埼玉大学紀要　教育学部，59(1)：43–50（2010）

エタノール対応型の自動二輪車に関する研究

内海　能亜*・中村　格芳**・渡邊　真彦**

キーワード：E100、利活用技術、内燃機関、環境教育、教材

1．はじめに

温室効果ガス削減は地球規模で急務となっている。京都議定書の内容において、わが国は2008～2012年の間に、温室効果ガス６％を目標として削減（1995年基準）しなければならない[1)]。2008年では1995年と比べ逆に増加傾向にあり、今後、他国の使用範囲分の温室効果ガスに税金を投入する計画がなされ、環境立国を掲げる日本としてお粗末な状況となっている。

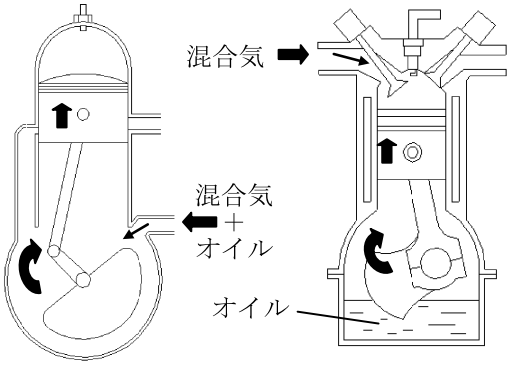
この温室効果ガスの中でおよそ60%を占める二酸化炭素は、運輸・産業・民生部門がそれぞれ削減に向けて対応しなければならない。産業部門はここ30年間で二酸化炭素の排出の増加がほとんどない。しかしながら、運輸部門の自動車燃料の燃焼による二酸化炭素の排出はおよそ２倍増加している[2)]。植物由来燃料の燃焼による排気ガスは、カーボンニュートラルの考えに基づき二酸化炭素の排出がゼロとみなせる。したがって化石燃料からバイオマス（植物由来）燃料へ代替が必要となってくる。また、バイオマス燃料は再生可能エネルギーであるので、食糧と競合しない植物であるならば、その利用価値は化石燃料より増す。

ガソリンや軽油に代わる燃料で公道を走行することは、制度上、現在の日本では困難であり、各種税金の問題や高濃度エタノールの使用は禁止されている。さらに、環境省では大気汚染基準や自動車排気ガス規制値を設け、自動車NOx・PM法の対策地域もある。

近年、E3燃料（３%バイオエタノール、97%ガソリン）の混合燃料の使用が認められ、日本ではガソリンにETBE（Ethyl Tertiary-Butyl Ether）を添加した燃料が、一部のガソリンスタンドで一般の乗用車用に販売されている。一方、バイオディーゼル燃料についてはB20燃料（20%バイオディーゼル燃料、80%軽油）を使用した集塵車や市営バスに利用している地域もある[3)]。しかしながら、バイオディーゼル燃料の製造・利活用や木質によるバイオエタノールの製造に関する研究[4)]は多くなされているものの、E100（100%バイオエタノール）などの高濃度エタノールの利活用に関する報告は少なく、特に教育機関で教育に適用している報告は見当たらない。

そこで本件ではエタノールを適用した乗り物、すなわち、市販されている原動機付き自転車を適用し、E100で可動する二酸化炭素排出ゼロを目的とした“E100バイク”の開発を行った。次にE100の燃焼排気ガスを調査し、ガソリン燃料のみの場合と比較検討を行った。さらに、市販されているバイクや汎用エンジンを適用して、実際にエタノール燃料を利活用した教育プログラムの開発を行ったのでここに報告する。

＊ 埼玉大学教育学部技術教育講座
＊＊ 広島国際学院大学工学部総合工学科



（a）2サイクル　　（b）4サイクル

図1　エンジンのサイクル



図2　ジェット
（SUZUKI製のチョイノリ50cc）

2．E100への対応

2．1　内燃機関

本研究で適用した内燃機関は4ストロークサイクルエンジンのみに限定した。原動機付き自転車には2ストロークサイクルエンジンが搭載されていることもあるが、近年では燃費・排気ガス・騒音などの環境問題と直結するので、4サイクルエンジンが主流となってきている。また、エタノール燃料を適用した場合、4サイクルエンジンは耐久性がある。図1に示すように、2サイクルエンジンでは燃料とエンジンオイルを混合させるため、溶剤としても適用されるエタノールによってエンジンオイルの性能を下げ、エンジンの寿命を縮める恐れがある。4サイクルのエンジンオイルはエンジン下部のオイルパンに溜まっており燃料噴射部分と分離しているため、エンジンオイルの劣化が抑えられる。したがって、エタノールによるピストンリングの劣化が懸念されるものの、ここではエンジン内部を変更しなかった。

