



## 急速圧縮装置による混合乳化燃料の燃焼観測

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2013-11-21 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 大前, 義弘, 越智, 敏明 メールアドレス: 所属:
URL	<a href="https://doi.org/10.24729/00007872">https://doi.org/10.24729/00007872</a>

# 急速圧縮装置による混合乳化燃料の燃焼観測

大前 義 弘\* 越 智 敏 明\*

Observation on the Combustion of Blended Emulsified Fuels  
by a Rapid Compression Equipment

Yoshihiro OHMAE\* Toshiaki OCHI\*

## ABSTRACT

Experimental studies on combustion of emulsified fuel made by mixing 'A' heavy oil, light oil, waste oil and water and of other fuel mixed with 'A' heavy oil and vegetable oil were carried out by using a rapid compression equipment. Processes of the combustion were observed by high speed flame photos. Concentrations of  $\text{NO}_x$  and soot in the exhaust gas were measured and the combustion forms were clarified.

Key Words: Internal Combustion Engine, Diesel Combustion, Emulsified Fuel, Rapid Combustion Machine, Exhaust Emission, Waste Oil

## 1. 緒 言

近年、地球の温暖化、オゾン層の破壊、森林資源の破壊、大気汚染などが大きな問題となってきた。文明が発展するに伴って、地球上のエネルギー消費量も益々増大する。一方、石油資源は減少していく。この現象の中で省エネルギー化が最大の課題となってきた。特に、内燃機関の燃焼による排気ガス  $\text{CO}_2$ ・ $\text{NO}_x$ ・soot・ $\text{SO}_x$ 、臭気などの低減と熱効率の増大に関する研究の成果が期待されている。またディーゼル機関の  $\text{NO}_x$  等の低減に関する燃焼研究は数多く研究されている。<sup>1)2)3)</sup> なかでも直接噴射式ディーゼル機関の  $\text{NO}_x$  低減は急を要する問題である。

著者らは、乳化燃料の使用による  $\text{NO}_x$  の低減について研究してきた。<sup>4)</sup> 特に、不均一な水粒子径の問題も検討している。また、本研究は近い将来燃料の質低下が予想されるため、燃料・廃油・水の混合燃料を使用することにした。使用機関に急速圧縮機を用いた燃焼の報告はあるが、<sup>5)6)</sup> 供試燃料の種類により燃焼は異なってくる。実際の機関運転では多数の因子が影響し合うため、急速圧縮装置を製作し燃焼室内に直接噴射し単発の燃焼状態の観測および排気ガス特性の実験を行い、特に  $\text{NO}_x$  を中心にした燃焼形態把握を検討し、またA重油・食料油(植物油)の廃油の混合燃焼も試みたので報告する。

## 2. 実験装置および方法

### (1) 実験装置

急速圧縮装置の全体は図1に示す。実験測定装置は図2に示すように、空気を圧縮する圧縮系、燃料噴射系、燃焼観測用16ミリ高速度撮影系、排気ガス成分測定系、圧力測定系から構成されている。圧縮系は図1に示すように重錘⑬150kgfの落下によりピストン⑯が移動し圧縮空気圧約2.9MPa、空気温度570Kが生成される。急速圧縮装置の諸元は表1に示す。ピストン径120mm、行程は225mmである。圧縮比は18.4、ピストンの平均速度は約2.5m/sである。圧縮行程のポリトロップ指数は1.20~1.25であり実機と大差ない。圧縮時間は約80msである。

次に、燃料噴射ノズルは表1に示す。燃料噴射量は50~70 $\mu\text{l}$ である。燃焼室の空気密度は約23.8kg/m<sup>3</sup>となる。

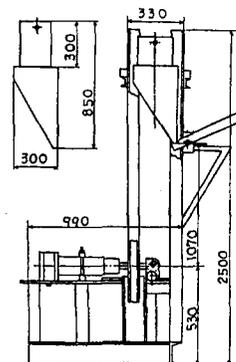


図1 急速圧縮装置全体図

1990年4月9日受理

\* 機械工学科 (Department of Mechanical Engineering)

