HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	多種燃料機関に関する実験的研究
Author(s)	黒岩, 保; 村山, 正
Citation	北海道大學工學部研究報告, 40, 13-33
Issue Date	1966-03-30
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/40781
Type	departmental bulletin paper
File Information	40_13-34.pdf

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

多種燃料機関に関する実験的研究

黒岩　保
村山　正

An Experimental Study on the Performance of a Multifuel Engine

Tamotsu KUROIWA
Tadashi MURAYAMA

Abstract

The present paper presents the most essentials of the performance and combustion behavior tests of a precombustion chamber diesel engine on a variety of fuels. Two methods of reducing the ignition delay were attempted fairly successfully:

1. Reduction of the heat transfer by promoting the insulating effect of the pre-chamber with a sleeve to raise its mean wall temperature.
2. Employment of higher compression ratio up to 19·05.

As a result, a possibility of operating a diesel engine on automotive gasoline was assured.

目　　次

1. まえがき …… 13
2. 実験方法および実験装置 …… 14
3. 指圧線図の解析について …… 16
4. 実験結果および考察 …… 19
4.1 無鉛ガソリンによる運転結果，および軽油の場合との比較 …… 19
4.2 自動車用ガソリンによる運転 …… 30
5. 結　　言 …… 32
6. あとがき …… 32

1. まえがき

現在我が国で広く使用されている予燃焼室式ディーゼル機関を対象として，これに色々な燃料を使用した場合の機関性能ならびに燃焼状態について調べ，次に例えば，自動車用ガソリンのような低セタン価燃料を使用する場合の対策として，最も簡単と思われる方法の一つ，即ち，予燃焼室内に接触面積の少ないスリーブを挿入して，予燃焼室壁面温度を高める方法を試みたので，その結果について報告する。

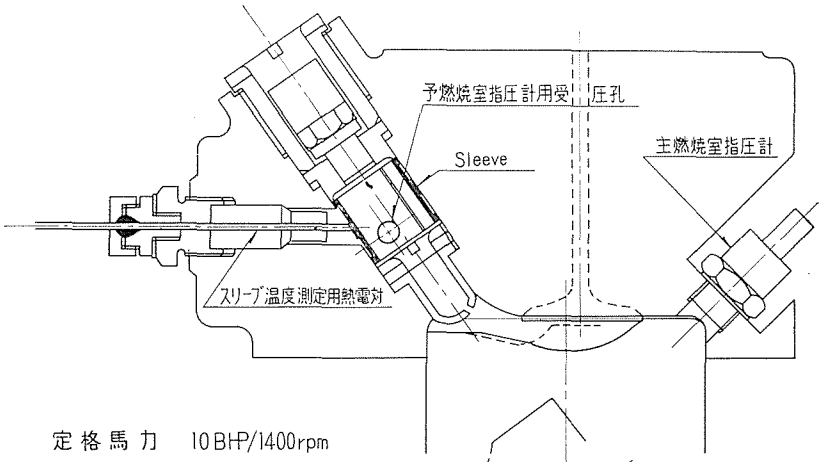
2.　実験方法および実試装置

実験を行なうに当っては，先ず，軽油，灯油，および，無鉛ガソリンの三種類の燃料を使用して，供試機関固有の状態で運転を行ない，次に，予燃焼室内に“スリーブ”を挿入した状態で運転を行なって，両者の性能ならびに，燃焼状況を比較した。最後に自動車用ガソリンに

第1表　供試燃料の性質

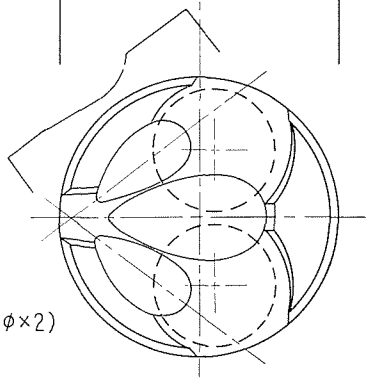
	軽　油	灯　油	無鉛ガソリン	自動車用ガソリン
比　重(15°/4°C)	0.831	0.789	0.693	0.727
低発熱量 $\frac{Kcal}{kg}$	10330	10410	10600	10630
セタン価	55	50*	35*	17*

*　CN＝60−0.50 N として換算



定格馬力　10 BHP/1400 rpm
口径×行程　110×140 mm

	固有	スリーブ	
圧縮比	16.66	16.95	19.05
全間隙容積 V_c	84.97	83.40	73.73
予燃焼室容積 V_v	36.40	34.83	34.08
V_v/V_c	0.428	0.418	0.462



