

# 中型高速ディーゼル機関に対する低質燃料運転について

川崎重工業KK\* 津 田 通 夫  
中 泉 哲 也

## 1. 緒 言

最近わが国において鉄道車輛、船舶、陸上設備等の原動機として機関の比重量 (kg/HP), 比容積 (l/HP) が共に小さい高出力の中型高速ディーゼル機関が急激に発達しその普及はまことに目覚ましいものであるが、これ等の機関のいずれもがいわゆる軽油(比重: 約0.84程度)を燃料としている。しかるに燃料の経済性を考えるならば燃料消費率 (g/HP/h) を減少せしめることは勿論必要であるけれども比重の重い低質燃料が使用されるならばさらに良好な結果を得ることは申すまでもないことである。しかしながら大型低速の船用機関に対して高粘度高比重の低質燃料を使用することは今日までに多大の関心が寄せられてきているが不幸にして中型高速機関に対する詳細なる情報は少ない。

以下に述べる報告は川崎重工KKにおいて製作しているところの定格 900r.p.m, 1200HPのVV22<sub>30</sub>型4サイクル排気ターボ過給式ディーゼル機関に対して以上の目的から軽油と低質燃料との比較運転を試みた結果を未だ完全なものではないが一応シリンダ内の燃焼について資料を得たのでここに紹介する。

## 2. 実験方法

試験に際して、一般に燃料が低質になる程そのセタン価は減少するものと考えられる故に低質燃料を使用せる場合は当然その発火遅れ期間は長くなり急激な燃焼を起すいわゆるディーゼル・ノックを生ぜしめ易い状態になる。また一方この発火遅れ期間は燃料のセタン価ばかりでなく機関自体の周囲条件にも影響される所が大である。従つて機関に対する低質燃料使用上の適合性に関しては、機関の運転周囲条件をも併せて考慮する必要がある。よつてわれわれは機関自体の運転条件をも比較的悪い状態で運転せしめた場合と、又一方通常状態で運転せしめた場合の2者について試験を行なつた。前者に対しては実機の1気筒分に相当する単気筒試験機を無過給に

て運転しシリンダ内圧縮空気の燃焼前の圧力・温度を過給機関より低くせしめ燃焼に対する発火遅れ期間が長くなるようにした。後者に対しては12気筒の実機について試験した。この機関は排気ターボ過給機附で、空気冷却器無しである。試験は船用主機関と発電用機関の2種の使用状態について行なつた。但し実機に対する定格出力は他の目的から1120HP、単筒試験機関に対しては63HPと定めた。供試機関の主要目を第1表に、さらに試験に供せられた各燃料の性質・成分を第2表に示す。

第1表 供試機関主要目

型 式		4サイクル排気ターボ過給式予燃焼室型	
定格出力 (900 r.p.m)		1200HP	
行程 × 直径		300 × 220 mm	
シリンダ数		V型45°配列 12	
圧 縮 比		15.3	
弁 格 開 時 期	排 気 弁	開	B.D.C.B 60°
		閉	T.D.C.A 59°
	給 気 弁	開	T.D.C.B 75°
		閉	B.D.C.A 46°
重 合 角 度		134°	
燃 料 噴 射 始 め		T.D.C.B 14°	
定格出力時燃料噴射終り		T.D.C.A 3~4°	
燃 料 噴 射 圧 力		160kg/cm <sup>2</sup>	

本試験運転中は試験機および実機の燃料噴射時期・弁啓開時期等は同一にて行ない、さらに如何なる燃料を使用せる場合もそれらの時期は不変とした。又実機においては燃料は機関附属のポンプから強圧送されているが、試験機においては燃料噴射ポンプから約1,500mmの高さに置かれた重力槽を使用し強圧送は行なっていない。さらに各燃料とも予熱は全然行なわず大気温度状態で運転した。

