

2. バイオディーゼル燃料化施設に関する技術情報の整理

廃棄物学会、全国都市清掃会議、その他関連学会や関連団体等において、過去に公表された研究発表や講演論文、関連文献や雑誌記事等の精査を行い、バイオディーゼル燃料化施設に関する技術情報を整理した。

技術情報の整理の方針としては、収集した文献の中から施設に関する性能指針化に必要な項目を適宜抽出・整理することにより、性能指針（案）策定に向けた根拠・補足資料と位置づけることを念頭においた。

(1) 関連文献の一覧 表中の No. に ~ を付した文献は (2) で概要を示す。

製造分野

(ア) 全般

No.	文献名	著者名	資料名
1	廃食油のエステル化に関する基礎研究	太田和成 (明治大 大学院), 藤井石根 (明治大), 是松孝治 (工学院大)	日本機械学会環境工学総合シンポジウム講演論文集 Vol.7, 1997
2	生物系廃棄物を原料とするバイオ燃料の開発に関する予備的研究	松本正, 白井伸明 (滋賀県工技総セ)	滋賀県工業技術総合センター研究報告 No.14, 2000
3	地域バイオマス資源の有効利用による地域エネルギーおよび工業原材料の開発に関する研究 (第1報) 酵素法による植物油のバイオディーゼル燃料への変換技術に関する実用化研究	松本正, 白井伸明, 岡田俊樹 (滋賀県工技総セ)	滋賀県工業技術総合センター研究報告 No.16, 2002
4	廃食油の活用とバイオ・ディーゼル燃料油の開発	橋本巖, 渡辺功至 (和歌山工高専)	21世紀連合シンポジウム論文集 Vol.2, 2003
5	バイオディーゼル燃料の品質に関する研究	吉留竜仁, 山内正信, 越智久尚, 進藤三幸 (愛媛県衛生環境研)	愛媛県立衛生環境研究所年報 No.5, 2004
6	屋久島における廃食油のディーゼル燃焼化	浜崎和則, 木下英二, 亀田昭雄 (鹿児島大 工), 日高豊伸 (鹿児島県屋久町役場)	鹿児島大学工学部研究報告 No.46, 2004

No.	文献名	著者名	資料名
7	廃食用油エステル化生成グリセリンの燃料化に関する研究	朝田治高, 藤井石根 (明治大)	太陽/風力エネルギー講演論文集 Vol.2004, 2004
8	廃食用油エチルエステル燃料のディーゼル機関への適用に関する研究(エチルエステル燃料の水洗い処理有無の影響)	渡辺修宏, 武田秀幸 (日本大大学院), 森谷信次 (日本大工)	日本機械学会東北支部秋季講演会講演論文集 Vol.40, 2004
9	遠隔計測・制御用センサー開発とセンサシステムの研究および環境変化予測システムの構築 廃食用油のメチルエステル燃料化	森谷信次 (日本大 工)	中山間地及び地方都市における環境共生とそれを支える情報通信技術に関する研究 平成 15 年度, 2004
10	メチルエステル化と異なる廃食用油のバイオディーゼル燃料化の試み (第 1 報)	田中俊行(鳥取大), 朝山規子(イルカカレッジ), 吉井昌博・中野恵文(鳥取大)	(社)自動車技術会 学術講演会前刷集 No.63-04 (2004 春季大会)
11	廃植物油の再利用によるバイオディーゼルの効率的生産に関する研究	朴龍しゅ (静岡大 農)	岩谷直治記念財団研究報告書 Vol.28, 2005
12	廃食用油からのバイオディーゼル燃料製造システム(バイオマス活用技術)	久森弘至, 家山一夫, 中野憲一, 田中新吾, 岡田正史 (Hitz 日立造船)	日立造船技報 Vol.66, No.1, 2005
13	バイオディーゼル燃料生成過程におけるエステル交換反応の NMR 解析	川崎康平, 金放鳴, 木下睦, 榎本兵治 (東北大学環境科学研究科)	第 16 回廃棄物学会研究発表会講演論文集, 2005
14	廃食用油のバイオディーゼル燃料化	瀧寛則, 鈴木伸之, 高橋秀行	大成建設技術センター報 第 38 号, 2005
15	循環型反応プロセス バイオディーゼル燃料の製造とその性質	吉田總一郎・馬場俊秀	シリーズ「クリーンケミストリー開発/実践編」, PETROTECH
16	バイオディーゼル燃料製造設備	久森弘至	Hitz 日立造船(株)資料

(イ) 超臨界

No.	文献名	著者名	資料名
17	超臨界流体のポスト石油化学への応用(2)-2段階超臨界メタノール法による油脂からのバイオディーゼル燃料-	坂志朗, KUSDIANA D (京大大学院エネルギー科学研究科)	Jasco Rep, 特集第7号, 2003
18	超臨界流体のポスト石油化学への応用(3) - 多種多様な油脂類からの高品位バイオディーゼル燃料	坂志朗, 南英治 (京大大学院エネルギー科学研究科)	Jasco Rep, 特集第8号, 2004
19	Biodiesel Fuel Production by Supercritical Methanol Technology 超臨界メタノール法によるバイオディーゼル燃料	坂志朗 (京大大学院エネルギー科学研究科)	Journal of the Institute of Energy, 84,416-419(2005)

(ウ) 酵素・微生物

No.	文献名	著者名	資料名
20	遺伝子発現システムの確立と最適反応条件の解析 4 固定化酵素を用いた植物油のバイオディーゼル燃料への変換 (新エネルギー・産業技術総合開発機構)	渡辺嘉, 島田裕司 (大阪市工研)	高機能バイオリクターによるバイオ燃料生産に関する研究開発平成10年度第1年度成果報告書 地域コンソーシアム研究開発事業 地域コンソーシアムエネルギー分野, 1999
21	バイオマスの利用に関する酵素化学的研究	松本正, 白井伸明, 岡田俊樹 (滋賀県工技総セ)	滋賀県工業技術総合センター研究報告 No.15, 2001
22	固定化微生物法によるバイオディーゼル燃料の製造及び事業化研究調査	金沢秀樹 (金沢産業)	課題対応技術革新促進事業成果報告書 平成14年度 課題対応新技術研究調査事業, 2003
23	酵素法によるバイオディーゼル燃料の生産とその反応系の油脂加工への応用	渡辺嘉, 永尾寿浩, 杉原耿雄, 島田裕司	科学と工業, 77(5), 247-255, 2003
24	酵素法による油脂廃棄物からのバイオディーゼル燃料の生産	永尾寿浩, 渡辺嘉, 島田裕司	資料環境対策, Vol.41 No.9, 2005

(工) 安全

No.	文献名	著者名	資料名
25	廃棄物等の再資源化に伴う出火原因に関する研究-廃棄物固形化燃料及びバイオディーゼル燃料-	柴田靖史 (名古屋市 消防局)	消防研究室年報 No.34, 2005

(オ) 副産物の利用

No.	文献名	著者名	資料名
26	第4回 菜の花・ひまわりエコプロジェクトにおける副産物のメタン発酵	佐藤茂夫 (日本工業大学)	環境施設, No.99, 2005

利用分野（エンジンへの影響、排ガス等）

（ア）全般

No.	文献名	著者名	資料名
1	廃食用油メチルエステル燃料の排出ガス特性について	中沢誠, 鈴木正明, 鷺山亨志 (神奈川県環境科セ)	大気環境学会年会講演要旨集 Vol.36, 1995
2	廃食用油メチルエステルを燃料としたディーゼル自動車の排出ガス特性	中沢誠, 鷺山亨志, 鈴木正明, 長谷川敦子 (神奈川県環境科セ)	神奈川県環境科学センター研究報告 No.20, 1997
3	廃食用油のエステル化燃料がディーゼル機関の性能ならびに排気特性に及ぼす影響	藤原康博, 登坂茂, MO Z-H (北海道工大)	北海道工業大学研究紀要 No.25, 1997
4	廃食用油燃料によるディーゼル機関特性に関する研究 機関の動力特性	小西奎二 (東京都科技大), 山口元 (東京都大工), 森棟隆昭 (湘南工科大)	日本機械学会環境工学総合シンポジウム講演論文集 Vol.9, 1999
5	廃食用油燃料によるディーゼル機関特性に関する研究 排ガスの環境特性	森棟隆昭 (湘南工科大), 山口元 (東京都大), 小西奎二 (東京都科技大)	日本機械学会環境工学総合シンポジウム講演論文集 Vol.9, 1999
6	廃食用油燃料ディーゼル機関の特性に関する研究(排気ガス特性)	森棟隆昭 (湘南工科大工), 山口元 (東京都大工), 小西奎二 (東京都科技大工)	日本機械学会論文集 66 巻 641号 2000-1
7	廃食用油によるディーゼル機関の性能について	外川譲二, 志村元 (弘前大 教育)	弘前大学教育学部紀要 No.83, 2000
8	直接噴射式バイオディーゼル燃料機関の燃焼および排気特性に及ぼす植物油種類と高圧噴射の影響	山根浩二, 嶋本譲 (滋賀県大工), 植田淳史 (滋賀県大 大学院工学研究科)	自動車技術会論文集 Vol.32, No.2, April 2001
9	バイオディーゼル燃料を用いた直噴式圧縮点火機関の数値シミュレーション	山根浩二, 嶋本譲 (滋賀県大), 井上博登 (滋賀県大 大学院)	日本機械学会関西支部定時総会講演会講演論文集 Vol.76, 2001
10	バイオディーゼル燃料を用いた直噴式圧縮点火機関における排気微粒子の排出特性	山根浩二, 嶋本譲 (滋賀県大), 植田淳史 (滋賀県大 大学院)	日本機械学会関西支部定時総会講演会講演論文集 Vol.76, 2001
11	ディーゼル燃料としての廃食用油メチルエステルの燃焼特性	JAQIN C, 長野健三, 平早水幸, 浜崎和則, 木下英二, 亀田昭雄 (鹿児島大工)	鹿児島大学工学部研究報告 No.43, 2001

