



Study on Combustion and Exhaust Gas Emissions of Jatropha Oil Emulsion Fueled Diesel Engine

NGUYEN KIM BAO

(Degree)

博士 (工学)

(Date of Degree)

2015-03-25

(Date of Publication)

2016-03-01

(Resource Type)

doctoral thesis

(Report Number)

甲第6338号

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/D1006338>

※ 当コンテンツは神戸大学の学術成果です。無断複製・不正使用等を禁じます。著作権法で認められている範囲内で、適切にご利用ください。



論文内容の要旨

氏 名 NGUYEN KIM BAO

専 攻 MARITIME SCIENCES

論文題目 (外国語の場合は、その和訳を併記すること。)

Study on Combustion and Exhaust Gas Emissions of Jatropha Oil Emulsion
Fueled Diesel Engine

(ジャトロファ油エマルジョン燃料を用いたディーゼルエンジンの燃焼と排ガス性能に関する研究)

指導教員 Professor Tomohisa Dan

Jatropha oil was identified as a leading candidate for an alternative fuel among various non-edible vegetable oil. However, it was revealed that the combustion of Jatropha oil in diesel engine resulted in higher particulate, CO, and HC. Additionally, some operational problems such as injector coking, severe engine deposits, gum formation, and oil thickening were reported in long term test. This is resulted from the high viscosity, poor volatility, large molecular weight and bulky molecular structure of the fuel. Therefore, the combustion of Jatropha should be improved by investigation some methods.

In this study, diesel engines fueled with Jatropha based fuel were studied with double injections, or Jatropha water emulsion with double injection, or Jatropha hydrogen peroxide emulsion. The experiments were conducted on high-speed, four-stroke, direct injection diesel engines. To study effect of double injections, a common rail fuel system diesel engine modified from mechanical fuel system were used. For the Jatropha hydrogen peroxide emulsion fuel, I used a mechanical fuel system diesel engine. The modified common rail diesel engine, however, remains mechanical injector that injects fuel into the combustion chamber. The contents of the dissertation are included:

Chapter 1, I present the consideration of environmental issues including greenhouse gases emission and global climate change; some common air pollutants; global fuel production and consumption; Fuel pricing trend. Besides this, the fundamentals of diesel engine emissions are also introduced for briefly understanding. Furthermore, research backgrounds including information of Jatropha oil in general and literature review are given.

Chapter 2 includes research objective, theoretical considerations and infrastructure of the research. In the research objective I present briefly the purpose of each sub-study. Then, the method of calculation some parameters is described in theoretical considerations. Finally, the information of apparatus and devices using to conduct the experiments are presented in the last section.

In chapter 3, I presented the combustion, performance and emissions characteristics of diesel engine fueled with neat Jatropha oil with double injections. In this chapter, the timings of double injections in term of main-injection and after-injection were varied to verify the optimum timings of the engine fueled with neat Jatropha oil. After finding the optimum timing for double injections, I changed the injection quantity the after-injection of double injections to test the engine. The results are briefly summarized as follows.

1. Effect of double injection timings

i. Retarded double timings significantly reduced the peaks of combustion pressure, peaks of HRR, and shifted the combustion to the later phase. Late double timings increased HRR at the later combustion stage.

ii. There was slight reduction of ID for retarded double timings at low load; ID increased slightly at 6.0 kW due to imperfect gas exchange. Optimum double injection timings for BTE were between m-11,a+1.5 and m-13,a-0.5.

iii. Emissions of CO₂, CO, HC, Smoke and dust were lower at timings between m-11,a+1.5 and m-13,a-0.5. Late double timings significantly reduced emissions of NO_x.

Overall, the optimum injection timings for combustion, performance, and emissions were between m-11,a+1.5 and m-13,a-0.5.