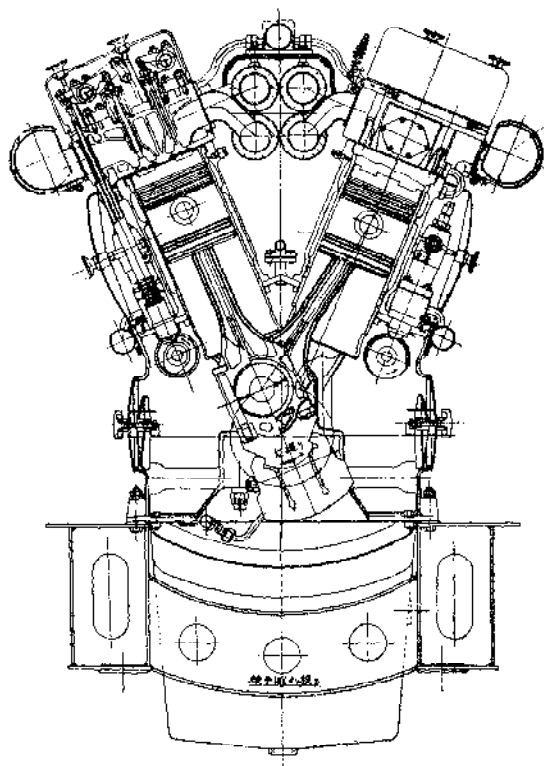
シリンダ内の燃焼状態の測定と観察には抵抗線歪計型指圧器とブラウン管オシログラフを使用し記録した。

第1, 2図に本機関の組立断面図および燃焼室断面図を示す。

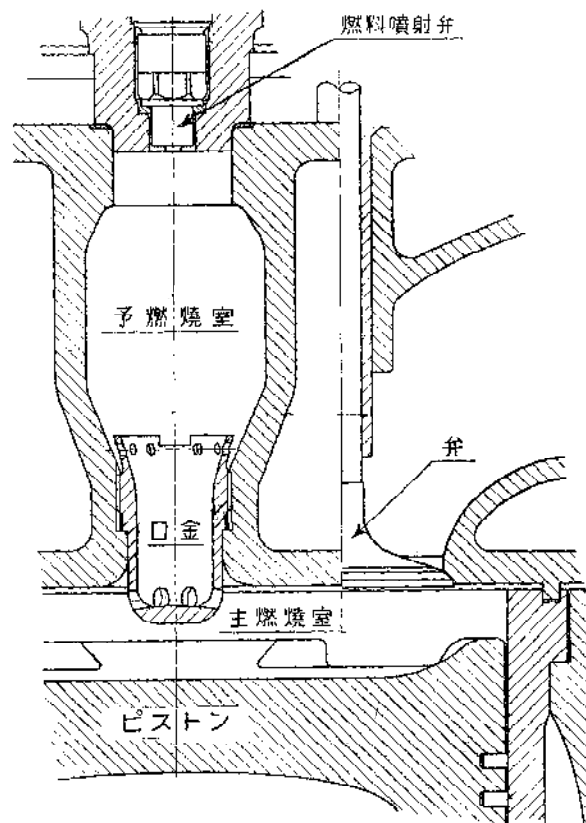
\*神戸市生田区東川崎町2 造機設計部

第 2 表 使用燃料の成分・性質

種類		No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5	No. 6	4号軽油	1号重油
比引凝シドウッド粘	比重 15°C	0.846	0.862	0.880	0.912	0.921	0.941	0.835	0.883
	着火点 °C	87	90	95	97	105	110	74	82
	凝固点 °C	<-15	<-15	-13	-4	-1	2	<-16	<-15
	30°C 下度	34	43	56	136	292	549	34.2	48.6
	50°C	31	37	41	69	106	189	31.6	38.7
元素分析	炭素 %	86.22	85.94	85.76	85.00	84.61	83.83		
	水素 %	12.47	12.37	12.03	11.86	11.50	10.98	13.43	12.35
	硫黄 %	0.65	1.39	1.61	2.18	2.25	2.99	1.18	2.88
	酸素 %								
	窒素 %								
高	発熱量 cal/g	10920	10820	10710	10630	10530	10470	10950	10750
	低発熱量 cal/g	10252	10157	10065	9994	9912	9877	10275	10083
セ	タン 価	54	52	53	49	—	—	—	—
水	分 %	Nil	Trace	0.05	0.05	2.5	1.5	Trace	Nil
残	溜炭素 %	Nil	2.09	3.36	3.49	4.42	6.62	0.01	2.50
反	応	中性	中性	中性	中性	中性	中性	中性	中性