No.	文献名	著者名	資料名
12	廃食油によるディーゼル機関の性能について 第2報 燃焼特性	外川譲二, 志村元 (弘前大 教育)	弘前大学教育学部紀要 No.85, 2001
13	廃食油・灯油混合燃料のディーゼルエンジンへの適用(燃料加熱による諸特性)	武田克彦 (日本大 大学院), 森谷信次, 棚沢一郎 (日本大 工)	日本機械学会東北支部総会・講演会講演論文集 Vol.36, 2001
14	排気酸化触媒による直噴式バイオディーゼル燃料機関の排気低減	山根浩二 (滋賀県立大), 嶋本讓 (元 滋賀県立大)	日本機械学会 2002 年度年次大会講演論文集
15	木タール油を燃料とするディーゼル機関の燃焼および排気特性	山根浩二 (滋賀県立大), 遊木龍 (滋賀県立大 大学院), 嶋本讓 (元 滋賀県立大)	第 17 回内燃機関シンポジウム講演論文集 (2002.10.9-11)
16	植物油を含有するディーゼル燃料の機関性能と油滴の蒸発・燃焼特性	吉本康文, 玉木恕乎 (新潟工科大), 小井戸政寛 (ホージュン)	日本機械学会・自動車技術会内燃機関シンポジウム講演論文集 Vol.17, 2002
17	エステル化した廃食用油燃料による小型ディーゼルエンジンの動力と排気ガス特性について 第1報 廃食用油エチルエステル化燃料油と軽油を燃料とした時の比較	富田節雄, 木谷収, ROY K (日本大 生物資源科学)	農業機械学会誌 Vol.64, 2002
18	廃食油エステル・灯油混合燃料のディーゼル機関への適用に関する研究	武田秀幸, 武田克彦, 石川剛 (日本大 大学院), 森谷信次, 棚沢一郎 (日本大 工)	日本機械学会東北支部地方講演会講演論文集 Vol.2002
19	廃食油エステル燃料のディーゼル機関への適用に関する研究 廃食油メチルエステルと軽油の混合燃料について	石川剛, 武田秀幸, 森谷信次 (日本大 工)	日本機械学会東北支部地方講演会講演論文集 Vol.2002
20	廃食油エステル化燃料のディーゼルエンジンへの適用	武田克彦, 武田秀幸, 渋谷拓哉 (日本大 大学院), 柳沼力夫, 森谷信次, 棚沢一郎 (日本大 工)	日本機械学会東北支部地方講演会講演論文集 Vol.2002
21	バイオディーゼル燃料(BDF)使用時における排出ガス等への影響調査(研究期間 平成 15 年度)	野田明, 阪本高志, 堀重雄, 佐藤辰二, 河合英直 (交通安全環境研)	交通安全環境研究所受託研究成果集(CD-ROM) Vol.2003
22	バイオディーゼル燃料(BDF)使用時の各種排出ガスに対する影響調査-2トン積み新短期規制適合トラックでの BDF・軽油混合燃料使用時の排出ガス測定結果-	佐藤辰二, 野田明, 阪本高志, 堀重雄, 河合英直 (交通安全環境研), 前田唯 (埼玉大)	交通安全環境研究所研究発表会講演概要 Vol.3rd, 2003

No.	文献名	著者名	資料名
23	廃食用油を燃料とした副室式遮熱エンジンの燃焼と性能	佐々木洋士, 関山恵夫, 中島健朗 (いすゞ中央研)	自動車技術会論文集 Vol.34, 2003
24	廃食油メチルエステル・軽油混合燃料のディーゼル機関への適用(廃食油メチルエステルと軽油の混合燃料について)	石川剛, 武田秀幸 (日大工 大学院), 森谷信次 (日本大 工)	日本機械学会東北支部秋季講演会講演論文集 Vol.39, 2003
25	廃食油エチルエステル燃料のディーゼル機関への適用に関する研究	渡辺修宏, 武田秀幸 (日本大 大学院), 森谷信次 (日本大 工)	日本機械学会東北支部秋季講演会講演論文集 Vol.39, 2003
26	バイオディーゼル燃料(BDF)使用時の各種排出ガスに対する影響調査	環境研究領域: 佐藤辰二, 野田明, 阪本高志, 堀重雄, 河合英直, 前田唯 (埼玉大)	平成 15 年度 (第 3 回) 交通安全環境研究所研究発表会 講演概要 (2003.12.4.5)
27	実走行におけるバイオディーゼル機関の性能および排気特性	奥井伸宜 (同志社大 大学院工学研究科), 塚本時弘, 千田二郎, 藤本元 (同志社大工学部)	(社)自動車技術会 学術講演会前刷集 No.48-03(2003)
28	ディーゼル排出ガスに及ぼす植物油メチルエステルの影響	渋谷昌彦 (昭和シェル石油), 吉田強, 剣持益広, 細谷順一, 中村謙二, 小出俊一 (昭和シェル石油)	(社)自動車技術会 学術講演会前刷集 No.48-03(2003)
29	An Experimental Study on Emission Characteristics in the Application of ULSD and Biodiesel	S.K.Oh(Kookmin Univ.), D.S.Baik, Y.C.Han(Kookmin Univ.)	(社)自動車技術会 学術講演会前刷集 No.48-03(2003)
30	An Investigation of the Suitability of Esterified Vegetable Oils for Diesel Engines	S.D.Rasika Perera(The Open University of Sri Lanka), M.Victor Mendis, P.D.Sarath Chandra(The Open University of Sri Lanka)	(社)自動車技術会 学術講演会前刷集 No.48-03(2003)
31	セタン価向上剤添加によるバイオディーゼル燃料の排気低減	山根浩二, 河崎澄 (滋賀県大), 曾根和貴 (滋賀県大 大学院)	自動車技術会論文集 Vol.36, 2005 (社)自動車技術会 学術講演会前刷集 No.80-04(2004 秋季大会)
32	バイオディーゼル燃料使用時のDPF の特性 (第 1 報)-DPF の車両走行およびリグ試験の結果-	山根浩二 (滋賀県大), 浅川智洋, 沼尾久孝, 小森正憲 (コモテック)	自動車技術会論文集 Vol.35 No.3,2004
33	バイオディーゼル(BDF)使用時における排出ガス等への影響調査(第 1 報)-各種混合率で BDF を使用した場合の排出ガス特性およびその影響要因について-	阪本高志, 堀重雄, 佐藤辰二, 河合英直, 野田明	交通安全環境研究所研究発表会講演概要 Vol.4, 2004

No.	文献名	著者名	資料名
34	バイオディーゼル(BDF)使用時における排出ガス等への影響調査(第2報)-BDF使用時並びに多環芳香族炭化水素(PAH)の排出特性について-	堀重雄, 佐藤辰二, 阪本高志, 河合英直, 野田明	交通安全環境研究所研究発表会講演概要 Vol.4, 2004
35	混合燃料によるエンジン性能(菜種油)	木下勝晴, 遠山寿, 山本純, 鈴木泰成, 脇俊隆 (NAC 環境科学研究会), 山本哲夫 (産業技術総合研 中部セ)	中日本自動車短期大学論叢 No.34, 2004
36	バイオディーゼル燃焼に及ぼす脂肪酸メチルエステル組成の影響	木下英二, 浜崎和則 (鹿児島大), 中礼佳樹, JAQIN C (鹿児島大 大学院)	日本機械学会論文集 70 巻 690 号 2004-2
37	直噴式ディーゼル機関内における廃食用油バイオディーゼル燃料噴霧の燃焼機構および火炎内すす生成機構に関する基礎的研究	奥井伸宜, 鈴木哲平 (同志社大 大学院工学研究科), 千田二郎 (同志社大 工)	(社)自動車技術会 学術講演会前刷集 No.63-04 (2004 春季大会)
38	FAME 混合軽油の小型ディーゼル車の排気に及ぼす影響	渡辺裕朗 (新日本石油), 尾山宏次 (新日本石油), 芦田健・岡田正則・鶴谷和司 (トヨタ自動車)	(社)自動車技術会 学術講演会前刷集 No.80-04 (2004 秋季大会)
39	エステル燃料のディーゼルエンジンへの適用に関する研究(廃食用油と新油の比較)	南場弘行, 武田秀幸 (日本大 大学院), 森谷信次 (日本大 工)	日本機械学会東北支部秋季講演会講演論文集 Vol.40, 2004
40	廃食用油メチルエステル・A 重油混合燃料のディーゼル機関への適用に関する研究	星岩男, 武田秀幸 (日本大 大学院), 森谷信次 (日本大 工)	日本機械学会東北支部秋季講演会講演論文集 Vol.40, 2004
41	廃食用油メチルエステル・A 重油混合燃料の諸特性	星岩男, 森谷信次 (日本大)	日本機械学会東北支部秋季講演会講演論文集 Vol.34, 2004
42	廃食用油と食用油のメチルエステル化燃料の性能比較(密度, 動粘度, 表面張力, 低発熱量, 着火特性および実機性能試験)	南場弘行, 森谷信次 (日本大)	日本機械学会東北支部秋季講演会講演論文集 Vol.34, 2004
43	ディーゼル燃料としてのメチルエステル・灯油混合燃料の諸特性	武田秀幸 (日本大 大学院工学研究科), 森谷信次, 棚沢一郎 (日本大 工)	日本機械学会論文集 70 巻 691 号 2004-3
44	廃食用油エチルエステル燃料のディーゼルエンジンへの適用	武田克彦, 武田秀幸 (日本大 大学院工学研究科), 森谷信次, 棚沢一郎 (日本大 工)	日本機械学会論文集 70 巻 689 号 2004-1

