4. 廃食用油由来バイオディーゼル燃料に関する取り組みと その排出ガス特性への影響について

環境研究領域　　※川野 大輔　石井 素　後藤 雄一

1. はじめに

2005年2月に発効した京都議定書により，日本に対しては，2008～2012年までにCO_2を代表とする温室効果ガスの排出量を，1990年比で6 %削減する目標が設定された．これに加えて，2008年7月に開催されたG8主要国首脳会議（北海道洞爺湖サミット）では，2050年までに温室効果ガスを半減させる長期目標を，世界全体の目標として共有することで合意した．この目標を受け，日本では2050年までに60～80 %の温室効果ガス削減を目標に掲げ，世界に誇る低炭素社会の実現を目指している．しかし，この目標を達成するためには，低炭素化に向けた革新的な技術・政策が早急に必要である．

このような背景から，CO_2排出の抑制手段の一つとして，カーボンニュートラルの特性を有するバイオディーゼル燃料が注目されている．一般にバイオディーゼル燃料は，油脂のエステル交換反応で精製された脂肪酸メチルエステル（FAME）を指すが，特に日本では，廃食用油からFAMEを製造・利用する地産地消の取り組みが活発に行われている．しかし，バイオディーゼル燃料は軽油と性状が異なる上に，各地方自治体等で性状に違いがあることから，その利用に際しては車両の各種性能への影響が懸念される．本報告では，日本における取り組み状況を紹介するとともに，廃食用油由来のバイオディーゼル燃料の燃料性状や，既存の車両に適用した際の排出ガス特性への影響を調査した結果について報告する．

2. バイオディーゼル燃料に関する取り組み

2.1. 燃料性状の規格化

近年，地球温暖化防止への機運が高まり，世界中でバイオディーゼル燃料の製造・利用が活発に行われる中，我が国でも2006年より揮発油等の品質の確保等に関する法律（品確法）の軽油強制規格に，バイオディーゼル燃料混合軽油の項目を追加する検討がなされ，2007年4月から施行された．改正された軽油強制規格を表1に示す．この規格では，自動車用燃料として販売される軽油に対して5 %以下のFAMEの混合を許容した上で，部品の腐食や燃料フィルタの目詰まり等の影響を与える性状を規制している．また同時に，欧州のバイオディーゼル燃料性状規格（EN14214）を基に，軽油との混合を前提としたニートのバイオディーゼル燃料の規格案も策定され，JASO規格化（JASO M360）された後，2008年にJIS規格（JIS K2390）として標準化された．

2.2. 地方自治体等での取り組み

2.2.1. 取り組み事例

欧米諸国においては，広大な農地を利用して菜種・大豆等を栽培し，搾取したバージンオイルからバイオディーゼル燃料が大量に製造されている．一方日本では，循環型社会の構築および地域産業の活性化を目的に，各地方自治体等で近辺の家庭等から排出される廃食用油を回収し，バイオディーゼル燃料に転換して利用する地産地消の事業が積極的に行われている[1]．

表1　バイオディーゼル燃料混合軽油の強制規格

Fuel property		Biodiesel blend	Diesel
Sulfur	mass%	< 0.001	< 0.001
Cetane index	-	> 45	> 45
90% distillation temp.	ºC	< 360	< 360
FAME	mass%	< 5.0	< 0.1
Triglycerides	mass%	< 0.01	< 0.01
Methanol	mass%	< 0.01	-
Total acid value	mgKOH/g	< 0.13	-
Formic, acetic and propionic acids	mass%	< 0.003	-
Acid value increase	mgKOH/g	< 0.12	-

