

バイオ系燃料によるディーゼル機関の排気特性に関する研究

坂田 知浩¹⁾ 能戸 正²⁾ 畠山 収司³⁾

A Study about the Exhaust Characteristic of the Diesel Engine by the Biodieselfuel

Tomohiro Sakata Tadashi noto Shuji Hatakeyama

Plant-based biofuels are renewable fuels and carbon neutral, and thus are attracting attention as fuels for diesel engines (BDF) which can cope with global warming and petroleum depletion. However, diesel engines have the disadvantage that they emit a large volume of particulate matter (PM). This research shows the effect of alcohol during monoesterification, and the effect which the type of vegetable oil has on engine performance, exhaust characteristics, PM and SOF. When vegetable oil esters were used in diesel engines, there were no major differences with diesel oil in the type of PAH components produced.

Key Words: Diesel Engine, Methanol, Diesel Fuel, Particulate

1. ま え が き

植物系バイオ燃料は、植物を育てることで再生産可能な燃料である上、成長過程で光合成により CO₂を吸収するため、カーボンニュートラルとなり、地球温暖化、石油枯渇の両面に対応できることからディーゼル機関用の燃料 (BDF) として注目されている。しかし、ディーゼル機関は、微粒子 (PM) の排出量が多いことが欠点である。PM の主成分は SOF (可溶性有機物質)、Dry-soot (黒煙) である。SOF 内に含まれている PAH (多環芳香族炭化水素) は、発がん性があり、気管障害や花粉症を引き起こす原因となることが報告されている¹⁾。一方、植物油をディーゼル機関に用いた場合に、PAH 成分の生成に及ぼす影響は解明されていない。

本研究では、植物油をディーゼル機関用に利用する場合に、燃料の確保と燃料のコストの面から植物を評価選定し、モノエステル化の際のアルコールの影響、植物油の種類が機関性能及び排気特性、また PM、SOF にどのような影響を与えるかを明らかにし、PAH 成分の種類や生成割合に及ぼす影響を調べることを目的としている。

2. 実験装置および方法

本実験に使用した機関は、水冷単気筒横型 4 サイクル直接噴射式機関であり、定格出力は 7.7kW/2600rpm である。運転条件は機関回転速度を最大トルク発生付近の 1600 rpm、冷却

水温度を 65±5°C で一定として、機関性能、排気特性を調べた。ディーゼル機関を用いた試験装置のブロック線図を図 1 に示す。

NO_x の測定には化学発光式 NO_x 分析計 (島津 NOA-7000)、排気黒煙濃度の測定にはボッシュ式スモークメータ、排出微粒子の採取には堀場製作所のダイリューショントンネルサンプリング装置を用いた。

実験燃料は評価点の高い植物油の中から、北海道での栽培を考慮した場合の植物として評価が良い向日葵油、菜種油、菜種の輪作用植物にできる大豆油に決定した。植物油の動粘度を下げるため、エタノールとメタノールによるエステル化を行った。

ディーゼル機関を用いた場合、燃料性状ならびに機関諸元、運転条件により PM 生成の重要因子である温度、濃度、加熱時間が異なり、燃料性状が PAH 成分の生成に及ぼす影響を特定するのが困難である。そこで実験には赤外線ゴールドイメージ炉を用いた熱分解装置を使用した。表 1 に加熱条件を示す。この同一条件で加熱し、その際に生成される PAH を FID 付ガスクロ (島津 GC-14A)、カラムは無極性のキャピラリカラム INERT CAP 5 (30m) を用いて表 2 に示す分析条件にて分析を行った。また、エチルエステルの構成脂肪酸を FID 付ガスクロ (GC-14AH)、カラムには極性のキャピラリカラム CP-SIL-88 (50m) を用いて分析を行った。

第 42 回 全国自動車短期大学協会研究発表会

1) 2) 3) 北海道自動車短期大学 自動車工業科第一部 (062-0922
北海道札幌市豊平区中の島 2 条 6 丁目 2 番 1 号)