No.	文献名	著者名	資料名
45	メチルエステル化と異なる廃食用油のバイオディーゼル燃料化の試み(第2報)	朝山規子(イルカカレッジ), 中野恵文(鳥取大)	(社)自動車技術会 学術講演会前刷集 No.63-04(2004 春季大会)
46	Visualization of Crude Palm Diesel Combustion in IDI Engine	Kanit Wattanabichien(Chulalongkorn University)	(社)自動車技術会 学術講演会前刷集 No.64-04(2004 春季大会)
47	The Study of a Diesel Engine Using Biodiesel Fuel from Crude Palm Oil	Iman K.Reksowaridojo(Institut Teknologi Bandung), Hanif(Andalas University), M.Rachman Hidayat, Tirto Prakoso Brodjonegoro, Tatang Hernas Soerawidjaja, Wiranto Arismunandar(Institut Teknologi Bandung)	(社)自動車技術会 学術講演会前刷集 No.64-04(2004 春季大会)
48	パームメチルエステル/DME 複合燃料ディーゼル機関における性状および燃焼に関する研究	中里俊洋(日野自動車), 岡本毅・金野満(茨城大)	(社)自動車技術会 学術講演会前刷集 No.80-04(2004 秋季大会)
49	バイオディーゼル燃料使用時のDPF の特性(第2報)-DPF 使用時の排ガス特性-	山根浩二, 遊木龍, 河崎澄(滋賀県大), 浅川智洋, 沼尾久孝, 小森正憲(コモテック)	自動車技術会論文集 Vol.36 No.1,2005
50	直噴ディーゼル車両を用いた廃食用油バイオディーゼル燃料の季節の変化による排気特性	羽原輝晃(同志社大 大学院工学研究科), 塚本時弘, 千田二郎(同志社大 工)	自動車技術会学術講演会前刷集 No.57-05,2005
51	直噴式ディーゼルエンジン搭載車両に廃食用油バイオディーゼル燃料を適用した際の機関性能および排気特性	鈴木哲平, 羽原輝晃(同志社大 大学院), 千田二郎(同志社大)	日本機械学会関西支部定時総会講演会講演論文集 Vol.80, 2005
52	FAME 混合軽油の小型ディーゼル車の排気に及ぼす影響	渡辺裕朗(新日本石油 中技研)	ENEOS Tech Rev JST Vol.47, No.1, 2005
53	エタノール添加によるバイオディーゼル燃焼の低温条件適合化および排気浄化に関する研究	首藤登志夫(北見工業大), 藤部淳志・風早司治(北見工業大 大学院), 青柳友三(新エィシーイー), 石井素・後藤雄一・野田明(交通安全環境研究所)	(社)自動車技術会 学術講演会前刷集 No.57-05(2005 春季大会)
54	直噴式ディーゼル車両を用いた廃食用油バイオディーゼル燃料の季節の変化による排気特性	羽原輝晃(同志社大 大学院), 塚本時弘, 千田二郎(同志社大)	(社)自動車技術会 学術講演会前刷集 No.57-05(2005 春季大会)

No.	文献名	著者名	資料名
55	バイオディーゼル燃料使用時のDPFの特性(第1報)-DPFの車両走行およびリグ試験の結果 -	山根浩二 (滋賀県大), 浅川智洋, 沼尾久孝, 小森正憲 (コモテック)	(社)自動車技術会 学術講演会前刷集 No.88-03
56	バイオディーゼル燃料の精製純度がディーゼル機関の性能および排気特性に及ぼす影響	山根浩二 (滋賀県大), 加藤利治, 奥谷寛子 (滋賀県大 大学院)	日本機械学会関東支部第9期総会講演会講演論文集(03-3-14,15)
57	Influence of physical and chemical properties of biodiesel fuels on injection, combustion and exhaust emission characteristics in a direct injection compression ignition engine	K Yamane, A Ueta, Y Shimamoto (滋賀県立大)	Int J Engine Research Vol.2 No.4
58	Effect of Refining Process in Biodiesel Fuel Production on Fuel Properties, Diesel Engine Performance and Emissions	K Yamane, Toshiharu Kato, Hiroko Okutani (滋賀県立大), Y Shimamoto (元 滋賀県立大)	JSE 20030035 SAE 2003-01-1930
59	廃植物油燃料によるディーゼル機関特性に関する基礎研究 機関の動力特性	小西奎二 (東京都科技大), 山口元 (東京都大), 森棟隆昭 (湘南工科大)	東京都立科学技術大学紀要

(イ) 乳化

No.	文献名	著者名	資料名
60	てんぷら廃油燃料ディーゼル機関の性能 水乳化の効果	吉本康文, 小野寺正幸, 玉木 恕乎 (新潟工科大)	日本機械学会環境工学総合シンポジウム講演論文集 Vol.9, 1999
61	廃食用油と水とのエマルジョンを燃料とするディーゼル機関の性能と排気特性	吉本康文 (新潟工科大)	LEMA No.461, 2000
62	ディーゼル機関燃料としての乳化植物油メチルエステルの利用	浜崎和則, 小山隆行 (鹿児島大 工), 広津亜弥子, JAQIN C (鹿児島大 大学院), 高崎講二 (九大 大学院総合理工学研究科)	日本機械学会論文集 67 巻 663 号 2001-11
63	バイオディーゼル油を燃料とする機関の性能(水乳化の効果)	吉本康文, 小野寺正幸, 玉木 恕乎 (新潟工科大)	日本機械学会論文集 67 巻 653 号 2001-1
64	乳化バイオディーゼルのディーゼル燃焼に及ぼす水粒子径と乳化剤粗製グリセリン濃度の影響	浜崎和則, 木下英二 (鹿児島大 工), JAQIN C (鹿児島大 大学院理工学研究科), 田島博士 (九大 大学院総合理工学府)	日本機械学会論文集 70 巻 699 号 2004-11
65	乳化剤無添加の乳化バイオディーゼルのディーゼル燃焼	JAQIN C (鹿児島大 大学院理工学研究科), 浜崎和則, 木下英二, 亀田昭雄 (鹿児島大 工)	日本機械学会論文集 70 巻 695 号 2004-7
66	ディーゼル機関における菜種油・エタノールマイクロエマルジョン燃料の燃焼および排気特性	山根浩二・河崎澄・青木岳夫 (滋賀県立大), 岩本悟志・鍋谷浩志 (食品総合研究所)	(社)自動車技術会 学術講演会前刷集 No.57-05(2005 春季大会)

(ウ) 船舶

No.	文献名	著者名	資料名
67	遮熱エンジンによる廃食用油等の処理システムに関する研究開発報告書 平成 11 年度 (シップ・アンド・オーシャン財団)	シップ・アンド・オーシャン財団	遮熱エンジンによる廃食用油等の処理システムに関する研究開発報告書 平成 11 年度, 2000
68	植物油のエステル化燃料利用技術	岩井邦夫 (コスモエンジニアリング 技術開発部)	マリンエンジニアリング学術講演会講演論文集 Vol.66, 2001
69	バイオマスエネルギー(BDF)のディーゼル機関への適用と問題点	西田修身, 吹田義隆, 藤田浩嗣, 原野亘, 安川知見, 岡本貴仁, HAN C M (神戸商船大)	マリンエンジニアリング学術講演会講演論文集 Vol.65, 2001

No.	文献名	著者名	資料名
70	高速ディーゼル機関における廃食用油の適応	橋本正孝, 段智久, 浅野一郎, 久保卓資 (神戸商船大)	マリンエンジニアリング学術講演会講演論文集 Vol.68, 2002
71	廃食用油・灯油混合燃料のディーゼルエンジンへの適用 燃料加熱による諸特性	武田克彦, 森谷信次, 棚沢一郎 (日本大 工)	マリンエンジニアリング Vol.38, 2003
72	高速ディーゼル機関における廃食用油の適応	橋本正孝, 段智久, 浅野一郎 (神戸大 海事科学), 久保卓資 (川重冷熱工業)	神戸大学海事科学部紀要 No.1, 2004
73	高速ディーゼル機関における植物性廃食用油の適応	橋本正孝, 段智久, 浅野一郎, 松崎史朗 (神戸商船大)	マリンエンジニアリング学術講演会講演論文集 Vol.71, 2004

(工) 有害成分

No.	文献名	著者名	資料名
74	ディーゼル機関用バイオ系燃料から生成される有害成分に関する研究	野津弘志, 藤原康博, 登坂茂 (北海道工大)	北海道工業大学研究紀要 No.30, 2002