特に京都市では，1997 年 12 月の地球温暖化防止京都会議（COP3）の開催に先立ち，同年 11 月から廃食用油の燃料化事業に着手した[2]．一般家庭やホテル，飲食店等から廃食用油を回収し，現在では，図 1 に示す日量 5,000 リットルの生産規模を持つ廃食用油燃料化施設により，年間 150 万リットルものバイオディーゼル燃料を製造している．製造されたバイオディーゼル燃料は，ニートで 170 台のゴミ収集車に，軽油に 20 %混合して 95 台の市バスに導入されている．また，「バイオディーゼル燃料化事業技術検討会」を設置し，バイオディーゼル燃料の製造・利用に関する技術的課題を検討している．さらにここでは，上記のバイオディーゼル燃料の製造と車両への適用による知見を踏まえ，新短期規制適合車までの既存車に対し，短期的な車両影響が生じない燃料性状として，京都市バイオディーゼル燃料性状の暫定規格（京都スタンダード）を制定した[3]．

図 1　京都市廃食用油燃料化施設

このように，廃食用油を原料としたバイオディーゼル燃料の製造・利用への取り組みが全国的に拡がりを見せているが，円滑にバイオディーゼル燃料化事業の普及拡大を図るためには，その製造・利用環境の整備を更に進める必要がある．そこで，全国の自治体や NPO 法人等により，「全国バイオディーゼル燃料利用推進協議会」が設立され，バイオディーゼル燃料の適切かつ安全な利用に向けた品質規格やガイドラインの作成[4]，税制優遇など制度面での利用促進策等の検討を行っている．

2.2.2.　燃料性状の違い

廃食用油バイオディーゼル燃料の製造に際しては，各製造事業所で原料や製造方法が違うことから，各地方で燃料性状が異なる可能性がある．そこで，各自治体・事業所等から提供された廃食用油バイオディーゼル燃料の性状分析を行い，それぞれの燃料性状を比較した．一般燃料性状を図 2 に，バイオディーゼル燃料の特有性状を図 3 に示す．また，各項目の JIS 規格も図中に併記した．

