

■ 技術報告 ■

植物性油をディーゼル油の代替として用いる内燃機関の開発研究

A Study on Internal Combustion Engines Using Vegetable Oils as an Alternative Fuel for Diesel Fuel

高 宗 英*・袁 銀 男**

Gao Zhongying Yuan Yinnan

翻訳者 喜 冠 南

Xi Guannan

1. 緒言

エネルギー工業の発展に伴って、石油埋蔵量の減少、油田発見の困難さ、また石油資源の枯渇などが問題視されている。図-1に中国での石油生産量と軽油需要量の関係を示す。中国産原油は重留成分を多く含むため、軽油の生産割合が低い。1995年には、国産ガソリンの10%が輸出できるものの、軽油についてはその生産量の25%に相当する量が不足することが予測されている。したがって、中国では、内燃機関用代替燃料の研究、特に圧縮燃焼式内燃機関用代替燃料（即ち軽油代替品）の研究が重視されてきた。各種の代替燃料の中では、植物油が最も将来性のある代替燃料の一つであることが知られている^{1,2)}。

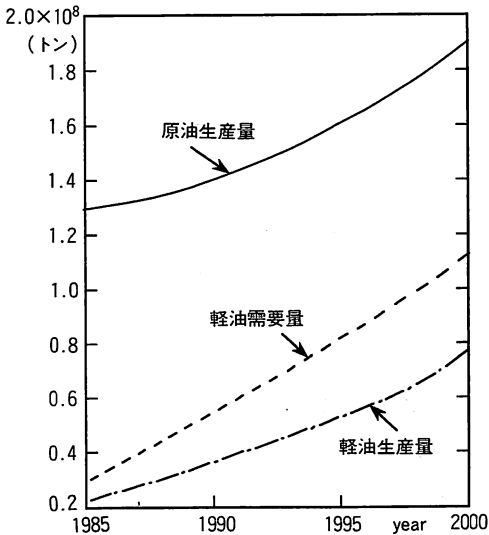


図-1 原油、軽油の生産量および軽油需要量

2. 植物油の資源およびその物理・化学的特性

広い中国では、油を有する植物の種類が多い。植物の実の油および根の油は20種類以上ある。そのうちで、代替燃料として使えそうな植物油は、菜種油、豆油、綿実油、落花生油、ひまわり油、胡麻油、シユロ油、松根油などである。

2.1 植物油の資源および生産状況

中国の植物油資源およびその生産は以下の特徴を有する。

- (1) 主に食用油および工業用油として使われている。
- (2) 中国南方地域は、気温が適切で、十分な雨量があるため、植物油の主な産地である。一方、中国の原油産出地および石油精製工場が主に中国北方地域に存在する。それゆえ、植物油の内燃機関用代替燃料としての使用は、南方地域でのガソリン、軽油の供給不足などの問題解決に有効となる。
- (3) しかし、現在、植物油は食用油として使う以外に、有効な大規模生産を行っておらず、また組織的な物流機構ができていないので、資源として十分に利用できていない。
- (4) しかも、エネルギー資源の危機に対応できるような、植物油を内燃機関用代替燃料資源として生産する開発計画はまだ出ていない。

世界中の一年間の石油消費量（約25億トン）を全部植物油で代替するとすれば、その植物油を生産するためには、 $2.5 \sim 5 \times 10^6$ km²の農地が必要である。それは地球陸地面積の約1.5~3.0%である。陸地の24%が農耕可能な土地であるが、現在までに開発し得た土地は陸地の11%分だけである。農業の発展とともに、植物

* 中国江蘇理工大学学長
** " 助教授
住所 中国江蘇省鎮江市

(翻訳)
ダイキン工業(株)機械技術研究所研究員
〒591 堺市金岡町1304

表1 軽油と植物油の物性値の比較

	軽油	菜種油	綿実油	大豆油	落花生油
成分, C%	87	77.2	77.2		
H%	12.6	12.1	11.5		
O%	0.4	10.4	10.6		
比重 (20%)	0.82-0.88	0.917	0.91		
粘度 CST (50°C)	2.67	25.81	24.62	23.29	28.29
低位発熱値 (MJ/kg)	42.2	38.9	39.5	39.6	39.8
セタン価	40~50	32.2	41.8		
発火温度 (°C)	200~200	350			
凝固点 (°C)	-35~0	-31.7	-15.0	-12.2	-6.7
引火点 (°C)	>50~60	246	234	254	271
残留炭素 (wt%)	≤0.025	0.3	0.24	0.27	0.24