製造・利用分野

No.	文献名	著者名	資料名
1	平成 10 年度廃食用油高度利用 検討推進事業研究成果報告書	(財)政策科学研究所	
2	バイオ燃料利用システムの研究 開発動向	山根浩二	自動車技術 Vol.55, No.5, 2001
3	「廃食料油のリサイクル技術開発 と実用化のための調査事業 調 査報告書」	シダックスフードサービス株式 会社・アイセ・サプリメント株式 会社	環境調和型エネルギーコミュニテ ィフィールドテスト事業調査
4	食材配送車で廃食材油を燃料化, 同時に資源回収を実用化 シダックス(株)と NEDO 技術開発機 構との共同研究, 同一車輛の運 搬で実証		環境施設, No.98, 2004
5	バイオマスの技術と活用 京都市におけるバイオディーゼル 燃料化事業の取り組み	中村一夫	環境技術, Vol.33 No.7(2004)
6	廃棄物処理と地球温暖化対策 京都市におけるバイオディーゼル 燃料化事業の取り組み	京都市環境局	都市清掃, 第 57 巻 第 258 号 (平成 16 年 3 月)
7	廃食料油からのバイオ・ディーゼ ル燃料で環境保全と地域の活性 化を - 月 80kl のバイオ燃料で 800 台のディーゼルの稼働 -	蒲谷昌生	Solar Systems No.97
8	『廃棄物レス型設備による廃食油 からのバイオディーゼル燃料製 造にかかわる実証試験事業調 査』報告書	千葉三港運輸株式会社	平成 16 年度 バイオマス等未活 用エネルギー実証試験事業・同事 業調査・バイオマス等未活用エネ ルギー実証試験事業調査
9	バイオディーゼルに係る燃料規 格の課題に関する調査	(株)新日石総研 環境・製品技 術調査部 石川榮	(財)石油産業活性化センター 資料
10	地域循環ネットワークモデル構 想策定事業 廃食油部会報告書	三重県環境森林部資源循環 室	三重県資料, 2005 年
11	廃食用油のディーゼル燃料への 循環利用に関する研究	中村一夫	京都大学博士論文, 2006 年

海外文献

No.	文献名	著者名	資料名
1	Fueling Diesel Engine with Blends of Methyl-Ester Soybean Oil	Schumacher, L. G. Hires, W. G. and Borgelt, S. C.	Proceedings of a Alternative Energy Conference American Society of Agricultural Engineers Winter Meeting. Nashville, TN. 1992
2	Fueling Diesel Engines with Blends of Methyl Ester Soybean Oil and Diesel Fuel	Schumacher, L. G., S.C. Borgelt, D. Fosseen, W. G. Hires, W. Goetz	Biodiesel '94. Sioux Falls, SD. 1994
3	Fueling Urban Buses with Soydiesel-Diesel Fuel Blending	Schumacher, L. G., J. A. Weber, & M. D. Russell.	Bioenergy '94- Using Biofuels for a Better Environment - Proceedings of the Sixth National Bioenergy Conference. Reno/Sparks, NV. 1994
4	Lubricating Qualities of Biodiesel and Biodiesel Blends	Schumacher, L. G. & S. Howell.	Bioenergy '94- Using Biofuels for a Better Environment - Proceedings of the Sixth National Bioenergy Conference. Reno/Sparks, NV. 1994
5	Collection and Collation of Performance Data From Urban Mass Transit Biodiesel Demonstrations	Schumacher, L. G. and J.A. Weber	Proceedings of an Alternative Energy Conference, American Society of Agricultural Engineers Summer Meeting. Kansas City, MO. 1994
6	Fueling Heavy Duty Diesel Engines With Blends of Soydiesel and Low Sulfur Diesel Fuel	Fosseen, D, L. G. Schumacher, W. Goetz, S.C. Borgelt, and W.G. Hires.	Proceedings of an Alternative Energy Conference, American Society of Agricultural Engineers Summer Meeting. Kansas City, MO. 1994
7	Biodiesel : World Status	Borgelt, S.C., T. S. Kolb, and L. G. Schumacher.	Proceedings of an Alternative Energy Conference, American Society of Agricultural Engineers Summer Meeting. Kansas City, MO. 1994
8	6V-92TA DDC Engine Exhaust Emission Tests Using Methyl Ester Soybean Oil/Diesel Fuel Blends	Schumacher, L. G., S.C. Borgelt, D. Fosseen, W. Goetz	Bioresource Technology. 1995
9	Fueling a Diesel Engine with Methyl-ester Soybean Oil	Schumacher, L.G, S.C. Borgelt, & W.G. Hires.	Applied Engineering In Agriculture. Vol. 11(1): 37-40. 1995
10	Cummins 5.9L Biodiesel Fueled Engines	Schumacher, L. G., W.G. Hires, and Krahl, J. G..	Proceedings of the Second Biomass Conference of the Americas. Portland, OR. 1995
11	An Alternative Fuel For Urban Buses-Biodiesel Blends	Schumacher, L. G., Weber, J. A., and Krahl, J. G..	Proceedings of the Second Biomass Conference of the Americas. Portland, OR. 1995
12	Biodiesel Emissions Data 60 DDC Engines	Schumacher, L. G.	American Public Transit Association Bus Operations and Technology Conference. Reno, NV. 1995

No.	文献名	著者名	資料名
13	Fueling 5.9L and 7.3L Navistar Engines with Biodiesel-20	Schumacher, L. G. , Borgelt, S. & Russell, M. A.	ASAE Paper No. 956739. 1995
14	Maintenance, Repair, Engine Exhaust Emissions Associated with Biodiesel Fueling of Urban Buses	Schumacher, L. G. , Weber, J. A, & Krahl, J. G.	ASAE Paper No. 956736. 1995
15	Project Update : Fueling 5.9L Cummins Engines with 100% Biodiesel	Schumacher, L. G. , Borgelt, S., Russell, M. A. & Krahl, J. G.	ASAE Paper No. 956740. 1995
16	Alternative Fuel Transit Bus Evaluation Program Results	Chandler, K., N. Malcosky, K. Kelly, P. Norton, R. Motta, L. Schumacher, & D. Lyons.	SAE Paper No. 961082. 1996
17	Survey About Biodiesel Exhaust Emissions and Their Environmental Effects	Krahl, J., A. Munack, M. Bahadir, L. Schumacher, and N. Elser.	Proceedings of the Third Liquid Fuel Conference. Nashville, TN. 1996
18	Review : Utilization of Rapeseed Oil, Rapeseed Oil Methyl Ester or Diesel Fuel : Exhaust Gas Emissions and Estimation of Environmental Effects	Krahl, J., A. Munack, M. Bahadir, L. Schumacher, and N. Elser.	SAE Paper No. 962096. 1996
19	Research Needs Resulting from Experience of Fueling Engines with Biodiesel	Schumacher, L. and J. Van Gerpen.	Proceedings of the Third Liquid Fuel Conference. Nashville, TN. 1996
20	Lessons Learned While Fueling With Biodiesel	Schumacher, L.G. and T. Madzura.	Proceedings of Commercialization of Biodiesel: Producing a Quality Fuel. Boise, ID. 1997
21	Fueling Direct Injected Diesel Engines with 2% Biodiesel Blend	Schumacher, L.G., S. Soylu, J. Van Gerpen, and W. Wetherell.	ASAE Paper No. 986084, 1998
22	Cold Flow Properties of Biodiesel and Its Blends With Diesel Fuel	Schumacher, L.G., W. Wetherell, and J.A. Fischer	ASAE Paper No. 996133, 1999
23	Engine Oil Analysis of Diesel Engines Fueled with 0,1,2,100 Percent Biodiesel	Schumacher, L.G. and J.V. Gerpen.	ASAE Paper No. 006010, 2000
24	Engine Oil Analysis of Diesel Engines Fueled with biodiesel Biodiesel	Schumacher, L.G., C.L. Peterson, and J.V. Gerpen	ASAE Paper No. 01-6053, 2001
25	A Comprehensive Analysis of Biodiesel Impacts on Exhaust Emissions, Draft Technical Report	Assessment and Standards Division, Office of Transportation and Air Quality U.S. Environmental Protection Agency	EPA420-P-02-001, October 2002

(2) 代表的な文献の概要

渡辺修宏他：廃食油エチルエステル燃料のディーゼル機関への適用に関する研究
(エチルエステル燃料の水洗い処理有無の影響)，日本機械学会東北支部秋季講演
会講演論文集，Vol.40，2004

エチルエステルを水洗い処理することにより、

- ・ 密度は、各燃料の値の差があまり見られなくなった。
- ・ 動粘度は、全体的に若干ながら値が低くなった。
- ・ 低発熱量は、約 1.2[MJ/kg]増加した。
- ・ 着火温度は、10～30 [K]ほど低下し、軽油に近づいた。

実機性能試験では、水洗い処理をした燃料は、熱効率のみで、水洗い処理をしていない燃料より改善された。NO_x濃度が水洗い処理をしていない燃料より増加したのは、低発熱量の値が高くなったこと、着火遅れ時間が短くなったことにより、燃焼温度が上昇したためと考えられる。

吉田總一郎・馬場俊秀：循環型反応プロセス バイオディーゼル燃料の製造とその性質，シリーズ「クリーンケミストリー開発/実践編」，PETROTECH

酵素法を用いると室温付近でエステル交換反応が進行する。酵素を用いたときの大きな特徴は、塩基触媒の場合と比べ水洗い(中和処理)が不要な点であり、そのため、グリセリンの回収が容易となる。しかし、エステル交換反応の反応速度は遅く、また反応を行う際に酵素の精製が必要であるためコストがかかり、現在のところ実用化されていない。

表 バイオディーゼルの製造法の特徴

	触媒 (KOH)	酵素
反応温度	~ 60	~ 35
反応時間	1~2 時間	10~23 時間
メタノール/油脂	6~9 (量論量の 2~3 倍)	3 (量論量)
水洗	3~4 回	不必要
グリセリンの回収	困難	容易
遊離脂肪酸	石けんの生成 (水洗時、泡の発生) アルカリによる中和	
微粒子残さ	あり	なし
水の影響	反応速度の低下	水の共存が不可欠
その他		酵素の精製が必要

