

# SVO 自動車に関する実証研究

## (第1報：副室ディーゼルエンジン車の公道走行試験 ならびにライフサイクル・インベントリ)

### Demonstration Study on Cars with Straight Vegetable Oil systems

#### (Part 1: On-road Tests and Life Cycle Inventories of Cars with Indirect Injection Diesel Engines)

根本 泰行 \*1  
Yasuyuki NEMOTO

陳 明 \*2  
Ming CHEN

牛山 泉 \*3  
Izumi USHIYAMA

#### Abstract

Various kinds of vegetable oil and waste cooking oil are in fact used as car fuel all over the world. In general, 'bio-diesel' i.e. fatty acid methyl ester extracted from such oil is utilized as fuel for vehicles. However bio-diesel has some problems such as by-product and waste materials created during transesterification. An alternative method is the direct use of vegetable oil as car fuel through installation of SVO (straight vegetable oil) system which is constituted of a heater and a filter in the car to decrease vegetable oil viscosity. However little data has been reported concerning this method. The authors of this study carried out performance tests on a car with an indirect injection diesel engine and an SVO system and found high potential of SVO. Moreover, the authors compared the environmental load of SVO with bio-diesel and light oil by carrying out life cycle inventory, and clarified the superiority of SVO.

キーワード：バイオ燃料，食用油，SVO，ディーゼル機関，ライフサイクル・インベントリ  
Key Words: Bio-fuel, Vegetable oil, SVO, Diesel engine, Life cycle inventory

#### 1. 序論

自動車用燃料として植物油（あるいは廃食用油）を利用する取組みが世界各国で行われている。一般的には、エステル交換反応によりいわゆるバイオディーゼル燃料として利用されることが多いが、副産物であるグリセリンの用途が定まっていないことなど、課題も存在する。

一方、自動車に加熱装置を取り付けることにより、植物油（あるいは廃食用油）を直接利用するいわゆるSVO（ストレート・ベジタブル・オイル）方式があることも知られている<sup>(1)</sup>。しかしながら、SVO方式については、廃食用油を燃料に用いた際のエンジン性能・排ガス特性を調べた例<sup>(2)</sup>、菜種油を燃料に用いた際のエンジン性能・デポジット生成について調べた例<sup>(3)</sup>などがあるものの、バイオディーゼル方式に比べまだまだ研究例が少なく、とくにSVO方式により走行する自動車の性能については、科学的・客観的データが皆無に等しいのが実情である。

本研究では、加熱装置（SVO装置）を装備した副室ディーゼルエンジン車について、公道走行試験による性能評価を実施した。また、ライフサイクル・インベントリを行うことにより、その環境負荷を評価したので報告する。

#### 2. 「SVO自動車」のコンセプト

自動車用燃料として植物油（あるいは廃食用油）を利用する場合、一般にエステル交換反応により粘度を低減したバイオディーゼル燃料（脂肪酸メチルエステル）の形で用い

\*1 足利工業大学工学部機械工学科准教授  
(〒326-8558 足利市大前町268-1)  
e-mail: nemoto@ashitech.ac.jp

\*2 足利工業大学大学院工学研究科大学院生

\*3 足利工業大学学長  
(原稿受付：2008年7月7日)

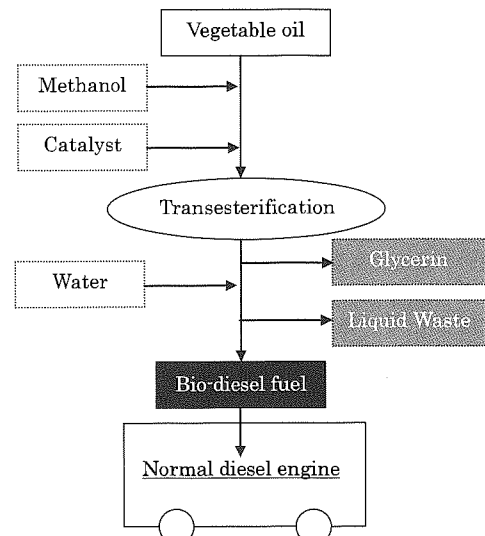


Fig.1 Process of Bio-diesel fuel production

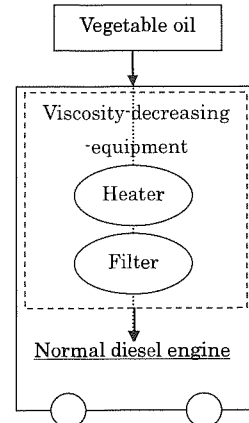


Fig.2 Concept of 'SVO vehicles'