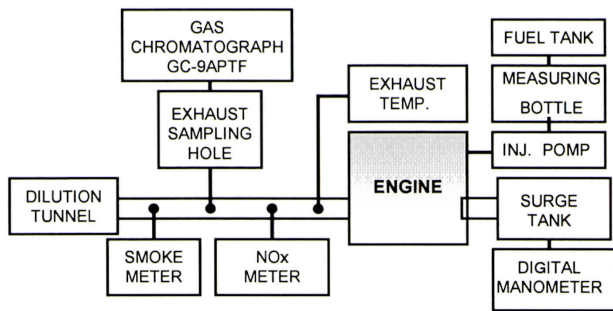


図1 供試機関のブロック線図

表1 加熱条件

Heating Temp. [°C]	1000
Heating Time [s]	30
Sample [μ L]	0.4

表2 分析条件

Main Column	Inert CAP 5(ϕ 0.53mm \times 30m df=2.0 μ m)
Initial Temp. [°C]	40
Initial Time [min]	10
Program Rate [°C/min]	4
Final Temp. [°C]	280
Final Time [min]	200
Injector Temp. [°C]	300
Detector Temp. [°C]	300

3. 実験結果および考察

3.1. 各植物油エステル構成脂肪酸割合

本実験で使用する植物油は、量の確保、コストから評価し、評価が高いものから、地域性等を考慮し、菜種(Rapeseed)、向日葵(Sunflower)、米糠(Rice Bran)、大豆(Soybean)油を選定した。また、世界的にバイオ燃料用として注目され、需要が高まる見込みがあるため、パーム(Palm)油を選定した。植物油エステルの性状によって、PAH成分に影響を及ぼすことが予想されるので、植物油エステルの構成脂肪酸の割合を求めた。

図2に、各植物油M.E(メチルエステル)の分析結果の一例として、大豆M.E.の分析結果を示す。図から、アセトン、飽和脂肪酸のパルミチン酸(C16:0)、ステアリン酸(C18:0)、不飽和脂肪酸のオレイン酸(C18:1)、リノール酸(C18:2)が検出されていることがわかる。なお、アセトンが検出されているのは、植物油エステルの希釈に用いたためである。また、他の

植物油M.E, E.E(エチルエステル)からも同様にアセトンと脂肪酸が検出されたことを確認している。また、他の植物油メチル、エチルも明瞭に検出されていることを確認している。なお、検出されているアセトンは、定性試料分析時と同様、植物油メチル、エチルを希釈するために用いたものなので、植物油メチル、エチルの構成脂肪酸とは関係がない。

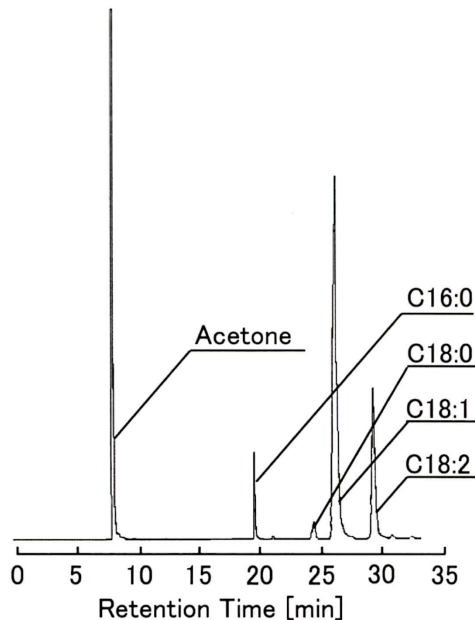


図2 大豆メチルエステルの分析結果

植物油の主な構成脂肪酸が明らかになったので、パーム油、菜種油、向日葵油、米糠油、大豆油を用いたメチルエステル化燃料・エチルエステル化燃料を島津GC-14AHで分析を行った。

