

学位論文題名

環境調和型バイオガス用
コージェネレーションシステムの開発

学位論文内容の要旨

本研究の目的は畜産廃棄物の処理問題、化石エネルギー源の枯渇問題、環境汚染問題の解決策として畜産廃棄物や生ゴミなどの嫌気性発酵処理によって発生するバイオガスを低環境負荷性の代替燃料として有効利用できるシステムを開発することである。バイオガスは枯渇の心配がない無限の代替エネルギー源で、二酸化炭素排出による環境汚染の心配が極めて少ない。すなわち、バイオガスを燃料として利用することは上述の問題に対する解決策の一つとして有力な方法であると考えられる。しかし、現段階でバイオガス発生に関する施設導入・研究例は多く見られるが、バイオガス利用によるエネルギー変換の研究は少ない。このような状況から本研究ではバイオガスをエネルギーとして有効利用するために、バイオガスを燃料とするデュアルフューエル方式のCGSを開発し、その運転特性を究明する。また、デュアルフューエルの燃焼過程を分析し、燃焼状況を改善させることにより、より性能が高いバイオガス用CGSへの改善を図る。さらに、バイオガス用CGSの経済性を容易に評価できる簡易式を作成し、バイオガス用CGSを導入する際、経済性に及ぼす影響が大きい条件などを究明する。本研究の内容は以下の5項目に集約できる。

第2章 デュアルフューエル式ディーゼル機関の基礎性能

ディーゼル機関をバイオガスと軽油を同時に供給できるデュアルフューエル式機関に改造した。バイオガスの供給は予混合方式を採用し、メタンと二酸化炭素の混合ガスをバイオガスとして代用した。デュアルフューエル式ディーゼル機関へバイオガスを供給する場合、軽油噴射時期を早めることによりNO_x排出量は大幅に増加する反面、BSHCに及ぼす影響は少なかった。機関回転数は低い方がバイオガスの燃焼期間を確保でき、エネルギーの効率を向上させることが可能であった。また、機関負荷が増加すると燃焼温度・燃焼圧力が共に上昇してエネルギー損失は減少するが、一方NO_x排出量は増加する結果となった。低負荷条件ではバイオガス供給量の増加によってBSHCは上昇するが、負荷率100%の定格負荷では多量のバイオガスを供給してもBSHCは軽油のみの運転時とほぼ同じであった。また、バイオガスを供給するとバイオガス中の二酸化炭素による酸素濃度が低下して燃焼温度が下がるのでNO_x排出量は減少した。熱交換器からの回収熱量は機関回転数、機関負荷、バイオガス供給量の増加によって高くなる傾向を示した。

第3章 バイオガス用 CGS の製作

バイオガスと軽油のデュアルフューエルを燃料として利用するシステムでバイオガス用 CGS の製作を行った。製作したバイオガス用 CGS は供試機関、循環式熱交換器、発電装置、蓄熱温水タンク、制御装置などで構成されている。軽油供給量の自動制御によって機関回転数を一定にして運転ができるようにした。熱交換はシステムを循環する冷却水がエンジンと排気ガスから熱を回収する方式を採用した。また、筒内圧の分析と排気中の排出される未燃メタンの濃度を測定できるようにした。

第4章 バイオガス用 CGS の運転特性

バイオガス用 CGS の基本特性と性能を評価した。同一の電力負荷でバイオガスが多量供給されると発電端効率は低下した。これはバイオガスの供給と共にデュアルフューエルの着火遅れが長くなり、燃焼時間が伸びるためである。電力負荷が高くなると軽油噴射量の増加に伴い燃焼温度・圧力の上昇によって発電端効率は高くなった。一定のバイオガスを供給する場合、電力負荷が高くなると排気ガスの温度も高くなって回収熱量は増加した。バイオガス供給量の増加に対して回収熱量の変化は見られなかった。総熱効率は高負荷時の場合、バイオガス供給量との強い相関はなく 68% となった。燃焼温度・圧力によって発生量に変化する NOx 排出濃度は軽油のみによる運転の場合、電力負荷 2.41kW において 676ppm であったが、バイオガスを供給することによって 335ppm まで低下した。黒煙は軽油の未燃焼によって発生する未燃炭素で、バイオガス供給時には黒煙濃度が 0% まで低下した。このように本研究で製作したバイオガス用 CGS の性能は電力負荷 2.41kW、バイオガス供給量 20L/min (メタン 60%)、冷却水流量を 3L/min の条件で使用した場合、発電端効率 26%、回収熱効率 42%、各種損失 32% で総熱効率は 68% となった。

第5章 バイオガス用 CGS の性能改善

低負荷におけるバイオガス用 CGS の性能改善を目的として、吸気加熱、EGR、過給、過給と EGR の組合せによるデュアルフューエルの燃焼と排気特性を検討・比較した。吸気加熱を行うと着火遅れが短縮すると共にデュアルフューエルの燃焼が促進され、バイオガス用 CGS の熱効率改善に効果が認められたものの、NOx 排出量は増えるので吸気加熱のみでは排気対策として得策ではないと判断した。EGR はデュアルフューエルの燃焼改善と NOx 排出量低減の両面に効果が認められた。過給を行うとバイオガスと空気の混合も促進されて熱消費率は減少した。また、混合気が希薄化するので NOx 排出量が若干減少するが、減少率はそれほど高くなかった。さらに、この過給と EGR を同時に適用することによって着火遅れが短縮され燃焼温度は上昇し、燃焼速度が速くなるのでデュアルフューエルの燃焼は促進された。