られる場合が多い。

図1にバイオディーゼル燃料の製造プロセスの一例を示す。植物油は、メタノールとのエステル交換反応により脂肪酸メチルエステルとグリセリンに分離するが、反応の促進のため触媒（ナトリウムメトキシドなど）を用いるのが一般的である。最後に水洗を行い、この副生成物のグリセリンと触媒を完全に除去することにより、バイオディーゼル燃料（脂肪酸メチルエステル）を得ることができる。

こうしたバイオディーゼル燃料の製造には、以下の課題が存在する。

- ①植物油／廃食油以外に、メタノール、触媒などの副原料が必要なこと
- ②副産物としてグリセリンが生成されるが、その用途が定まっていないこと
- ③洗浄の過程で廃液が発生すること
- ④バイオディーゼル燃料は 2000ℓ 以上、メタノールは 400ℓ 以上で、危険物の扱いとなること
- ⑤バイオディーゼル燃料の製造装置を設置するため、スペースが必要なこと
- ⑥バイオディーゼル燃料の製造装置を運転するために、オペレータが必要であること
- ⑦バイオディーゼル燃料は、ゴム・樹脂でできた自動車配管等を腐食させる恐れがあること

一方、SVO方式は、自動車に加熱装置（粘度低減装置）等を取り付けることにより、植物油（あるいは廃食油）を直接利用するものである。図2にSVO方式を用いた自動車（SVO自動車）の概念図を示す。加熱装置およびフィルタの設置により、植物油（あるいは廃食油）を直接利用できるようになっている。

SVO方式では、導入時に自動車の改造が必要になるものの、バイオディーゼル燃料のような燃料の製造工程が不要であることから、副原料は不必要であり、副産物・廃液を発生せず、製造装置スペースならびにオペレータも必要としない。また、廃食油が危険物の指定を受けるのは、10,000ℓ以上であるため、前述した課題①～⑥は発生しない、もしくはほとんど発生しない。（⑦も発生しない可能性が高いと思われるが、未確認である。）

### 3. 供試 SVO 自動車

#### 3.1 概要

供試 SVO 自動車として、表1の仕様を有するベースマシン（平成10年式トヨタ・エスティマ・ルシダ）を改造し、北海道オリンピア製のSVOシステムを装備したものをを用いた。一般に、ディーゼルエンジンは副室式、直噴式に大別されるが、供試自動車は副室式ディーゼルエンジン搭載車である。本報では、SVO方式の副室式ディーゼルエンジンへの適用可能性に着目して実証実験を行った。（直噴式については次報以降で確認していく予定である。）

図3に供試SVO自動車の写真を、図4にSVOシステムの系統図を示す。本SVOシステムは、粘度低減装置としてラジエータからの熱を利用したヒータ、植物油（もしくは廃食油）中の不純物を除去するフィルタ、ベースマシンの燃料タンクを転用した植物油／廃食油（SVO/WVO）用タンク、新たに取り付けられた軽油（LO）用サブタンク、配管、バルブにより構成される。

なお、本自動車は、「廃食油併用」として自動車検査証の記載変更を行っており、公道走行が可能である。

Table 1 Specification of original vehicle

Name	TOYOTA ESTIMA Lucida
Type	KD-CXR10G
Production year	1998
Weight	1660kg
Size	4690*1690*1790mm
Type of engine	3C-TE (In line 4 cylinders OHC IC turbo diesel engine)
Bore*Stroke	86.0mm*94.0mm
Displacement	2184cc
Compression rate	22.6
Fuel supply system	EFI (Electric Fuel Injection)
Maximum power	105ps(77kW)/4200rpm
Maximum torque	23.0kg·m(225.6N·m)/2600rpm
Transmission	4AT



Fig.3. Tested "SVO vehicle"

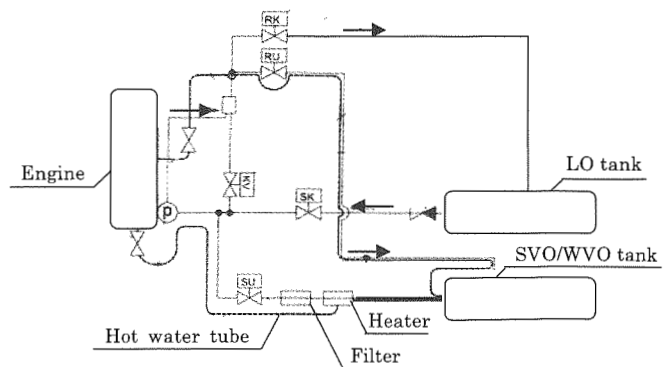


Fig.4 Systematic diagram of the 'SVO vehicle'