求めた各植物油メチル、エチルの構成脂肪酸の割合をそれぞれ図3、図4に比較して示す。図から、飽和脂肪酸の割合はパームが高く、不飽和脂肪酸の割合は、菜種が高いように、各植物油の構成脂肪酸の割合に差異が生じている。また、脂肪酸メチルは脂肪酸エチルと比較して、大きな差はないといえる。以上の結果から、植物油メチルと植物油エチルの構成脂肪酸の割合には大きな差がないといえる。

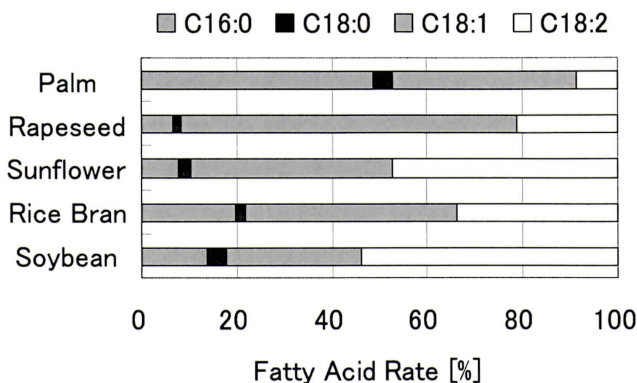


図3 各植物油メチルエステルの分析

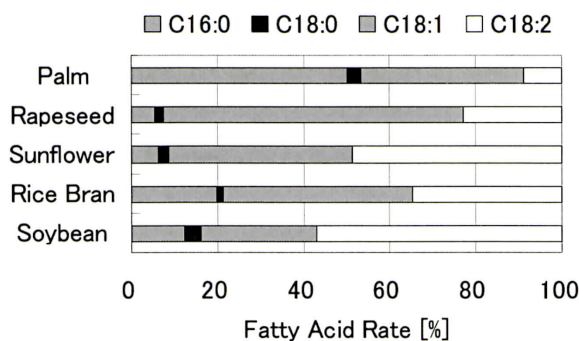


図4 各植物油エチルエステルの分析

3.2. 機関性能および排気特性

図5, 6はJIS2号軽油(Gas Oil)と大豆メチルエステル(SBME Oil), 大豆エチルエステル(SBEE Oil)を用いた場合の機関性能及び排気特性を比較して示したものである。

図から、燃料消費率の傾向は同様に、負荷が上昇するにつれて低くなっているが、Gas Oilと比較するとバイオ系燃料のほうが大きい。この原因は低位発熱量がGas Oilよりもバイオ系燃料の方が低いためであり、発熱量を考慮した熱消費率にはほとんど差がないことが分かる。

図6の排気黒煙濃度の傾向は同様に、負荷が上昇するにつれて増加している。SBME Oilを使用した際には、Gas Oilよりも少ないが、これはバイオ系燃料が含酸素燃料であり不完全燃焼を起こしにくいいためである。また、SBEE OilはGas Oilとほぼ同様で、SBEE Oilの排気黒煙濃度抑制効果は少ないといえる。NOxの傾向は同様に、負荷の上昇につれて増加しているが、バイオ系燃料はGas Oilに比べいくぶん高い。これは、バイオ系燃料が酸素を持っているため、完全燃焼しやすくなり、燃焼室内温度が高くなるためと考えられる。

以上の結果よりメチルエステルとエチルエステルを用いた場合の熱効率はGas Oilと同等で差はなく、NOxはいくぶん高くなる。また排気黒煙濃度はメチルエステルと比較するとエチルエステルの方はいくぶん差があるが排気特性はほぼ同等である

ディーゼル機関の排気規制は、排気黒煙ではなくPMで規制されていることから、各バイオ系燃料のPM及びSOFを調べた。図7はアルコールの違いによるPM, SOFの生成量を比較するためGas OilとSBME Oil, SBEE Oilを比較して示したものである。図8は構成脂肪酸の異なる植物油によってPM, SOFの生成量が異なることが考えられるためSBME, RFME Oil, SFME Oilを用いた場合のPM, SOFの生成量を比較して示したものである。