一般燃料性状のうち，密度ではすべてのバイオディーゼル燃料が JIS 規格に適合しているものの，その他

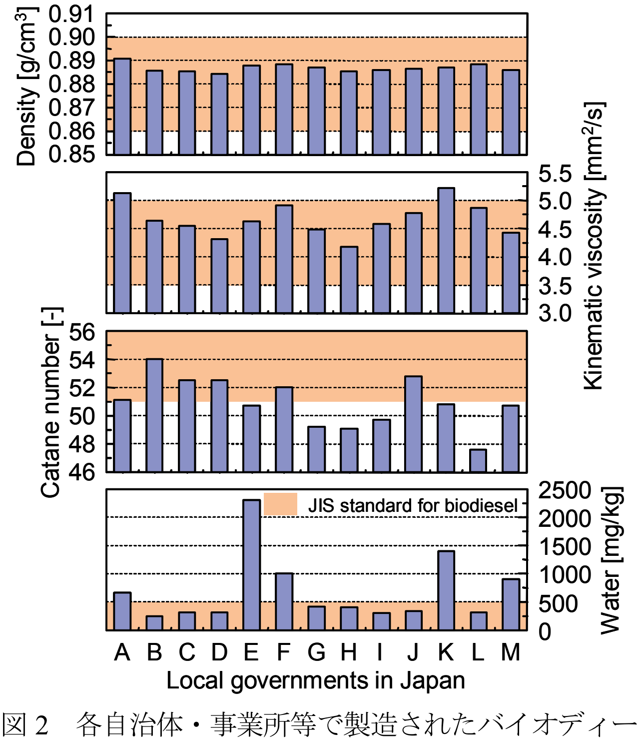

図 2　各自治体・事業所等で製造されたバイオディーゼル燃料の性状（一般燃料性状）

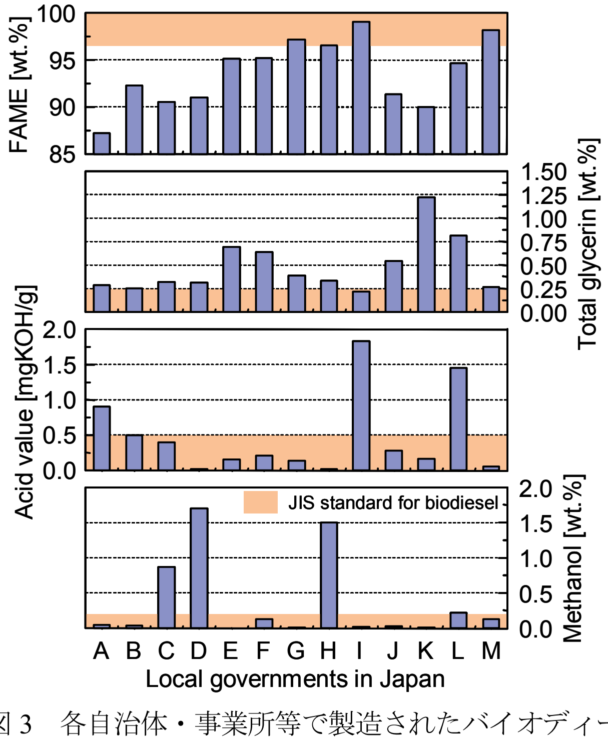

図 3　各自治体・事業所等で製造されたバイオディーゼル燃料の性状（特有性状）

の項目ではJIS規格に適合しないものがあった．これらの性状の違いは燃焼・排出ガス特性に影響を与えることが予想されることから，バイオディーゼル燃料製造時には注意を要する．特に，残留グリセリン等の不純物を除去するために，反応工程後に水洗浄を行うが，水分が高いのは，その後の水分除去工程が不十分だったことが原因と考えられる．これは，エンジン性能に影響を及ぼすばかりでなく，燃料噴射系の腐食等をも引き起こす可能性がある．

特有性状においては，FAME含有量と全グリセリンについてJIS規格に適合していない燃料が多く，メタノール含有量でも規格値を大幅に上回る燃料があった．これは，反応工程・洗浄工程ともに，JIS規格に適合させるには不十分であることを意味しており，燃焼室内におけるデポジットの生成や燃料フィルタの目詰まりを誘発させる可能性がある．また同様に，フィルタの目詰まりや腐食を生じさせる有機酸生成の指標となる酸価についても適合していないものがあり，酸化されやすい不飽和脂肪酸を多く含む廃食用油を原料としたためであることが示唆される．

以上より，廃食用油からJIS規格に適合するバイオディーゼル燃料を精製するには，原料を精査するとともに，各製造工程の効率をさらに高める必要がある．環境省では，「廃棄物のバイオディーゼル燃料化施設性能指針（案）検討委員会」を設置し，廃食用油等の廃棄物有効利用による循環型社会の形成に向け，バイオディーゼル燃料化施設が備えるべき性能とその確認方法を示す性能指針を定めることとしている．本研究では，本性能指針の策定に資するデータとして，次章にも述べるように，廃食用油由来バイオディーゼル燃料のエンジン適用性について調査を行っているところである．

図4　試験車両の外観

3.　廃食用油由来バイオディーゼル燃料使用時の排出ガス特性

3.1. 実験装置および実験方法

軽油とバイオディーゼル燃料の違いに加え，前述の各製造事業所による燃料性状の違いは，車両に様々な悪影響を与える可能性がある．そこで，その影響を確認する第一段階として，燃料性状が特に優れたバイオディーゼル燃料を製造している京都市のバイオディーゼル燃料を用いて排出ガス試験を行い，排出ガス特性の観点から燃料性状による車両影響を調査した．

本実験では，実際に京都市内をバイオディーゼル燃料で走行している塵芥車を用いた．図4と表2に，それぞれ試験車両の外観と諸元を示す．燃料による影響

表2　試験車両の諸元

	Vehicle A	Vehicle B
Vehicle type	Garbage truck	Garbage truck
Max. load	2,000 kg	2,000 kg
GVW	6,365 kg	6,445 kg
Length	5,340 mm	5,310 mm
Width	1,850 mm	1,840 mm
Height	2,290 mm	2,310 mm
Engine type	DI diesel	DI diesel
Emission regulation	2003	2005
Displacement	4.89 L	4.89 L
Max. power	140 PS / 2,700 rpm	150 PS / 2,700 rpm
Max. torque	42 kgf•m / 1,600 rpm	45 kgf•m / 1,600 rpm
Transmission	4AT	4AT
Aftertreatment	DOC	DOC, DPF
Travel distance	18589 km	9074 km