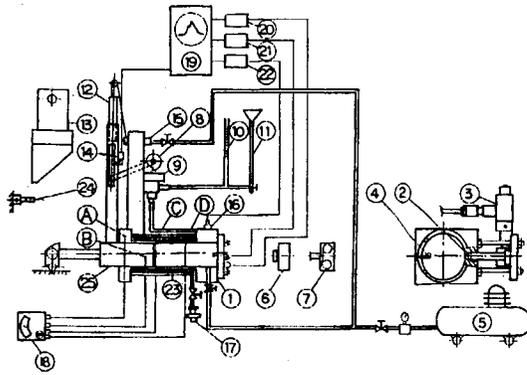


図2 実験装置計測概略図

図3はシリンダーおよび燃焼室を示す。シリンダーは外部にニクロム線⑭を巻き加熱できるようになっている。シリンダー外壁の温度などの温度管理のために熱電対を用いA B C D点の温度を計測する。なお、温度制御リレーにより、 $\pm 8\text{ K}$ 以内に維持可能である。燃焼室⑮は燃焼観測のためにパイレックスガラス⑰をヘッド部分①に装着し側面より燃料を噴射し燃焼できる形式である。したがって燃焼観測視野が大きく、また厚みが30mmでありほぼ2次元的な燃焼過程を観測できる。排気ガス成分測定は燃焼後200ccの排気ガスをサンプリングし、窒素酸化物測定装置(柳本製作所製ECL30)により $\text{NO}_x \cdot \text{NO}$ 濃度、非分散赤外線式分析計(堀場製MEXA321F)により $\text{HC} \cdot \text{CO}$ 濃度を測定した。また、すす測定は黒煙濃度測定器ST-100N(ニッサルコ製)を使用した。これは黒煙をろ紙に吸着させ黒度を光反射計で読み取る方法で黒煙濃度を測定した。圧力測定系は燃料高圧噴射管内圧をストレインゲージ式⑬変換法、燃焼室の圧力はピエゾ式⑯変換法によりメモリオシロスコープ⑱で測定する。

(2) 実験方法

実験方法について述べる。測定方法は重錘⑬が落下し始めると光電リレー⑲が働き噴射開始動作スイッチ⑩がはいる噴射用おもり⑳が落下し、噴射用ポンプの作動カム⑧のレバーを動かすことにより噴射ポンプ⑨のプランジャが動作するため、噴射ノズル②から燃料が噴霧される。

噴射時期は光電リレー⑲の位置を上下することにより変更できる。燃料噴射位置はおよそ上死点に設定した。燃料の噴射量の測定はビューレット⑪からの流れをコックにより止め燃料計量管⑩で行った。燃焼時間はパイレックスガラス①の前表面に燃料噴射ノズル側と反対にホトセル④を取り付け燃焼の火炎による反応時間を測定した。また燃焼観察は16ミリ高速度カメラ⑦HIMAC-16Mを使用しフィルムはコダックカラー7250を用い7000PPSの速度で高速撮影した。高速燃焼撮影を行わないとき35ミリ

表1 主要諸元

シリンダー径	120 mm
ストローク	225 mm
燃焼室容積	150 $\text{cm}^3$
排気量	2600 $\text{cm}^3$
圧縮比	18.4
圧縮時間	80 ms
圧縮圧力	2.9 MPa
ノズル孔径	1.0 mm 単孔
ノズル開弁圧	11.9 MPa
ノズル番号	1 NKB56SD2768
	2 K1S20D17940
	3 NPDN4SD24NP7
噴射時間	約10 ms

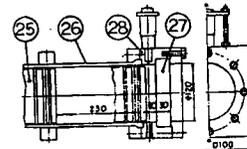


図3 シリンダー・燃焼室詳細

カメラ⑥によるカラー燃焼写真を撮った。図4-左図は燃料噴射管内の圧力信号aと燃焼室内の圧力波形bの一例である。図4-右図は35ミリカメラによる燃焼輝炎写真である。条件は水含有率30%のA重油廃油の乳化燃料(高温)噴射量は50  $\mu\text{l}$ の例である。波形aには燃料噴射開始時期・ホトセル反応時間 $T_{f0}$ も同期している。

排気ガス濃度の測定は燃焼後ただちに燃焼室のガス排出用コックをあけ黒煙濃度測定ろ紙⑰を通過させた。そのガスから $\text{NO}_x$ ,  $\text{NO}$ 濃度を測定したのち $\text{HC} \cdot \text{CO}$ 濃度も測定した。今回は $\text{SO}_x$ は対象外とする。コンプレッサ⑤を用い高圧空気で燃焼室内の残留ガスの排除と清掃を行った。

(3) 供試混合燃料とその特性

ディーゼルエンジン燃料の将来的な質低下を想定し次のような混合燃料を供試燃料とした。種類と混合割合および燃料記号は表2に示す。燃料は軽油とA重油を基準

表2 供試燃料の種類

呼び記号	燃料名	体積比	水含有率
L0	軽油		
LY	軽油廃油	6:3	
LE1	軽油廃油	6:3	10%
A0	A重油		
AY	A重油廃油	6:3	
AE1	A重油廃油	6:3	10%
AE2	A重油廃油	6:3	20%
AE3	A重油廃油	6:3	30%
AV1	A重油植物油	1:1	
AV2	A重油植物油	1:4	
植物油	粘度	37 cP (313K)	
	比重	0.921 (292K)	
	高位発熱量	38.1 MJ/kg	
	引火点	463K	

注 燃料は市販品である

燃料としエンジン潤滑油の使用済みの廃油に水を混合した乳化燃料を用いた。燃料の混合割合は体積%とする。水分含有量は金属材料の腐食・摩耗および燃料の粘性、燃焼状態の悪化、NOx低減の有効性等を考慮し、10%、20%、30%とした。A重油・植物油(1:1)、(1:4)の混合燃料も使用した。燃料の混合には自己発振型流体論理素子の発振現象を応用した混合器によった。<sup>7)</sup> 乳化燃料内の水粒子径はエンジン潤滑油使用後の廃油が乳化剤の役目をするため、1~5  $\mu\text{m}$ と均一である。

