

RF-078 アジアにおけるバイオ燃料の持続的需給システムの構築に関する研究
 (2) フィリピン産バイオ燃料の利用に伴う自動車性能及び環境性能に関する研究

財団法人 日本自動車研究所 総合企画研究部 紀伊雅敦 (平成19年度)
 財団法人 地球環境産業技術研究機構 システム研究グループ 紀伊雅敦 (平成20年度)

平成19～20年度 合計予算額 5,841千円
 (うち、平成20年度予算額 3,126千円)
 ※上記の合計予算額には、間接経費1,348千円を含む

[要旨] バイオ燃料の需要側の持続可能性の影響要因として、その導入に伴う車両影響、環境影響があげられる。その影響として、部材の腐食やスラッジの発生に伴う車両故障の可能性、および含酸素率の増加に伴うNOx排出量の増加などが指摘されている。加えて、バイオ燃料はその流通段階での品質劣化の可能性が従来燃料と比較して高いことも指摘されている。エタノール混合ガソリンについては水分の吸収による相分離、共沸現象によるエバポレーティブエミッションの増加、バイオディーゼル燃料である脂肪酸メチルエステル (FAME) については酸化安定性の問題が明らかとなっている。

本年度調査では、既往のバイオ燃料の車両影響調査をレビューし、生じうる問題点を整理すると共に、フィリピンを対象に市販されているバイオ混合燃料の性状分析を行い、車両、排出ガス等への影響を分析した。

その結果、既往調査ではエタノール混合燃料はアルミ等への腐食性を有するため5%以上の混合では車両側の対応が必要なこと、テールパイプエミッションではNOxが増加する可能性があること、FAME混合燃料では酸化安定性の確保が車両安全上重要であること、試験条件によってはNOxが増加する可能性があることを把握した。

次にフィリピンにおける市販バイオ燃料の分析結果より、現在販売されているE10ガソリン、B1ディーゼル燃料は水分管理、酸化安定性はPhilippines National Standard (PNS)、ASEAN Automotive Federation (AAF規格) を満たしていることが明らかとなった。今回サンプリングした燃料は大手販売業者のものであり、また、導入初期であることから十分な品質管理が行われていると考えられる。ただし今後中小事業者がこれらの燃料を販売する場合や混合率を高める場合、品質の安定性を保証するにはモニタリングが従来以上に重要になると考えられる。

[キーワード] バイオエタノール、FAME、燃料性状、車両影響、排ガス影響

1. はじめに

バイオ燃料にかかわる需要側の持続可能性への影響要因として、その導入に伴う車両影響、および排出ガスの性状変化に伴う環境影響があげられる。バイオ燃料に関しては、部材の腐食やスラッジの発生に伴う車両故障の可能性、および含酸素率の増加に伴うNO_x排出量や蒸気圧変化に伴うエバポレーティブエミッションの増加といった影響が指摘されている。

加えて、バイオ燃料はその流通段階での品質劣化の可能性が従来燃料と比較して高いことも指摘されている。エタノール混合ガソリンについては水分の吸収による相分離、FAME (fatty-acid methyl ester、脂肪酸メチルエステル) については酸化安定性の問題が明らかとなっている。

以上のことから、バイオ燃料の導入検討においては、その需給見通しに加えて、車両部材への腐食影響や排ガス影響など、それがもたらす可能性のある負の側面についても整理することが必要と考えられる。

2. 研究目的

本研究では、わが国におけるバイオ燃料の車両影響調査をレビューし、生じうる問題点を整理すると共に、フィリピンを対象に市販されているバイオ混合燃料の性状分析を行い、車両、排出ガス等への影響を分析する。これにより、バイオ燃料の利用に際して生じうる負の側面を整理、把握することが目的である。

3. 研究方法

本研究では、まず既往資料に基づき、バイオ燃料の利用が車両および排ガス性状に与える影響について整理する。次に、特に影響を考慮すべきと考えられる、販売燃料の品質、および排ガスへの影響を把握するために、フィリピンで市販されているバイオ燃料をサンプリング、分析する。またその結果に基づき、排ガス性状への影響評価モデルを用いて、市販バイオ燃料が大気汚染物質排出量に及ぼす影響を分析する。

(1) バイオ燃料利用が車両、排出ガス性状に与える影響

バイオ燃料はすでに一部の国で市販されており、特に先進国ではその車両、排出ガスへの影響について調査されている。わが国においても経済産業省が各種技術試験の結果を報告しており、それらの影響を明らかにしている。ここでは、経産省資料に基づきバイオ燃料の車両、排出ガス影響を整理する。

対象とする資料は、エタノールについては「総合資源エネルギー調査会石油分科会石油部会燃料政策小委員会（第8回）」配付資料の「エタノール許容値検証試験結果について（案）」、BDFについては「総合資源エネルギー調査会石油分科会石油部会燃料政策小委員会（第21回）」配付資料の「バイオディーゼル燃料混合軽油の規格案について（案）」である。

1) エタノール燃料の影響

まず、エタノールについては分子構造上極性が比較的強く、金属系材料の腐食作用、樹脂系材料に対する膨潤作用があると指摘されている¹⁾。また、含酸素率の増加に伴い空燃比が希薄燃焼側

になることによりNO_xのテールパイプエミッションが増加する、共沸現象によるHCエミッションの増加等も指摘されている。上記経産省審議会においても、これらの項目について試験が行われており、ここではその試験結果を整理する。

エタノール混合燃料は、一部の金属材料を腐食する可能性があるが、金属材料が腐食すると車両故障が生じ、場合によっては火災を発生させる。金属材料の腐食試験では、サワー化した100℃のエタノール混合ガソリンに720時間浸漬（自動車の使用期間15年に相当）したときの溶解重量比率を計測している。その結果、5v%（体積パーセント）以上の混合率では特定の種類のアルミニウムについて腐食が生じ、10v%では一部完全に溶解することが分かった。一方、3v%以下では試料の重量変化は見られなかった。

ゴム部品の膨潤は燃料ホースが抜け、車両故障、事故の原因となる。ゴム部材への影響については、エタノール50v%混合燃料で影響の見られた6種類の材料について試験が行われ、70℃で720時間浸漬した場合の物性変化を計測している。その結果を見ると、エタノール混合率が高いほど、経時変化も大きくなる傾向があるが、報告書では3%以下の混合率ではホース抜けが生じるほどの影響は生じないとされている。

以上鑑みると、エタノール混合燃料が車両に与える影響は、使用部材に依存するといえる。経産省資料は最も影響を受けると考えられる材料と条件での試験であり、それでも3%以下であれば安全性に影響を及ぼさないことを示したものと言える。途上国において、エタノールの影響を受ける部品がどの程度の車両に使用されているか把握することは不可能だが、アジア諸国ではわが国の中古車、あるいは使用済み部品が流通している可能性が高く、5%以上の混合率では一部の車両で不具合が生じる可能性が考えられる。したがって、5%以上の混合率で車両の安全を確保するためには、部材等が対応済みの車両に対してのみ使用することが望ましいといえる。