通気孔面積　(5.5 mmφ×1＋3.5 mmφ×2)
0.43 cm²
噴射ポンプ　ボッシュ型　(ディーゼル機器製：NPE1A70B100)
プランジャー径　7.0 mmφ
噴射弁　スロットル　(ディーゼル機器製：NDN4SD24)
ノズル径　1.0 mmφ，噴霧角 4°
開弁圧力　120 kg/cm² (調整)

第1図　供試機関の概要

よる運転を試みたが，この場合には“スリーブ”を挿入し，更に，圧縮比を16.95から19.05に上げることによってどうにか安定した運転を行ないうる程度であって，充分なデータを得るには至らなかった。なお，灯油による運転状況は，軽油により運転した場合とほぼ同一であったので，本報告ではその資料は省略することにした。第1表に供試燃料の性質を示す。

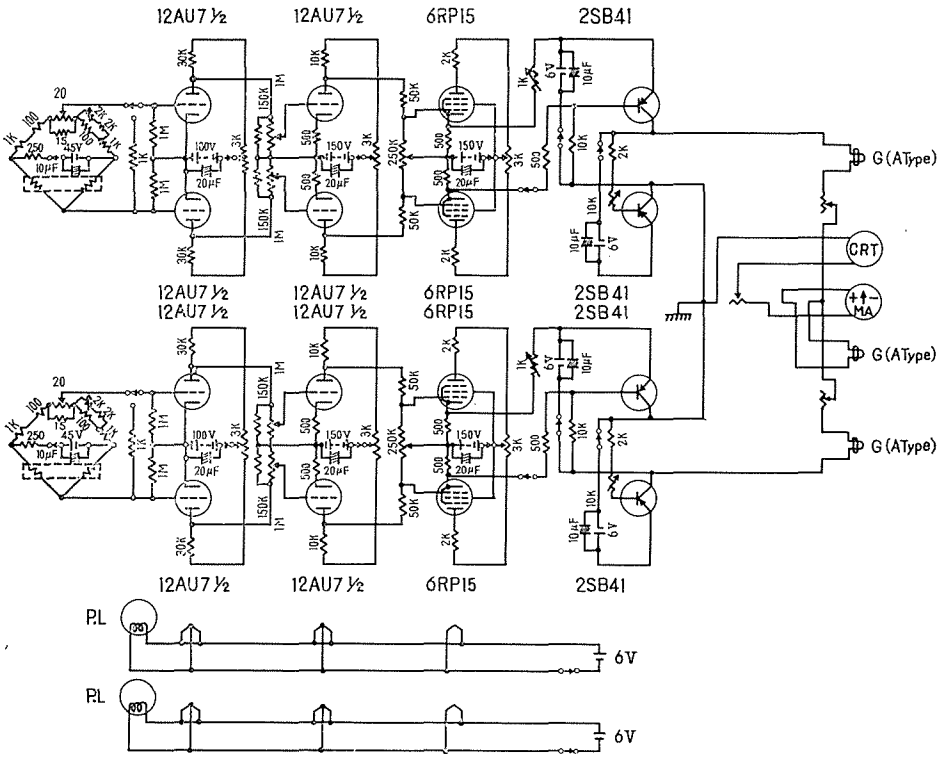
実験に使用した機関は，第1図に示すような，気筒直径110 mm，行程140 mmの研究用単筒機関であり，主燃焼室としては“三菱ふそう”のピストンを使用し，予燃焼室の通気孔はそれに合わせて製作した。

実験は1400 r.p.m.一定で行ない，負荷試験は4 PSと10 PSの2つの場合について行なった。なお，10 PSは，大体のところ，この機関のこの回転数における最大無煙出力に相当する。

運転は冷却水出口温度55～60°C，潤滑油温度68～70°Cで行なうこととし，最初軽油で運転して，冷却水，潤滑油の温度が上記の値になってから使用燃料に切換え，排気温度が安定するのを待って測定を行なった。

ガソリンを使用する場合には，燃料噴射ポンプ（ボッシュA型）内でvapour lockを起し運転が不整になるので，feed pumpを使用し噴射ポンプの吸入側に約2 atの圧力を掛けた。

指圧線図の測定には，抵抗線歪計式の指圧計を使用した。そして，線図の記録には電磁オシログラフを用い，また，常時ブラウン管上の指圧図を観測しながら，機関に無理を与えない



