

## 学位論文の要旨

氏名	板倉 朗
学位論文題目	ココナッツ油バイオディーゼル燃料のディーゼル燃焼特性に関する研究

本論文は、ココナッツ油バイオディーゼル燃料に対し、その低温流動性を改善し、ライフサイクルCO<sub>2</sub>削減を図り、より有効なディーゼル代替燃料とするために、バイオブタノールを含む種々のアルコールによりココナッツ油エステル燃料を製造し、燃料性状、ディーゼル燃焼・排ガス特性について実験的に検討するとともに、さらなる燃焼改善のために、製造したココナッツ油エステル燃料にバイオブタノールを混合させる方法の効果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、本研究の背景となっている世界的な環境問題である地球温暖化の現状と今後、および対策としての我が国を取り巻くエネルギー事情を論述し、対策の一つとしての再生可能エネルギーであるバイオディーゼル燃料（BDF）について、対策の効果と実用化の可能性について述べた。また、BDFの文献レビューにより課題・検討項目を整理し、アルコール混合燃料の優位性をまとめた。

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、ココナッツ油BDFの低温流動性の改善とバイオアルコールの併用利用を目的として、炭素数4までのアルコール（エタノール、1-プロパノール、1-ブタノール、イソブタノール）によりエステル変換して製造したココナッツ油エステル燃料に対して、燃料性状を測定するとともに、直噴式ディーゼル機関に適用して燃焼・排ガス特性に関する実験を行い、既存のメタノールによるココナッツ油メチルエステル（CME）、JIS 2号軽油と比較検討した。その結果、製造に用いたアルコールの炭素数や側鎖性が増加するほど流動点が低下し、検討対象の5つのココナッツ油エステル燃料の中で、1-ブタノールによるココナッツ油ブチルエステル(CBE)の流動点は-10℃、イソブタノールによるココナッツ油イソブチルエステル(CiBE)の流動点は最も低い-12.5℃で、CiBEはCMEに比べ7.5℃改善し、軽油の流動点-15℃に近づいた。また、製造に用いたアルコールの炭素数や側鎖性が増加するほど排ガス中のHC、CO、Smoke

は若干増加するものの、軽油より低減した。実験の結果から、バイオブタノールにより製造したCBEおよびCiBEはディーゼル代替燃料として有望であり、低温流動性の点からはCiBE、エステル変換の容易さからはCBEが有望であることを示した。

第4章では、ココナッツ油BDFの排ガス中のSmokeの低減を図るため、ココナッツ油メチルエステル（CME）にバイオアルコールである1-ブタノールを40mass%混合させた燃料の性状を測定し、直噴式ディーゼル機関に適用して実験を行い、ディーゼル燃焼・排ガス特性について、CME、およびJIS 2号軽油の場合と比較検討した。加えて、ベース燃料を、JIS 2号軽油、なたね油メチルエステル（RME）、パーム油メチルエステル（PME）とする1-ブタノール40mass%の混合燃料についても実験を行い、ベース燃料の違いを検討した。その結果、CMEをベースとした混合燃料は、流動点が $-12.5^{\circ}\text{C}$ で、CMEより $7.5^{\circ}\text{C}$ 改善し、CMEに比べ着火遅れは長くなるが、全ての負荷において回転が安定した運転ができ、熱効率はCMEや軽油とほぼ同じ値となった。また、CMEをベースとした混合燃料は、PMEやRMEをベース燃料とするものに比べ、着火遅れが長くなり、低負荷でHC・COが高くなるが、高酸素含有率のためにSmokeが最も低減し、ブタノール混合はCMEの場合が最も有効であることを示した。

第5章では、第3章で製造し検討したCBEおよびCiBEの更なる低温流動性の改善と排ガス中のSmoke低減をはかるため、バイオブタノールの混合利用を検討した。ここでは、CBEに1-ブタノールを10~40mass%混合した燃料の性状を測定するとともに、ディーゼル燃焼・排ガス特性について、1-ブタノール混合割合の影響について実験を行い、CME、CBE、JIS 2号軽油の場合と比較検討した。その結果、CBEの流動点は1-ブタノール混合割合が増加するほど低下した。1-ブタノール混合CBEは、1-ブタノール混合割合の増加に伴って着火遅れが長くなるため、排ガス中のHC・CO濃度が増加するが、1-ブタノール30mass%混合までは軽油と同等以下の値を示し、1-ブタノール20mass%CBEと1-ブタノール20mass% CMEの間では殆ど差はなかった。また、Smoke濃度は高負荷で1-ブタノール混合割合が増加するほど低減し、NO<sub>x</sub>濃度は1-ブタノール混合割合が増加しても増加は見られなかった。流動点、熱効率、燃焼・排ガス特性を総合的に考慮すると、CBEに対する最適な1-ブタノール混合割合は20~30mass%である。以上の結果から、1-ブタノールにより製造したCBEに1-ブタノールを混合させることによって、流動点と排ガス中のSmokeを改善することができ、この混合燃料はディーゼル代替燃料として有望であることを示した。CiBEにイソブタノールを混合した場合も定性的には同様の結果が得られると推定される。

第6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 Coconut Oil Biodiesel Fuel

Name: Akira Itakura

With the objective of improving the effectiveness of biodiesel fuel (BDF) manufactured from coconut oil for the cold flow properties and life cycle CO<sub>2</sub> emissions, experimental studies were conducted by manufacturing coconut oil ester fuels with various types of alcohol including Bio-butanol. Experimental studies were then conducted to analyze their fuel properties, diesel combustion and emission characteristics. In order to further improve combustion, the effects of blending manufactured coconut oil BDF with bio-butanol were experimentally considered.