このような混合燃料の燃焼の良否は燃料の噴霧粒子径およびその分布に関係すると言われている。<sup>8)</sup> 平均粒子径の因子は噴霧速度・燃料表面張力・空気密度・ノズル径・粘性である。低質燃料では燃料表面張力・粘性が大きく影響してくる。燃料の表面張力はデヌイーの表面張力計により測定の結果、温度範囲293~323Kにおいてはほぼ一定であった。表面張力の大きい順に示すとAE1が35dyne/cm, AYが31dyne/cm, A重油が31dyne/cmであり乳化燃料が他に比較して3~4 dyne/cm大きい。

次に、図5は供試燃料の粘度特性を示す。測定は回転式粘度計(リオン製)を使用した。植物油の廃油が他の燃料に比べ大きく温度333K以上でやっとA重油系・軽油系燃料に接近してくるから、この温度以上に保温する必要がある。A重油系・軽油系燃料の粘度は20cSt以下となり噴霧粒子径に余り影響しないようである。特に乳化燃料(W/O形)の温度に対する水と燃料の分離特性は文献で報告しているように、燃料温度をできるだけ低温に保持することが必要である。<sup>7)</sup> 本実験では燃料系の温度は常温とする。しかしA重油植物油燃料は325 Kに保温する。なお、シリンダーの外壁温度が低温313 K程度の場合と冷却水温が353 K前後のときを想定して高温353 K程度の両方を設定した。

図6は大気圧における噴霧粒子径の測定をした結果である。噴霧ノズル先端から距離500 mmの位置に受け止め液ニトロセルローズとエタノールを調合しスライドガラスに塗り噴霧粒を受け止めた。これを金属顕微鏡を用い写真撮影した。およそ粒径150  $\mu\text{m}$ までに分布している。

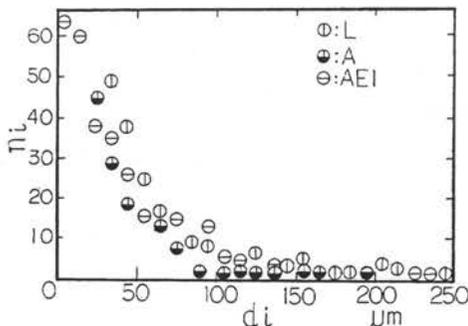


図6 大気圧下の燃料噴霧特性

ここで、燃料噴射量の測定方法を述べておく。およそ2.9 MPaの高圧容器を作成しその中に噴射ノズルを装着し脱脂綿をいれ10回噴射させ、そのときの重量を精密天秤で計測する。その平均値で表示し、燃料計量管との関係を求めた。

高圧高温の燃焼室内に噴射された燃料噴霧粒子のガス化は燃焼に大きな影響を及ぼし、着火おくれの長短に関係してくる。このため、供試燃料の雰囲気温度に対する蒸発特性を把握する必要がある。図7は供試燃料のASTM蒸留曲線を示す。植物油廃油は蒸発範囲が623 K~653 Kであり最も高い。廃油の蒸発は85%が623 K~653 Kの範囲である。A重油・廃油AYは398 K~653 K, A重油は513 K~623 Kである。軽油は493 K~543 Kである。軽

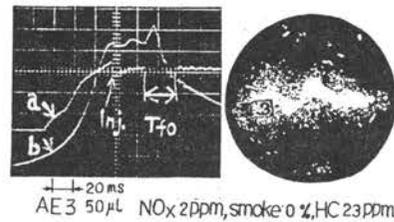


図4 燃焼室内圧力波形・燃焼写真  
(A室油・廃油乳化燃料AE3 W=30%)

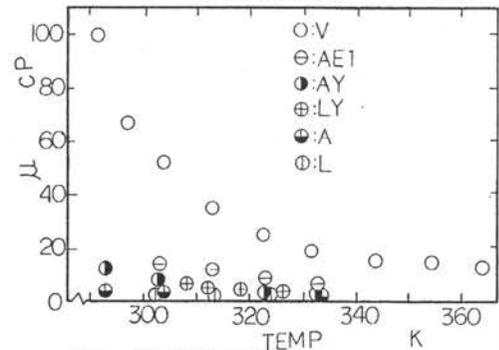


図5 供試燃料の粘性

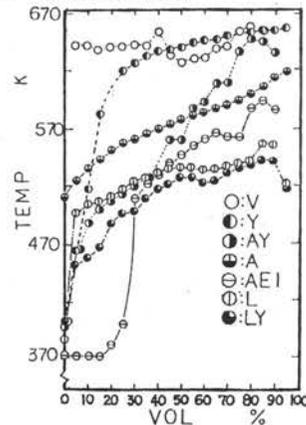


図7 供試燃料のASTM蒸留特性

油・廃油LYは軽油よりも低温度域にあり不純物が混入していることがわかる。A重油・廃油の水含有率10%は373Kになると、まず水分が強烈な沸騰を開始して危険であった。しかし65%留出後A重油の曲線に接近してくる。だが廃油の623K以上の留出が明かでないことが問題であろう。おそらく、廃油分の混合において上澄み油を抽出したためか、または水分が沸騰したときに外部へ飛散してしまったのではなからうか。これらの状況を考慮し燃焼の観察をする必要があろう。