次に、テールパイプエミッションについては、COは低下傾向、NO_xは増加傾向にあることが指摘されている。資料では、試験車両として2004年車（ポートインジェクション、フィードバック制御有り）と1994年車（キャブレター、フィードバック制御なし）の2種類を対象としている。試験の結果、2004年車ではNO_xの排出量はエタノールの混合率によって変化しないが、1994年車についてはエタノールの混合により排出量が増加する傾向が示されている。エタノール混合燃料をエンジンで燃焼させる場合、燃焼ガス中のHC、COは少なくなる傾向がある。その一方、現在の車両では、燃焼ガス中のNO_xは触媒を用いた後処理装置で浄化されている。この後処理において理論空燃比をはずれると触媒の浄化性能が極端に落ちることになるため、含酸素率の高いエタノール混合燃料をNO_x浄化触媒を搭載した車両で用いる場合には、テールパイプエミッション中のNO_xが増加する可能性がある。

近年の車両では吸気側あるいは排気側の酸素濃度等をO₂センサーで測定し、燃料噴射量等をフィードバック制御することで理論空燃比を維持するようにしているため、テールパイプエミッションは変化しないが、フィードバック制御を行わない古い車両では排気中の酸素量が多くなるため触媒の浄化性能が低下し、NO_xが増加することになる。

エバポレーティブエミッションについては、平成12年規制対応の乗用車については規制値（2.0g/test）を満たしているが、軽自動車についてはE10で規制値を超える排出量が計測された。これは、エタノール混合燃料では蒸気圧が上昇し、燃料性状が車両設計の前提となる燃料規格からはずれるためと考えられる。このため、エタノール混合燃料を用いる場合はベースガソリンの

基材を調整し適切な蒸気圧にすべきと指摘されている。

以上のことから、排出ガスについてはフィードバック制御を行わず、かつ排ガス後処理触媒を搭載する車両では、エタノール混合燃料の使用によりNO_x排出量が増加する可能性がある。一方、フィードバック制御を行う車両ではNO_x排出量は変わらず、触媒のついていない車両では排出量は低下する可能性がある。エバポレーティブエミッションについては、ベース燃料となるガソリンの基材調整により抑制出来ると考えられるが、もし蒸気圧、あるいは蒸留性状の品質規格が定められておらず、基材調整が行われないならば、エバポレーティブエミッションは増加する可能性がある。

途上国において、フィードバック制御なしの触媒搭載車の台数は不明であり、バイオエタノール導入に伴う排出ガス量の変化を見通すことは困難だが、今後、排ガス規制を導入する国も増えてくることから、長期的にはフィードバック制御付きの触媒搭載車の台数が増えると考えられる。

2) バイオディーゼル燃料の影響

次に、BDFの車両影響、排出ガス影響を整理する。現在、BDFは植物油、廃食油等をFAME化したものが利用されている。FAMEは軽油と比較してゴム、樹脂を劣化させる、あるいは熱により酸やスラッジを発生するなどの特徴を有しており、これらが車両に与える影響が懸念される。またそれらの特徴は原料となる油脂の性質に依存して異なるため、しばしば原料作物の名称を冠してPME（パーム油ME）、RME（菜種油ME）等と言われる。

これらの特性を把握するための指標として、経済産業省ではトリグリセライド含有量、メタノール含有量、酸価、酸化安定性をあげている。トリグリセライドはメチルエステル化されずに残った油脂そのものであり、酸化劣化してスラッジになりやすい。メタノールはFAME製造時に使用され燃料に残留する可能性があり、金属を腐食させる性質を持つ。酸価および酸化安定性については、FAMEが酸化劣化する過程で有機酸、脂肪酸、水分が発生し、金属腐食の原因になると共に、FAMEの酸化劣化物もまたスラッジとなるため、重要な指標とされている。

資料では、各種FAME5v%混合軽油の全酸価の時間変化（試験条件：酸素加圧下で温度110℃）を計測している。軽油そのものも劣化により酸化するが、飽和脂肪酸MEは軽油と同程度の全酸価の時間推移を示している。一方、不飽和脂肪酸MEは短時間で全酸価が上昇する傾向がある。これは不飽和脂肪酸MEは酸化安定性が低く、酸の発生と共に酸化劣化物であるスラッジも発生しやすいことを示唆している。

ただし、FAMEの場合も使用する材料により腐食、劣化等の影響が異なり、また発生するスラッジが摺動部の性能低下に与える影響も使用条件等により異なると考えられる。このため、途上国における車両安全への影響を定量的に評価するためには、現地の実車両を使用した試験が必要と考えられる。

次にFAMEの排出ガスへの影響を見ると、高負荷でNO_xが増加しPMは減少する傾向が見られる。FAMEは含酸素燃料であることからPMが発生しにくい、セタン価が低下することから着火遅れや急激な燃焼が生じ、燃焼温度が上昇するためNO_xが増加するとされている²⁾。ただし、B10までの範囲においてはその変化量はわずかである。

以上のことから、FAME混合軽油では、若干の排出ガス影響が認められるものの、車両側の排気後処理装備の導入状況の方が影響は大きいと考えられる。特に途上国では旧式の商用ディーゼル

車が多数存在しており、そのような車両ではFAME利用によるPM削減効果が表れる可能性も考えられる。しかしそれを確認するためには実車を用いた試験を行う必要がある。本研究では規格を満たしたFAME混合軽油の車両影響、排出ガス影響は無視しうるほど小さいと想定する。

(2) フィリピンにおける市販バイオ混合燃料の性状分析

前節で整理した既往の試験結果から、車両の使用部品や制御方法がバイオ燃料に対応し、かつ燃料の販売品質が確保されれば、バイオ混合燃料が車両、および排出ガスに及ぼす影響はほとんど無いと考えられる。しかし、実際には使用過程車はバイオ燃料に必ずしも対応しておらず、また販売燃料の品質が十分確保されているかどうかは、実際に販売されている燃料の性状を分析しなくてはわからない。

本節では特にバイオ燃料が市販されているフィリピンを対象に、販売燃料のサンプリング、性状分析を行い、その分析結果からバイオ燃料の流通品質の状況と予想される影響を検討する。以下ではエタノール混合燃料、FAME混合燃料についてそれぞれ整理する。

1) 自動車用燃料の品質規格

フィリピンでは2006年6月に施行されたバイオ燃料法に基づき、2年以内にガソリン販売量の5v%のエタノール導入を石油会社に義務づけられている。また、4年以内に10%以上の混合義務化を実現可能か政府が判断することとなっている。この義務化に先行して、いくつかの石油会社はエタノール混合ガソリンを販売しており、2008年12月現在では数社がマニラ中心部でE10ガソリンを販売している。また、同法では、現在1%以上のBDFの混合が義務づけられており、施行から2年以内に2%以上混合の実現可能性を政府が判断することとされている。このため、2008年12月現在、販売されている全ての軽油は1%以上のFAMEが混合されている。