2. Effect of amount of after-injection

Timing of m-11,a+1.5 was tested with small and large amounts of after-injection. We found a considerably influence to the combustion, performance and emissions.

i. Peaks of cylinder pressure and HRR were remarkably reduced with m-11,a+1.5-L at 3.0 and 4.5 kW. Otherwise, they were comparable at 6.0 kW with a minor reduction of peak HRR with m-11,a+1.5-L.

ii. When compared with m-11,a+1.5-S, the injection pattern of m-11,a+1.5-L reduced BTE especially at higher engine loads.

i. For m-11,a+1.5-S, reduction of emissions of CO₂, CO, smoke and dust concentration was observed, while it increased emissions of NO_x, and HC.

In chapter 4, I used the Jatropa water emulsion fuel and double injections to investigate the combustion, performance, and emissions characteristics of diesel engine. Jatropa water emulsion was created by mixing 10% of water with Jatropa. The engine was fed with LO, and JO with single injection at the injection timing set by the engine Maker of -17 deg. CA. ATDC for baseline data. To investigate the effect of injection pattern and the JWE, the first injection was kept at -23 deg. CA ATDC and the second injection was set at 0, +3, +6 deg. ATDC for double injection mode. After a preliminary investigation for the lowest smoke opacity, the optimum timing of second injection was chosen to conduct experiments for measurement of dust, soluble and in-soluble organic fraction with different injection quantities in the second injection (hereafter called small and large). The main results are summarized as follows:

1- Large amount of fuel in the second injection in injection patterns such as JWE-23/0 and JWE-23/+3-large dramatically reduced the peaks of in-cylinder pressure; suddenly reduced the peak of HRR; and increased significantly the ignition delay, combustion duration, and shifted the combustion center toward the later stage. For small amount of fuel in the second injection such as JWE-23/+3-small and JWE-23/+6, the peaks of the in-cylinder pressures were higher, while, other parameters had the same tendency with lower intensity when compared with those of the LO.

2- Large amount of fuel in the second injection dramatically reduced the in-cylinder temperatures, increased the exhaust gas temperatures, and lowered the BTE in comparison with those of the JO. The opposite occurred when small second injection amount was used as in JWE-23/+3-small and JWE-23/+6. We also found that when using the JWE-23/+3-small the BTE was higher than that of the JO.

3- The emulsion fuel and double injection increased CO₂, CO, and HC emissions when compared with those of the LO. However, in comparison with those of the JO, the large second injection quantity such as the JWE-23/+3-large reduced the HC emissions. NO_x emissions were related to the combustion characteristics of the engine with different injection patterns. The emulsion fuel, and double injection patterns reduced NO_x emissions when compared with those of the LO. Large second injection amount such as the JWE-23/0 and JWE-23/+3-large significantly reduced the NO_x emissions.

4- In three timing tests, the JWE-26/+3 reduced smoke opacity when using JWE and double injection. The ISF was the main element, while the SOF was a minor element of the dust. Large second injection amount increased the ISF and dust concentration much more than a small second injection amount.

In chapter 5, combustion, performance, and emissions of a direct injection diesel engine fueled with Jatropa hydrogen peroxide emulsion was investigated. To make this investigation, a diesel engine with mechanical fuel injection system was used to supply Jatropa hydrogen peroxide emulsion to the combustion chamber of the engine. Hydrogen peroxide in a solution of water at a concentration of 30% was used for making the emulsions. Mixtures of Jatropa oil with solutions of hydrogen peroxide were created according to the Jatropa oil mass with mixing ratios of 5%, 10% and 15% (hereafter so-called JHE5%, JHE10%, and JHE15%). The experimental results are featured following:

(氏名: NGUYEN KIM BAO NO. 4)

1- The engine has operated experimentally on the Jatropha hydrogen peroxide emulsion up to the 15% mixing ratio. The combustion of the emulsified fuels shifted to the earlier stage and extended to the later stage. The peak of the heat release rate was reduced with emulsified fuels and there was a large magnitude of oscillation in the heat release rate in the diffusion combustion phase. The heat release rate in the late combustion stage for the emulsified fuels was higher than those of the Jatropha oil and light oil, and the cumulative heat release for the emulsified fuel was also higher.