2．2　燃料系統

気化器、いわゆるキャブレター方式による燃料噴射する単気筒の内燃機関を採用した。インジェクション方式ではコンピュータ制御により、空気と燃料の比を調整するが、気化器の構造を理解させる教材には、メカニカルなものが最適であると考えたため、単気筒のキャブレター方式の内燃機関を選択した。燃料を噴射するジェットは図2に示すようにアイドリング低回転時はスタータジット・パイロットジェット、中高速回転時のメインジェットがある。これらのジェット口の面積によって、燃料と空気の比、空燃比が調整されている。ガソリン燃料では空燃比がおよそ15となっている。実際は完全燃焼させるため理想的な酸素量より多くの酸素を必要とされる場合が多い[5)]。

現在、公道で走行が認められているE3燃料では、ガソリンが97%と燃料の大部分を占め、既存の内燃機関に適用しても、ガソリンのみの燃料と変わらずに問題なく走ることが実証されている。E100燃料になればガソリン燃料用ジェットではエンジンが点火しない。したがって、E100の空燃比はおよそ9であるので、ジェット口の面積を大きくしなければならない。ここでは15／9倍を目安に拡大させた。出荷時（ガソリン用）のジェット口径を読取り顕微鏡で測定し、ジェット口面積が15／9倍となるように精密ドリル径を選択した。ただし、燃料は流量で考えなければならないので、燃料の流速が一定として、拡大面積を決定した。

たとえば、ガソリン用のジェット口径d_0の場合、ジェット口面積$A_0=\pi d_0^2/4$である。E100

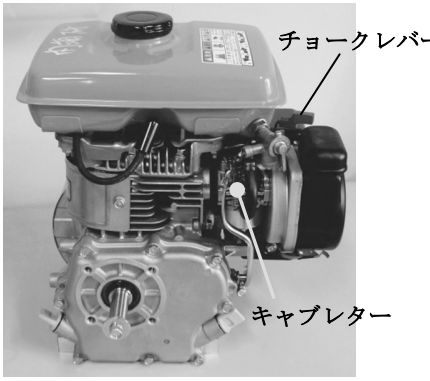
のジェット口面積$A_e=(15/9)\times\pi d_0^2/4$となる。したがって、E100のジェット口径$d_e^2=(15/9)\times d_0^2$となる。市販されている精密ドリル径は0.01ｍｍ間隔で販売されているが、安価で市場性のあるドリル径d_Dは0.1ｍｍ間隔のものがある。そこでd_eの値の小数第二位を四捨五入し、これに最も近いd_Dを選択する。ただし、ガソリン用のジェット口径d_0について、内燃機関の製造元は公表しておらず、実際のジェットを読取り顕微鏡などで正確に計測しなければならない。

ガソリン用の燃料ホースは一般的にゴム製のチューブが適用されているが、本実験ではシリコンチューブを適用した。図３（a）に示すように、燃料タンクもシリコン製の容器に変更し、燃料フィルター、燃料コック（シリコン製）を新しく取り付けた。

キャブレター内のフロートはプラスチック製であるが浸漬実験では特に異常は見られなかったので変更はしていない。また、キャブレターボディには純度の高い金属、たとえば、アルミニウムなどが使われている場合もあり、エタノールによるその腐食も予期する必要があるが、ここではキャブレターボディを変更しなかった。



（a）チョイノリ



（b）EY-15

図３　適用したバイクと汎用エンジン

３．実験装置

３．１　燃料

燃料は市販されているレギュラーガソリン（ただし、E3ではない）、甘糟化学製試薬一級99.5%エタノール、飲料用のウオッカ“スピリタス”アルコール度数96%のお酒、試薬エタノールを蒸留水で薄めたエタノール濃度80～99.5%のエタノールを適用した。ガソリンとエタノールの性質の大きな違いは、発熱量はガソリンが大きく、燃費においてはエタノールが理論上およそ1.7倍悪くなる。また、エタノールは引火点が高く、気温が低い冬にはエンジンがかかりにくくなることがわかっている。