こうした燃料の性状を規定する規格としてフィリピンではPNS (The Philippines National Standard) が定められている。また、AMIECC自動車ワーキンググループにおいて、アジア地域の推奨燃料規格がAAFとして提案されている。ガソリンのPNS、AAF規格を表1、2に、また、軽油の規格を表3、4に示す。

PNSは概ねAAFの項目に対応しているが、いくつかの項目はPNSよりもAAFの基準値がより厳しくなっている。今後、排出ガスのユーロ規格等への対応にはAAFを満足する必要がある、PNSもそれに応じてより厳しい基準となるものと考えられる。このため、以下の品質分析では両規格を適宜参照しつつ考察する。

表1 フィリピンのガソリン規格

Items	unit	Philippine				
		Premium Plus	Premium	Regular Plus	Regular	
Density	g/cm ³	0.783 max	0.783 max	0.783 max	0.783 max	
Octane Number	RON	95 min	93 min	87 min	81 min	
RVP	kPa	62 max	62 max	62 max	85 max	
Distillation	T10	°C	70 max	70 max	70 max	70 max
	T50	°C	75-121	75-121	75-121	75-121
	T90	°C	180 max	180 max	180 max	180 max
	EP	°C	221 max	221 max	221 max	221 max
	Residue	vol%	2 max	2 max	2 max	2 max
Aromatics	vol%	35 max	35 max	35 max	35 max	
Benzene	vol%	2 max	2 max	2 max	2 max	
Oxygenates	Alcohol	vol%	10 max	10 max	10 max	10 max
	Ethers	vol%	10 max	10 max	10 max	10 max
Sulfur	ppm	1000 max	1000 max	2000 max	2000 max	
Lead	g/L	0.013 max	0.013 max	0.013 max	0.013 max	
Existent Gum (Washed)	mg/100mL	4 max	4 max	4 max	4 max	
Copper Corrosion	-	1 max	1 max	1 max	1 max	

表2 AAF推奨規格 (ガソリン)

Items	unit	AAF Recommendation	EN228 (Class1)	Comment	Priority
Density	,g/cm ³	0.725 - 0.780	0.725 - 0.780	same to EN	★★★★
Octane Number					
RON		91/95/98	91/95	same to EN	★★★★
MON		81/85/88	81/85	same to EN	★★★★
AKI					
RVP	,kPa	S : 65 max W : *1)	70 max	see explanation	★★★★
Distillation	,°C				
T50		75 - 110		almost same to EN see explanation	★★★★
T90		180 max			★★★★
EP		215 max	215 max		★★★★
Residue (vol%)		2 max.	2 max.		★★★★
E70			15 - 45		
E100			40 - 65		
E150			85 min		
Hydrocarbons					
Aromatics		-			★★★★
Olefins		-			★★★★
Benzene		5.0 max.	5.0 max.	same to EN	★★★★
Oxygenates					
Oxygen	,wt%	2.7 max.	2.7 max.	same to EN	★★★★
MTBE	,vol%	15 max	15 max. (Ethers)	same to EN	★★★★
Methanol	,vol%	N.D	3 max	see explanation	★★★★
Ethanol	,vol%	3 max *3)	5 max.	see note	★★★★
Others	,vol%	PA,iBA 10, tBA 7	PA,iBA 10, tBA 7	same to EN	★★★★
Sulfur	,ppm	500 max	500 max	same to EN	★★★★
Lead	,g/L	N.D *4)	0.013 max	same to EN	★★★★
Metals		N.D *4)		see explanation	★★★★
Existent Gum (Washed)	,mg/100mL	5 max	5 max	same to EN	★★★★
Copper Corrosion		1 max	1 max	same to EN	★★★★
Oxidation Stability	,min	480 min *2)	360 min	see note	★★★★
Appearance		Clear & Bright	Clear & Bright	same to EN	★★★★

Note: *1) RVP of winter gasoline should be decided by average temperature in winter time.

*2) When olefins are higher than 20v%, oxidation stability must be considered carefully. In Japan, average oxidation stability is about 1000 min. So this level should be kept by additives.

*3) When higher content of ethanol than 3v% will be introduced based on political decision, upper limit should be 10 vol%. In that case, it must be confirmed if the vehicles introduced into the market are adapted for higher ethanol or not. Two pump system and/or labeling are recommended when there are the vehicles not adapted E10 in the market.

*4) Limit figure depends on analysis method. No intentional addition is required.

表3 フィリピンの軽油規格

Items	unit	ADO
Density	g/cm3	860 max
Cetane Index	-	50 min
Viscosity @40°C	mm2/s	2.0-4.5
Flash Point	°C	55 min
Distillation T90	°C	370 max
Lubricity(HFRR)	μ m	460 max
Sulfur	ppm	500 max
10% Carbon Residue	wt%	0.15 max
Water	vol.%	0.1 max

表4 AAFの軽油規格

Items	unit	AAF Recommendation	EN590 (Euro2)	comment (Euro2)	Priority
Density	,g/cm3	0.820 - 0.860	0.820 - 0.860	same to EN	★★☆☆
Cetane Index		50 min.	46 min.	see explanation	★★★★
Cetane Number		50 min.	49 min.	see explanation	★★★★
Viscosity @30°C	,mm2/s				
Viscosity @40°C	,mm2/s	2.0 - 4.5	2.0 - 4.5	same to EN	★★☆☆
Flash Point	,°C	55 min.	55 min.	same to EN	★★☆☆
Distillation	,°C				
T90		360 max.		almost same to EN see explanation	★★★★
T95					
EP					
E250			65 max.		
E350			85 min.		
E370			95 min.		
Hydrocarbons					
Aromatics		-			★★☆☆
PAH		-			★★☆☆
Oxygenates					
Oxygen	,wt%				
FAME	,vol%	TBD *1)			★★★★
Alcohol	,vol%	N.D.			★★★★
Lubricity(HFRR)	,μ m	460 max	460 max.	same to EN	★★★★
Sulfur	,ppm	500 max	500 max.	same to EN	★★★★
10% Carbon Residue	,wt%	0.30 max	0.30 max.	same to EN	★★☆☆
Cloud Point	,°C	*1)			
Pour Point	,°C	*1)			
CFPP	,°C	*1)			
Appearance		Clear & Bright		same to EN (gasoline)	★★★★
Water	,mg/kg	200 max	200 max.	same to EN	★★★★
Oxidation Stability	,g/m3	25 max	25 max.	same to EN	★★★★
Copper Corrosion		1 max	1 max.	same to EN	★★★★
Particulates	,mg/L	10 max.	10 max.	same to EN	★★★★
Ash	,wt%	0.01 max	0.01 max.	same to EN	★★★★

Note : *1)Raw material is different country by country. Specification and concentration should be decided based on scientific studies conducted in each country.