表 3　試験燃料の性状

Fuel property			B0	B20	B100
Density (15°C)	g/cm³		0.8260	0.8398	0.8853
Kinematic viscosity (40°C)	mm²/s		2.458	2.858	4.540
Flash point	°C		70.5	76.5	180.5
Cetane number	-		54.5	57.4	62.0
Sulfur	ppm		5	4	3
Distillation temp.	°C	IBP	179.5	163.5	284.0
		10%	212.5	221.5	354.5
		50%	258.0	302.5	356.0
		90%	321.0	358.5	361.5
		EP	348.0	356.5	398.5
CHO	wt.%	C	86.3	84.1	77.0
		H	13.6	13.3	12.0
		O	< 0.1	2.5	10.5
Low heating value	kJ/kg		43,040	42,880	42,330
Pour point	°C		-15.0	-10.0	-2.5

に加え，新旧車両間の排出ガス特性も比較するため，車両・エンジンの仕様が同等の 2 車種（Vehicle A：新短期規制適合車，Vehicle B：新長期規制適合車）を選択した．

試験燃料の性状を表 3 に示す．使用したバイオディーゼル燃料は，上記の京都市廃食用油燃料化施設で製造されたものであり，JIS 規格にもほぼ適合する燃料性状を有している．試験の際にはこの混合割合が異なる B0（軽油のみ），B20（20 %混合），B100（バイオディーゼル燃料のみ）を使用した．

3.2. 実験結果および考察

上記の車両・燃料を用いて，新長期規制で適用されている過渡モードである JE05 モード試験を行い，排出ガス特性を比較した．図 5 と図 6 に，それぞれ Vehicle A，B に各燃料を適用した際の，NOx と PM 排出量を示す．なお，Vehicle A, B ともに，どの燃料でも CO と HC の顕著な排出は見られなかった．バイオディーゼル燃料使用時にも未燃分の少ない燃焼が実現され，さらに走行距離が両車両とも比較的少ないことから，酸化触媒の劣化が少なく活性が維持されているものと考えられる．

