experimentally considered. This thesis is the report which comprehensively organizes these results.

In Chapter 1, organizing information about the energy situation and regulations in Japan that stand for the background of this work was done and possibility of bio-butanol as diesel alternative fuel was mentioned. Additionally, literatures reviews about the liquid fuel such as bio-alcohol and biodiesel fuel were carried out and wrote up the agendas and significance of application of bio-butanol as diesel fuel. At the end of this chapter, the objectives and the constitution of this thesis are expressed.

Chapter 2 describes the experimental apparatus, procedures and data analysis.

In Chapter 3, to clarify the impacts of butanol isomers on diesel combustion and exhaust emission characteristics of butanol blended fuel, 1-butanol, 2-butanol and iso-butanol were blended with gas oil at 40 mass %, the physical properties of the blended fuels were measured, and the diesel combustion and exhaust emission characteristics were investigated using a DI diesel engine. As a result, ignition delay periods get longer in order of 1-butanol, 2-butanol and iso-butanol, in other words, branched chain structures of butanol molecules. Although HC and CO emissions increase at especially low load conditions due to the longer ignition delay, NO<sub>x</sub> and Smoke emissions at middle and high load conditions are almost the same as that of gas oil. From the experimental results, it is concluded that 1-butanol is the best for blending with gas oil when the DI diesel engine with the jerk type fuel injection pump is used without modification.

In Chapter 4, for studying concerned the increase of aldehydes emissions originated from butanol blending, exhaust gases of 1-butanol blended gas oil were analyzed for detecting formaldehyde and acetaldehyde using FT-IR and for detecting butyraldehyde and isobutyraldehyde using GC/FID. As a consequence, although aldehydes emissions certainly increase with butanol blending ratio at low load conditions, they decrease with increase of the loads. Especially, acrolein was detected in a few ppm throughout all load conditions. Moreover, when fueled with gas oil mixed with iso-butanol which showed lower ignitability, isobutyraldehyde as intermediated product was shown to be emitted more than that with 1-butanol.

In Chapter 5, utilization of BDF as a base material for blending with butanol was discussed. Palm oil methyl ester (PME) was selected as base material and blended with 1-butanol, and then the experiment was done. Comparing the result with the case of gas oil as base material, PME showed better ignitability and emission characteristics. Moreover, from the viewpoints of engine rotation stability, combustion and emission characteristics, and thermal efficiency, the upper limit of 1-butanol blending ratio with PME showed 50 mass % which is 10 mass % more than that with gas oil. However, PME has high pour point, which is 12.5 degrees Celsius and isn't applicable for winter season or cold weather region. For the improvement of pour point, by altering alcohol, which is used for producing BDF, from methanol to 2-butanol, P2BE (Palm oil 2-butyl ester) was newly produced and experimented. As a result, pour point of P2BE showed -2.5 degrees Celsius and ignitability of P2BE is as good as PME. Additionally, HC, CO, Smoke emissions are decreased compared to gas oil. Therefore, P2BE was described to be promising as base material for blending with butanol.

In Chapter 6, improvements of ignitability and lubricant ability of butanol blended fuels were considered. For the improvement of ignitability, 2 kinds of cetane number improver (2EHN and DTBP) were added into 1-butanol 40 mass % blended gas oil. Each improver showed almost same improvement effect and addition of cetane number improver was shown to have beneficial effect. For the simultaneous improvement of ignitability and lubricant ability for the use of gas oil as base material for blending with butanol, addition of PME is thought to be easy way. However, there is a problem about higher pour point caused by PME addition. Therefore, P2BE created in chapter 5 was tried to alter PME. As a result, ignitability and lubricant ability were improved keeping pour point as low as standard of JIS NO.2 gas oil with using P2BE.

Chapter 7 shows the conclusions of this study.