油を大規模に生産することは十分に実現できる方策であると考えられる。

2.2 植物油の物理・化学的特性およびその特徴

植物油の種類が多いにも関わらず、各種植物油の物理・化学的特性の差異は大きくない。表1は4種類の植物油の主な物性値を軽油と比較して示したものである。植物油と軽油は、物性が似ているため、これらを内燃機関に使用した場合、内燃機関の着火性能、燃焼特性および排気ガスの特性も似たものになると考えられる。

表1に示した特性以外には、植物油は内燃機関用代替燃料として以下の特徴を持っている。

(1) 植物油燃料は生物エネルギーであり、再生ができるという点で石油燃料（化石燃料）と異なる。

(2) 大気中のCO₂濃度の増大が温室効果の主要原因であるが、図-2からわかるように、石油燃料と比べて、植物油のほうが大気へのCO₂排気量が少なく、地球環境保全上好ましい性質を持っている。また、植物油排気ガス中に、SO₂、重金属化合物などは含まれておらず、この点でも好ましい性質を持っている。

(3) 全ての植物油は任意の比率で軽油と混合でき、互いに溶解し合う。混合物は長年にわたって保存しても分離しない。したがって、内燃機関で任意の混合比率を持つ植物油と軽油の混合油を使用でき、給油や運転操作の上で便利である。また、この性質を用いると、他の代替燃料品の調製のとときに、それらの相互溶解性を植物油で促進することができる。

(4) 給油系の潤滑が改善できる。周知のように、給油系の潤滑は潤滑油（オイル）によらず、軽油によ

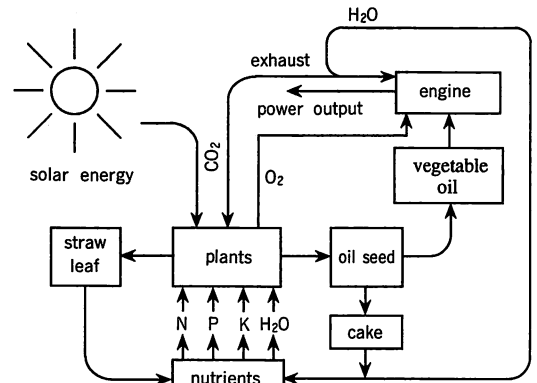


図-2 植物油の生成サイクル

て行われる。潤滑を良好に行うためには、適度に大きい粘性が必要である。内燃機関給油系の運転温度（一般40~65°C）範囲内では、植物油の粘性が軽油のその8~10倍である。したがって、給油系の潤滑には、むしろ植物油のほうが軽油より好ましいと言える。

3. 植物油の内燃機関への適用可能性

3.1 植物油用内燃機関の性能特徴

上述のことからわかるように、植物油の物性が軽油に類似するため、それを主にディーゼル機関用代替燃料として使用することが考えられる。植物油を使用すれば、内燃機関の性能（動力性、経済性など）が以下のようなになる。

(1) 植物油の低位発熱量が軽油より10%低いものの、その密度が軽油より10%高いので、1サイクルあたり

の体積給油量 (cm³/cycle) が同じとすれば、サイクル発熱量がほぼ同じとなり、内燃機関の有効仕事量の差異を小幅にとどめることができる。

(2) 植物油は酸素を含む燃料であって、その酸素含有量は約9~10% (軽油では0.4%) である。植物油の着火性能は軽油より良くないものの、一旦着火すれば、植物油が酸素を自分で供給する効果があるため (以下酸素自給効果と呼ぶ)、その燃焼速度は軽油より速い。結果として、燃焼過程の持続時間および完了度は軽油と類似した値となる。