*2)Cold temperature performance would be controlled by ambient temperature.

2) 自動車用燃料のサンプリング

サンプリングはマニラ首都圏のマカティ市にある4つのガソリンスタンドで2009年1月20日に行った。ブランド名はCaltex、Petron、SEAOIL、Shellである。なお、サンプリング、分析ともにSGSジャパン株式会社に委託し、SGSのフィリピン現地法人がサンプリングを行い、それをドイツの試験設備で分析した。サンプリングを行ったガソリンスタンドの状況とプライスボードを図1～8に示す。



図1 サンプリングを行ったガソリンスタンド (Caltex)



図2 プライスボード (Caltex)



図3 サンプルングを行ったガソリンスタンド (Petron)



図4 プライスボード (Petron)



図5 サンプルングを行ったガソリンスタンド (SeaOil)



図6 プライスボード (SeaOil)



図7 サンプルングを行ったガソリンスタンド (Shell)



図8 プライスボード (Shell)

サンプルングした燃料の種類と価格、および外観を表5に整理する。これより、比較対象とした通常ガソリンの価格はまちまちだが、E10ガソリンはいずれも通常ガソリンより安価に設定されている。また、販売されている軽油はすべてB1である。

表5 サンプルングした燃料の種類と価格

peso/liter	Caltex	Petron	Seaoil	Shell
Normal gasoline	32.47	31.97	31.98	32.57
E10 gasoline	31.47	31.48	31.45	31.57
B1 diesel	31.37	30.48	30.97	30.48

3) 燃料性状の分析結果

次に、本調査で対象とする分析項目と試験方法を以下に示す。

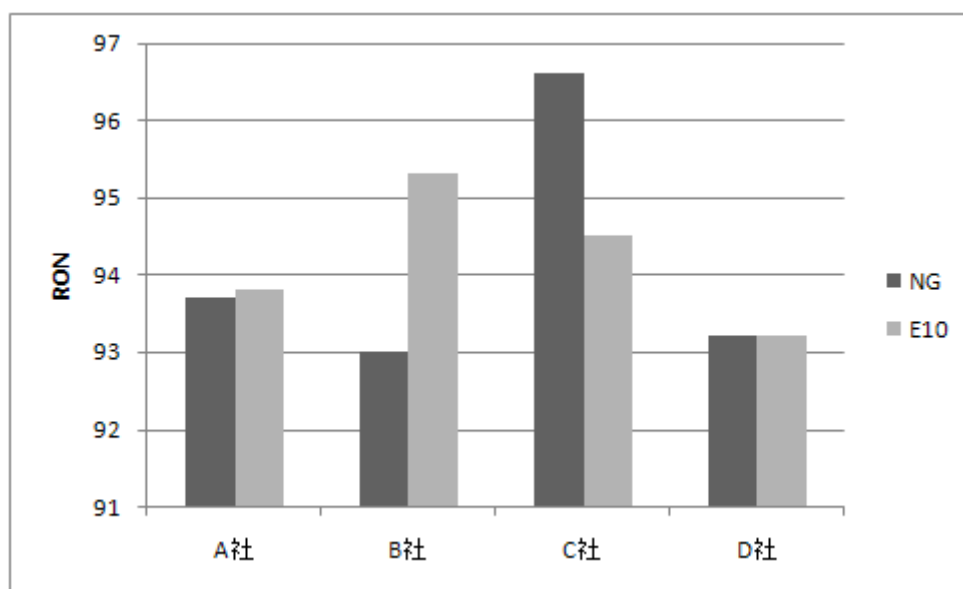
①通常ガソリン, E10ガソリン

密度:	ASTM D 4052
RON:	ASTM D 2699
蒸気圧:	ASTM D 5191
硫黄:	ASTM D 6334/5453
水分:	ASTM D 6304
蒸留:	ASTM D 86
PONA:	ASTM D 6839
金属分:	ASTM D 5185

②B1軽油

密度:	ASTM D 4052
蒸留:	ASTM D 86
水分:	ASTM D 6304
曇り点:	ASTM D 5772
引火点:	ASTM D 93
全酸価:	ASTM D 974
酸化安定性:	EN 14112
アロマ:	EN 12916
バイオ軽油分:	EN14078
メタノール:	GC
硫黄:	ASTM D 6334/5453

分析項目のうち、主要なものの結果を整理する。まずガソリンのオクタン価を図9に示す。これを見るとA社とD社は通常ガソリンとE10ガソリンのオクタン価がほぼ同等となっている。エタノールを直接混合する場合オクタン価が増加することから、これらの石油会社ではオクタン価が同等となるよう基材調整を行っていると考えられる。一方、B社ではE10ガソリンの方がオクタン価が高く、C社は逆に通常ガソリンの方がオクタン価が高くなっている。



NG : 通常ガソリン、E10 : エタノール10%混合ガソリン

図9 サンプルガソリンのオクタン価

次に、蒸気圧をみると（図10）、C社を除きE10ガソリンの蒸気圧が高くなっている。PNSの規格は62～85kPa以下であり、いずれのサンプルも規格を満たしているが、C社は通常ガソリンとE10ガソリンの蒸気圧がほぼ同等であり、高い値となっている。

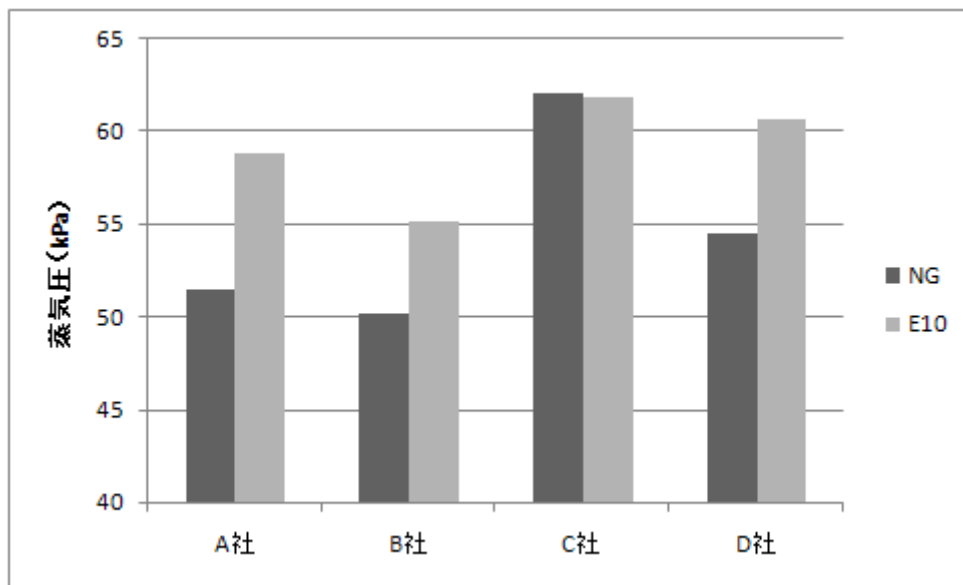


図10 サンプルガソリンの蒸気圧

水分量をみると（図11）、C社を除き、E10の水分量は大幅に大きくなっている。エタノール混合ガソリンの水分量が多くなるとエタノールとガソリンが分離し、自動車の走行に支障をきたす可能性がある。E10の場合、温度が30度では水分量が0.5v%以上で相分離を起こすと報告されている。2007年の調査ではE10の水分量が400mg/kgであったが、本年度は約3～4倍に水分量が増加している。