出典) シリーズ「クリーンケミストリー開発/実践編」

循環型反応プロセス - バイオディーゼル燃料の製造とその性質 -

久森弘至：バイオディーゼル燃料製造設備，Hitz 日立造船(株)資料

主要製造設備は、原料受入の他、前処理工程、反応工程、分離工程、メタノール回収工程、温水洗浄工程、水分除去工程、添加剤注入工程、夾雑物除去工程から構成される。

原料は、わが国の実情に沿った廃食用油が用いられるが、その酸価が小さいほど遊離脂肪酸が少ないため高収率が得られる。

各工程の詳細を以下に示す。

- ・ 前処理工程では、反応阻害の原因である夾雑物はフィルターで、水分は真空蒸発により除去する。
- ・ 反応工程では、アルカリ触媒の存在下で過剰のメタノールと廃食用油を所定時間反応させ、粗メチルエステルを生成させる。この時、同時にグリセリンも副成される。
- ・ 分離工程では、粗メチルエステルは比重差分離によりグリセリンと分離する。また、この粗メチルエステル中の残留メタノールは、メタノール回収工程で真空蒸発により回収し、再利用する。
- ・ 温水洗浄工程では、温水で洗浄することにより粗メチルエステル中の遊離グリセリンなどの残留不純物を除去する。不純物を洗浄除去されたメチルエステルは比重差分離により洗浄排水と分離される。
- ・ 分離後、さらに水分除去工程でメチルエステル中の残留水分を真空蒸発により除去する。

- ・ 冬季低温時には流動点改善のため、添加剤注入工程で流動点降下剤を添加する。
- ・ 最後に、夾雑物除去工程でフィルターにより夾雑物などを除去する。
- ・ 精製メチルエステルすなわちバイオディーゼル燃料は、製造貯蔵タンクに貯留される。また、バイオディーゼル燃料と軽油を混合する設備も併設している。出荷は、ローディングアームを用いてローリー車に積み込むことにより行う。

表 バイオディーゼル燃料の品質

品質項目	単位	燃料品質	品質項目	単位	燃料品質
密度 (15)	g/ml	0.86 ~ 0.90	モノグリセライド	%	0.8 以下
動粘度 (40)	mm ² /s	3.5 ~ 5.0	ジグリセライド	%	0.2 以下
流動点		- 7.5 以下	トリグリセライド	%	0.2 以下
目詰点		- 5 以下	遊離グリセライド	%	0.02 以下
10% 残留炭素	%	0.3 以下	全グリセリン	%	0.25 以下
セタン価	-	51 以上	メタノール	%	0.2 以下
水分	ppm	500 以下	アルカリ金属類	mg/kg	5 以下
引火点		100 以上	酸価	-	0.5 以下
硫黄分	ppm	10 以下	ヨウ素価	-	120 以下

：参考値

坂志朗他：超臨界流体のポスト石油化学への応用 (2) - 2 段階超臨界メタノール法による油脂からのバイオディーゼル燃料 - , Jasco Report , 特集第 7 号 , 2003

2 段階法は従来法とはまったく異なる反応に基づくもので、多くの点で従来法に勝る。第 1 段階の反応で油脂中のトリグリセリドは亜臨界水 (超臨界水でもよい) により加水分解され、脂肪酸とグリセリンになる。この脂肪酸は第 2 段階の反応において超臨界メタノールによりエステル化され、効率よく脂肪酸メチルエステルへと変換される。従来法はエステル交換反応を主反応とするのに対し、2 段階法は加水分解反応に続くエステル化反応に基づくものである。

2 段階超臨界メタノール法によるバイオディーゼル燃料製造プロセスを以下に示す。

- ・ 油脂類に水を加え、亜臨界状態にてトリグリセリドを加水分解し、反応溶液を静置分離する。上層 (油層) 部には、生成した脂肪酸が、下層 (水層) 部には副産物であるグリセリンを含んだ水が分離される。
- ・ 上層 (油層) 部にメタノールを加え、超臨界条件下で処理することにより脂肪酸のエステル化が進行し、脂肪酸メチルエステル (バイオディーゼル燃料) が得ら

れる。なお、上層（油層）部には微量の水が含まれるが、水を含む系でのエステル化反応の検討から、水は高温、高圧下において酸触媒として働き、メタノールのエステル化反応には負の影響を及ぼさないことを明らかにしている。

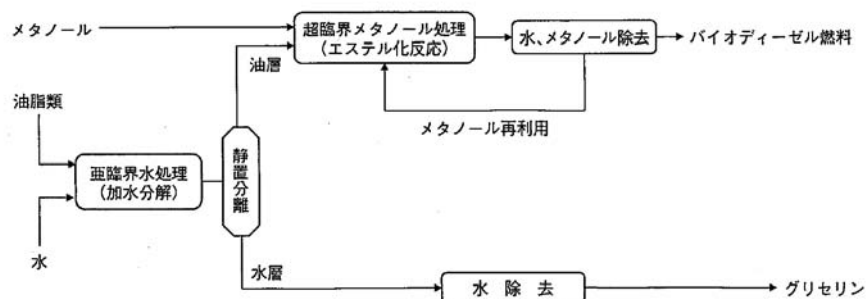
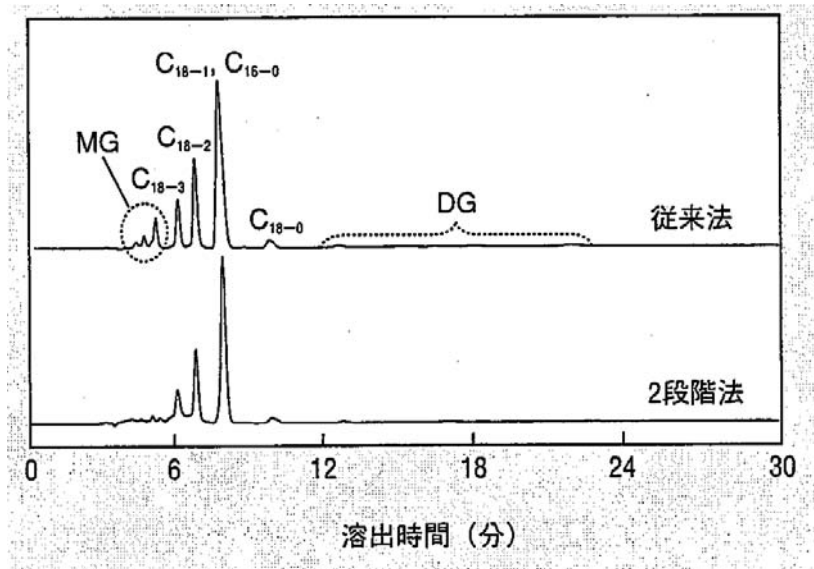


図 2 段階超臨界メタノール法によるバイオディーゼル燃料製造プロセス

従来法および2段階法によるバイオディーゼル燃料のHPLCクロマトグラムを比較すると、2段階法ではモノグリセリド(MG)およびジグリセリド(DG)のピークが認められないが、従来法ではピークが認められる点に違いがある。従来法はTG(トリグリセリド) DG MG G(グリセリン)の3段階のエステル交換反応に基づくもので、最終段階のMGのエステル交換反応が反応律速となり、バイオディーゼル燃料中に中間生成物であるDGやMGが残存しやすい。一方、2段階法では脂肪酸のエステル化のみで反応が完結し、270 °Cの処理でも中間生成物が残存しにくい。



従来法：350℃, 43MPa, 4分
 2段階法：(加水分解：270℃, 27MPa, 20分；エステル化反応：270℃, 17MPa, 20分)40分

図 従来法及び2段階法によるバイオディーゼル燃料のHPLCクロマトグラフの比較

坂志朗他：超臨界流体のポスト石油化学への応用（3） - 多種多様な油脂類からの高品位バイオディーゼル燃料 - ，Jasco Report ，特集第8号 ，2004

酸触媒法と同様、Saka 法では、油脂原料中に遊離脂肪酸が多く含まれていても、アルカリ触媒法でのように悪影響を与えることはなくエステル化反応が進行し、100%近いエステル収率が得られる。

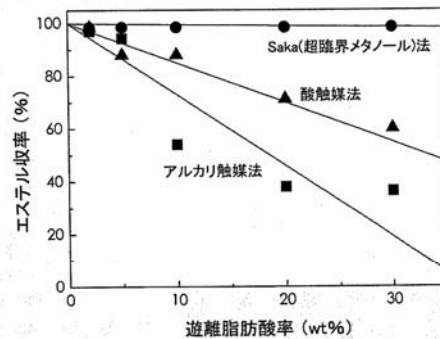


図 油脂原料中の遊離脂肪酸量と脂肪酸メチルエステル収率の関係

一方、油脂原料の含水率とエステル収率の関係は以下に示される。

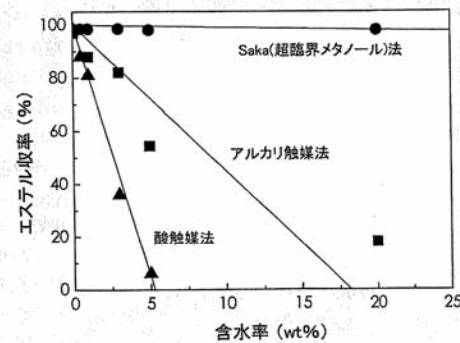
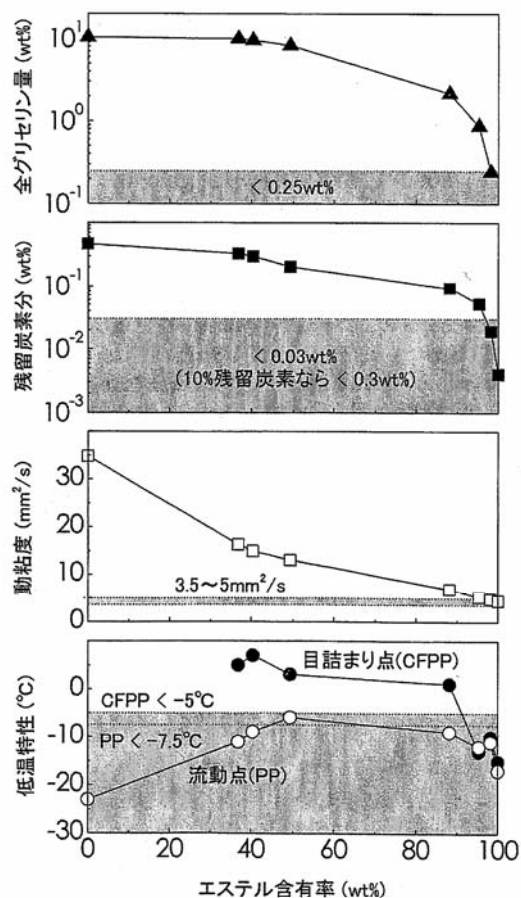