Fig.5 Filter (Left) and heater of the 'SVO vehicle'

### 3.2 ヒータおよびフィルタ装置

図5に廃食油ヒータおよびフィルタ装置の写真を示す。ヒータ内はラジエータからの温水が循環するようになっており、温水との熱交換により廃食油が過熱され、その粘度が低減されるようになっている。フィルタカートリッジとしては、5 $\mu$ mメッシュのものを使用している。

### 3.3 燃料タンクおよび配管

供試SVO自動車は、植物油/廃食油用(SVO/WVO)タンクと軽油(LO)用サブタンクの2タンク方式となっており、給油口もベースマシンのものと新設したものの2箇所が設けられている。一般の乗用車との概観上の違いは、この新設の給油口のみである。

この2つのタンクからエンジンまでの配管は完全に2系統になっており、植物油(もしくは廃食油)と軽油が決して混合しないように製作されている。これは、軽油が混入する構造になっていると、植物油(廃食油)についても課税の対象となってしまうのを避けるためである。

### 3.4 フロントパネルおよび運転切替スイッチ

供試SVO自動車では、2タンク方式に対応して設けられた植物油(もしくは廃食油)用と軽油用の2種類の燃料計、運転切替スイッチ、そして植物油(廃食油)インジェクタが装備されている。

運転切替スイッチでは、①植物油(もしくは廃食油)のみ使用、②軽油のみ使用、③自動切換の3種類の運転モードを切替え可能となっている。③の自動切換モードでは、(エンジン始動時「軽油のみ使用」)→(ヒータ内温度が40度到達で「植物油(もしくは廃食油)のみ使用」に自動切換)→(エンジンSW切で「軽油のみ使用」に自動切換)→(3分間エンジン運転後自動停止)の運転が行われるようになっている。

## 4. 廃食油の性状分析

### 4.1 分析装置および方法

今回のSVO自動車実証試験においては、燃料として廃食油を使用した。しかしながら、廃食油には、動物性のものを含み粘度が高いもの、繰り返し使用により酸化が進んでいるものなど様々なものが存在する。そこで、試験に先立ち、使用する廃食油の性状分析を行った。試験で使用した廃食油は、足利工業大学の学生食堂から入手した調理後の白絞油(菜種油約60%・大豆油約40%)であり、予め0.5 $\mu$ mのフィルタで濾過したものである。

比重は浮きはかり法、低発熱量は自動ボンベ熱量計(島津製作所CP-4PJ)、全硫黄は硫黄分析計(堀場製作所SLFA-2100)、動粘度はウペローデ動粘度計で各々計測し、結果を軽油およびバイオディーゼル燃料と比較した。また、廃食油については、酸価、ヨウ素価についても測定した。

### 4.2 分析結果

軽油、バイオディーゼル燃料および廃食油の分析結果を、表2に示す。ここで、BDFはバイオディーゼル燃料を、WVOは廃食油を示す。廃食油の比重は、軽油に比べ12%高かった。このため、質量あたりの低発熱量[MJ/kg]は、軽油45.58、バイオディーゼル燃料39.92、廃食油39.67となるのに対し、容積あたりの低発熱量[MJ/l]は、軽油37.59、バイオディーゼル燃料35.01、廃食油36.64となり、廃食油の発熱量はBDFより軽油に近い値を示すことがわかった。

Table 2 Characteristics of each fuel

	Light oil	BDF	WVO	Testing method
Specific gravity [-]	0.8247	0.8770	0.9236	JIS K-2249
Lower heating value [MJ/kg]	45.58	39.92	39.67	JIS K-2279
Lower heating value [MJ/L]	37.59	35.01	36.64	(reference)
Kinetic viscosity [mm <sup>2</sup> /s]	3.224 (30°C)	6.676 (30°C)	57.05 (30°C)	JIS K-2283
Total sulfur content [wt%]	<0.01	<0.01	<0.01	JIS K-2541
Acid value [mg-KOH/g]	-	-	1.52	Standard of JOCS
Iodine value [g-I <sub>2</sub> /100g]	-	-	128	WIJS method