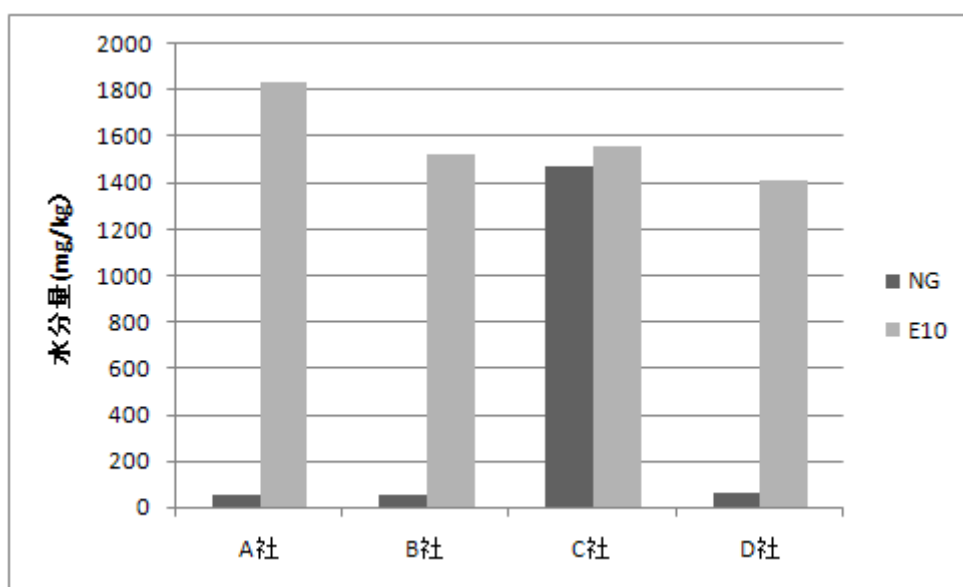


図11 サンプルガソリンの水分量

なお、C社については通常ガソリンでも水分量が多く、エタノールが混合されていることが考えられる。各サンプルのエタノール混合率を図12に示す。各社のE10ガソリンは10%以上のエタノールが混合されているが、C社の通常ガソリンは同程度のエタノールが混合されている。表5に示したように、エタノール混合ガソリンは通常ガソリンよりも価格が安く設定されているが、これは免税措置等を反映しているとされている。エタノール混合によりオクタン価が向上するが、こうした措置を利用して高オクタン価ガソリンを安価に供給しているものと考えられる。なお、図9に示したように、C社の通常ガソリンはE10ガソリンよりもオクタン価がさらに高くなっている。金属分を分析すると、C社の通常ガソリンにはマンガンが添加されており、オクタン価向上剤として用いられていると推察される。これによりE10と差別化を図っている可能性が考えられる。マンガン等の重金属は触媒を劣化させる可能性が指摘されており、米国では使用が禁止されている。フィリピン国内での使用は禁止されていないが、他社のサンプルにはほとんど用いられていない。

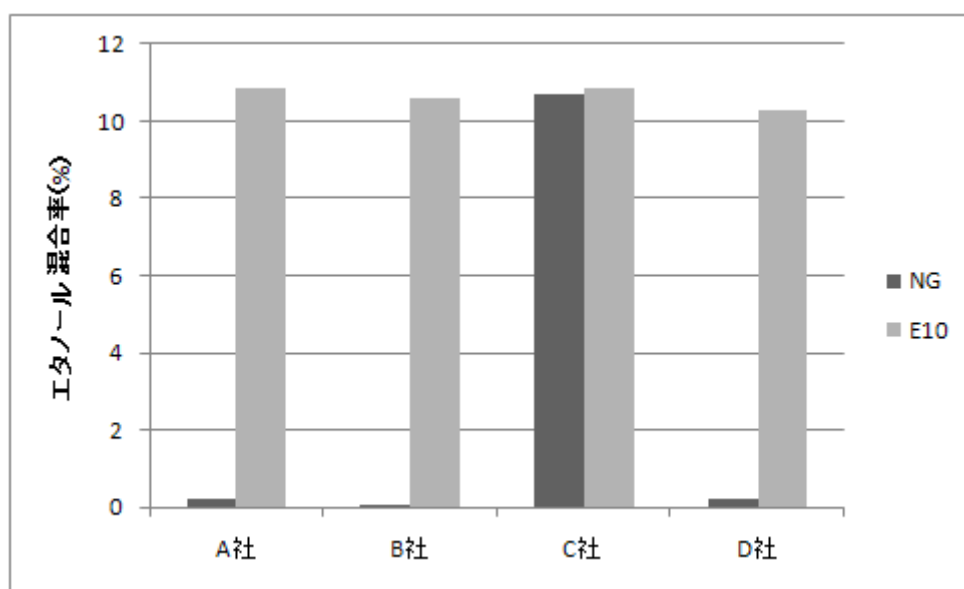
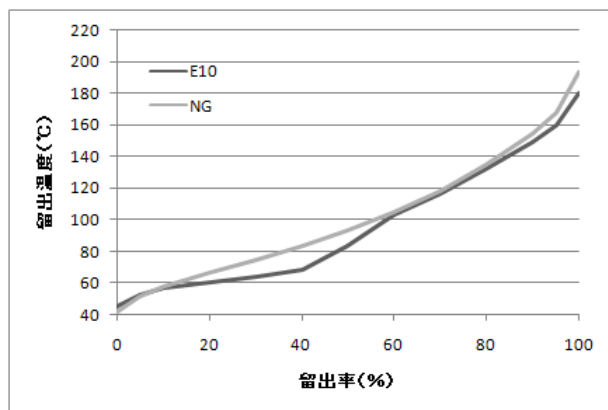