第1図 機関組立断面図



第2図 燃焼室断面図

### 3. 実験結果

#### I 無過給機関（試験機関）に対して

各種燃料に対する運転成績表を第3表に、又シリンダ

内圧力変化を第3図(A), (B)に示す。

#### I-1 起動状態

起動は空気管制弁による圧縮空気によつて行なわれた

第3表 無過給機関(試験機)

燃料種類 負荷	No. 1 室温 26°C					No. 2 室温 24°C				No. 3 室温 25°C		
	1/4	2/4	3/4	4/4	1/4	1/4	2/4	3/4	4/4	1/4	2/4	3/4
機関回転数 r.p.m	567	714	817	900	900	567	714	817	900	567	714	817
機関出力 B HP	15.7	31.5	47.3	63.0	15.7	15.7	31.5	47.3	63.0	15.7	31.5	47.3
冷却水	入口温度 °C	34	37	41	45	49	29	28	26	33	24	26
	出口温度 °C	38	44	51	56	54	35	36	39	45	30	34
潤滑油	入口圧力 kg/cm <sup>2</sup>	1.2	1.0	1.0	1.0	1.5	1.0	1.0	1.0	1.0	1.1	1.2
	入口温度 °C	30	31	35	36	38	26	27	29	38	23	25
	出口温度 °C	32	34	37	41	42	28	29	38	41	26	28
排気	シリンダ出口温度 °C	145	235	315	430	195	165	245	330	430	160	240
	煙色	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無
燃料消費量	供給温度 °C	23.5	23.5	23	23	23	21.5	21.5	21.5	21	22	22
	計測時間 mn	10	10	10	10	10	5	10	10	10	10	10
	計測量 g	626	1109	1487	1958	866	340	1188	1544	2014	687	1161
	燃料消費量 kg/Hr	3,756	6,654	8,922	11,748	5,136	4,080	7,128	9,264	12,084	4,122	6,966
	燃料消費率 g/HP·Hr 10200kcal/kg 換算消費率 g/HP·Hr	239	211	188	186	327	260	226	196	1.92	262	221
換算消費率 g/HP·Hr	240.2	212.1	189.0	186.9	328.7	258.9	225.0	195.2	191.2	258.5	218.1	
起動状態	良					良				良		
ノック音	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無
シリンダ内最高圧力 kg/cm <sup>2</sup>	53	49	49	46	47	56	56	51	54	58	53	50
圧力上昇率 dp/dθ ata/deg	3.7	1.4	1.6	0.9	1.9	3.4	2.1	1.6	1.8	4.4	2.5	1.7

が各燃料とも非常に良好で起動不能になることは一度も発生しなかった。ただし起動直後は No. 5 以下の燃料

I-2 各負荷運転時における状態

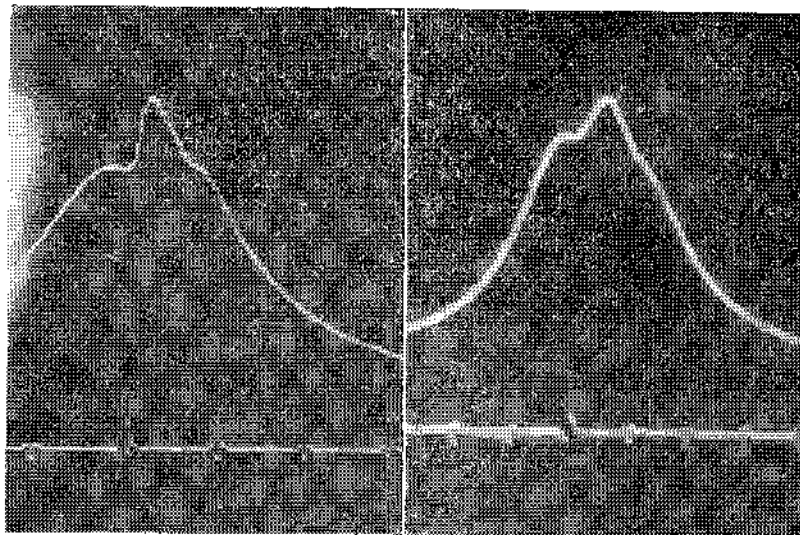
(イ) 最高圧力 (Pmax kg/cm<sup>2</sup>) ; 無過給運転なるため