3.2 植物油の使用上の困難さ

現在植物油が内燃機関用代替燃料として大幅に使われていない原因の一つは値段が高いことである。図-3には例として植物油 (菜種油) と軽油の価格比較を示した。しかし、以下のことも無視できない。

(1) 内燃機関用であれば、植物油の粗製あるいは半精製で十分であり、この結果、その価格も相対的に低く抑えることができる。

(2) 石油燃料の価格の中には、油田の開発費用は含まれているが、原油の生成コストは含まれていない。しかし、実際には、原油の生成を工業的に繰り返すことができない。この点で石油燃料の価格はその真のコストを反映しておらず、将来価格が高騰することは必定である。一方、植物油の価格には、生産全ての過程のコストが反映している。

(3) 環境保護運動の展開とともに、環境対策費用が燃料使用コストに考慮されることになるだろう。上述したように、環境に与える影響の点では、植物油燃焼

のほうが石油燃焼より有利であり、そのことの価格へのはね返りも植物油の場合には小さい範囲にとどまろう。

(4) 石油資源の枯渇や油田開発難度の増大および農業技術の発展に伴って、植物油の値段は軽油のそれに近くなるであろう。現在、植物油資源が豊かで、石油が不足している国々では、植物油の価格がすでに石油のそれに近くなっている³⁾。

3.3 植物油のエネルギー生産量と投入エネルギーの比

表2は、植物油を選択する時の参考のため、5種類の植物油のエネルギー生産量 (植物油の燃焼により生じたエネルギーの量) と投入エネルギー (植物油の生産により消耗したエネルギー量) の比 (以下、エネルギー産出投入比と呼ぶ) を示したものである。表から5種類の植物油の中に大豆油と菜種油のエネルギー産出投入比が高いことがわかる。したがって、内燃機関用代替燃料として使用する植物油を選ぶとき、エネルギー産出投入比が高いこの2種類の植物油を優先的に選択すべきであろう。ただし、産地および気候の状況によって表2に示した結果が変わる可能性もある。

表2 植物油のエネルギー産出投入比

菜種油	大豆油	綿実油	落花生油	ひまわり油
4.18	4.33	1.77	2.26	3.5

4. ディーゼル機関用植物油の問題点および対策^{4,5)}

4.1 ディーゼル機関用植物油の問題点

軽油と植物油の混合油をディーゼル機関で使用すると、機関性能が軽油だけを用いる場合から著しく変化しないので好都合である。しかし、植物油は軽油と比べて、粘性が高い、表面張力が大きい、残留炭素が多い、セタン価が低い、揮発性が低い、さらに、非飽和植物脂肪を有するなどの特徴があるので、ディーゼル機関で植物油を長期的に使用すれば以下の問題点が生じる。

(1) 低温始動が難しい。植物油のセタン価は低く、低温留出分濃度が低いため、内燃機関の低温始動が難しい。

(2) 炭化物の付着蓄積および焦げ付き。植物油を燃焼させると、植物油分子の熱分解および不完全燃焼により、燃焼室、ピストン、燃料噴射器、ピストンリングおよびリング溝などの各所に炭化物の付着蓄積ある

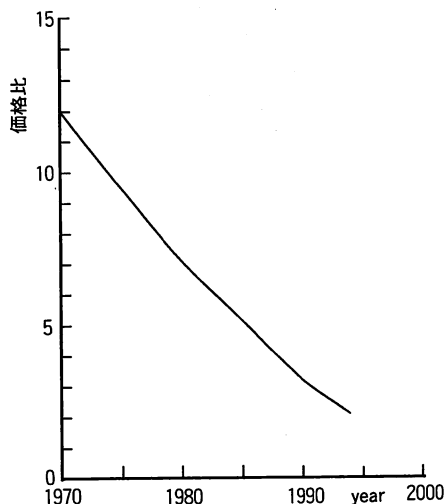


図-3 植物油 (菜種油) と軽油の価格比

いはそのことに起因する焦げ付きが生じる。そのため、摩耗の増大、機械効率の低下、ピストンリングの膠着（密封作用の低下）、さらに、噴射ノズルの噴孔の詰まりなどが問題となる。