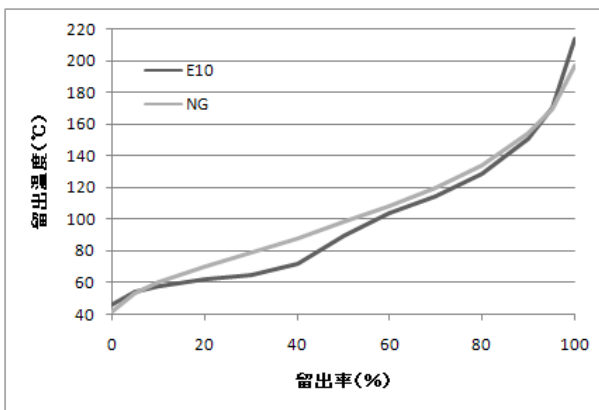
図12 エタノール混合率

次に、蒸留性状を比較した結果を図13に示す。C社を除き留出量が20%から60%で留出温度の低下が見られるものの、E10ガソリンのT50温度は78～98℃であり、PNSおよびAAF規格を満たしている。ガソリンとエタノールの単純混合ではT50留出温度が大幅に低下し、運転性能、特に再始動性を悪化させる可能性が指摘されているが、今回のサンプルでは基材調整により蒸留性状も適切に管理されていると推察される。

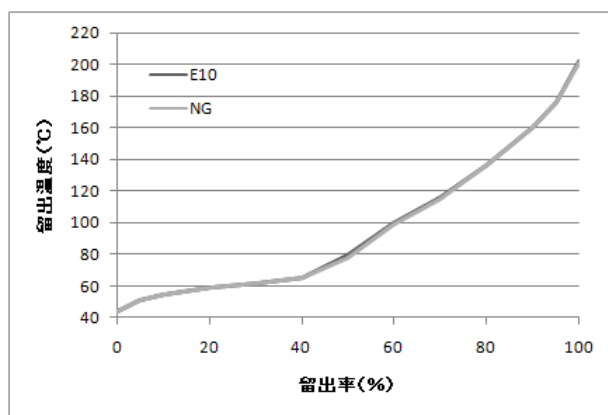
A社



B社



C社



D社

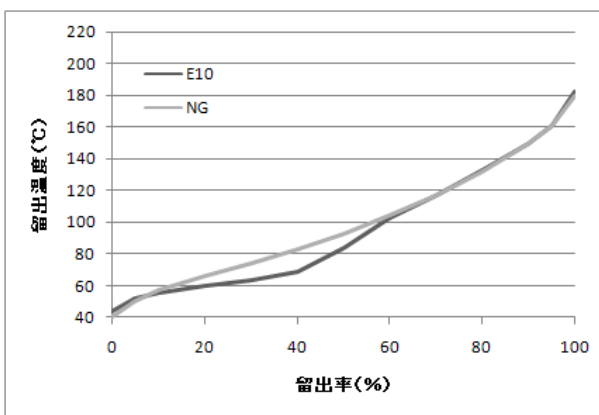


図13 燃料の蒸留性状

次に、B1軽油についての分析結果を整理する。本調査では、異なるブランドの3つのガソリンスタンドからそれぞれ1サンプルずつ燃料を取得し、それらの燃料性状を分析した。セタン価、密度についてはいずれのサンプルもPNS、AAFを満たしている。

前節までで議論したように、FAME混合燃料では特に酸化安定性、および精製品質の指標としてメタノール含有量等が重要な指標と考えられる。現在のPNS、AAF共にFAME混合を前提としていないため、これらの項目は規格の対象とされていないが（酸化安定性のみAAFの項目となっている）、FAME混合を前提とするならばこれらの項目についても規格を定めるべきと考えられる。

酸化安定性の分析結果を図14に示す。これを見ると、サンプルにより大きくばらついていることがわかる。ただし、これらはいずれもAAFの規格を満たしている。また、全酸価はすべてのサンプルで0.04 mgKOH/g以下であり、取得したB1軽油のサンプルについては問題ないと考えられる。メタノールについても0.1%未満となっている。通常の軽油では製造プロセスでメタノールが混合されることはないが、FAMEは製造過程でメタノールを使用するため残留する可能性が指摘されている。AAF、PNSともにメタノールの基準値は定められていないが、我が国の審議会におけるFAME混合軽油の規格案ではメタノール含有量は0.01wt%以下となっている。ただし、我が国の規格案ではあくまでも混合後のBDFにおいて混合前のFAMEの精製度を推察するためにメタノール含有量を設定しており、必ずしもこの程度の量のメタノールが車両に悪影響を及ぼすものではない。

以上整理すると、今回サンプリングした市販BDFは車両に悪影響を及ぼす可能性は低いと考えられる。ただし、サンプルはいずれも大手ブランドでの燃料であり、品質管理がなされている企業のものであることに留意が必要である。また、現在はB1であり、混合率の低さから品質への影響は非常に小さいと考えられるが、今後混合率が高くなると影響が大きくなる可能性がある。現状でも酸化安定性についてばらつきが見られたが、今後FAME混合率が高まる場合、その差が顕著になる可能性もある。供給可能性を考えると、近い将来に高濃度のFAME混合軽油が市販されることは無いが、今後FAME混合率が増加する場合の品質確保体制を検討することは重要である。

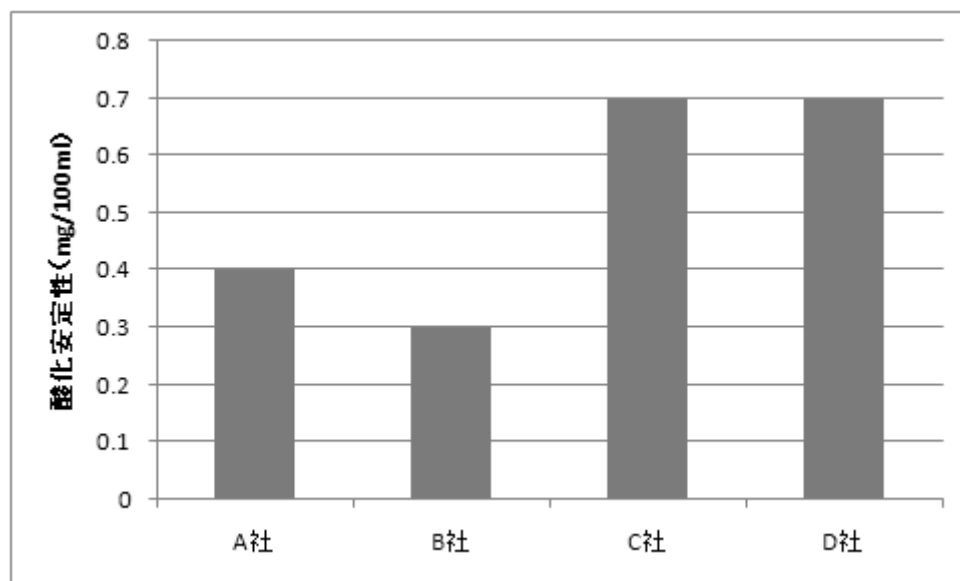


図14 B1軽油の酸化安定性

4. 結果・考察

以上得られた分析結果のうち、エタノール混合ガソリンについての排出ガス影響を米国エネルギー省 (DOE) が作成したComplex Model³⁾を用いて推計する。