過給機関に比して最高圧力の低いのは当然であるが低負荷・低回転程最高圧力は高くなる傾向を示している。これは回転数に影響されているものではなくむしろ低負荷運転なるが故に燃焼室壁面の温度が低く燃焼第1期の発火遅れ期間が長くなり第2期の燃焼が急激に行なわれて最高圧力が高くなるものと考えられる。

(ロ) 圧力上昇率 (dp/dθ ata/deg) ; 各

燃料とも負荷・回転数の増加に従って dp/dθ は減少しており比重 0.88以上の各燃料については 567r.p.m, 1/4負荷において 4.3~4.8ata/deg と幾らかディゼル・ノックに近い燃焼状態となつている。しかしながら回転数 714 r.p.m 以上, 3/4負荷以上では dp/dθ の

最大値は比重 0.94 の燃料を使用せる場合でも 2.6 ata/deg 程度でノック音を発生せしめるようなこと



A. No. 5燃料 714R/M, 31.5 HP      B. No. 4 燃料900R/M, 63HP

第3図 指圧線図

に対して短時間数回のノック音が発生している。これは起動直後は未だシリンダ壁・予燃焼室内等の温度が低いために生じたものと考えられる。

に対する運転成績表

No. 4 室温 25°C					No. 5 室温 25°C				No. 6 室温 26°C					
¼	¼	¾	¾	¼	¼	¾	¾	¼	¼	¼	¾	¾	¼	¼
900	567	714	817	900	567	714	817	900	900	567	714	817	900	900
63.0	15.7	31.5	47.3	63.0	15.7	31.5	47.3	630	15.7	15.7	31.5	47.3	63.0	15.7
32	26	29	31	36	26	32	35	50	54	33	35	38	49	28
44	34	36	42	47	33	42	46	60	59	38	44	49	58	36
1.6	1.2	1.2	1.1	1.5	1.0	1.0	1.0	1.5	1.5	1.0	1.0	1.0	1.5	1.2
35	28	30	32	37	22	24	30	38	39	31	32	34	42	22
40	31	34	35	41	27	31	34	41	42	34	35	36	45	29
3.4	4.0	3.8	3.6	3.1	42	3.8	3.6	3.2	3.0	4.2	4.0	4.0	3.2	40
435	150	230	325	410	160	23.5	320	420	205	150	225	320	425	220
無	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無
22.5	22	22	22	22	22	22	22	22.5	23	23	23	23	23	23
10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
2022	684	1153	1543	2030	699	1152	1565	2017	883	666	1124	1530	2024	878
2,132	4,104	6,918	9,258	12,180	4,194	6,912	9,390	12,102	5,298	3,996	6,744	9,180	12,144	5,268
193	261	220	196	193	267	220	198	192	337	254	214	194	193	336
190.4	255.7	215.6	192.0	189.1	259.5	213.8	192.1	186.6	327.5	246	207.2	187.9	186.9	325.4
無	良	無	無	無	良	無	無	無	無	良	無	無	無	無
46	53	51	49	47	起動時 々有り	53	53	52	51	44	起動時 々有り	54	51	51
1.1	4.3	2.2	1.8	1.2	4.3	2.4	2.0	1.8	1.3	4.8	2.6	2.5	2.2	2.5