第2図　圧力測定用増幅器配線図

範囲内で，燃料燃噴射時期を変えて測定を行なった。

実験に際しては，主燃焼室および予燃焼室の両方に，指圧計ピックアップを取り付けた。

第2図に実験に使用した増幅器の配線図を示す。図に示されるように，実験に当って，両燃焼室の圧力差も同時に記録出来るようにした。これは，両増幅器の出力電流を，共通の負荷抵抗器（電磁オシロ振動子＋感度調整用抵抗器）に逆極性にして流し，エンジンを極低速でモータリングした時に，同上振動子に電流が流れないように両増幅器の感度を調節して，両燃焼室内の圧力差をできるだけ正確に記録するようにした。なお，電磁オシロ振動子としては，横河A型を使用した。

3. 指圧線図の解析について

指圧線図から燃焼経過を求めるには H. List [1] の方法に従った。之を手計算により行なう場合の詳細については，既に黒岩 [2] によって発表されて居る。しかし，予燃焼室式機関における発生熱量割合の決定は，比較的手数のかかる計算を必要とする。そこで，本実験では，この計算をディジタル型電子計算機を使用して行なった。第3図にこの計算のプログラム，および，計算結果の一例を示す。ただし，この計算においては，シリンダ壁への熱伝達は考慮されていない。

計算方法の概要について説明すると次の通りである。

今仮りに，両室間の流れのエネルギは直ちに熱に変換するものと仮定し，冷却損失を除外して考えれば，相接する2点間にはつぎのエネルギ式が成立する。なお，z は主燃焼室，v は予燃焼室を表わすものとする

$P_z > P_v$ の場合

予燃焼室　$G_{v1}\cdot u_{v1} + \Delta G_{1\text{-}2}\cdot i_z + \Delta H_v = G_{v2}\cdot u_{v2}$

主燃焼室　$G_{z1}\cdot u_{z1} - \Delta G_{1\text{-}2}\cdot i_{z1\text{-}2} - \Delta AL + \Delta H_z = G_{z2}\cdot u_{z2}$

$P_z < P_v$ の場合

予燃焼室　$G_{v1}\cdot u_{v1} - \Delta G_{1\text{-}2}\cdot i_{v1\text{-}2} + \Delta H_v = G_{v2}\cdot u_{v2}$

主燃焼室　$G_{z1}\cdot u_{z1} + \Delta G_{1\text{-}2}\cdot i_{v1\text{-}2} - \Delta AL + \Delta H_z = G_{z2}\cdot u_{z2}$

ここに，u：内部エネルギ，i：エンタルピ，G：作動ガス量，$\Delta G_{1\text{-}2}$：1-2間に移動した作動ガスの量，ΔL：外部になす仕事，ΔH：燃焼により発生した熱量である。

両室間の作動ガスの移動量は，両室間の圧力比が一般に臨界圧力比以内にあるので，たとえば，$P_z > P_v$ の場合に対して

$$\frac{dG}{d\alpha} = \frac{\mu f}{6n}\frac{1}{\sqrt{R}}\sqrt{2g\frac{k}{k-1}}\sqrt{\left(\frac{P_v}{P_z}\right)^{\frac{2}{k*}} - \left(\frac{P_v}{P_z}\right)^{\frac{k*+1}{k*}}}$$