図 油脂原料の含水率と脂肪酸メチルエステル収率の関係

脂肪酸メチルエステル含有率の異なる各種バイオディーゼル燃料の全グリセリン量、残留炭素分、動粘度、目詰まり点および流動点との関係を見ると、各種燃料特性はエステル含有率に強く依存しており、エステル含有率の増加に伴い全グリセリン量や残留炭素分は単調減少している。動粘度についても未処理の菜種油は約 $35\text{mm}^2/\text{s}$ と非常に高い値を示すが、エステル含有率の増加と共に単調減少している。目詰まり点や流動点などの低温特性についても 50~100% のエステル含有率の範囲で共に単調減少している。バイオディーゼル燃料の純度とこれらの燃料特性には強い負の相関があり、燃料純度の向上と共にバイオディーゼル燃料の品質が改善される。



注1：網掛け部は規格を満足する領域を示す

注2：エステル含有率0wt%は菜種油、100wt%はオレイン酸メチルの標品を意味する

注3：残留炭素分は100%燃料に対する値

図 エステル含有率と各種バイオディーゼル燃料特性の関係

バイオディーゼルの燃料特性について以下の点を指摘している。

- ・ 全グリセリン量 (Gs)

全グリセリン量が高い場合には、噴射ノズル、ピストンなどにデポジットを生ずるほか、低温時にはフィルター目詰まりの原因ともなる。また、全グリセリン量の増加は、残留炭素分、動粘度、曇り点、流動点などほかの多くの指標の悪化を招くため、最も重要な指標となる。

- ・ 残留炭素分

バイオディーゼル燃料では、TG (トリグリセリド)、DG (ジグリセリド) および MG (モノグリセリド) の含有量が多いほど残留炭素分が増加する傾向にあるが、測定法は必ずしもバイオディーゼル燃料の評価に適したのではなく、今後の見直しが望まれる。

- ・ 動粘度

動粘度が大きすぎると燃焼室内での燃料の霧化を妨げ、逆に小さすぎると潤滑作用が低下する。燃料中に残存する未反応の TG や反応中間体の DG、MG は動粘度を上昇させる主要な原因となる。

- ・ 低温特性 (曇り点、目詰まり点および流動点)

バイオディーゼル燃料の場合には、パルミチン酸メチルやステアリン酸メチルのような高融点の飽和脂肪酸メチルの析出に由来している。さらに温度が低下すると、フィルターを通過させたときに目詰まりを生ずるようになる。このときの温度が目詰まり点である。この温度が高すぎると、低温時に燃料フィルターに目詰まりを生じる。低温時における燃料特性は、特に寒冷地において重要な指標であり、飽和脂肪酸組成の高いパーム油や牛脂などの硬化性油脂を原料とした場合に問題となる。

名古屋市消防局・柴田靖史：廃棄物等の再資源化に伴う出火原因に関する研究 - 廃棄物固形化燃料及びバイオディーゼル燃料 - , 消防研究室年報 , No.34, 2005

2004年8月31日名古屋市港区内において、使用済み食用油を再生してバイオディーゼル燃料化する施設から出火する事例があった。火災の概要は、スチール製の棚に置いてあったダンボール箱が燃え、そこから立ち上がった炎が天井の一部を焦がしたものであった。燃えたダンボール箱の中に廃食用油やバイオディーゼル燃料が染みこんでいたと推定されるウエスがまとめて入れてあったこと、また、その焼き状況などから、ウエスからの自然発火が出火原因とされた。食用油による自然発火事例はよく知られているが、バイオディーゼル燃料も食用油同様条件によっては自然発火しやすいものであることが実験により判明した。

バイオディーゼル燃料等が含浸したウエスの自然発火は、天かすなど予熱のある事例とは異なり、室温の状態から酸化反応が進み出火している。これは、バイオディーゼル燃料が食用油よりも自然発火しやすいことを示唆している可能性もある。

火災が発生した事業所を管轄する名古屋市港消防署の指導により、廃食用油再生燃料化装置（バイオディーゼルプラント）の製造メーカーはその取り扱い説明書に新たに自然発火の危険性を書き加え、関係者に注意を喚起するなどの改善措置を行った。

メチルエステル燃料の構成成分が、ディーゼル機関の性能ならびに排気特性に及ぼす影響について調べるために、直接噴射式機関を用いて負荷試験を行った。

2 種類のメチルエステル燃料 (A) ならびに (B)) を用いて運転した場合の機関性能、ならびに排気特性を検討した結果、両メチルエステル燃料で、熱消費率、ならびに最大出力等の機関性能に差異は認められない。また、メチルエステル燃料と軽油を比較しても機関性能には大きな差異は認められなかった。

排気特性についてみると、メチルエステル燃料 (A) と (B) とで、 NO_x 、総炭化水素 (THC) ならびに排気黒煙の排出傾向に大きな差異は見られない。メチルエステル燃料の構成成分の違いは、機関性能ならびに排気特性のいずれにも大きな影響を及ぼさない。また、個々の成分の排出量を軽油と比較してみると、概して、 NO_x は増加するが、THC は低中負荷域では低い値を示している。また、排気黒煙は、特に高負荷域で低減する傾向が認められる。

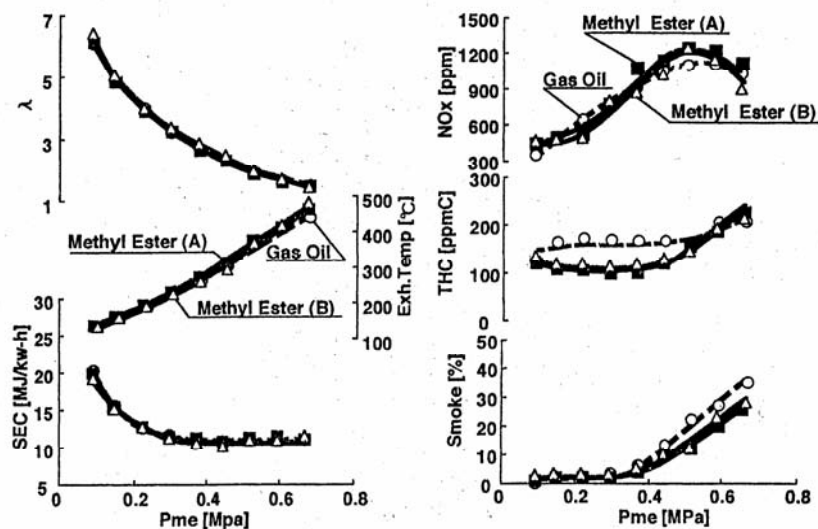


図 メチルエステル燃料の構成成分の差異が機関性能ならびに排気特性に及ぼす影響

ディーゼル排気の規制対象である微粒子（PM）を希釈トンネルを用いて測定して、可溶性有機物質（SOF）と固体状微粒子（Dry-soot）とに分離し、負荷を変化させた場合のSOFならびにDry-sootの排出傾向を調べた。

メチルエステル燃料を用いた場合の微粒子の排出傾向は、排気黒煙の排出傾向とは大きく異なり、低負荷域においても、排出量が多く、負荷の増加に伴い緩やかに増加しているが、微粒子の大部分は、SOF成分であり、負荷の増加に伴い減少している。一方、Dry-sootの排出傾向は、排気黒煙の傾向と類似しており、中間負荷付近までは少ないが、高負荷域では増加している。なお、2種類のメチルエステル燃料で比較してみると、この程度の構成成分の差異は、微粒子、SOF、ならびにDry-sootの排出量には大きな影響は及ぼさない。微粒子の排出傾向を軽油と比較すると、低負荷域においては、メチルエステル燃料の場合、微粒子は軽油の3倍程度排出されているが、その大部分はSOF成分である。

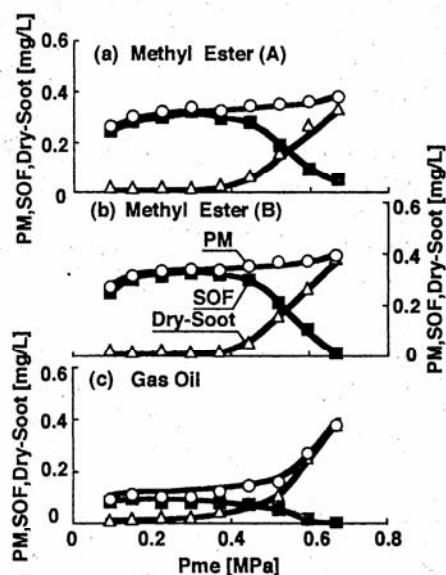


図 メチルエステル燃料の構成成分の差異が微粒子の排出に及ぼす影響

廃食用油メチルエステル燃料の問題点として以下の点が挙げられる。

- ・ メチルエステル燃料の性状を安定化するためには、廃食用油の原料性状に何らかの基準を設けることが必要であるが、メチルエステルの収率に影響を及ぼす酸価と、寒冷時の凝固に影響する飽和脂肪酸の組成を正確に把握しておくことが必要である。

