

Engine Controller for Biogas-Diesel Dual Fuel Tractor

(バイオガス-軽油二燃料トラクタ機関の制御法に関する研究)

学位論文内容の要旨

1. Introduction

The research for alternative energy sources to replace fossil fuels is gaining more and more importance in recent days. In this scope, biogas, the methane rich gas that emanates from anaerobic digestion of organic matter, seems a potent candidate. Therefore, the research to build an agricultural tractor that operated on both diesel and biogas was conducted. Specifically, the aim of this study was to develop the electronic control unit (ECU) for the biogas-diesel dual-fuel engine of the agricultural tractor.

2. Literature review

An extensive literature review was conducted. The current progresses in biogas production were studied; including biogas digesters, purification plants and recovery systems. Then, the diesel engine was studied with a close focus on the combustion process as well as the emissions. Biogas and diesel were then combined in a thorough review of the dual-fuel engine. The effect of methane on the combustion process and the way it alters engine's emissions were studied and the solutions suggested by past related researches were summarized.

3. Description of the base tractor, its engine and testing equipment

After the literature review, the base machine used in this research was explained along its modifications. In short, a biogas unit containing four cylinders of biogas was mounted in front of the tractor. It had an adjustable height and it contained along with the cylinders the necessary pressure regulating system to deliver constant pressure to the rail of injectors. The important test equipment was also described, such as the bench dynamometer and fuel measuring system.

4. Basic engine data and prototype algorithm

A series of basic tests fueling biogas on the tractor's engine were carried out. It was observed that while diesel reduction rates always increased with biogas injection, changes in heat efficiency were not as consistent. In fact, low loading conditions cause the Brake Specific Heat Consumption (BSHC) to increase due to biogas injections, but higher loads saw some decrease in BSHC before it increased again. The basic study of the engine led to the foundation of the backbone of the algorithm to control biogas flow. It was then decided that biogas flow should

read from a three-dimensional look-up table where the engine speed and load formed the base. The engine speed was directly measured while the load was to be estimated. In this scope, the manifold pressure seemed the most satisfactory indicator of engine load. Such an algorithm was roughly built and tested: the biogas successfully changed with engine load and speed. However, a more rational way to construct the three-dimensional look-up tables of biogas flow was necessary.

5. Optimizing biogas flow rates with a multi-objective algorithm

Extensive engine testing provided necessary data to allow the smooth running of a multi-objective algorithm that was then used to generate the 3D look-up tables. The optimization technique found the best biogas flow answering to four weighted parameters: brake mean heat consumption, diesel reduction rate, NO_x emission and CO emission. The generated three-dimensional look-up tables were simulated and the results were found satisfactory. The tables were answering to their objectives.

6. Development of engine ECU to deliver optimal biogas flow rates

The ECU with two main components: a microchip where the software was printed and a memory where the three-dimensional tables were input was realized. The proper functioning of the ECU required some alterations to the basic algorithm: in short, an equation was needed to read the speed out of two consecutive pulses of magnetic sensor at the camshaft and calibration was necessary to convert voltage reading of manifold pressure sensor into absolute pressure data. As for the three dimensional tables, changing of y axis from load in Nm into pressure in kPa was necessary and translation of biogas flow into injector opening time was required. With these conditions satisfied, the ECU was tested. Four different 3D maps were prepared and labeled as follows: best CO, best diesel reduction rate, best BSHC and best performance algorithms (where the four parameters of CO, NO_x, BSHC and diesel reduction rate had equal weights). The torque-power characteristic curves of the engine were drawn at first and changes due to biogas feed were observed. It was mainly seen that injecting biogas into the engine increased its stability; making its speed less prone to changes in load. The emissions of the engine were measure based on ISO standards; the ECU was working properly with its results quite satisfactorily matching the expectations. More importantly, the same engine cycle of the emission testing was simulated from the extensive data that was gathered; and the results were quite similar. Finally some field operations were simulated to estimate how much biogas would be needed for a certain job. For example, it was found that the biogas cylinders would suffice the tractor to operate a mower conditioner for about three hours if the best performance algorithm was to be used.

7. Conclusion

This research aimed at using biogas to partially replace diesel in an agricultural tractor. After basic testing, an optimization algorithm was used to calculate the exact flow of biogas to be injected at each point of the engine's speed/torque mesh. An ECU was then built and tested with the engine on the bench dynamometer. The results showed that the ECU was driving the engine to the desired targets. For example, the ECU when fed with the best efficiency 3D look-up table effectively reduced the heat consumption to a minimum.