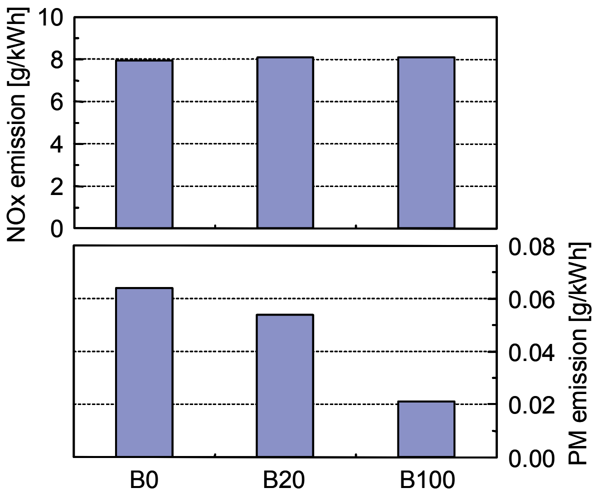

図 5　バイオディーゼル燃料の混合による NOx，PM 排出量への影響（Vehicle A）

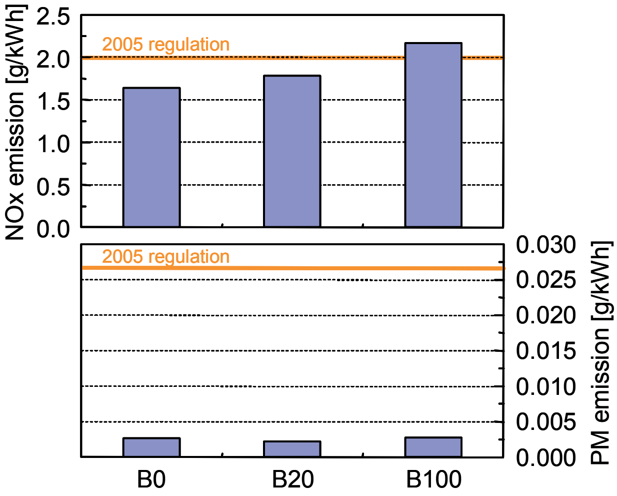

図 6　バイオディーゼル燃料の混合による NOx，PM 排出量への影響（Vehicle B）

Vehicle A では NOx 排出量は多いものの，バイオディーゼル燃料の混合割合によらず，その排出量はほぼ一定である．新短期規制では定常の D13 モードが適用されているため，より排出ガス性能に不利な JE05 モードで試験した場合には，NOx 排出量が新短期規制値（3.38 g/kWh）に比べて増加する．これは，図 7 に示す NOx 濃度の時間変化からもわかるように，加減速時における NOx 濃度が極端に増加するためである．バイオディーゼル燃料を用いた場合は，軽油に比べてエンジンアウトの NOx 排出量が増加する [5]ことが知られているが，その NOx 増加量に対して軽油使用時でも NOx 排出量自体が極めて多い．そのため，バイオディーゼル燃料を混合しても，NOx 排出特性には大きな影

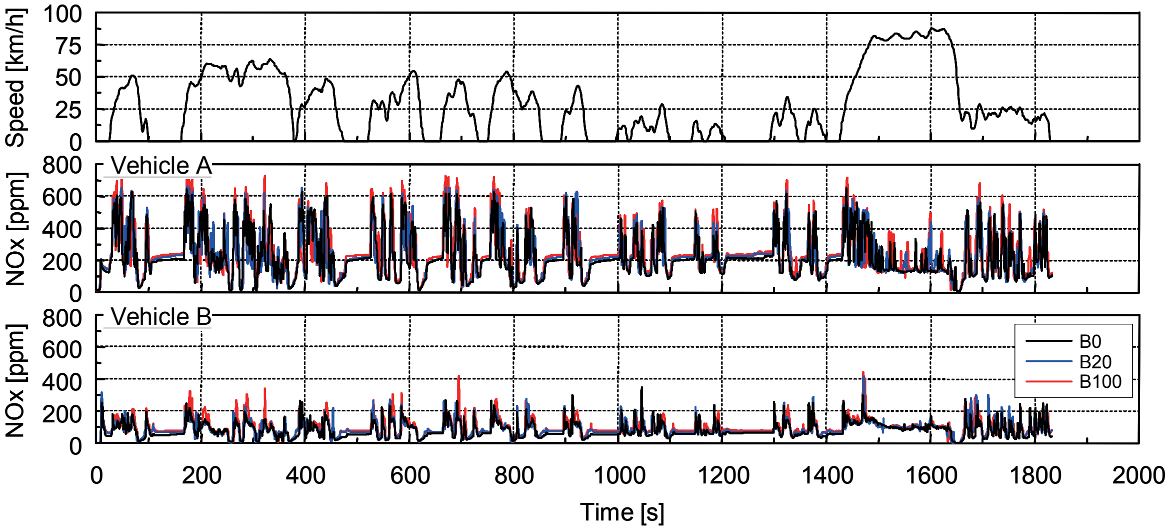

図 7　バイオディーゼル燃料の混合による NOx 濃度の時間変化への影響

響を及ぼさなかったものと考えられる. PM 排出量は, バイオディーゼル燃料の混合割合が増加するにつれて減少している. 新短期規制適合車ではすす排出量が多いため, 含酸素燃料であり, かつ芳香族分をほとんど含まないバイオディーゼル燃料の混合によるすす生成抑制効果が, 顕著に現われたものと考えられる.