(3) 潤滑油の変質. 低温始動の際に、植物油の未燃または不完全燃焼により、植物油がシリンダー壁に沿ってクランク室に入り、潤滑油（オイル）に混入する。その結果、潤滑油が薄くなり、粘性が低下する。さらに、潤滑油の中にアルカリ性の添加物が含まれているので、酸性である植物油と混入すると、酸とアルカリの中和反応が生じて、潤滑油が変質する。

(4) 排気ガス特性. 植物油の燃焼排気ガス中には、アルデヒド成分が含まれているので、環境と人体に影響を与える。

4.2 植物油の処理

以上の問題点を解決するためには、以下の処理を行う必要がある。

(1) 酸化処理を行い、粘性を減少させ、揮発性を改善する。

(2) 植物油と軽油を混合して使用する。我々の実験によると、植物油に25%以上の軽油を混ぜると、良好な結果が得られた。

(3) 植物油を予熱することにより、良い性能が得られる。

(4) 軽油と植物油それぞれの給油系を設けて、スタート時および停止直前時は、軽油を使用し、定常運転時は植物油を使うよう制御する。

(5) アルデヒドの生成は、植物油が非飽和植物脂肪を有するという特徴と関係する。したがって、植物油の半精製、植物油への助燃剤の添加、または、排気ガスの後処理（例えば、触媒装置付きマフラーの採用）などの方法を採用すれば、排気ガス中のアルデヒド成分は低減できる。

4.3 植物油の内燃機関燃焼系への適応性

著者らの行った試験によると、ディーゼル機関を用いて純植物油による運転が可能であったが、燃焼系を最適化し、また内燃機関の性能をさらに改善するため、燃焼過程には、以下のことを考慮しなければならないことも分かった。

(1) 植物油のセタン価が低いため、発火温度が軽油より高い。このため、植物油の着火遅れ時間（ignition delay time）が長い。図-4に植物油と軽油の混合比と着火遅れ時間の関係の一例を示す。図-4から、植物油（菜種油）の着火遅れ時間が軽油のその約2

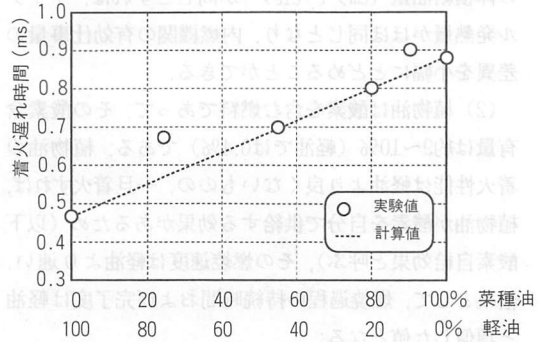


図-4 植物油と軽油の混合比と着火遅れ時間の関係

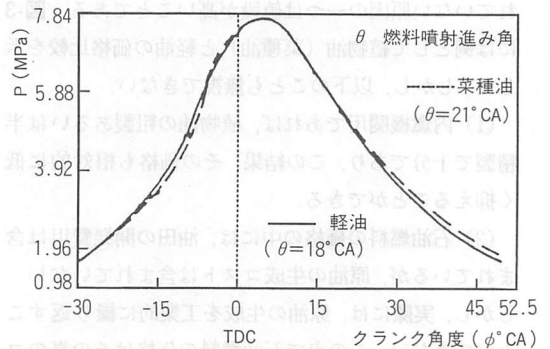


図-5 圧力線図

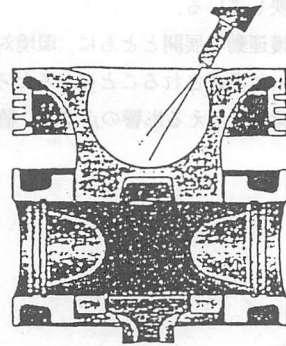


図-6 二層ピストンの簡略図（ドイツエルコ社）

倍であることがわかる。したがって、植物油を燃焼させる時には、燃料噴射進み角（Advanced fuel injection angle）を増大しなければならない。一方、内燃機関性能は燃料噴射進み角に依存するため、それを精密に調節する必要である。