図からGas Oilと比較するとバイオ系燃料のPMは低負荷で多く、高負荷では少ない。低負荷でPMが多いのはSOFが多いためである。これは各バイオ系燃料の動粘度がGas Oil

より高いので噴霧粒径が大きくなり、貫徹力が増し燃焼室内壁面に付着しやすくなること、Gas Oilよりも沸点が高いため、壁面に付着したまま蒸発しにくく未燃成分のSOFとして排出されるためと考えられる。一方、高負荷で少ないのは、負荷の上昇に伴い燃焼室内壁面温度が高くなり、燃料噴射時に壁

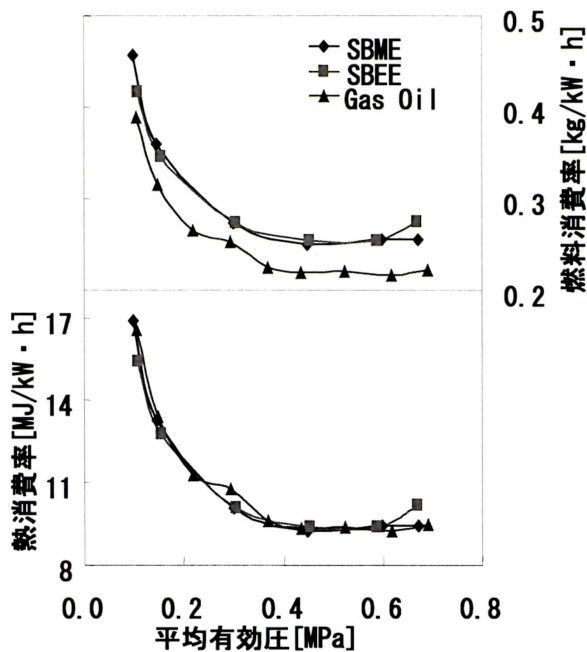


図5 MEとEEの機関性能

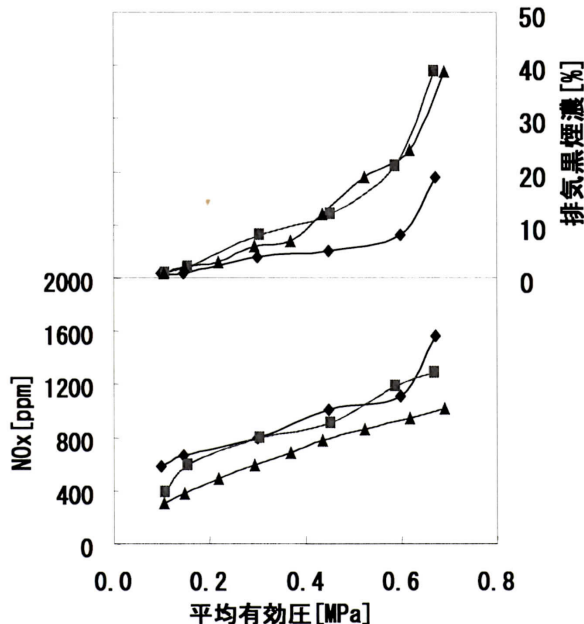


図6 MEとEEの排気特性

面まで到達した燃料が気化すること、酸素を含んでいるため高負荷時のPMがGas Oilより減少したといえる。したがって、植物油によってPM, SOFの排出量に差が見られるのは動粘度、構成脂肪酸の含有割合が影響していると考えられる。