2- In-cylinder and exhaust gas temperatures were higher especially for the JHE5% and JHE15% as compared to those of the Jatropha and light oil. The JHE15% improved break thermal efficiency of the engine in most cases as compared to other emulsion fuels and Jatropha oil.

3- The JHE5% and JHE15% reduced CO₂ and NO_x emissions, while, they also reduced CO emissions at low and medium loads. The emulsion fuels increased HC emissions. At medium and high power conditions, dust and ISF concentration were significantly reduced by the emulsion fuel, especially for the JHE10% and JHE15%. Overall, this study found that the optimum mixing ratio of hydrogen peroxide to improve combustion, performance and emissions in diesel engine was 15%.

Chapter 6, conclusions of the study include the summary of the study results. It contains the main method, procedures, and results of each sub-study in each chapter.

氏名	Kim-Bao Nguyen (グエン キムバオ)		
論文 題目	Study on Combustion and Exhaust Gas Emissions of Jatropha Oil Emulsion Fueled Diesel Engine (ジャトロファ油エマルジョン燃料を用いたディーゼルエンジンの燃焼と排ガス性能に関する研究)		
審査 委員	区分	職名	氏名
	主査	教授	段 智久
	副査	教授	福田 勝哉
	副査	教授	藤田 浩嗣
	副査	教授	内田 誠
要 旨			
<p>ディーゼルエンジンなどの往復動式内燃機関は、燃料の爆発的な燃焼によって熱エネルギーを有効な仕事に変換して作動している。燃料には主に液体の炭化水素系化合物が使用されており、小型ディーゼルエンジンでは比較的燃焼性の良い軽油が、大型ディーゼルエンジンでは若干燃焼性が劣る重油が用いられている。これらの化石燃料を燃焼させた場合、二酸化炭素の生成と大気環境中への放出は不可避である。二酸化炭素は、地球温暖化防止の観点から大気中濃度を低減することが望まれており、船用エンジンでも排出量の規制化が始まっている。この中で、バイオマス由来の燃料は新たな二酸化炭素排出源としてみなさえないことが京都議定書で規定されている。この規定は、バイオ燃料が燃焼したときに発生する二酸化炭素は、植物の生育過程の光合成で吸収する二酸化炭素とバランスするという考え方（カーボンニュートラル）に基づいている。現在実用化されているバイオ燃料には、ブラジルのアルコール燃料（さとうきび由来）、ドイツのBDF（菜種油由来）などがある。</p> <p>本研究では、バイオ燃料であるジャトロファ油をディーゼルエンジンの燃料として適用することを目的に、燃焼特性の改善のために燃料特性とその噴射特性を変化させる実験的解析を行った。ジャトロファは亜熱帯地域に生育する植物であり、種子からは良質な油脂を採取することができる。その油脂は人体に有害な成分を含むため食用には適しておらず、食糧市場と競合しないバイオ燃料として注目されている。その一方で、ジャトロファ油は粘度が高く、揮発性に乏しいためにディーゼルエンジンにおける燃焼特性が悪化することが報告されている。そこで、燃焼性を向上させる方策として、水を添加して燃料を乳化させるエマルジョン手法を試みた。さらに燃焼を活性化させる成分の生成が期待できる過酸化水素水を用いて、燃料のエマルジョン手法を試みた。また、電子制御式燃料噴射装置を用いて、燃料噴射時期を多段化することで燃焼状況を変化させることを試みた。多段化においては、燃料噴射を二段階に分割して行い、主噴射と後噴射の時期や噴射燃料量をパラメータとしてエンジン性能を解析した。</p> <p>以上のように本論文は、燃焼特性の悪いバイオ燃料（ジャトロファ油）を各種エマルジョン手法ならびに燃料噴射の多段化によってディーゼルエンジン燃料として適用することを目的に行った実験解析を報じるものである。学位論文は英語で執筆されており、全部で6章からなる。各章の要旨は以下の通りである。</p> <p>第1章では、研究の社会的背景である地球温暖化やその要因物質、大気環境汚染の原因物質、世界における燃料生産や価格の動向を詳細に述べている。またエンジンの基本的な特性について言及し、研究で使ったジャトロファの説明、研究報告例のレビューを行っている。</p> <p>第2章では、本論文の研究目的、理論的な解析手法の説明、使用した実験装置の説明を行っている。本論文の研究は、ジャトロファ油をディーゼルエンジンの燃料として用いることを目的としている。研究では、小型単気筒直接噴射式ディーゼルエンジンを供試機関とし、燃焼室内部圧力および燃料噴射圧力の時間履歴を計測して、燃料噴射開始時期、燃料噴射期間、着火遅れ期間、熱発生率、燃焼期間などの燃焼特性を解析している。また、エンジンの排ガス成分として、一酸化炭素、二酸化炭素、未燃炭化水素、窒素酸化物、スモークならびに粒子状物質を計測し、燃料の燃焼状況を解析している。</p> <p>第3章では、ジャトロファ油100%の燃料で噴射時期を二段階にした場合の実験解析結果を報告している。実験では、燃料噴射を主噴射と後噴射の二段階に分けて行い、その時期をクランク角度上死点（ピストンの位置が最上部の時）に対して前後に変化させて、燃焼特性・排ガス特性に与える影響を解析している。その結果、噴射時期を遅延させた場合、燃焼室の最高圧力が低下し、急激な熱発生を</p>			