Complex Modelは1990年の改正大気汚染浄化法におけるRFG (Reformulated Gasoline) 規制のもとで、NO_x、VOC (volatile organic compounds、揮発性有機化合物)、Toxics (ベンゼン、ホルムアルデヒド、アセトアルデヒド等の有害物質) の削減量を算出するための計算式であり、ガソリンの成分からこれらの物質の排出量を推計するものである。1998年まではSimple Modelが用いられていたが、それ以降はComplex Modelを用いることが求められている。

モデルの入力条件は蒸気圧、含酸素率 (MTBE:methyl tertiary butyl ether、ETBE:ethyl tertiary butyl ether、エタノール)、硫黄分、蒸留性状、アロマ、オレフィン、ベンゼンである。ここでは、ベースガソリンとして通常ガソリンの分析結果を用い、E10ガソリンの排出ガス影響を推計する。入力変数と出力変数を表6に整理する。

ただし、モデルは各種性状の燃料に対する車両からの排ガスの回帰式 (線形、非線形含む) の複合式で表わされており、そのモデルパラメータは1986年から1990年の車両に基づき設定している。したがって、燃料性状がエミッションに与える影響は必ずしも近年の車両の特性と整合する

とは限らない。しかし、多くの途上国では高車令の自動車が多く残っており、また、排ガス対策についても先進国ほど進められていないことから、モデルで推計される排ガス影響を参照することには意味があると考えられる。なお、今回対象とした燃料のエタノール濃度は、モデル作成において用いられた燃料よりも高い値となっており、モデル中で外挿推計が行われていることに留意が必要である。

表6 Complex modelの入出力変数

	VOC	NOx	Exhaust Benzene	Nonexhaust Benzene	Form-aldehyde	Acet-aldehyde	Polycyclic Organic Matter	1,3-Butadiene
Benzene			X	X				
MTBE				X	X	X		
ETBE						X		
Ethanol						X		
Total Oxygen	X	X	X				X	X
RVP	X	X		X		X	X	
Total Aromatics	X	X	X		X	X	X	X
Sulfur	X	X	X			X	X	X
Olefins	X	X			X		X	X
E200	X	X	X				X	X
E300	X	X	X		X	X	X	X
RVP squared	X							
Aromatics squared		X						
Sulfur squared		X						
Olefins squared		X						
E200 squared	X						X	
E300 Squared	X						X	
Aromatics x E300	X						X	

出典) EIA³⁾

モデルの入力条件として、通常ガソリンおよびE10ガソリンの主要諸元を表7に示す。E10化においては、C社を除き高オクタン基材であるオレフィンを減少させ、アロマ、パラフィンを増加させている。オクタン価（RON）をみるとA社とD社では通常ガソリンとE10ガソリンはほぼ同じだが、B社はE10のオレフィン分を他社より多くしオクタン価を高くしている。

蒸気圧はE10化により、いずれのサンプルも高くなっている。特にSeaoilのE10表示なしガソリンの蒸気圧はフィリピン国内規格の上限となっている。

表7 取得サンプルの主要諸元

	Aromatics	Olefines	EtOH	Sulfur	RON	DVPE	E200	E300
	体積%	体積%	質量%	Ppm		kPa	体積%	体積%
A社	30.2	19.6	0.22	49	93.7	51.5	49.0	87.2
	34.7	5.4	10.86	16	93.8	58.8	54.8	89.9
B社	30.1	26.7	0.05	129	93.0	50.2	45.2	87.6
	27.3	17.4	10.61	87	95.3	55.1	52.7	88.9
C社	26.1	20.9	10.72	62	96.6	62.1	57.4	85.7
	26.2	20.4	10.84	70	94.5	61.9	56.5	85.3
D社	31.8	19.0	0.21	59	93.2	54.5	49.3	89.3
	35.1	4.6	10.27	13	93.2	60.7	54.7	89.3

各社の上段は通常（E10表示なし）サンプル、下段はE10サンプル

基準燃料をA社の通常ガソリンとし、それに対するE10ガソリンの排ガス変化を図15に示す。これよりE10化に伴い、VOCとアセトアルデヒド等の有害物質の排出はいずれのサンプルでも増加する一方、NOxは減少する傾向がみられる。ただし、C社についてはNOxも若干増加しているが、これは基材中のオレフィン分がA社の通常ガソリンより高いことに起因すると推察される。

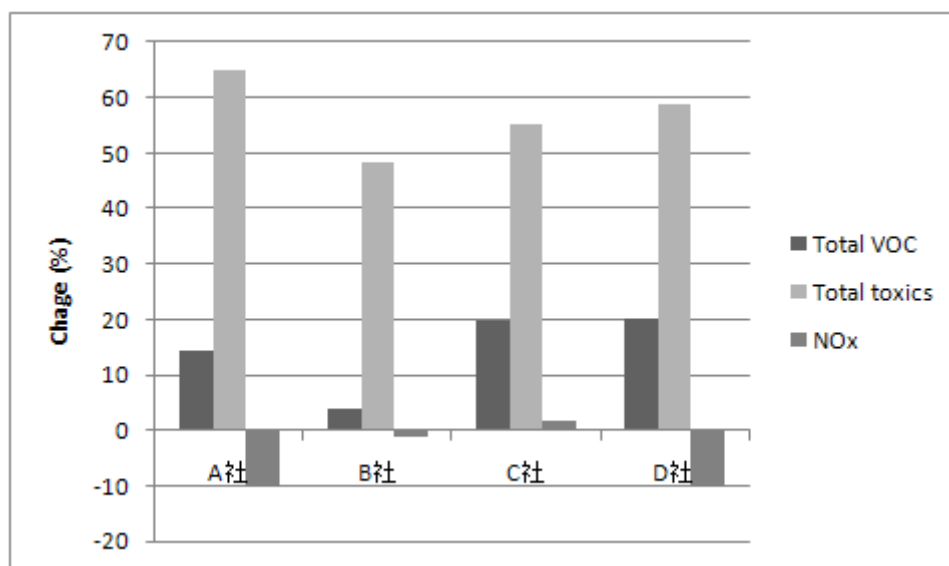


図15 E10ガソリンの排ガス性状

なお、VOCをより詳細にみると、テールパイプからの排出量は若干減少する一方、タンクからのエバポレーティブエミッションが増加している。また、有害物質についても、やはりバポレーティブエミッションが増加しており、排ガス中のベンゼンは減少している。増加する有害物質の中では、特にアセトアルデヒドの増加量が多い。経産省の報告では、エタノール混合ガソリンは10-15モードではアセトアルデヒドの排出量に明確な傾向は見られないが、11モードではいずれの車種でも増加する傾向が見られ、一部の車種では通常ガソリンと比較して3倍以上の排出量増加となっている。アセトアルデヒドは、発ガン性等が疑われているが、空気中で拡散、分解されるため

日本では濃度はそれほど高くない。2002年の一般大気環境濃度は $0.0025\text{mg}/\text{m}^3$ であり、室内空気汚染に関わるガイドラインの指針値である $0.048\text{mg}/\text{m}^3$ の1/20程度となっている⁴⁾。