は皆無である。しかしながら以上のようにノック現象は一般に $dp/d\theta$ の値で表わされるがブラウン管面上の肉眼による観察では比重 0.92 以上の燃料に対して着火後の圧力膨張過程に若干の圧力振動が 714 r.p.m. ¾ 負荷運転の際に認められていることから厳密にはディーゼル・ノックは発生していると解される。第3図(A)参照

(イ) 燃料消費率 (be.g/HP/Hr) ; 各燃料の発熱量を 10200kcal/kg に換算せる 場合の燃料消費率についてそれぞれを比較してみると No. 1より No. 3に向つて大体順に増加し、No. 3より No. 6へは逆に順次減少する様子を呈している。さらに最も低質油であるところの No. 6が最低の消費率を示しているが、これはディーゼル機関の場合その運転がディーゼル・ノックの発生に近づく程機関の熱効率が上昇するということから考えるならば No. 3燃料より次第に低質になるに従つてその消費率が減少せることは理解し得る。

(ロ) 排気温度 (シリンダ出口) ; 上記の燃料消費率と同様な傾向を示し、No. 4, 5, 6の各燃料の場合には No. 1, 2, 3燃料を使用せる時よりも一般に排気温度は低い値を示している。このことよりも No.

4, 5, 6の各燃料では幾らかディーゼル・ノックに近い運転状態と判断される。

(ハ) 排気色 ; No. 5, 6燃料の場合にのみ、起動時に僅か薄褐色を呈したが、他の燃料を使用せる場合は全運転にわたつて無色であつた。

## II 過給実機 (実機) に対して

第4表に運転成績を示す。

### II-1 起 動 状 態

機関の起動は機関に直結された電動機により行なわれたが起動に要する時間は正規の軽油運転の場合と全く変りがない。さらに起動時に往々にして見られる異常燃焼による爆発圧力の上昇も全く発生しておらぬことが確認せられた。

### II-2 各負荷運転時による状態

(イ) 最高圧力(Pmax kg/cm<sup>2</sup>) ; 各負荷運転とも4号軽油使用の方が約5~8%低くなつている。これは1号重油の方がセタン価が低いので着火遅れ期間が長くなりディーゼル・ノックを発生せしめるにいたらぬ程度に第2期の燃焼時の圧力上昇率を増加せしめた結果と考えられる。

(ロ) 燃料消費率 (be g/HP/Hr) ; 4号軽油運転に比較

第 4 表 過 結 機 関 (実 機 に 対 す る)

運 転 種 類	回 転 数 r. p. m	出 力		室 温 °C	燃 料 油 温 °C	燃 料 消 費 率 g/IP/Hr	冷 却 水 温 度		排 気 温 度				
			HP				機 関 入 口	機 関 出 口	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	
4 号 軽 油 運 転	プロペラ回転	567	1/4	280	28	24	182.5	44	56	240/210	240/235	225/235	230/230
		714	2/4	560	28	24	170.0	43	53	305/285	305/295	285/295	290/290
		818	3/4	840	28	24	168.3	43	53	250/325	350/350	345/350	340/340
		900	3/4	1120	29	24	169.5	45	58	400/385	400/400	390/400	400/395
	一定回転	900	1/4	280	29	24.5	200.0	50	58	225/225	225/230	210/230	225/220
		900	2/4	560	29	24.5	173.5	47	58	300/285	300/300	290/300	300/290
		900	3/4	840	28	24.5	167.6	46	57	345/330	345/355	335/350	355/345
1 号 重 油 運 転	プロペラ回転	567	1/4	280	27	23	184.5	54	66	260/250	260/250	235/250	255/245
		714	2/4	560	28	23.5	173.8	60	67	310/300	310/300	290/300	295/210
		818	3/4	840	28	23.5	170.1	54	66	360/360	360/365	345/365	340/350
		900	3/4	1120	28	23.5	172.0	52	64	400/380	400/420	395/420	290/395
	一定回転	900	1/4	280	29	24	224.0	46	60	230/230	230/260	230/260	250/250
		900	2/4	560	29	24	175.5	46	60	320/300	325/320	280/320	300/295
		900	3/4	840	30	24	170.2	46	60	365/350	365/370	350/370	355/345