なおメチルエステル化率は、正常な反応が行われていれば98%は確保することができる。石けん含有量は、エンジンの燃料系統の目詰まりの原因となるので50mg/kg程度に規制する必要がある。

- ・ 廃食用油原料の性状基準、およびメチルエステル油脂の性状基準が満たされ、適切な生産が行われれば、メチルエステル燃料の性状基準を満足させることができる。
- ・ 寒冷時の凝固は、メチルエステル燃料中の飽和脂肪酸成分が低温時にラード上の結晶として析出することである。これは、噴射系、ひいてはエンジン各部にダメージを与えるので大きな問題となる。たとえば東京のように外気温度が0 程度まで下がるような地域では、原料中の飽和脂肪酸の含有量を15%程度に抑えることが必要であるが、今後、結晶析出防止剤の添加などを考えることが必要と思われる。

まとめとしては、以下の点が挙げられる。

- ・ 廃食用油をエステル化して自動車用ディーゼルエンジンの燃料として利用することは十分に可能である。
- ・ 回収される廃食用油の構成成分およびエステル化率の差異は、そのままメチルエステル燃料の構成成分の差となって表れるものの、これらの差異は、エンジン性能ならびに排気特性に対して重大な影響を与えることはない。しかし、特定物質に指定されているメタノールやホルムアルデヒドの排出には、特にメチルエステル燃料を構成する脂肪酸の二重結合の数が影響する。
- ・ メチルエステル燃料では、軽油に比較して、燃焼室形式の如何に拘らず特定物質に指定されているメタノールならびにホルムアルデヒドの排出量が増加する。また、直接噴射式機関では、低・中負荷域まで微粒子の排出量が大幅に増加するが、その大部分はSOF成分である。しかし、副室式機関における微粒子の排出量は、軽油に比較して大きな差異は認められない。
- ・ 実際にメチルエステル燃料を使用する差異の主なる問題点は、直接噴射式機関に用いた場合に、メタノールやホルムアルデヒドの排出量が軽油の1.2~3倍程度排出されること、また、低・中負荷域で微粒子中のSOFの排出量が大幅に増加すること、また、寒冷地での冬期の使用に限界があることなどである。

山根浩二：バイオ燃料利用システムの研究開発動向，自動車技術，Vol.55，No.5，2001

廃コーン油主体、廃菜種油主体、未使用菜種油を対象に燃料性状について比較を行っている。

表 バイオディーゼル燃料（BDF）の性状

	BDF-1 (廃コーン油主体)	BDF-2 (廃菜種油主体)	BDF-3	RME (未使用菜種油)	JIS-2D (軽油)	国内精製時のガイドライン
密度 (g/cm ³)	0.8839	0.8953	0.8904	0.8947	0.820	0.86～0.90
動粘度 (cSt@30)	6.225	9.480	6.960	13.00	2.8	5.0～6.5
低発熱量 (MJ/kg)	42.3	36.7	36.3	36.6	42.7	
セタン指数	63.9	53	47.6		58	最大 58
引火点 ()	166	192	190	198	59	最小 100
炭素 (wt%)	77.1	77.1	73.5	74.3	86.7	
水素 (wt%)	11.9	13.8	15.4	15.6	13.1	
酸素 (wt%)	11.0	9.0	11.0	10.0	0.14	
硫黄 (wt%)	0.0013	0.002	0.001	0.0001	0.05	
水分(KF) (wt%)	0.13	0.11	0.08	0.05	0	最大 0.1

シダックスフードサービス株式会社・アイセ・サプリメント株式会社：環境調和型エネルギーコミュニティフィールドテスト事業調査「廃食料油のリサイクル技術開発と実用化のための調査事業 調査報告書」，平成 14 年 6 月

- 1) 軽油にバイオディーゼル燃料 (e-OIL) をブレンドすることにより、排気ガス中の THC (総炭化水素) 量と PM (粒子状物質) 量ともに低減し、e-OIL のブレンド率が高いほど、THC と PM の低減程度が高くなる。
- 2) PM に含まれる成分をそれぞれ煤 (Soot)、可溶性有機成分 (SOF) および硫酸塩 (サルフェート) に分けてみると、有害性の最も高く、しかも DPF 装置の耐久性を左右する煤の量は e-OIL のブレンド率に比例して著しく低減し、ブレンド率が 50% のときの煤量が軽油の約半分しかない。この傾向から推算すると、100% e-OIL の煤量が 0g/kWh になる。
- 3) 100% 軽油に比べて、e-OIL ブレンド油の SOF 量がブレンド率とともに若干増加する傾向が見られるが、その値は、使用される潤滑油の特性、測定方法、測定条件な

どにより大きく変わるパラメーターであって、必ずしも燃料の特性のみを反映しているものではない。煤の表面に付着している可溶性有機成分（SOF）は、ベンゼン、トルエンなどの有機溶剤に溶けるものである。これらは高温では蒸気であり、酸化触媒表面で十分に燃焼させることができる。ただし、温度が下がるとすす成分に付着してすすを太らせる効果があり、見かけ上のPM量が増えることになる。

- 4) e-OIL ブレンド燃料のNO_x排出量は、100%の軽油に比べて低減されていないが、e-OIL ブレンド率の高い燃料を使い、排気ガス中の硫黄濃度が十分に低ければ、ガソリン車のために開発される脱硝触媒を付けることによって、簡単にクリアできると思われる。
- 5) e-OIL ブレンド燃料の全負荷性能（トルク数）は、回転数 1740rpm まで 100%の軽油とほとんど変わらなく、回転数 2320rpm の時だけ、トルク数に 1%程度の低下が見られる程度である。
- 6) e-OIL の発熱量は軽油に比べて約 1 割低く、各モードでの試験時、出力（エンジンの負荷率）を一定にするため、e-OIL の流量を調整している。各モードでの e-OIL の消耗率が軽油の場合に比べて多くなる。ところが、各モードでの空気流量が一定となっているので、実質的に、e-OIL の場合の空燃費（空気対燃料の比率）が軽油の場合より低い。これによって、e-OIL ブレンド燃料の排気ガス中の THC、PM などの測定値に対して多少なりの影響が出ていると考えられる。すなわち、100%軽油と同じ空燃費にすれば、e-OIL ブレンド燃料の THC、PM などの値がもっと低くなる可能性がある。

表 廃食料油の分析値

廃食料油の分析値

	廃植物油 A	廃植物油 B
引火点	306 ℃	308 ℃
動粘度（at 100℃）	8.62 mm ² /S	8.62 mm ² /S
総発熱量	9520 kcal/kg	9520 kcal/kg
	39.85 MJ/kg	39.85 MJ/kg
水分	0.05 容量%	0.05 容量%

[分析方法]

引火点 : JIS K 2265 クリーブランド開放式
 動粘度 : JIS K 2283
 総発熱量 : JIS K 2279
 水分 : JIS K 2275 蒸留法

表 廃食油を原料とするバイオディーゼル製造プロセスの課題と対策

原因	性状変化	使用中の問題点	解決法
原料廃食用油の水分と遊離脂肪酸の除去が不十分	<ul style="list-style-type: none"> 石けんの生成、触媒の失活 グリセリン誘導体の生成 	燃料供給ラインでのフィルター詰まり	遠心分離と真空脱水の組み合わせで原料廃食用油中の固形分（ラード等）、水分および遊離脂肪酸を徹底的に除去
NaOHなどの低活性触媒の利用	<ul style="list-style-type: none"> 石けんの生成 グリセリン誘導体の生成 グリセリド転化率の低下 	粘度が高くなるによるラインやフィルターの詰まりおよび空気との混合が不十分で燃焼特性が悪い	<ul style="list-style-type: none"> KOHの使用 逆反応と副反応の抑制
水洗浄によるアルカリ除去	<ul style="list-style-type: none"> 石けんの生成 残存水分の増大 	<ul style="list-style-type: none"> 収量の低下 アルカリ廃水の処理 セジメタタンクのオーバーフローによるエンジントラブル 	吸着剤と遠心分離機の組み合わせによる精製
メタノールの残存	引火点の低下	異常燃焼	メタノールの使用量を化学量論近くに抑える
		一部材料等への腐食等の影響	エタノール使用に切り替わる超臨界方式等プロセス変更
流動点降下剤の未添加	流動点の上昇（3.5）	寒冷地域での使用不能	流動点降下剤の添加（15）

千葉三港運輸株式会社：平成 16 年度 バイオマス等未活用エネルギー実証試験事業・同事業調査・バイオマス等未活用エネルギー実証試験事業調査『廃棄物レス型設備による廃食油からのバイオディーゼル燃料製造にかかわる実証試験事業調査』報告書，平成 17 年 3 月

触媒試験 BDF (試験 No. 1 ~ 6 の 6 種類) のエステル交換後 (未洗浄) の脂肪酸メチルエステルの性状を把握するため、密度、引火点、流動点、発熱量、硫黄分、動粘度の代表的性状 6 点を分析した。