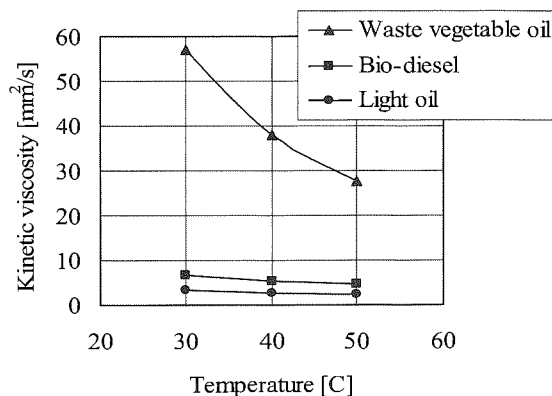


Fig.6 Kinetic viscosities of each fuel

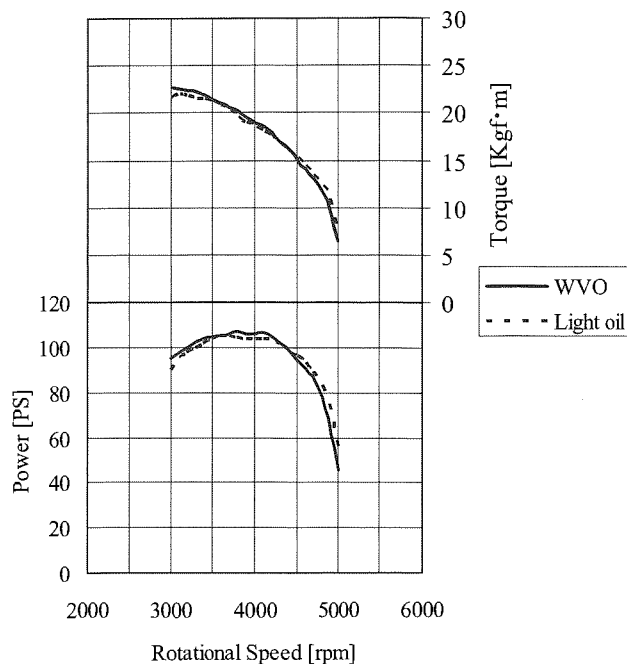


Fig. 7 Results of chassis dynamo tests

軽油，バイオディーゼル燃料，廃食油の動粘度と温度の関係を示す。図6に示す。30℃のときの動粘度は，軽油 3.224[mm<sup>2</sup>/s]，バイオディーゼル 6.676[mm<sup>2</sup>/s]，廃食油 57.05[mm<sup>2</sup>/s]となり，軽油，バイオディーゼルに比べ，廃食油の動粘度が圧倒的に高いことがわかる。SVO自動車では，「加温により粘度を下げる」とされている<sup>(1)</sup>が，SVO自動車の使用温度を超える50℃においても廃食油の粘度は27.76[mm<sup>2</sup>/s]と高い値であることがわかった。

5. SVO自動車の動力性能試験

5.1 試験装置および方法

著者らは，シャーシ・ダイナモを用いたSVO自動車の動力性能試験を行った。試験装置として，サクラダイノシステム(株)製D-6000Sを使用し，燃料として廃食油使用時および軽油使用時の各々について試験を行い，結果を比較した。

5.2 試験結果

試験の結果得られた回転数3000rpm～5000rpmにおける性能曲線を，図7に示す。

実験結果より，廃食油使用時の最大パワーは105.5[PS]/3700[rpm]，軽油使用時は107.4[PS]/3800[rpm]と，ほぼ同等の性能が得られることが判明した。

6. SVO自動車の公道走行試験

6.1 試験装置および方法

著者らは，供試自動車の公道走行試験を2007年8月より継続して実施している。この間，供試自動車の位置・高度・速度・加速度に関するデータは，自動車に積載されたGPS装置により1秒刻みで計測し，蓄積している。

6.2 走行試験結果（高速道・山岳地）

公道試験結果の一例を，図8(a)(b)，図9ならびに表3に示す。これらのデータは，2007年10月17日に群馬県館林市一福島県南会津町間（高速道路と山岳地を含む）を往復走行したとき得られたものである。

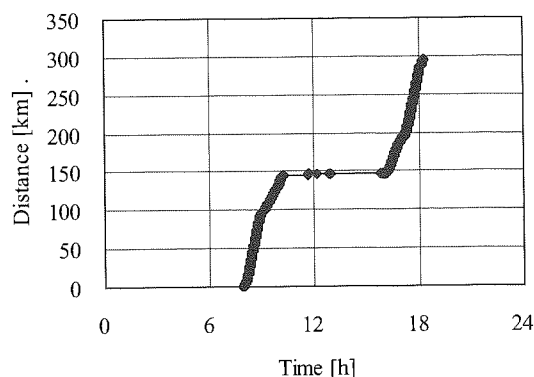
図8(a)より，約300kmの道のりを走破していること，図8(b)より，高低差800mの道のりを登り下りできていること，また，図9より，高速道路を約100km/hで安定走行できていることがわかる。