Vehicle B の場合, バイオディーゼル燃料の混合割合の増加に伴い, NOx 排出量が増加しており, 特に B0, B20 では新長期規制値以下を保っているものの, B100 では規制値を超過している. 新長期規制適合車では, 緻密な燃焼制御で NOx の生成が抑制されているため, 図 7 に示すように Vehicle A よりも極めて低い NOx 濃度を示すが, 逆にバイオディーゼル燃料の混合による NOx 濃度の増加がより顕著に現われている. 一方, Vehicle B では DPF ですすのほとんどが捕集されるため, PM 排出量は新長期規制値を大きく下回る. B100 ではその低揮発性に起因する SOF 分の増加により, 他の燃料と比べて PM 排出量が若干増加する傾向を示すものの, 依然極めて低い PM 排出量を維持している.

以上より, JIS 規格にほぼ適合するバイオディーゼル燃料を用いても, 新長期規制適合車の場合には, 軽油と比べて NOx 排出量が増加する傾向を示した. したがって, 他の地方自治体等のバイオディーゼル燃料を用いても, NOx の増加は避けられないものと考えられる. 加えて, 2009 年から実施されるポスト新長期規制の適合車にバイオディーゼル燃料を適用した場合には, 既存車両よりも NOx 排出量の増加割合が増すことが予想される. しかし, バイオディーゼル燃料使用時では, 燃焼時のすす排出量が少なく, 加えて排出ガスの毒性や変異原性が軽油と比べて低い [6] ことが知られており, 高 EGR 率の採用 [7] 等で, バイオディーゼル燃料の性状を生かしつつ NOx 排出量を低減させることにより, 大気環境保全にも資する燃料になり得るものと考えられる.

4.　まとめ

本報告では, 日本のバイオディーゼル燃料に対する取り組み状況を紹介し, 燃料性状分析および排出ガス試験の結果について述べた. 以下に, これらの概要をまとめる.

(1) 各製造事業所でバイオディーゼル燃料の原料や製造プロセスが異なるため, 各地方で燃料性状が異なり, 実際に製造されたバイオディーゼル燃料の中には, JIS 規格に適合しないものが多かった.

(2) 新短期規制適合車にバイオディーゼル燃料を適用しても, 排出ガス特性は悪化しないが, 新長期規制適合車では, バイオディーゼル燃料の混合割合が増加するにつれて NOx 排出量が増加した.

謝辞

本研究の遂行にあたり, 京都市より試験車両と試験燃料の提供を受けた. また, 排出ガス試験の際には, 酒井克治, 小林啓樹, 渡辺敬太郎諸氏の多大なるご協力があったことをここに記し, 謝意を表する.

参考文献

1)　（財）政策科学研究所, “地方自治体におけるバイオディーゼル燃料の規格化と利用に関する調査

－食用油の消費と廃食用油の発生と品質－”, (2006).
2) 池上 詢, “バイオディーゼル・ハンドブック”, 日報アイ・ビー, pp.37-42, (2006).
3) 京都市環境局, “平成 13 年度バイオディーゼル燃料の製造と使用に関する調査報告”, (2002).
4) 全国バイオディーゼル燃料利用促進協議会, “バイオディーゼル燃料の製造・利用に係るガイドライン”, (2008).
5) United States Environment Protection Agency (EPA), “A Comprehensive Analysis of Biodiesel Impacts on Exhaust Emissions Draft Technical Report”, EPA420-P-02-001, (2002).
6) Kado, N. Y. et al., “Bioassay Analyses of Particulate Matter From a Diesel Bus Engine Using Various Biodiesel Feedstock Fuels”, NREL/SR-510-31463, (2003).
7) 川野 大輔ほか, “バイオディーゼル燃料対応エンジンの開発（第 2 報）－バイオディーゼル燃料適用時における排出ガス特性の改善－”, 自動車技術会論文集, Vol.38, No.6, pp.181-186, (2007).