学位論文審査の要旨

主 査	教 授	野 口	伸
副 査	教 授	木 村	俊 範
副 査	准教授	近江谷	和 彦
副 査	准教授	石 井	一 暢
副 査	准教授	海 津	裕

学 位 論 文 題 名

Engine Controller for Biogas-Diesel Dual Fuel Tractor

(バイオガスー軽油二燃料トラクタ機関の制御法に関する研究)

本論文は、全7章からなる総頁数 131 ページの英文論文である。論文には図 49, 表 22, 引用文献 89 が含まれ、別に参考論文 5 編が添えられている。

近年、石油エネルギーに代わるバイオマスエネルギーに対する期待が世界的に高まっている。また、家畜糞尿の処理法として嫌気性発酵を基礎としたバイオガスプラントがEU、北海道において循環型社会の形成に対する有望な技術として注目されている。しかし、バイオガスのエネルギー利用法が電気・熱に限られ、その用途の拡大が求められている。本研究はエネルギーの地産地消面から、農村地帯で使用される農用トラクタの燃料としてバイオガスを利用できるバイオガスー軽油二燃料トラクタ機関の開発を目的とした。以下に、論文内容と審査結果について述べる。

1. バイオガスプラントとバイオガスの燃料化に関する研究動向に関するレビュー

バイオガスプラントにおけるバイオガス生成プロセスとバイオガスのディーゼル機関への利用に関する研究事例について文献調査した。農畜産廃棄物から得られるバイオガスは、発酵槽、ガス貯留・脱硫槽、そして最近では精製・圧縮充填装置を経て燃料化される。バイオガスをトラクタディーゼル機関の燃料とする場合、その性状から軽油との二燃料方式を採用しなければならない。二燃料機関の場合、低負荷域では失火を、高負荷域ではノッキングを起こす恐れがある。すなわち、バイオガスをトラクタ機関に適用するためにはノッキングや失火を起こさないようバイオガス供給量を適切に制御することが重要であることを既往の研究から知った。

2. トラクタ機関のバイオガスー軽油二燃料機関への改造

供試トラクタとしてクボタニューグランド M105D (77.2kW) を採用した。トラクタにはバイオガスタンク、減圧弁を含むガス供給ライン、ガス噴射弁、制御 P C などを装備した。供試機関は4気筒であるので、それぞれの気筒にガス噴射弁を装着した。また、軽油消費

量・バイオガス消費量・機関回転数・機関軸トルクなど出力燃費性能と NO_x , CO , CO_2 , 排気煙濃度などのエミッションを計測できるように各種センサを装備した。

3. 二燃料機関の基本性能と制御アルゴリズム

試作したバイオガス-軽油二燃料トラクタ機関について基本的な機関性能を把握した。特にバイオガスと軽油の熱消費率及びバイオガスによる軽油代替率について検討を行った。二燃料運転の場合、低負荷域では約 90% のエネルギーをバイオガスによって代替できること、また低負荷域では軽油運転と比較して熱消費率は増加するものの、高負荷域では二燃料運転の方が 5~10% 熱消費率は低減することを明らかにした。さらに、二燃料運転では NO_x や排気煙濃度が大幅に減少することも確認された。以上のような二燃料運転の基本性能を把握した後、吸気管内圧力を機関負荷推定のパラメータとして利用できること、そして機関負荷と機関回転数の状態空間で記述されたバイオガス供給マップを採用することで二燃料機関を制御できることを明らかにした。

4. 多目的最適化法を適用したバイオガス供給の最適制御

最適化理論の 1 つである動的計画法を採用したバイオガス供給制御法を考案した。燃料消費率・軽油代替率・ NO_x 排出量・ CO 排出量の 4 性能値を目的関数とし、個々の単独目的関数とともに、それぞれの性能を均等に考慮した多目的性能値についてもバイオガス供給の最適化を実現できた。負荷変動に伴う急激な供給量の変化を防ぐために、目的関数にペナルティ関数を導入し、性能の最適化に加えてスムーズな供給量変化を実現するように配慮した。考案した最適制御を実装して機関性能試験を行った結果、それぞれの目的関数の下で性能が改善されることを確認し、開発した制御法は有効であると判定された。

5. バイオガス供給量制御のための ECU 開発

バイオガス最適制御機能を有した ECU (Engine Control Unit) を開発した。ECU は機関回転数と機関負荷を観測して、前述の方法によって最適化されたバイオガス供給マップを用いてあらゆる運転条件下において最適なバイオガス供給量に制御される。4 種類の運転モード (燃費最適モード・代替率最適モード・ NO_x 最適モード・多目的最適モード) を任意選択できるように工夫されている。開発 ECU を供試してプラウ作業、モア作業、テッダ作業、施肥作業など実際の農作業時の機関負荷を収集・再現することで二燃料機関の出力性能試験を行い、所期の目的を満足する機関性能を発揮できることが確認した。

以上のように本論文は、バイオマスエネルギーとして有望なバイオガスをトラクタ機関の燃料とするためにバイオガス供給制御法を考案した。さらに開発した制御法を実際のトラクタ機関に実装してその有効性を実証したもので、高い学術的価値、オリジナリティに加え実際問題とも深くかかわる研究内容である。よって審査員一同は、Nizar Said Jaber が博士 (農学) の学位を受けるに十分な資格を有するものと認めた。