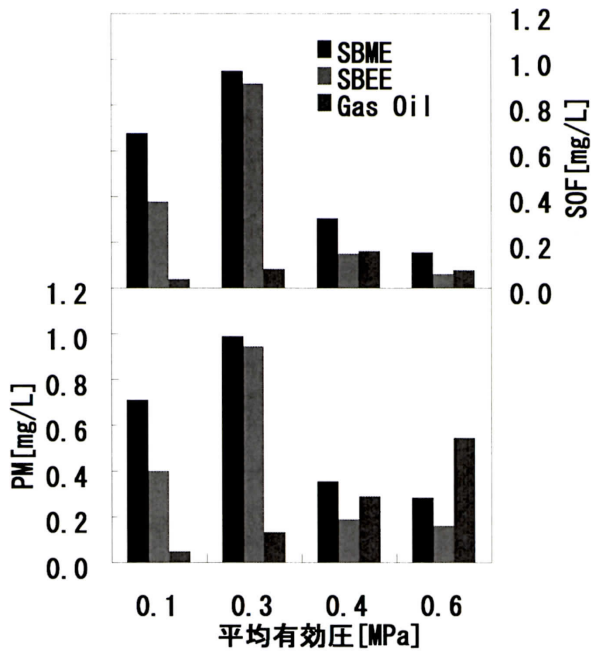


図7 SBMEとSBEEのPM,SOF成分

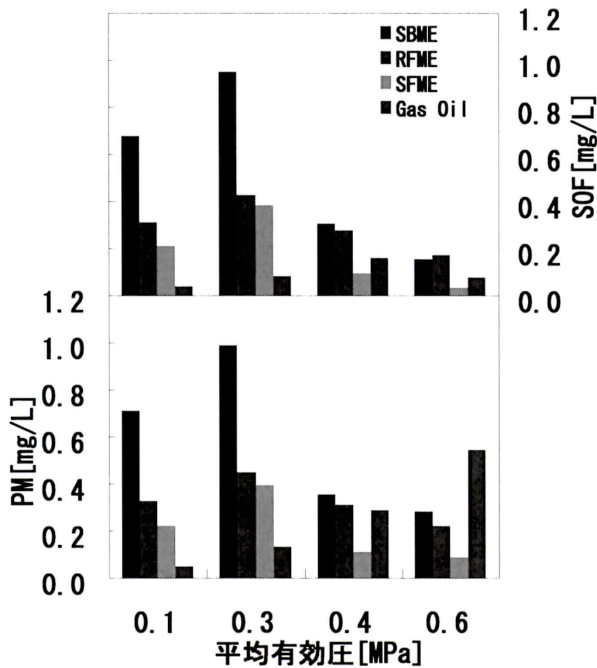


図8 構成脂肪酸の異なるPM,SOF成分

3.3 熱分解装置を用いた PAH 成分の分析

次にエステル化を行う際に用いられるアルコールによるSOF中のPAH成分に差異があるかを調べるため菜種ME,EEの熱分解を行った。図9に軽油と菜種M.E.E.E.を加熱した際の分析結果を比較したものを示す。図から、検出された全ての成分を同定できないが、明瞭に検出されているPeakは、大きさに差異はあるが、種類に差異が見られないことがわかる。

これらの分析結果から、Total Peak, Total PAHに対する環数毎のPAH成分の生成割合と、アントラセンを100とし

た場合の環数毎のPAH成分の生成量を求め、PAH成分の生成割合に及ぼす影響の検討を行った。

図10は、その結果の一例として、Total Peakに対する環数毎のPAH成分の割合を比較して示したものである。図から、各PAH成分の生成割合に差異は見られない。