３．２　バイクと汎用エンジン

図３に示すように、適用したバイクはSUZUKI製のチョイノリ50cc原動機付き自転車、

汎用エンジンはSUBARU製のロビンエンジンEY-08（78cc）、EY-15（143cc）、EY-20（183cc）を適用した。

３．３　燃料と空気調整用スクリュー

汎用エンジンはジェット口径の修正のみでエンジン点火できる。バイクの場合はエアースクリューやアイドリング回転調整用スクリューなどの調整が必要である。たとえば、E100用のジェットをメインϕ0.7、パイロットϕ0.5、スタータϕ0.4とした場合、エアースクリューは完全に締め切り、アイドリング回転調整用スクリュ

ーはアイドリングが一定となるよう調整した。チョークも適宜調整が必要である。これらの調整は気候にも影響し、また、ジェット口径によって変化し、経験を必要とする。したがって、教材として用いる場合、授業時間を削減するためには汎用のエンジンを用いた方が良い。

3．4　排気ガス測定装置

大気汚染に係る環境基準として、環境省ではSO_2、CO、SPM（浮遊粒子状物質）、NO_x、O_xについて基準を設けている。一方、自動車の排気ガスではCO、HC、NO_x、SPMを規制している。ここでは、SO_2、CO、HC、NO_xを測定対象として取り上げ、測定器はガス検知器・検知管（ガステック社製）および燃焼排気ガス分析計testo350M/XL（テストー社製）の2種類を適用した。排気ガスは高温となるため、双方の機器ともにホットプローブを適用し測定を行った。前者は取扱いが簡単で、教材用に適していると考える。後者は燃焼ガス専用の測定器で、学生にとって取り扱いが複雑なため、主に研究用に用い、排気温度・流速、O_2、CO、CO_2、NO、NO_2、HCが同時に時系列で測定できる。ガス検知管では他に、エタノール、ガソリン、ベンゼン、ホルムアルデヒド、トルエンなどの測定も可能である。

本研究で適用した内燃機関の排気ガス測定範囲を表1に示す。ガソリン、E100ともに対応する測定範囲となっている。ガス濃度は1ppm～100%と測定値が広範囲におよび、ガス検知管はその測定範囲が分かれているため、測定範囲の目途付けが必要となる。ただし、表1は測定した気候・環境にも影響し、これらガスの測定範囲はすべての内燃機関に保証するものではない。

また、排気ガス測定において、測定者が中毒を引き起こす可能性があるため、その危険性を十分説明し、安全を確保した上で測定を行う必要がある。測定は必ず換気の良い場所で行わせ、火災が発生することも予想されるので、常に消火できるよう準備する必要がある。

4．実験結果および考察

はじめに、エタノール濃度の違いによるSUZUKI製のチョイノリ50ccのエンジンのかかり具合を調査した。結果を表2に示す。エタノール濃度93%よりエンジンがかかり難くなり、走行ができなくなった。これらの作業はエタノール濃度の選択・調製とエンジンの始動確認で、比較的作業が簡単でかつ安全であり、指導する側にとっては作業時間の予測や調整が可能であるので、本実験は教育用のプログラムとして妥当であると考える。

各種排気ガスの測定は、測定位置を一定にし、チョイノリ50ccバイクのエンジンの回転数は2400～2500rpmの範囲で行った。バイクや汎用エンジンには回転計は備わっていないので、授業で実施する場合はアクセルを一定位置に固定すればよい。一定条件下でも排気ガス濃度はバラツキがあるので、時系列でデータを取得するよりは、ガス検知管で測定回数を多くし、その平均値を計算し、比較データとの相対比を調査させる方が良いと考える。

図4はガソリン燃料と高濃度エタノール燃料等の排気ガスを比較したものの一例である。ガソリン燃料の場合を1とした相対比で示している。図より窒素酸化物については、エタノール燃料等の方が少なく、一酸化炭素や二酸化硫黄については、ガソリン燃料の方が少なくなっていることがわかる。また、低級炭化水素については、エタノールが減少しているものの、スピリタスは高くなっている。これらの調査から明らかとなったことは、高濃度エタノールについては窒素酸化物が減少することがわかったが、他の排気ガスについては、ジェットやスクリュー調整の具合によって不完全燃焼が起こりやすく、排気ガス濃度が高くなったものと判断できる。硫黄は原料そのものに含有、または燃料の製造過程で微量の硫酸が使われていたものと考