表 脂肪酸メチルエステル (未洗浄) 性状分析結果

分析項目	試験 No	1	2	3	4	5	6	分析方法
	単位							
密度	g/cm ³	0.8954	0.8867	0.8893	0.8858	0.8866	0.8865	JIS K 2249
引火点		70	61	53	74	57	45	JIS K 2265
流動点		- 5.0	- 5.0	- 5.0	- 5.0	- 5.0	- 5.0	JIS K 2269
発熱量	kcal/kg	9,320	9,350	9,290	9,420	9,430	9,380	JIS K 2279
硫黄	%	0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	JIS K 2541
動粘度 (20)	mm ² /s	9.32	6.70	6.39	6.61	6.60	6.34	JIS K 2283

また、通常、プラントを使用して精製した BDF と、触媒試験で比較的に実際に精製時の数値に近い試験 No. 2 (苛性カリ) の数値を比較した。

表 分析結果比較

分析項目	試験 No	BDF	試験 No2	分析方法
	単位			
密度	g/cm ³	0.8878	0.8867	JIS K 2249
引火点		150	61	JIS K 2265
流動点		- 7.5	- 5.0	JIS K 2269
発熱量	kcal/kg	9,478	9,350	JIS K 2279
硫黄	%	0.01	< 0.01	JIS K 2541
動粘度 (20)	mm ² /s	6.84	6.70	JIS K 2283

以下の点から、粗製グリセリンの固化防止には、触媒に苛性カリを使用するほうが有効である。

- ・ 苛性ソーダ (NaOH) と苛性カリ (KOH) のモル比を同等にしても苛性ソーダを使用した粗製グリセリンは固化し、苛性カリを使用した粗製グリセリンは固化しなかった。これは、苛性カリの方が苛性ソーダよりもグリセリンに溶けやすい特性があるためだと思われる。このことから、BDF を精製する際に、苛性カリを使用すれば固化は避けられると考えられる。
- ・ 添加したアルカリのモル比に対する粗製グリセリンの生成量は、メタノールと油との反応におけるグリセリン理論生成量までの範囲ではほぼ比例すると考えられる。
- ・ 触媒の添加量を変えても精製される BDF (脂肪酸メチルエステル) の成分はほとんど変化しない。しかしながら、引火点については通常、プラントを使用して生成した BDF と比較した場合、試験 No.1~6 は明らかに低い。これは、試験検体である BDF (脂肪酸メチルエステル) が未洗浄のためメタノール分が残留していると考えられることと、試験時の攪拌・静置の時間が不足していたため、未反応のメタノール分が含まれていると思われる。

㈱新日石総研 環境・製品技術調査部 石川榮：バイオディーゼルに係る燃料規格の課題に関する調査，（財）石油産業活性化センター資料

欧州主要規格項目（エステル含有量、水分、全夾雑物量、酸化安定性、酸化等）を軽油規格に反映する場合の課題について検討を行っている。

表 欧州主要規格項目を軽油規格に反映する場合の課題（BDF5%以下と仮定）

項目	基準案	課題
エステル含有量 wt%	(5以下)	欧州では赤外線吸収スペクトル法が採用されているが、BDFと植物油の識別ができない。ガスクロ法（EN14331）などの利用も検討することが必要。
水分 mg/kg	(200以下)	BDFは吸湿性があるが5%以下の混合ならば影響力は少ないと思われる。EN590は200以下となっている。規格化の必要性も含めた検討が必要。
全夾雑物量 mg/kg	(24以下)	軽油規格には従来から設定されていないので規格化の必要性も含めた検討が必要。
酸化安定性 g/m ³	(25以下)	EN14214とEN590では試験方法が異なる。Rancimat法酸化安定性試験を望む声があるが試験方法の精度も含めた検討が必要。
酸価 mgKOH/g	(0.025以下)	酸価と腐食などとの関係を明確にする必要がある。また、EN14104試験の適用範囲が0.1-1.0mgKOH/gとなっているので精度を含めた検討が必要。
リノレン酸メチルエステル量 wt%	(0.6以下)	EN14103試験の適用範囲が1-15%となっているので精度を含めた検討が必要。
多価不飽和脂肪酸エステル量 wt%	(0.05以下)	EN14214でも試験方法が規定されていない。極微量濃度の分析試験方法の確立が必要。
メタノール含有量 wt%	(0.01以下)	EN14110試験の適用範囲は0.01-0.5%なので精度を含めた検討が必要。
モノグリセリド wt%	(0.04以下)	EN14105はココナツ油やパーム油の分析にはピークが重なるので利用できない。分析精度も含めた検討が必要。
ジグリセリド wt%	(0.01以下)	
トリグリセリド wt%	(0.01以下)	
総グリセリン wt%	(0.0125以下)	
遊離グリセリン wt%	(0.001以下)	
アルカリ金属 (Na+K) wt%	(0.25以下)	試験方法の適範囲は1mg/kg以上なので極微量の金属分を精度良く測定する試験方法の確立が必要。
アルカリ土類金属 (Ca+Mg) wt%	(0.25以下)	
リン含有量 mg/kg	(0.5以下)	EN14107の適用範囲は4-20mg/kgとなっているので精度も含めた検討が必要。

基準値案の（ ）はEN590またはEN14214規格値を5%反映した数値

三重県環境森林部資源循環室：地域循環ネットワークモデル構想策定事業 廃食用油
部会報告書，三重県資料，2005年

油脂4種類について、油脂性状、アルカリ触媒法を用いた脂肪酸メチルエステル化
により得られた脂肪酸メチルエステルの性状を分析した。

表 廃食用油（三重県）実測値／バージン油脂との比較

分析試験項目	廃食用油（三重県）	菜種油	大豆油	パーム油
脂肪酸組成				
12:0				0.4%
14:0	0.1%			1.0%
16:0	9.9%	4.3%	10.7%	39.5%
16:1	0.3%	0.2%		0.2%
18:0	3.3%	1.9%	3.2%	4.1%
18:1	39.2%	61.5%	25.0%	43.2%
18:2	38.9%	20.6%	53.3%	10.6%
18:3(n-3)	5.7%	8.3%	5.4%	0.2%
20:0	0.4%	0.5%	0.4%	0.4%
20:1	0.6%	1.1%	0.2%	0.2%
22:0	0.3%	0.2%	0.4%	
24:0	0.2%	0.1%	0.2%	
24:1		0.2%		
未同定	1.1%	1.1%	1.2%	0.2%
酸価	1.77	0.06	0.05	0.06
ヨウ素価	120	110	132	57.1
けん化価	193	187	191	196
水分	0.18%以下	0.01%以下	0.01%以下	0.01%以下
夾雑物	0.01%以下	0.01%以下	0.01%以下	0.01%以下
曇り点	-7.5℃以下	-10℃以下	-8.7℃	データなし

表 脂肪酸メチルエステル（三重県）実測値／バージン油脂との比較

分析試験項目	廃食用油 メチルエステル	菜種油脂肪酸 メチルエステル	大豆油脂肪酸 メチルエステル	パーム油脂肪酸 メチルエステル
酸価	0.54	0.30 mg-KOH/g	0.30 mg-KOH/g	0.20 mg-KOH/g
メタノール含有量	12ppm	0.02 %	0.02 %	0.02 %
ヨウ素価	116	<103	<132	<45
メチルエステル化率	86.2%	99.5%	99.5%	99.5%
モノグリセリン	0.52%	0.5%	0.3%	0.2%
ジグリセリン	1.0%	<0.1%	<0.1%	<0.1%
トリグリセリン	4.8%	<0.05%	<0.05%	<0.1%
遊離グリセリン	検出せず (0.1%検出限界)	<0.01%	<0.01%	<0.02%
全グリセリン量	0.7%	0.12%	0.12%	0.16%
リン含有量	未測定	<5 mg/kg	<3 mg/kg	<8 mg/kg
セッケン含有量	343mg/kg	<5 mg/kg	<5 mg/kg	<5 mg/kg

表 脂肪酸メチルエステル（三重県）実測値／ドイツ規格、EU規格、京都暫定規格案との比較

分析試験項目	廃食用油 メチルエステル 実測値	DIN51606	EN14214	京都 暫定規格案
酸 価	0.54 mg-KOH/g	<0.5 mg-KOH/g	<0.5 mg-KOH/g	<0.5 mg-KOH/g
メタノール含有量	0.0012%	<0.3%	<0.2%	<0.2 %
ヨウ素価	116 gr iodine/100gr	<115 gr iodine/100gr	<120 gr iodine/100gr	<120 gr iodine/100gr
メチルエステル化率	86.2%	>96.5%	>96.5%	>98%
モノグリセリン	0.52%	<0.8%	<0.8%	0.8%
ジグリセリン	1.0%	<0.4%	<0.2%	<0.2%
トリグリセリン	4.8%	<0.4%	<0.2%	<0.2%
遊離グリセリン	検出せず (0.1%検出限界)	<0.02%	<0.02%	<0.02%
全グリセリン量	0.7%	<0.25%	<0.25%	<0.25%
リン含有量	未測定	<10 mg/kg	<10 mg/kg	<8 mg/kg
セッケン含有量	343mg/kg	<5 mg/kg	<5 mg/kg	<5 mg/kg

Office of Transportation and Air Quality U.S. Environmental Protection Agency :
A Comprehensive Analysis of Biodiesel Impacts on Exhaust Emissions, Draft Technical
Report, 2002

バイオディーゼル燃料の混合率の増加とともに炭化水素（HC：hydrocarbon）、一酸化炭素（CO）、粒子状物質（PM：particle matter）の排出濃度は低下するが、窒素酸化物（NO_x）は増加する。