して若干多くなっている。前記の如く一般にディーゼル・ノックを起している状態にて運転されている機関は熱効率が上昇し燃料消費率は減少するものであるが今回の如くそれが増加しているのはその燃焼状態が4号軽油の場合と殆んど変わらず、単に使用燃料の発熱量に関してのみの影響と考えられる。

- (イ) 排気温度；一定回転の分力運転時にのみ3~7%だけ1号重油運転の方が高温であるがプロペラ回転の運転における分力および定格出力に対しては殆んど変化はない。
- (ロ) 排気色；1号重油運転中は常に同一の機関が正規燃料にて別途に運転されていたが、両者の排気色を各種運転にわたって肉眼により観察した結果 900r.p.m, 1120HPの全力運転においてのみ極く僅かに薄褐色を呈するかと思われる程度の着色であった。他は全く無色で全運転にわたって殆んど差異は認められなかった。
- (ハ) シリンダ内の燃焼状態；全運転種類にわたって全シリンダの中2シリンダを任意に選り燃焼中の圧力変化をブラウン管面上で観察および写真記録したがこの結果いずれの運転に対しても第2, 3期燃焼時にノックに関する圧力振動は全く生じていない。

II-3 燃焼室内の炭化物の堆積状態

4号軽油運転20時間および1号重油運転30時間計50時間運転後燃焼室内の炭化物堆積状態を調査した。その結果1シリンダ当り下記の如き堆積量が計測された。即ち

ピストン頭部	1.49g
ライナ上部周辺部	0.67g

シリンダふた下面部 0.3 g  
計 2.46 g

上記の量は結局正規燃料使用の場合の同時時間運転のものと比較せねば数値的な意味がないが、現在その資料が皆無であるので追って実験記録するつもりである。しかしながら肉眼にて観察した所では軽油運転に比較して堆積量および汚れ程度は4号軽油運転時よりも若干多いように思われた。

4. 考 察

I 起 動 性

無過給および過給機関に対するそれは各燃料に対して一応確実な起動性を示したが、無過給機関に使用されたNo. 5 以下の燃料に対して短時間のノック音を発生しているため、起動時の機関空燃比が無過給・過給のいずれの場合も同一であると見なされる故に、過給機関に対しても起動時の静粛運転が望まれる場合、あるいはシリンダ内の異常爆発燃焼に対する安全弁の装備されぬ機関に対しては、比重が0.90程度の燃料が限界と思われる。

II 燃 焼 状 態

無過給機関では最高圧力および圧力上昇率が低負荷運転ほど高くなっているが前述の如く無過給なるが故の吸入空気の圧力・温度が低いことが原因し、しかも低負荷運転時は燃焼室壁の温度も低いために生じたものと解される。この現象は最も比重の軽い燃料に対しても生じている。即ち過給機関を無過給とし弁重合角度、弁開閉時期、燃料噴射位置、燃料噴射ポンプ等をそのまま使用す

運転成績表

°C		A列/B列		シリンダ内最高圧力 kg/cm <sup>2</sup>				A列/B列		排気色
No. 5	No. 6	集合管		No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5	No. 6	
		上	下							
215/220	220/220	290/265	280/285	54/55	56/56	54/53	56/56	55/56	55/56	無
280/290	280/285	325/315	315/325	58/58	58/59	58/57	61/60	60/60	60/60	"
330/340	340/345	395/400	395/410	65/64	65/64	65/64	65/62	65/64	64/64	"
390/395	380/375	450/450	455/460	72/70	70/70	70/68	71/70	69/68	69/69	"
220/220	230/230	240/240	240/250	59/59	60/59	58/58	59/60	60/58	58/59	無
280/290	270/295	300/310	310/315	59/60	58/58	60/57	60/58	60/58	58/60	"
325/340	320/340	385/390	370/400	64/65	63/64	63/61	64/65	64/63	62/63	"
250/245	245/245	290/265	270/275	60/60	61/62	60/60	61/63	61/60	61/63	無
285/290	280/280	330/310	325/320	62/64	62/64	64/63	64/65	64/64	64/65	"
340/350	330/340	395/390	395/410	67/67	66/67	67/65	68/67	67/66	66/67	"
390/390	380/385	450/440	455/465	72/72	70/72	71/70	73/70	72/70	70/70	薄褐
230/250	250/245	260/245	260/260	63/65	61/65	61/61	26/36	61/60	60/63	無
285/295	280/300	325/310	315/325	60/64	61/62	63/61	64/61	60/63	60/64	"
345/345	340/340	415/395	415/415	66/67	66/65	65/64	66/64	64/64	66/66	"