### 3. 実験結果と考察

#### (1) 高速度撮影結果

燃焼観察は次の供試燃料について行った。

①A重油・廃油乳化燃料(水含有率W=10%, 20%)  
 初期燃焼②軽油・廃油LYと③軽油・廃油(W=10%)  
 乳化燃料LE1燃焼終了まで、④A重油・植物油  
 の廃油AV1=50%, AV2=80%の燃焼

#### (1) 噴霧の成長と発火位置

燃焼室内に燃料が噴射開始し着火までの間、外部照明によって噴霧の成長過程が撮影できる。A重油系乳化燃料の噴霧成長過程のスケッチを図8に示す。図中の数字は噴射開始からの経過時間msで示す。また☆印は発火位置を示す。 $\tau$ は発火遅れ時間msである。(図9も同様である)シリンダー壁温が低温より高温の場合が成長が速い。噴霧の確認ができなくなり発火までの時間は1.8msである。この間燃料は空気から加熱され蒸発し発火となる。この様子を低温の場合にみると発火までの時間は6.4msとかなり長かかっている。A重油系乳化燃料W=20%は4.8msとなっている。水含有率20%の方が短いのは興味のあるところである。水爆作用によるものかは不明である。噴霧時期はAE1高温が早く、他はほぼ同じである。噴霧の到達距離はすべて $\frac{3}{4}$ 程度まで成長している。燃料の発熱量をほぼ一定にし燃焼状況を比較するために燃料：廃油割合が6：3とした。軽油およびA重油系混合燃料について考察する。図9はそのときの噴霧成長過程

(高温)である。表3に供試燃料の噴射初速度を示す。およそ50m/sの噴射速度であった。軽油系図9-(1)(2)によると水含有した燃料(2)がやや到達距離と噴霧目視時間が短い。これは水爆作用が生じたことにより噴霧塊が減じたものと考えられる。しかし乳化燃料の粘性がわずかに増加しているものの図7の蒸発特性が533K以下では影響が少ないためと思われる。図9-(3)(4)によるとA重油系燃料は蒸発温度範囲が高く噴霧距離が長くなり、特に乳化燃料では水蒸発のために局所的な周囲温度の低下により噴霧到達距離がより長くなる。また、噴霧塊先端付近

における噴霧貫徹力が減衰する様子がよくわかる。

乳化燃料の着火おくれは長くなることが知られているように、本実験においても明かである。また噴射量の大小が発火遅れにあまり影響しないことが報告されているから、<sup>9)</sup> 噴射量のバラツキはあまり考慮しなくてよい。発火開始までの時間をみるとLY燃料が2.1ms, LE1(W=10%)燃料が5.3ms, AY燃料が2.8ms, AE1(W=10%)燃料が4.4msとなった。発火位置はほぼ噴霧中心軸上にあり、水含有なし燃料が噴霧孔よりおよそ30mm付近で発火し、乳化燃料は燃焼室中央付近の複数発火となる。これは発火遅れが長くその間に予混合領域も広くなり複数発火は当然であろう。しかし、その中でも中心軸上が発火の条件は整っている軽油系LY(1)は複数発火している。これは燃料の初留点が388K前後と低いためであろう。

#### (2) 燃焼経過

図9に示した供試燃料の高速度カメラによるカラー直接輝炎撮影の結果を図10に示す。これは燃焼の開始から拡散燃焼末期付近までの経過のスケッチである。図中の数字は発火開始からの経過時間msである。噴射量は65 $\mu$ lである。燃焼経過の考察対象は初期燃焼・火炎塊への集合と膨張・火炎塊滅失と分裂拡散・分裂火炎の消滅とエンベロープ火炎である。また熱発生率 $dQ/dt$ と圧力波形また燃焼の最大位置の関係を知る必要がある。(後述)輝炎伝ばに対する一つの整理法として燃焼が二次元

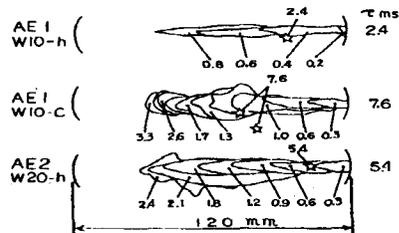


図8 噴霧成長経過(A重油系燃料)水含有率の影響  
(☆印：発火位置，数字は経過時間msノズル番号3)

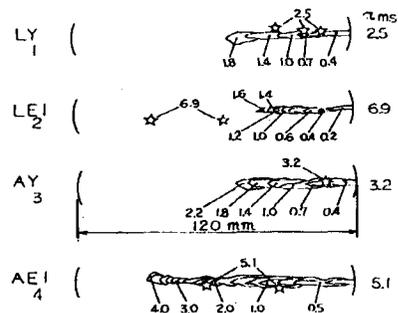


図9 噴霧成長経過 混合燃料と混合乳化燃料比較  
(☆印：発火位置，数字は経過時間ms，ノズル番号2)