表１　各種排気ガスの測定範囲（チョイノリ、EY08・15・20の場合）

気体名	化学式	測定範囲	ガス検知管番号
一酸化炭素	CO	1 ～50%	1 HH
二酸化炭素	CO_2	1 ～20%	2 H
窒素酸化物	NO	2.5～200ppm	10
	NO_2	2.5～200ppm	
低級炭化水素	C_2-C_7	0.05～2.4%	103
トルエン	$C_6H_5CH_3$	1 ～100ppm	122L
二酸化硫黄	SO_2	0.05～10ppm	5 Lb
ベンゼン	C_6H_6	2.5～120ppm	121
ホルムアルデヒド	HCHO	2 ～100ppm	91
ガソリン	CnHm	0.015～1.2%	101
エタノール	C_2H_5OH	0.01～7.5%	112

表２　エタノール濃度とエンジン始動

種類	濃度（%）	エンジン始動	走行
試薬エタノール	99.5	○	○
スピリタス	96	○	○
試薬エタノール＋蒸留水	96	○	○
	95	○	○
	93	△注１）	×
	90	×	×
	80	×	×

注１）キックによるエンジン始動が数回必要

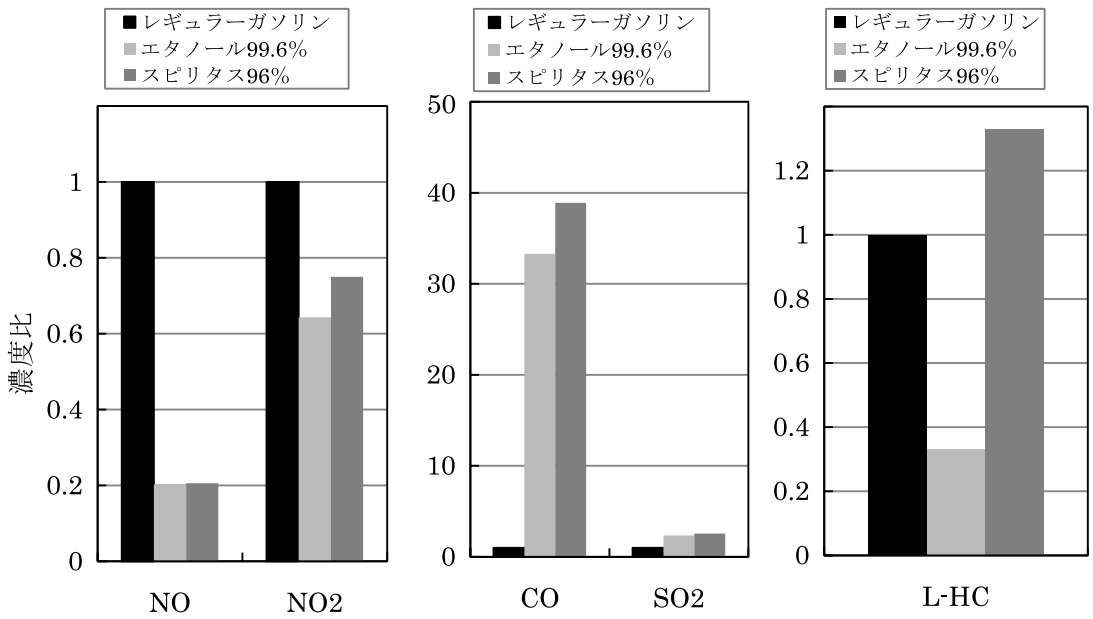


図４　排気ガスの濃度比

えられる。したがって、植物由来の燃料において、実際の内燃機関による排気ガスは必ずしも良い結果が得られるわけではないことがわかる。

このような実験により、エタノール燃料による燃焼排気ガスの特徴について、学生自ら実験で調査することができるとわかったので、本件を教育用のプログラムに適用できると判断した。

5．教育プログラムの開発

近年の学生は環境問題への関心が高く、さらに、機械工学科では自動車やバイクなどを取扱った研究を希望する者が多い。広島国際学院大学工学部において本件に関する内容を適用した科目を表3に示す。また、一芸育成科目で汎用エンジンを適用し、学生らがエタノール対応型エンジンに変更している実習の様子や機械基礎ゼミナール科目で排気ガス測定している様子を図5に示す。