SVO車は，エンジン始動時および停止時のみ軽油モードとし，それ以外の大半を廃食油モードで走行した。表3にこの際の燃料消費量を示す。表3から，この日の走行条件では，消費した燃料の約95%が廃食油であったことがわかる。

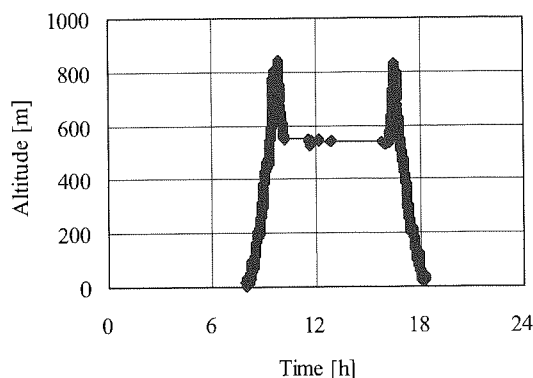
6.3 走行試験結果（冬季）

冬季走行試験（2008年1月1日～3月31日の3ヶ月間・群馬県館林市近傍を走行）の結果を，図10(a)に示す。縦棒は走行距離を，折線は各月日での平均気温を示している。この間の総走行距離は2,899kmであったが，始動時と停止時に軽油を使用することにより，SVO自動車はトラブルなく走行した。

氷点下の気温のもとでの走行データの一例（2008年2月5日早朝）を，図10(b)に示す。SVO自動車は，-2℃以下の気温でも走行可能であることがわかった。



(a) Distance-Time



(b) Altitude-Time

Fig. 8 Results of on-road tests (1) (Highway and mountain road)

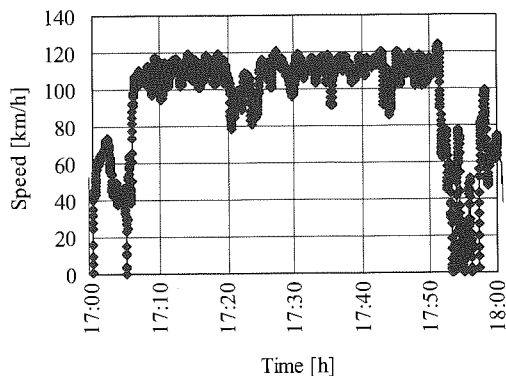


Fig. 9 Results of on-road tests (2) (Speed-Time at driving on highway)

Table 3 Fuel consumption rate at on-road tests

	Results	Percent age
Distance [km]	294.3	
Consumption of WVO [ℓ]	29.7	(95.5%)
Consumption of Light oil [ℓ]	1.4	(4.5%)
Fuel consumption rate [km/ℓ]	9.47	

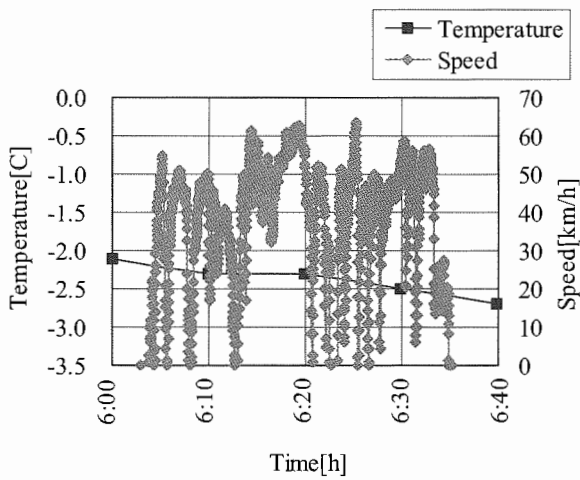
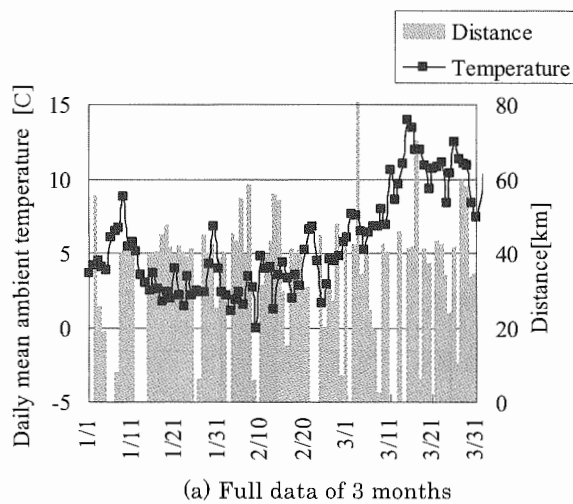