的であると仮定すれば輝炎の面積 FA/ 燃焼室面積 FA0 は図11となる。この場合の燃焼時間と排気ガス成分濃度を表3に示す。

燃料LYと乳化燃料LE1 (W=10%)の比較を行う。エンベロープ火炎が完全に消滅する時間を燃焼時間とする。燃焼時間はやや乳化燃料は短いが大きな差といえない。輝炎の状態からすれば総体的にはほぼ同様である。初期燃焼はLE1が急成長している。これは発火遅れが長くこの期間中に存在する燃料が一時に爆発するためである。この間2ヶ所から火炎が合体するまでが他に比べて早い。これは水の影響によるものと思われる。AE1乳化燃料にも観察できる。本実験の高速撮影では観察できないが35ミリ写真撮影(シャッタ速度1/500s)において火炎粒の存在を確認した。いわゆるマイクロ爆発の結果であろう。その後LE1は火炎塊の成長は大きく約20msまで進む⑦ここでLYと比較すれば噴射軸上における輝炎帯は乳化燃料の方が大きい②⑦。その後拡散燃焼になるがLYは発火後の噴射燃料がLE1よりも多く、拡散燃焼が多いものと思われる。経過時間50~60msあたりにおいて噴射軸上の輝炎帯が分裂し無数の輝炎塊となって消滅するのが約90msである④⑨。その後壁面周辺の大きな輝炎が壁面に沿って拡散し上下2つの輝炎団に分かれ⑤⑩、浮遊しながら次々と消滅へ向かって分裂し最後にエンベロープ火炎となる⑪。

排気ガス成分のNOxとすす濃度をみると乳化燃料がNOxは76ppmと多く、すすは38%とやや減少している。

表3 燃焼時間・排気ガス濃度

燃料記号	$\tau$	Vn	Tf	NOx	すす	HC
LY-h	2.5 ms	50m/s	212ms	40 ppm	46%	2 ppm
LE1-h	6.9	52	186	76	38	15
AY-h	3.2	33	122	47	(46)	11
AE1-h	5.1	54	255	82	6	11
AE1-c	7.6	20	125	19	0	19
AE2-h	5.4	56	144	34	6	12
AV1-h	-	-	115	78	(18)	28
AV2-h	-	-	160	22	46	26

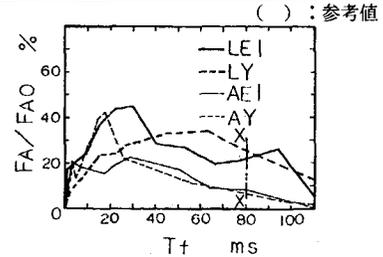


図11 経過時間に対する輝炎面積比

これは初期燃焼の相違に起因しているだろう。いま仮りにこの装置のピストンが膨張したと考えると膨張時間が80msであるから図11のX-X線より以降の消滅時間はなく火炎が急冷され排気弁から放出されるだろうから、すすがより増加すると予想される。また軽油系燃料がA重油系よりすすが多くなると言える。

A重油系AYと乳化A重油AE1の比較を行う。燃焼時間はAYが122msとAE1の255msよりも短いこれは他の燃料の消滅から考察すればうなずけないことである。初期燃焼はほぼ同様な成長であり、AE1は発火遅れが長

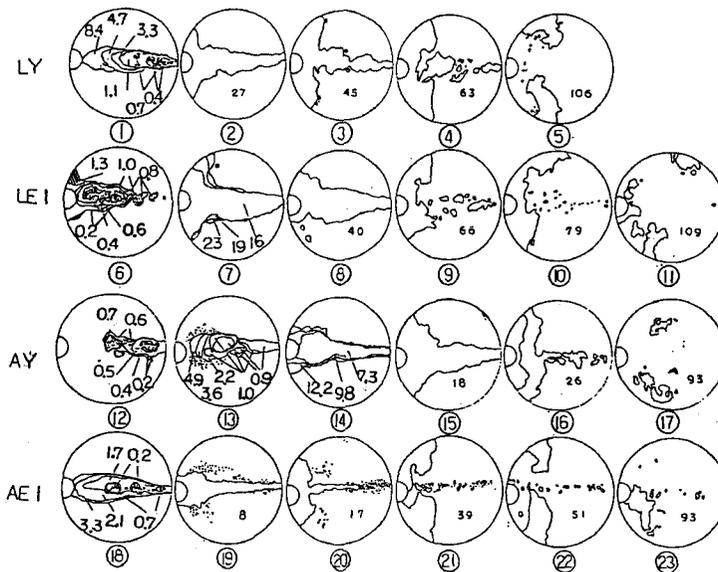


図10 高速度直接揮炎撮影燃焼経過 (混合燃料・混合乳化燃料)  
(数字は発火よりの経過時間msを示す)