(2) 着火遅れ時間の増大により、その時間内に形成される可燃混合気量が増加した含酸素植物油の酸素自給効果のため、燃焼速度が速くなり、圧力増加率が

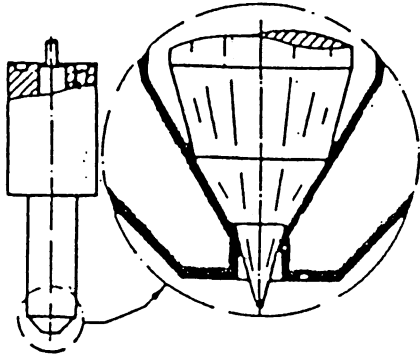


図-7 軸針式噴射ノズル

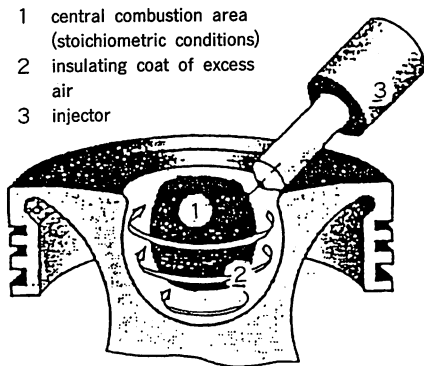


図-8 双室燃焼器

増大し、ノッキングを起こしやすくなる。なお、参考のために、植物油と軽油の圧力線図を図-5に示す。したがって、時間とともに急激に噴射量を増加できる給油系の開発が必要である。

(3) 外部冷却方式の代わりに、高温冷却(例えば、水冷却内燃機関の場合には、水の代わりに、オイルなどのような沸点の高い冷媒の使用により作動温度が高く保持できる。)、断熱性が高い鉄・アルミピストン、ピストン下部への噴油による内部冷却方式などの使用により、燃焼室壁面温度を高めて、植物油の蒸発を促進し、焦げ付きを低減することができる。図-6はドイツエルコ(Elko)社が開発した二層ピストンの簡略

図を示している。また、自浄効果を持つピントル型やスロットル型の軸針式噴射ノズルを使用することにより、噴孔の詰まりなどの現象は防止できる。なお、ピントル型の軸針式噴射ノズルの簡略図を図-7に示している。植物油を使用するには、低温始動、機械油の稀釈や炭化物の付着蓄積および焦げ付きなどの問題を解決するため、新しい構造の考案開発と精度の高い加工技術が必要である。

(4) 植物油の燃料油としての使用を促進する上で、植物油に適応する新型燃焼系の開発が重要である。例えば、ドイツエルコ(Elko)社が開発した双室燃焼器(Duothermic combustion system)は植物油に良い適応性を持っている(図-8参考)。

5. 結論

(1) 植物油は再生ができる生物エネルギーの一種である。その物性が軽油と近いため、内燃機関用代替燃料として使えば、良好な性能が得られる。

(2) 植物油の使用による内燃機関性能への悪影響は、植物油の処理や内燃機関の種々の改良によって抑えられ、植物油内燃機関の総合性能も改善できる。

(3) 植物油の大規模生産は農業の新しい課題である。それは熱エネルギー危機の解決と環境汚染の改善に対して重要な役割を果たす。

参考文献

- 1) K. Elsbett, L. Elsbett, "New Development in D.I. Diesel Engine Technology", SAE Paper, No. 890134.
- 2) M.I.Jacobys, "Single Cylinder Diesel Engine Study of Four Vegetable Oils", SAE Paper, No. 831713.
- 3) 趙士林, 90年代の内燃機関, 中国機械工業出版社, 1992, 12, pp332-409.
- 4) 袁銀男, 高宗英, 小型ディーゼル機関用断熱直噴式 燃焼システムの分析, 中国内燃機関工程, 1994年第3期, pp 133-137.
- 5) Z. Y. Gao and Y. N. Yuan, Alternative Fuel Material and combustion System of Engines, IUMRS International Conference on Advanced Materials, Tokyo, Japan, 1993.9, kp.53.