Fig. 10 Results of on-road tests (4)(Winter season)

Table 4 Production data of Bio-diesel fuel at a small scale factory<sup>(4)</sup>

Input	Waste vegetable oil [ℓ/year]	38,200
	Sodium hydroxide [kg/year]	324.7
	Methanol [ℓ/year]	6,876
	Hydrochloric acid [ℓ/year]	75.6
	Cold flow improver [ℓ/year]	64.0
	Electricity [kWh/year]	9,343.4
Output	Bio-diesel fuel [ℓ/year]	33,755
	Waste glycerin [ℓ/year]	6,685
	Waste water [ℓ/year]	7,640

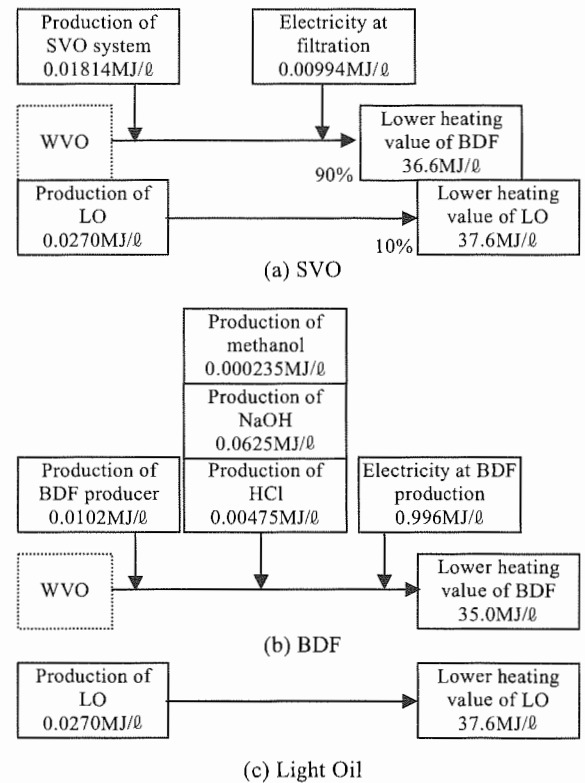


Fig. 11 Calculation of energy profit ratio

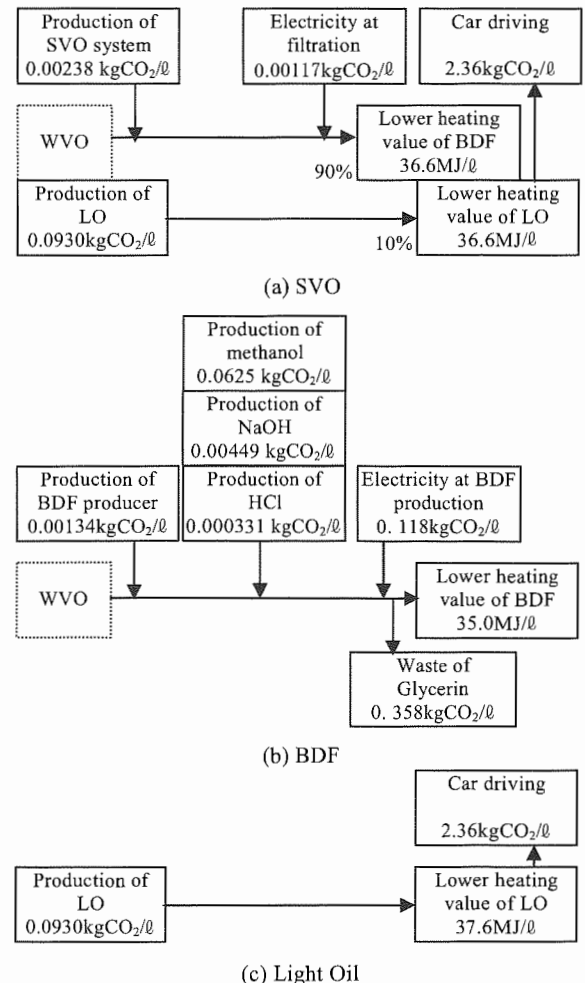


Fig. 12 Calculation of CO<sub>2</sub> emission rate

7. SVO 自動車のエネルギー分析

7.1 分析手法

続いて、著者らは、SVO 自動車の環境負荷を明らかにするため、ライフサイクル・インベントリ (LCI) によるエネルギー分析を行った。LCI は、製品の環境負荷を評価する手法として広く用いられているライフサイクル・アセスメント (LCA) の実施手順の一つであり、とくに製品のライフサイクル中のインプット/アウトプット・データを算出・推定するために行われるものである。(4)

今回、実施した LCI では、廃食用油で SVO 自動車を走行させた場合 (廃食用油 SVO)、廃食用油からバイオディーゼル燃料を製造し自動車走行させた場合 (廃食用油 BDF)、軽油で自動車を走行させた場合 (LO) の各々の環境負荷 (投入/獲得エネルギー比ならびに CO<sub>2</sub> 発生量) について比較した。