いけれども7ヶ所の輝炎が存在し⑬輝炎が成長するため乳化燃料の方がやや早い。両者とも4~5msの経過時間で第1段階の燃焼を終える⑬⑭。特に輝炎帯の周縁付近において輝炎粒が発生する⑬⑯。AE1では輝炎帯のほぼ全域⑱におよび、AYでは燃焼室の中央より右側で発生している。L系燃料では輝炎粒の発生がない。これは蒸留範囲の相違によるものであろう。また輝炎粒の発生数は局所温度条件によりかわるが、輝炎粒の増加は水含有が影響しているものと思われる。第2段階では噴射軸上の輝炎帯の消炎への分裂が乳化燃料で起こり⑲、LYでは輝炎の成長が進んでいる⑱。これは発火後に噴霧する燃料量の差異であらう。20ms経過後より拡散燃焼が両者ともおこり30msからの消炎経過は軽油系燃料と同じである。しかし、燃焼室壁面付近の輝炎団が上下に分裂するのはA重油系が早い⑲。輝炎塊の完全消炎までは以外に時間がかかる。これも燃料の高沸点のためだろう。排気ガス成分のNOx濃度は軽油系と同様に乳化燃料が多く82ppmとなるが、すす濃度はAYが46%（参考）、だが乳化燃料では6%と減少している。しかし、乳化燃料のすす測定用紙を目視観察すればすすの燃え殻が灰色の塊（微粒子）となっていた。これはスケッチ観察に見られる上下に分裂した輝炎からエンベロープ輝炎となり燃えきったものと思われる。このことが水含有によるメリットであらう。

次にA重油・廃油乳化燃料の水含有率10,20%およびA重油植物油燃焼観察について述べる。図12は発火からの経過時間Tfに対する圧力波形P・輝炎面積比FA・熱発生率dQ/dt記号Qについて示した。図からPmaxはFAの最大後数ms経過後に発生する。その初期段階高速輝炎観察スケッチは図13である。また燃焼時間・排気ガス濃度など表3に示した。まず、AE1(W=10%)の比較を行う。シリンダー壁温が図12(1)(2)から低温より高温は初期燃焼の形態が激しい。その結果Pmax位置までの燃焼時間が短い。図13①②から発火点も高温が多い。高温にお

いて乳化燃料水含有率20%は発火位置が図13③一点であるが噴射軸上輝炎塊がばらついて成長し経過時間3ms程度で第1段階が終了している。AE④では完全に輝炎団から微細な輝炎塊または輝炎粒になっている。したがって、第2段階拡散燃焼後Pmaxの位置が15ms経過して生じている。排気ガスNOxは34ppmと水含有率10%よりかなり減少する。すすの濃度は6%と低くすすというよりはむしろ水10%と同様な燃え殻が観察された。燃焼時間は144msとかなり減少する。

A重油・植物油廃油の混合供試燃料の燃焼比較について述べる。本実験は試みの段階であるが燃焼形態の概略は把握できた。エンジン潤滑油廃油はかなりの不純物が混入しているが植物油はその点きれいだ。また植物油が高沸点である。図12(4)(5)および図13⑤⑥より燃焼は2段階になっている。発火は燃焼室中心付近で発生し4msでは噴射軸上で輝炎帯となる。食用油50%の方が周縁付近で活発な燃焼している。植物油AV2-80%は1ms経過⑦では燃焼室ほぼ全域に輝炎団と輝炎粒が存在している。排気ガスはNOxが50%では78ppm、AV2-80%では22ppmとなった。すす濃度は軽油・廃油LY燃料とあまりかわらない。HC濃度がやや高く28ppm前後であった。

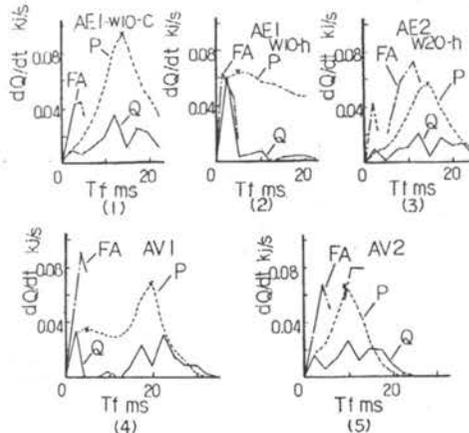


図12 発火からの経過時間に対する圧力波形・輝炎面積比・熱発生率

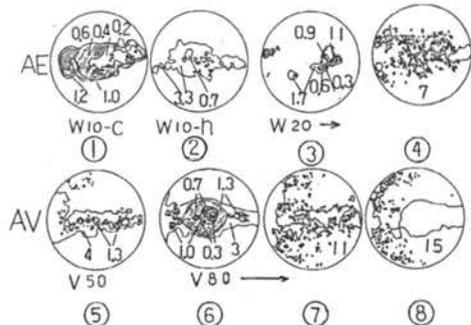


図13 輝炎スケッチ(初期状況)A重油系水含有率・植物油混合燃焼(数字は発火よりの経過時間msを示す)