第6章 バイオガス用 CGS の経済性評価

バイオガス用 CGS の普及のためには経済性の成立が必要である。本章ではバイオガス用 CGS の経済性を容易に評価できる簡易式を作成して、各パラメータ別の収益指数を検討した。バイオガス用 CGS の導入によって生じる収入と支出項目を経済性評価式のパラメータとし、収益指数を求める式を作成して、各要因の変化がバイオガス用 CGS の経済性に及ぼす影響を検討した。シミュレーションの結果、バイオガス用 CGS の経済性を向上させるた

めにはバイオガスと軽油単価の低下，電力単価の上昇，バイオガス用 CGS 性能の向上が最も重要であることが判明した。また，バイオガス用 CGS の導入によって年間約 87ton の CO₂ 排出量削減効果があり，地球温暖化防止に対しても貢献できる。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 寺 尾 日出男

副 査 教 授 松 田 従 三

(北海道大学北方生物圏フィールド科学
センター)

副 査 助 教 授 野 口 伸

学 位 論 文 題 名

環境調和型バイオガス用

コージェネレーションシステムの開発

本論文は、図 56、表 22、引用文献 114、総頁数 160 の和文で、7 章より構成され、他に参考論文 5 編が添えられている。

本研究は、畜産廃棄物や生ごみなどが嫌気性発酵する過程で発生するバイオガスを主エネルギー源として有効利用するために、軽油とバイオガスのデュアルフューエル（2 燃料）方式の CGS（Cogeneration System, 熱電併給システム）を開発し、その運転特性を解明した。また、供試デュアルフューエルの燃焼過程を分析し、低負荷時に排出される未燃メタンの燃焼改善を図ることにより、排気ガス性能のより優れたバイオガス用 CGS 設計手順と資料を提示し、合わせて CGS 導入に際して考慮すべき乳牛飼育規模と初期投資にも独自の見解から簡易評価式の提言を試みたものである。

第 1 章は緒論で、地球環境問題の観点からバイオマスエネルギー実用性の必要性を述べている。

第 2 章はデュアルフューエルを燃料としたディーゼル機関の基本性能を把握し、装置設計に資すことのできる基本データの取得を目的に、既存の実験装置をベースに実施した結果についての知見を述べている。

第 3 章は、バイオガスと軽油のデュアルフューエルをディーゼル機関用の燃料として利用するバイオガス用 CGS の設計と試作である。試作したバイオガス用 CGS は供試機関、循環式熱交換器、発電装置、蓄熱温水タンク、PC 制御装置などで構成されている。軽油の供給量を制御することで機関回転数を一定にして運転ができるようにした。熱交換はシステムを循環する冷却水が機関と排気ガスから熱を回収する方式を採用した。また、ディーゼル機関の燃焼状態を把握するため、筒内圧の分析と排気管へ排出される未燃メタンの濃度が測定できるよう工夫されている。

第 4 章は、試作した CGS の基本特性と性能を評価している。燃焼温度・圧力によって発生量に変化する NOx 排出濃度は、軽油単味による運転の場合、電力負荷 2.41kW において 676ppm であったが、バイオガスを供給することによって 335ppm まで低下した。黒煙は軽

油の未燃焼によって発生する未燃炭素で、バイオガス供給時には黒煙濃度が 0%まで低下した。このように製作したバイオガス用 CGS の性能は電力負荷 2.41kW、バイオガス供給量 20L/min (メタン 60%)、冷却水流量を 3L/min の条件で使用した場合、発電端効率 27%、回収熱効率 43%、各種損失 30%で総熱効率は 70%となった、と述べている。

第 5 章は低負荷における CGS の性能改善を目的として、吸気加熱、EGR、過給、過給と EGR の組合せによるデュアルフューエルの燃焼と排気特性を比較検討している。吸気加熱を行うと着火遅れが短縮すると共にデュアルフューエルの燃焼が促進され、CGS の熱効率改善に効果が認められたものの、NOx 排出量は増えるので吸気加熱のみでは排気対策として得策ではないと判断した。EGR はデュアルフューエルの燃焼改善と NOx 排出量低減の両面に効果が認められた。過給を行うとバイオガスと空気の混合も促進されて熱消費率は減少した。また、混合気が希薄化するので NOx 排出量が若干減少するが、減少率はそれほど高くなかった。さらに、この過給と EGR を同時に適用することによって着火遅れが短縮され燃焼温度は上昇し、燃焼速度が速くなるのでデュアルフューエルの燃焼は促進された、と述べている。

第 6 章は CGS の経済性評価で、各パラメータ別の収益指数を検討した。CGS の導入によって生じる収入と支出項目を経済性評価式のパラメータとし、収益指数を求める式を作成して、各要因の変化がバイオガス用 CGS の経済性に及ぼす影響を検討した。シミュレーションの結果、バイオガス用 CGS の経済性を向上させるためにはバイオガスと軽油単価の低下、電力単価の上昇、バイオガス用 CGS 性能の向上が最も重要であることが判明した。また、バイオガス用 CGS の導入によって年間約 87ton の CO₂ 排出量削減効果があり、地球温暖化防止に対しても貢献できる、と述べている。

以上のように、都市ごみや酪農施設などから発生したバイオガスをエネルギーとして効率的利用することを目的にハードウェアとソフトウェアの両面から改善を試みた本成果は、学術的にも高く評価できる。よって審査員一同は、朴 宗 洙が博士 (農学) の学位を受けるのに十分な資格があるものと認めた。