卒業論文以外はオムニバス形式（半期で行う授業15回中すべてが本件に関わる授業ではない）で、本件に関わる内容は環境問題・バイオエタノール燃料の説明（講義形式）などを2回、エンジンの分解と組立て・各部品の変更・ジェットの改造・排気ガス測定で5回の計7回×90分授業を行った。また、先で挙げたエタノール濃度の影響によるエンジンのかかり具合やガソリンとエタノールの燃費の違いを安全に実験することも可能で、さらに、ゴム製のチューブを使ってエタノールに漬けた浸漬実験も半期の期間で可能なので、最後に実験のまとめや発表など追加し15回の講義に対応することも可能である。

これまでの受講者は毎年5～12名程度（各科目）であった。これによって、エンジン・気化器の構造やガソリン・エタノールの特徴を理解

表3　開講科目

開講年度	科目名	履修年次	単位数	対象
平成17～20年度	卒業論文	4	4（通年必修）	機械
H18～20年度	機械工学基礎ゼミナール	1	2（半期必修）	機械
H18～20年度	機械工学ゼミナール	3	2（半期必修）	機械
H19年度	一芸育成（技術と産業化Ⅱ）	2	2（半期選択）	工学部



（a）実習の様子（2年生）



（b）排気ガス測定の様子（1年生）

図5　授業の様子

させ、内燃機関の排気ガスについても理解を深めることができ、学習意欲や専門知識・技能を向上させることができる。

一芸育成科目のように機械系以外の学生には、これまでに実際の機械部品に触れたことが少ない学生もおり、受講学生によるアンケート結果では、８名中７名が本件の内容説明は比較的やさしいと答えているにもかかわらず、実験・実習では工具の使い方や測定が難しいと半数以上回答していた。しかしながら、本授業の満足度は高く、工具や機器類の使用方法を理解させるのに余分に時間はかかるものの、機械系の学生と同様の効果が得られるともの考える。

他に「この講義によって、その後、自ら環境問題について学習したか」をアンケート調査したが、興味はあるようだが、自主学習したという回答は得られず、「テレビなどニュースを聞いた」と答えた学生が25%にとどまった。

６．まとめ

E100対応の自動車はすでに大手自動車メーカで研究され、古くは1900年代初期の頃、フォード社が量産タイプのエタノール用自動車を開発している。

本研究では、平成17年度の卒業研究で市販の原動機付き自転車や市販の汎用エンジンをE100対応型に変更し、排気ガス測定や走行実験を行い、ガソリンとE100燃料の利活用における欠点と利点が明らかにした。その結果もとに、E100が利活用できる内燃機関を教材とし、機械工学の導入教育や環境問題への関心を高める教育プログラムの開発を行うことができた。

謝　辞

本研究は広島国際学院大学の平成18年度特別研究費の一部によって実施され、当時、エタノール対応型自動二輪車の開発や実験は竹重寛之・嶺尾篤史の学生諸君およびエナジーファーム（株）稲田雄二氏の協力によって行われたことを記し謝意を表します。

参考文献

1）たとえば，大聖泰弘・三井物産（株）編：図解バイオエタノール最前線，p.37（2004）.
2）資源エネルギー庁：http://www.enecho.meti.go.jp/faq/environment/q01.htm.
3）近畿バイオマスニッポン総合戦略ブロック連絡会議：近畿バイオマスセミナー資料「バイオマスエネルギーの学習を通じてバイオマスタウンを考える」，p.76（2007）.
4）Bio Fuels World協議委員会：Bio Fuels World ビジネステクニカルセミナー予稿集，（2007）.
5）廣安博之：わかる内燃機関，日新出版，p.35（1986）.

（2009年９月30日提出）
（2009年10月16日受理）

A study on motorcycle to run using ethanol fuel

Noah UTSUMI, Masayoshi NAKAMURA and Mahiko WATANABE

Keywords : E100, Technology Utilizing, Internal-Combustion Engine,
Environmental Education, Teaching Materials

We must reduce carbon dioxide in the issue of global warming. In Japan, the quantity of carbon dioxide emission of vehicles which is in fossil fuel holds about 1/3 of the total discharge of the carbon dioxide. Therefore, we applied a commercial motorcycle and remodeled it into the motorcycle which could run using ethanol fuel of E100. In this report, this remodeling method is described, and the influence of the engine ignition in the density of the ethanol is examined. Furthermore, various densities of the engine exhaust emission using the ethanol of E100 and the gasoline of E0 are investigated. Based on these results, we developed the education program for the students.