このように、E10化に伴う排ガス性状の傾向はおおむねいずれのサンプルでも同様であるが、変化量については燃料性状のばらつきを反映してサンプル間で相違が生じている。VOC、有害物質の排出量をみると、B社のサンプルが増加が最も少ないが、NO_xをみるとA社とD社のサンプルの減少幅が大きくなっている。このように、E10化の対応方法によって、排ガス量に変化する可能性をモデル分析から読み取ることができる。

ただし、E10化に伴う排ガス影響は車両側の対応である程度緩和することが可能である。その対応にコストはかかるものの、エタノール混合燃料対応車の普及がE10化に伴う大気汚染物質の排出増加抑制には不可欠と考えられる。また、モデルではNO_xが減少する結果が得られたが、車両側の排ガス処理技術により近年の車両では既にNO_x排出量はきわめて少なくなっており、E10化によるNO_x減少効果は高令車に限定されると考えられる。アジアでは高令車が数多く残存していると推察される。このため、短期的にはバイオ燃料導入によるこうした排ガス性状への影響も無視しえないと考えられる。

これらの結果はあくまでも一つのモデルに基づく推計値であり、実際の状況を的確に把握するためには実車を用いた排ガス試験が必要である。しかし、途上国で排ガス試験を行える施設は限られているため、当該国の市販バイオ燃料を用いた排ガス試験は困難である。また、先進国で試験を行う場合も、基材を調整した燃料を入手することは通常困難であり、途上国の市販燃料を再現することは難しい。このため、本研究ではモデルを用いた推計に頼らざるを得ないが、得られた結果は必ずしも実車両を用いた試験結果とは一致しない可能性があることに留意が必要である。

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

本研究ではバイオ燃料導入に伴う車両影響、環境影響のための基礎データの収集と分析を行った。まず、わが国での車両影響調査をレビューし、バイオ燃料導入に伴う問題点を整理した。その上で、フィリピンを対象に市販バイオ混合燃料のサンプリング、性状分析を行い、車両、排出ガス等への影響を分析した。

その結果、既往調査ではエタノール混合燃料はアルミ等への腐食性を有するため5%以上の混合では車両側の対応が必要なこと、テールパイプエミッションではNO_xが増加する可能性があること、FAME混合燃料では酸化安定性の確保が車両安全上重要であること、試験条件によってはNO_xが増加する可能性があることを把握した。

車両安全への問題は、エタノール混合燃料の場合、車両が使用している部品の材質に大きく依存し、影響のある部品を用いていなければ問題が少ない。ただし、エタノールを直接混合する場合には水相容量が大きく増加するため水分管理も重要である。一方、FAME混合燃料では車両安全性の確保には酸化安定性が重要である。

フィリピンの市販バイオ燃料の分析結果より、販売中のE10ガソリン、B1ディーゼル燃料は水分管理、酸化安定性はPNS、AAF規格をおおむね満たしていることが明らかとなった。今回サンプリングした燃料は大手販売業者のものであり、また、導入初期であることから十分な品質管理が行

われていると考えられる。ただし今後中小事業者がこれらの燃料を販売する場合、および混合率を高める場合、品質の安定性を保証するにはモニタリングが従来以上に重要になると考えられる。特に、E10ガソリンの水分量については、2007年の分析と比較して2008年は増加しており、今後適切な管理が維持されるか注意が必要である。

また、E10ガソリンの調整方法は石油会社により対応が異なっていることも明らかとなった。ただし、いずれの燃料サンプルもフィリピン国内の強制規格（違反に対し罰則を伴う規格）を満たしており、各社の対応の違いの是非を論じることはできない。車両の高度な排ガス対策には、燃料品質に関する強制規格を満たすだけでは不十分であり、燃料の製造・供給事業者と自動車メーカーのすり合わせが必要となる。各社の対応の相違は、こうしたすり合わせが十分機能していない可能性を示唆しており、排ガス性状に対しても影響する可能性がある。事業者ごとのE10化の対応方法を考えると、バイオ燃料に対する免税措置などの制度も、こうした相違を生み出す要因の一つである可能性が示唆される。

最後に、燃料性状の分析データに基づき、エタノール混合ガソリンについて、排出ガス影響をComplex Modelを用い推計した。その結果我が国の既往調査と異なりNOx排出量が減少する可能性が示された。これはアロマ、オレフィン成分の減少に起因すると考えられる。一方、蒸気圧の増加等に起因し、アセトアルデヒド排出量が増加すると推計された。これは、既往調査と整合する結果である。ただし、この推計結果は、1980年代後半から90年代初頭にかけての自動車をベースとするモデルに基づいており、近年の低排ガス車両ではあまり影響がないことが文献調査から確認されている。ただし、途上国では旧年式車両が数多く存在しているため、短期的にはこうした排ガス影響についても考慮することが必要である。

なお、燃料性状分析から、いずれのサンプルもフィリピン国内の強制規格を満たしていることが明らかとなったが、今後、排ガス基準を引き上げる場合は、いくつかの項目は規格外となる。排ガス規制の強化とバイオ燃料導入を両立するためには、燃料製造における対応が必要となる。さらに、バイオ燃料の混合率を高める場合には、その影響はより大きくなると考えられ、また品質管理の不十分な小規模事業者等が参入する場合には、相分離など品質が大きく劣化した燃料が流通する可能性も否定できない。

以上、考えうる問題点を整理したが、こうした将来起こりうる状況に留意し、官民が適切な管理を行うならば、バイオ燃料導入が車両や排ガスに与える影響は少ないと考えられる。

（2）地球環境政策への貢献

今後、学会等を通じ、成果の広報・普及に努める。

6. 引用文献

- (1) 中田浩一他 (2007) 「エタノールに対応するガソリンエンジン技術」自動車技術, 61(11), 43-48.
- (2) 山根浩二(2007) 「FAME を燃料とするディーゼルエンジンの技術開発」自動車技術, 61(11), 61-66.
- (3) Energy Information Administration, “Refiners Switch to Reformulated Gasoline Complex

Model, US-DOE,” <http://www.eia.doe.gov/emeu/steo/pub/special/rfg1.html>

- (4) 環境省「リスクコミュニケーションのための化学物質ファクトシート：アセトアルデヒド」
http://www.env.go.jp/chemi/communication/factsheet/data/1-011.html?bcsi_scan_2422343F26427737=0&bcsi_scan_filename=1-011.html

7. 国際共同研究等の状況

特に記載すべき事項はない。

8. 研究成果の発表状況

- (1) 誌上发表 特に記載すべき事項はない。
- (2) 口頭発表（学会） 特に記載すべき事項はない。
- (3) 出願特許 特に記載すべき事項はない。
- (4) シンポジウム、セミナーの開催（主催のもの） 特に記載すべき事項はない。
- (5) マスコミ等への公表・報道等 特に記載すべき事項はない。
- (6) その他 特に記載すべき事項はない。