In Chapter 1, this paper also sets forth the current state of global warming, a worldwide environmental problem that forms the backdrop for this study, and also states potential future countermeasures in relation to Japan's energy situation. The paper also states the possible benefits and feasibility of renewable energy sources like Bio-Diesel Fuel (BDF) as one potential countermeasure. Moreover, I have also consolidated potential issues and considerations based on reviewing BDF literature and have summarized the superiority of alcohol-blended fuels.

Chapter 2 describes the experimental apparatus, procedures and analysis.

Chapter 3 discusses experiments in improving the cold flow properties of coconut oil BDF and in reducing the lifecycle CO<sub>2</sub> emission by using bio-alcohol at BDF manufacturing, varying the types of alcohol used at transesterification. Coconut oil ester fuels were made from 4 alcohols (ethanol, 1-propanol, 1-butanol, iso-butanol) which do not have more than 4 carbons. The fuel properties of coconut oil ester fuels were measured and the combustion and exhaust gas characteristics were investigated using a direct injection diesel engine. These results were compared with JIS No.2 diesel fuel (gas oil) and coconut oil methyl ester (CME) made from methanol. This result shows that the more carbons and side chain properties increased the branching of the molecular structure, the more pour point lowered. Of the 5 considered coconut oil ester fuels, the pour point of coconut oil butyl ester (CBE) made with 1-butanol was -10 °C, the pour point of coconut oil isobutyl ester (CiBE) made with iso-butanol was the lowest at -12.5 °C, which means it improved 7.5 °C compared to CME and approached to -15 °C which is fuel diesel pour point. In addition to that, the more number of carbons and sidechains of Alcohol increased, the a little bit more HC, CO and Smoke in exhaust gas, but it lowered than gas oil. We found that CiBE was the most effective as alternative diesel fuel of the 5 coconut oil ester fuels tested in our experiments. From a cold flow perspective, the ease of converting CiBE, ester showed that CBE was most promising.

In Chapter 4, to reduce smoke emission from coconut oil methyl ester (CME), the fuel properties were measured compared to coconut oil methyl ester (CME), mixed 40mass% 1-butanol as bioalcohol, and compared these to CME and JIS No.2 diesel fuel about exhaust gas characteristics after experiment using a direct injection diesel engine. In addition to that, we compared also difference of base fuel, when we use 1-butanol 40mass% blend fuels based on JIS No.2 diesel fuel, rapeseed oil methyl ester (RME) and Palm oil methyl ester (PME). As a result, the blend fuels based on CME had its pour point at -12.5 °C and we found that it improved 7.5 °C than CME, and that

it could work constant engine speed stable operation with all loads, then thermal efficiency was same level with CME and diesel fuel, though ignition was delayed than CME. Furthermore, compared to the blend fuels based on PME and RME, the blend fuel based on CME delayed ignition and increased HC, CO with lower load than PME or RME with 40mass% 1-butanol, but smoke decreased most in the test fuels due to the high oxygen percentage content, it was shown that butanol mixture was most effective with CME.

In Chapter 5, to improve the cold flow properties and decrease smoke from exhaust gas as mentioned in Chapter 3, we considered a blended use of bio-butanol. Here, while measuring the fuel characteristics of CBE mixed with 1-butanol at 10-40%mass, as to diesel combustion and exhaust gas, we experimented on the effect of 1-butanol blend ratio, and then compared and considered situations using CME, CBE JIS No.2 diesel fuel. As a result, the more mixed ratio of 1-butanol increased, the more pour point of CBE lowered. In the case of 1-butanol mixed CBE, HC and CO density in exhaust gas increased, while in the case of less than 30mass% mixed butanol, the density was not more than gas oil level. In the case of 1-butanol 30mass% mixed CBE and 1-butanol 30mass% mixed CME, there were not obvious difference. Regarding of smoke density under high load, the more mixed rate of 1-butanol increased, the more this density decreased. On the other hand, NOx density didn't changed, even mixed rate of 1-butanol rate increased. When we comprehensively considered about pour point, thermal efficiency and properties of combustion and exhaust gas, we found that most suitable mixed rate of 1-butanol is 20-30mass%. From the above results, pour point and smoke in exhaust gas could be improved by mixing 1-butanol and CBE, manufactured with 1-butanol, and this combined fuel would be efficient as diesel alternative fuel. Even when mixing isobutano with CiBE, it can be estimated that the obtained qualitative result would be the same.

Chapter 6 shows the conclusion of this study.