氏名

Kim-Bao Nguyen (グエン キムバオ)

抑制でき、その結果窒素酸化物の生成量を低減できることを明らかにしている。燃料の不完全燃焼によって生成する成分を低減し、熱効率を高くするという観点から、主噴射の時期は上死点前 11 度～13 度、後噴射の時期は上死点後 1.5 度～0.5 度の範囲が良いことを得ている。

第 4 章では、ジャトロファ油に水を添加したエマルジョン燃料で燃料噴射時期を二段化した場合の実験解析結果を報告している。エマルジョン燃料は着火遅れ期間がベース燃料よりも長くなるため、主噴射の時期を上死前 23 度に進角して固定し、後噴射の時期と燃料量を変化させた解析を行っている。後噴射の燃料量を増加させると、燃焼室内圧力の最高値を抑制することができ、未燃炭化水素および窒素酸化物の排出量を低減できることを得ている。また水エマルジョン燃料の二段噴射燃焼は、軽油の二段噴射燃焼に比較して不完全燃焼成分の排出量が増加するものの、ジャトロファ油 100%の二段噴射燃焼よりも未燃炭化水素、窒素酸化物の排出量を低減できることを明らかにしている。

第 5 章では、ジャトロファ油エマルジョン燃料で過酸化水素水を用いた場合の実験解析結果を報告している。この章の実験では、燃料噴射形態は単段噴射とし、添加する過酸化水素水の量を変化させて燃焼解析を行っている。比較のために、水添加によるエマルジョン燃料も解析している。その結果、過酸化水素水エマルジョン燃料は、水エマルジョン燃料に比較して着火遅れ期間が短くなり、100%ジャトロファ油燃料の着火遅れ期間とほぼ同等の値になることを明らかにしている。さらに過酸化水素水によるエマルジョン手法でも、水によるエマルジョン手法と同様に窒素酸化物の低減効果が得られることを明らかにしている。

第 6 章では、本研究の実験解析で得られた知見をまとめている。

以上の通り、本論文の研究は、ジャトロファ油をディーゼルエンジン燃料として適用するために、燃料噴射時期の多段化とともに燃料のエマルジョン化が有効な手法であることを明らかにしており、植物油を高コストの化学的処理 (BDF 精製のためのエステル化反応など) なしに燃焼特性を改善できることを示している。これらの知見は、バイオ燃料を用いたエンジン開発において貴重な指針を示すものであり、工学的にも価値の高い成果であると認められる。よって学位申請者の Kim-Bao Nguyen (グエン キムバオ) は、博士(工学) (Ph.D.(Engineering)) の学位を得る資格があると認める。