LCI の計算にあたっては、(社)産業環境管理協会の LCA データベース(6)を参考にし、積上げ法により分析を行った。廃食用油 SVO、廃食用油 BDF、軽油の各々を使用した際の投入/獲得エネルギー比の計算フローを、図 11(a)~(c)に示す。CO<sub>2</sub> 発生量の計算フローを、図 12(a)~(c)に示す。

廃食用油 SVO 使用時の投入エネルギーは、SVO 装置の製造に要するエネルギーと、自動車投入前に廃食用油を 0.5 μm フィルタで濾過するのに要するポンプ電力を積算して求めた。この際、SVO システム導入後、(平均走行距離ならびに乗換期間を考慮して(6))燃料消費量 1000ℓ/年で 5 年間走行するもの、と仮定した。また、SVO の始動時および停止時に要する軽油使用量は、低気温時に増加することを考慮し、表 3 よりやや高く見積もり、10%であると仮定して計算した。

廃食用油 BDF 使用時については、小規模製造事業者の製造データ(7)を参考にし、投入エネルギーとして、BDF 製造装置の製造に要するエネルギーと、BDF の製造に要する電力と、副原料の製造に要するエネルギーとから算出した。BDF 製造装置は、耐用年数 10 年と仮定した。また、副生成物のグリセリンは焼却処理とした。

軽油使用時の投入エネルギーは、(社)産業環境管理協会の LCA データベース(6)の値を用いた。

7.2 分析結果 (投入/獲得エネルギー比)

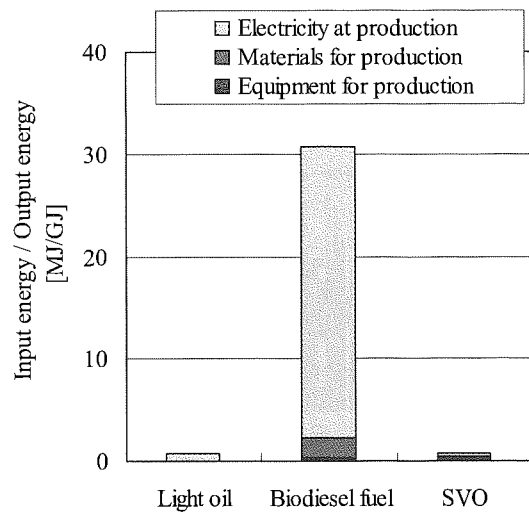
図 13(a)に、投入/獲得エネルギー比の分析結果を示す。この結果より、投入/獲得エネルギー比は、軽油が最も良く、以下、廃食用油 SVO、廃食用油 BDF の順となることがわかった。廃食用油 BDF の投入エネルギーとしては製造時電力の割合が大きいことがわかった。

7.3 分析結果 (CO<sub>2</sub> 排出量/獲得エネルギー比)

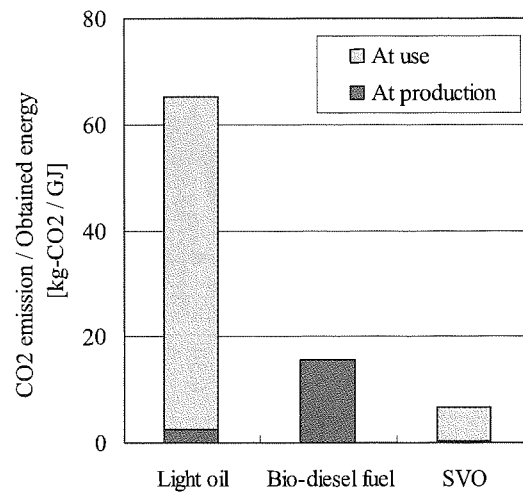
図 13(b)に、CO<sub>2</sub> 排出量/獲得エネルギー比の分析結果を示す。図 13(b)より、CO<sub>2</sub> 排出量については、廃食用油 SVO が最も少なく、以下、廃食用油 BDF、軽油の順となった。