以上の結果から、軽油と植物油M.E, E.E.では、生成されるPAH成分の種類、生成割合に差異がないといえる。

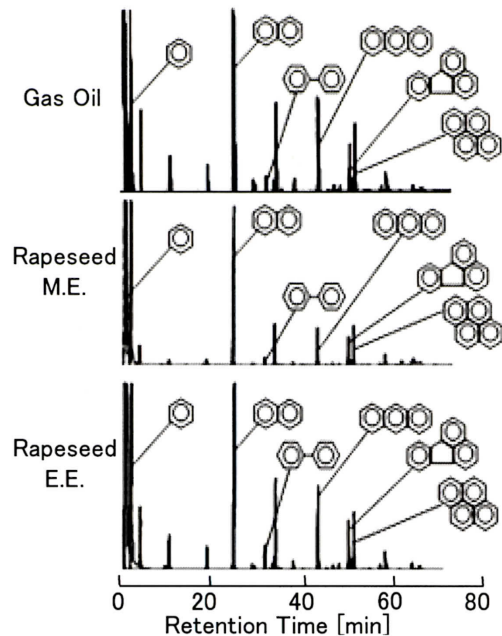


図9 軽油と菜種ME,EEの分析結果

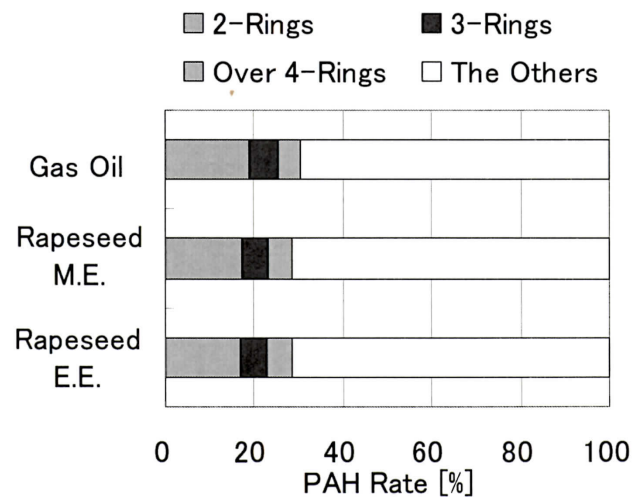


図10 菜種MEとEEのPAH成分

図11はPAH成分分析結果の一例としてSEEを600, 900, 1100℃で加熱した際の分析結果を示したものである。なお、加熱条件はベンゼン、アルキルベンゼン類が生成される600℃、PAH成分の生成量が増加する900℃、PAH成分の生成量がピークを過ぎて減少する1100℃に加熱し検討した⁽²⁾。

600℃では燃料成分が大きな Peak として検出されている。また、ベンゼン、アルキルベンゼン類が検出され、わずかに PAH 成分も検出されていることが分かる。この結果から燃料成分の一部が熱分解されたことにより LHC が生成され、不飽和の LHC から主として Diels-Alder 反応によってベンゼンが生成され重縮合、多環化したと考えられる。900℃では燃料成分がほとんど検出されなくなり、環数の大きい PAH 成分が検出されていることから、燃料成分が LHC、ベンゼン、アルキルベンゼン類に変化し、環数の大きい PAH 成分へと多環化が進行しているためと考えられる。1100℃になるとアルキルベンゼン類がほとんど見られなくなり、PAH 成分の Peak も小さくなっている。これは、PAH 成分がさらに多環化し、ガスクロでは検出できない高沸点の PAH 成分へと多環化が進んでいるものと考えられる。なお他の燃料においても同様の結果を得ている。図 12 は各加熱温度における SFA (飽和脂肪酸) 割合の異なる植物油 EE と PAH 生成割合の関係を示したものである。なお、PEE は参考として比較のため載せたものである。

600℃では EE の方が軽油に比べ、わずかに 2 環成分生成が抑えられていることが分かる。900℃ではいずれも 2 環以上の PAH 成分生成割合が増加しており、多環化が進行しているが、2 環以上の PAH 成分生成割合は EE の方が抑制されて

いることが分かる。1100℃では、前述同様にいずれも PAH 成分生成割合が増加しており多環化が進行しているが、2 環成分以上の割合は軽油の方が増加している。これは軽油が前述のように芳香族炭化水素を含む事により、重縮合、多環化の進行が EE に比べて早いためと考えられる。