るような場合は、0.84程度の比重の燃料に対しても低負荷運転時には発火性は悪いといえる。しかし無過給の場合、幾ら最高圧力が高くなっても過給運転時のそれよりも約20~30kg/cm<sup>2</sup>も低いので機関構造にたいして全く安全である。比重0.92以上の燃料を使用せる場合には圧力上昇率が相当大きくなりディーゼル・ノックを生ぜしめ、静粛な運転が出来なくなるかもしれない。

一方過給機関においては負荷が増加するに従つて、または低質燃料を使用する程最高圧力が高くなっている。これは過給することにより圧縮空気の圧力・温度が上昇しそれによる発火遅れ時期が無過給運転時程問題にならなくなること、さらに低質燃料ほどそのセタン価が減少しその発火遅れの期間が長くなる等の当然の結果であると考えられる。しかしながら本試験に使用せる程度の低質油では最高圧力も約5~8%の上昇にすぎず構造上に関する機械的な問題は殆んど無い。

### III 排気温度及び排気色

過給全力運転時において排気集合管における排気温度は2種の燃料とも殆んど同一で約455°Cであり、低質燃料を使用せるが故の排気温度の上昇は殆んど生じていない。従つて、機関の熱負荷に関しては何ら考慮される必要はないと思われる。

排気色は、無過給機関の起動時と過給機関の全力運転時に若干認められているが、前者は起動時の燃料の過多後者は不完全燃焼によるものと思われるが、この場合スモークメータにて計測されたものでなく単に肉眼による観察にて極く薄い褐色に見えるかという程度で確認はしがたい。

### IV 燃料消費率

無過給運転に対しては比重が0.912以上の燃料において10,200kcal/kg換算消費率が逆に減少する傾向を示したが、過給機関では4号軽油と1号重油では殆んどその差を生じていない。燃料消費量としては勿論低質燃料になればなる程その発熱量の差だけ増加する。

以上の結果から起動状態、圧力上昇率、最高圧力、排気温度、燃料消費率、さらにブラウン管オシログラフによる燃焼過程の観察等を総合してこの機関に対する低質燃料使用の適合性を考慮せる場合、起動時から定格運転迄完全にノック現象を生ぜしめず、機械・熱の両応力に対して安全にしてかつ安定なる運転を可能ならしめる燃料としては、本機関の無過給運転に対して比重0.90程度の燃料が限度であると思われる。さらに過給運転に対しては低質油として比重0.88の1号重油のみが試験されなかつたのでその限度は不明であるが、機関自身の運転雰囲気は過給せることによつて無過給時よりも燃焼状態が良くなるので、比重0.90の燃料よりもさらに低質燃料が使用され得るものと考えられる。しかしながら以上の他にシリンダおよびピストンの磨耗、あるいは燃焼室内の炭化物堆積等については長時間運転によつて別に考慮せねばならぬことであり、これに対する考察は今後に待ちたいと思う。以上の試験は総て弁啓閉時期、燃料噴射時期、燃料噴射弁、燃料ポンプ、更に燃料油温度等の機械的・物理的な関係が常に同一の状態のもとで行われたけれども、これ等の各々は燃焼室内の燃焼状態に直接大きく作用するものであり、当然それぞれの燃料に適したものを選ばねばならない。