このうちとくに、廃食用油 SVO と廃食用油 BDF の内訳について比較したものを、図 14 に示す。廃食用油 SVO の CO<sub>2</sub> 排出源としては、始動時・停止時に使用する軽油の割合 (Use of light oil) が大きく、廃食用油 BDF の CO<sub>2</sub> 排出源としては、製造時に発生する廃グリセリンの焼却処理 (Incineration of Glycerin) が大きいことがわかった。

このことから、CO<sub>2</sub> 排出量削減のためには、SVO では、始動時・停止時の軽油使用量低減が課題であり、BDF では、副生成物グリセリンの有効利用が課題であるといえる。



(a) Energy profit ratio



(b) CO<sub>2</sub> emission rate

Fig.13 Results of life cycle inventory

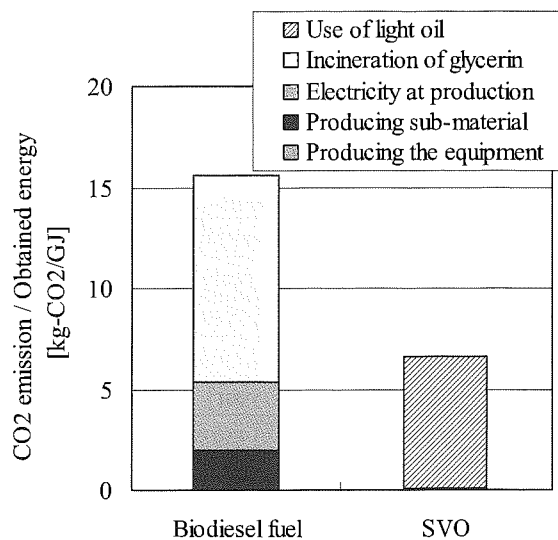


Fig.14 Comparison of CO<sub>2</sub> emission between Bio-diesel and direct use

## 8. 結論

加温装置を装備した SVO 自動車について、その性能評価およびエネルギー分析を行った結果、以下の事柄が判明した。

- ・ SVO 自動車において、廃食油使用時のパワー・トルク特性は、軽油使用時とほぼ同等であった。
- ・ SVO 自動車は、高速道路・山岳道路とも、問題なく走行可能であった。
- ・ SVO で始動時・停止時の軽油使用量を 10% と仮定し、BDF 製造時副生成物のグリセリンを焼却処理とした場合、投入／獲得エネルギー比、CO<sub>2</sub> 排出量／獲得エネルギー比とも、廃食油 SVO が廃食油 BDF より優位である。

## 9. 今後の課題

今後は、公道走行時のデータをさらに蓄積していくとともに、廃食油性状とエンジン性能の関係、排ガス性状、寒冷地での運転性能、直噴式エンジンやコモンレール方式エンジンとの相性などについても調査していく。

## 謝辞

本研究の実施に際し、様々な形でご協力いただいた北海道オリンピア株式会社の宮本和久社長に心より御礼申し上げます。

## 参考文献

- (1) Worldwatch Institute, Biofuels for Transport (2006), 258-259, Earthscan, London
- (2) 森棟隆昭・山口元・小西奎二, 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), 日本機械学会論文集 (B 編), 66-641 (2000), 294-299
- (3) 田中淳弥・是松孝治・西健介, ニート菜種油を燃料としたディーゼルエンジンの研究, 日本エネルギー学会誌, 86-5 (2007), 332-338
- (4) LCA 実務入門編集委員会, LCA 実務入門(1998), 9-12, 産業環境管理協会, 東京
- (5) 産業環境管理協会, JLCA-LCA データベース 2004 年度 2 版, 産業環境管理協会, 東京
- (6) 国土交通省, 平成 19 年度国土交通白書(2008), 19-22, ぎょうせい, 東京
- (7) 東根市外二市一町共立衛星処理組合, 廃食油燃料化施設, 1-7, 東根市外二市一町共立衛星処理組合, 山形