以上の結果から、EE の方が軽油よりも PAH 成分の生成、多環化を抑制すると言える。

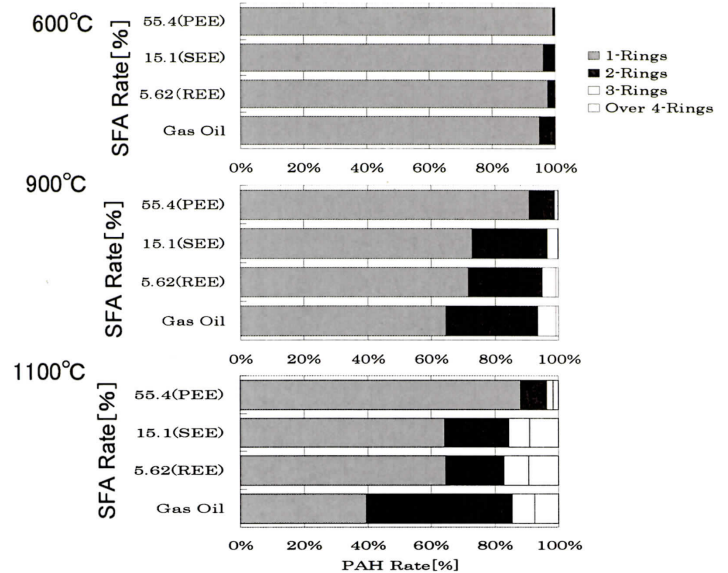


図 12 飽和脂肪酸の異なる植物油 EE の PAH 成分

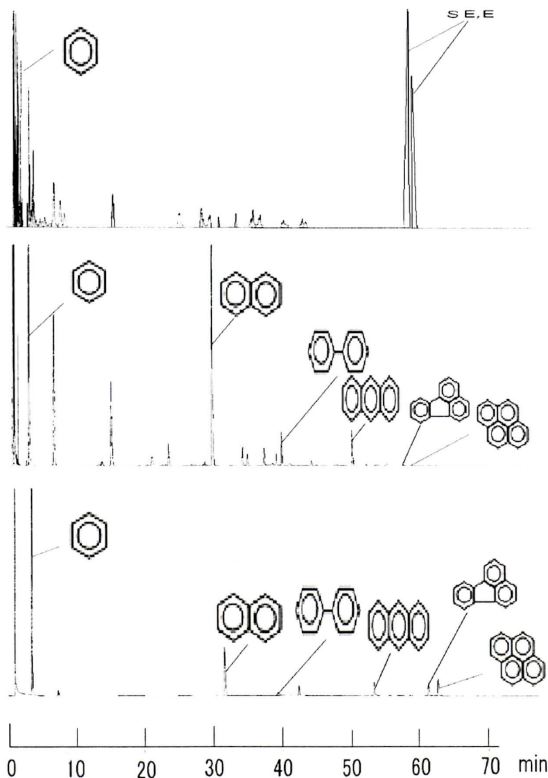


図 11 加熱温度の変化による PAH 成分

4. 結論

- (1) エステル化に用いるアルコールによって、機関性能、排気特性に大きな差は見られない
- (2) 植物油エチルエステルを燃料に用いた場合、軽油と比べ機関性能及び排気特性に大きな差異は見られない
- (3) エステル化に用いるアルコールの種類は、PAH 成分の種類、生成量に及ぼす影響は少ないと言える
- (4) 植物油エステルをディーゼル機関に利用する場合、軽油と比べ、生成される PAH 成分の種類に大きな差異は無く、生成割合は減少したと言える

参考文献

- (1) (財) 政策科学研究所編, 平成 10 年度 廃食用油需要開拓緊急事業研究成果報告書, (1999)
- (2) 田沼 正義: 「含酸素燃料が微粒子の生成機構に及ぼす影響」, 北海道工業大学大学院修士学位論文, (1996)
- (3) 坂田 知浩: 「植物系バイオ燃料によるディーゼル機関の排気特性に関する研究」日本機械学会, 第 46 期秋季講演会前刷集, (2007)