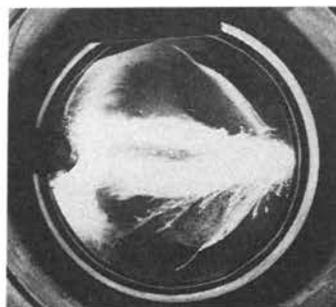


図14 A重油廃油AY燃焼写真(35ミリカメラ) 噴射量65μl NOx 92ppm smoke 46%

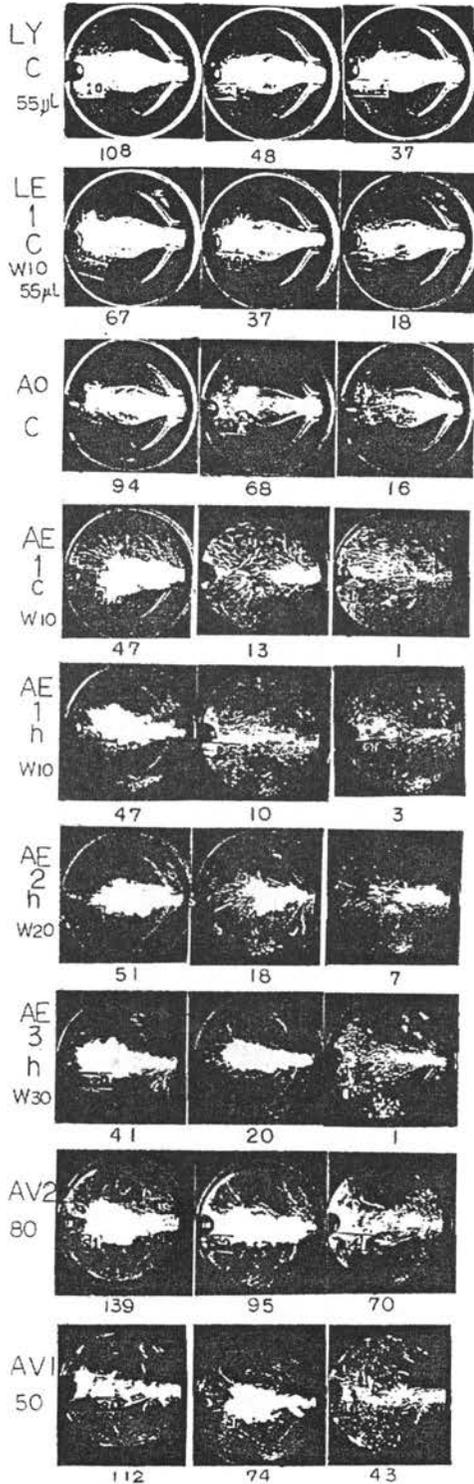


図15 燃焼形態把握写真(35ミリカメラ)  
NOx 濃度 ppm 整理結果

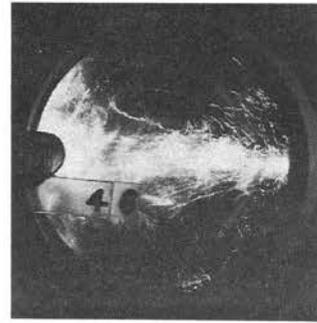


図16 A重油植物油(80%)混合燃焼  
NOx 70 ppm smoke 45% HC 34 ppm

〔3〕燃焼35ミリ写真結果

供試燃料の燃焼を35ミリカメラにより撮影した。35ミリ写真はシャッター開放カラーであり、高速度撮影と比較し全体の把握が可能となり、また解像度がいよし安価であるなど利点がある。図14はA重油廃油AYの拡大燃焼写真例である。左部の黒い丸部分はホットセンサーである。写真より大きな噴霧粒輝炎は下部に見られる。噴射軸輝炎帯はホワイト、壁面上部はカドミウムレッドの色彩である。燃焼形態把握のために撮影結果と窒素酸化物NOxの排出濃度について整理し、図15に示す。図は左よりNOx濃度の高い燃焼から示し数値はNOx濃度を表す。噴射量は55~65μℓの範囲に限定した。ピストン上面は噴射孔から3方向に噴射するタイプであり、その方向に約1mmの凹部が設けられている。したがって写真中に凹部の緑が輝炎により光って見える。シリンダー壁温が低温の場合は記号C、高温の場合は記号hで示す。一般的な傾向は輝炎団の大きさが当然NOxに關与している。ここでは燃焼の形態観察に注目したい。高速度輝炎観察で述べた点に視点をあくと、乳化燃料の輝炎帯周縁からの輝炎塊の飛散状態、またNOx濃度18ppm以下の主燃焼軸からの輝炎粒の飛散状況が観察できる。これは噴霧量が少ないためと思われる。粘性が高い乳化燃料水30%や植物

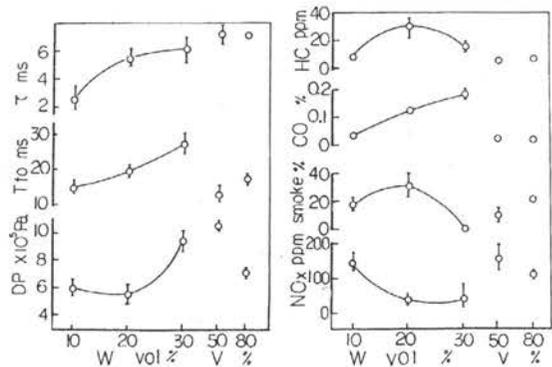


図17 A重油系乳化・植物油混合燃料の排気ガス特性  
(ノズル番号3)

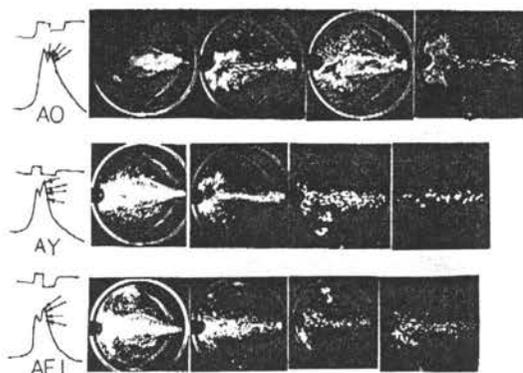


図18 燃烧瞬間写真 (35ミリカメラ 1/500s撮影)  
A重油A0・A重油廃油混合AY・乳化AE1燃料

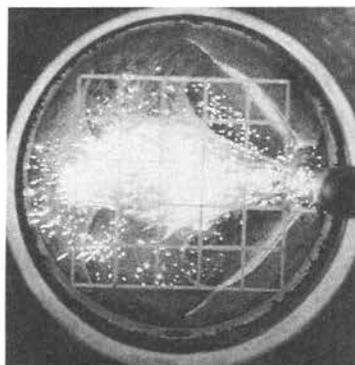


図19 軽油燃料噴射量 60 $\mu$ l 燃烧写真 (35 ミリカメラ)

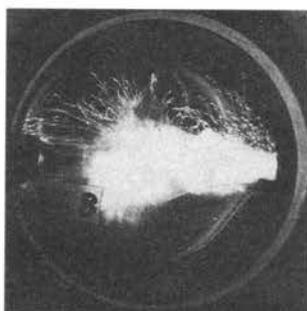


図20 A重油廃油乳化燃料60 $\mu$ l 燃烧写真 (35 ミリカメラ)

油混合燃料では輝炎軸が左右に曲折しながら火炎が成長していることが観察できた。図16写真はA重油植物油混合燃料80%における高沸点の植物油の輝炎粒が無数針状に長く飛行跡を残している。

噴射軸上にはホワイトとバイオレットの混色輝炎塊が途切れ途切れ存在する。次に、参考までに排気ガス濃度を図17に示す。また、燃烧による圧力変化DP、ホトセン

サーによる燃烧時間 $T_{f0}$  および発火遅れ $\tau$ も示した。次に輝炎粒の飛行写真を示す。図18はシャッター速度1/500sで撮影した瞬間写真であり、撮影時期を圧力波形内に示した。時間2msの間進む輝炎の飛行長さがわかる。例、輝炎粒飛行の速度は2.7m/sとなる。図19は軽油燃烧の油滴輝炎の飛散写真を示す。噴霧量は50 $\mu$ l程度である。中央部ではホワイト色の輝炎団とその周囲に輝炎粒が飛散する様子が鮮明に観察できる。噴射量が多くなると輝炎先端部にガス化したコンポーズブルー色が発生する。図20は乳化燃料W=10%の写真である。上部の輝炎粒の飛散が激しい。中央部は強いホワイト色であった。

#### 4. まとめ

各種の混合燃料の燃烧の輝炎直接高速度撮影を主体にした燃烧観測および35ミリカラー燃烧写真をもとに燃烧形態と排気ガスNO<sub>x</sub>とすす濃度の結果と考察を試みた。本実験の急速圧縮装置の性能が完全ではないけれども、特に噴射時期と燃料の噴射量に厳密さを欠くところが今後の課題であろう。したがって本報告は多数の回数の実験を行った結果より平均的なところを報告した。

おわりに、本研究を実施するにあたって、実験と解析に多大な助力を惜しまなかった当時本校学生であった沖裕輔・島田朋雄・小林尉之・石川善久・中川英信・渡辺一志君に感謝の意を表します。

#### 参考文献

- (1) 塚原・ほか2名, 機械学論文集, 48-426, 昭57-2, 381
- (2) 石田・ほか4名, 機械学論文集, 54-498, 昭63-2, 506
- (3) 藤本・ほか2名, 機械学論文集, 45-392, 昭54-4, 599
- (4) 大本・ほか2名, 機械学論文集, 52-477, 昭61, 2275
- (5) 小笠原・ほか4名, 内燃機関, 15-180, 1976-7, 9
- (6) 小林・ほか2名, 機械学会論文集, 48-426, 昭57-2, 389
- (7) 大前・ほか2名, 大阪府立高専研究紀要, 17, 昭58, 1
- (8) 機械学会, 機械工学便覧内燃機関, 改訂6版, 14-66
- (9) 小笠原・ほか4名, 内燃機関, 15-180, 1976-7, 14