従って，T_z の値に対して瞬間流量 $dG/d\alpha$ を容易に求めることができる。

計算の順序としては，まず燃焼開始前の両室内作動ガス温度を仮定し，つぎに，求めよう

```
381216
3
1330.9 255. 70. 0.03 0.5035
14.95 36.4 0.000043 0.92
0.863 10330. 0.8665 0.1335
11.3 9.1 760.7 7.567 24.7 5200. 222.7 99.2 3.93 1.32 1.32
33 11 74 19
2.
-11. -36.4 33.2 -10. 37.2 34.5 -8. 38.2 39.1 -6. 44.0 49.3 -4.
50.6 56.8 -2. 56.7 60.4 0. 60.2 62.6 2. 62.3 64.7 4. 63.0 65.3 6. 62.8 65.5
8. 62.1 65.0 10. 60.7 63.7 12. 58.5 61.6 14. 55.7 59. 16. 52.5 56.
18. 48.9 52.9 20. 45. 49.5 22. 41.6 45.9 24. 38.5 42.5 26. 35.2 39.4
28. 32.2 34. 30. 29.5 33. 34. 24.7 27.8 38. 20.9 23.2 42. 17.8 19.7
46. 15.2 16.7 50. 13. 14.3 54. 11.3 12.2 58. 10. 10.8 62. 8.8 9.1
65. 7.7 8. 70. 6.9 7. 74. 6.2 6.3
```

```
  # THE COMBUSTION PROGRESS OF PRE-CHAMBER DIESEL, T.MURAYAMA
    DIMENSION CYL(115),DCYL(115),ANGL(100),PZ(100)
    ARRAY PM(100),PV(100),CYC(100),TAZ(100),TAV(100),PRAT(100),PRATC(100)
    ARRAY DGA(100),AD2Z(3,6),AH2O(3,6),ANL(3,6),AO2(3,6),AIR(3,6),ACG(3,6)
    ARRAY DAZ(100),DAV(100),DGZ(100),DCGV(100),DMA(100),DNGC(100),ALA(100)
    ARRAY HAZ(100),HAV(100),HGZ(100),HCGV(100),GAZ(100),GAV(100),DHD(100)
    ARRAY HZC(100),HV(100),TCGZ(100),TCGV(100),HE(100),TZ(100),TV(100)
    READ 2,((AD2Z(K,L),L=1,6),K=1,3)
    READ 2,((AH2O(K,L),L=1,6),K=1,3)
    READ 2,((ANL(K,L),L=1,6),K=1,3)
    READ 2,((AO2(K,L),L=1,6),K=1,3)
    READ 2,((AIR(K,L),L=1,6),K=1,3)


2000 TYPE 1000,
1000 FORMAT(63HTHE COMBUSTION PROGRESS OF PRE-CHAMBER DIESEL,64.0908,T.MURAYAMA/
    READ 1001,K1,K2
1001 FORMAT(I7,I3)
    TYPE 1002,K1,K2
1002 FORMAT(12HDATE OF TEST,I7,3X,6HTEST NO.,I3/)
    READ 1,VS,ACL,R,DH,ASM,E,EV,DC,UC
    READ 1,SPW,HU,WC,WH
    READ 1,TD,TV,PAIR,PV,DP
    READ 1,REV,DUR,VFUEL,VKC,AK,POL2
    READ 1003,IN,IS,IE,IC

    PAUSE 1
4000READ 1,DTA
1003 FORMAT(4I4)
    READ 8001,(ANGL(I),PZ(I),PV(I),I=1,IN)
8001 FORMAT(F5.2,2F7.2)
    TYPE 1004,
1004 FORMAT(8X,2HTD,8X,2HTV,6X,4HPAIR,5X,2HPV)
    TYPE 1005,TD,TV,PAIR,PV
1005 FORMAT(4F10.2)
    TYPE 1006,

    RPM=REV*60./DUR
    BPS=1.3963E-3*VKC*ARM*RPM
    SFC=3600./DUR*VFUEL/BPS*SPW
    SFCH=SFC*HU/1000.
    SWAIR=0.0017*PAIR/(1.+0.00367*TD)*(1.-0.378*PV/PAIR)
    GAIR=0.7853*E*DN.2*SQRT(19.6153*SWAIR*DP)
    RGAIR=2.*GAIR/REV*DUR*(1.+1.0/(2.0*E))
    OMIN=WC/12.011+WH/4.032
    RAMDA=7.25*GAIR/OMIN*DUR/SPW/VFUEL
    VCC=WC/12.011*VH/2.016*(RAMDA/0.21-1.0)*OMIN
    VCO2=WC/12.011/VCC
    VH2O=WH/2.016/VCC
    VNL=3.7619*RAMDA*OMIN/VCC
    VO2=(RAMDA-1.0)*OMIN/VCC
    DELTA=0.21/RAMDA*VCC/OMIN
    GCC=RGAIR*SPW*VFUEL/300./REV


1006 FORMAT(9X,1HE,8X,2HEV,7X,3HRPM,7X,3HBPS)
    TYPE 1007,E,EV,RPM,BPS
1007 FORMAT(2F10.2,F10.1,F10.2)
    TYPE 1008,
1008 FORMAT(6X,2HHU,7X,3HSFC,6X,4HSFCH,6X,4HGAIR,5X,5HRAMDA,5X,5HDELTA)
    TYPE 1009,HU,SFC,SFCH,GAIR,RAMDA,DELTA
1009 FORMAT(F10.1,2F10.2,F10.4,F10.2,F10.3/)

    DO 10 I=1,IN
    ANGLR=1.7453E-2*ANGL(I)
    X=R*(1.-COS(F(ANGLR))+ACL*(1.-SQRTF(1.-(R/ACL*SINF(ANGLR))**2))
    CYLV(I)=(1.+(E-1.)*X/2./R)*VS
    CYVC(I)=CYLV(I)-EV
    IF(I-1) 5,5,6
 5  DCYVL(I)=0.
    GO TO 7
 6  DCYVL(I)=LOGF(CYLV(I-1)/CYLV(I))
 7  PM(I)=(PZ(I)*CYVC(I)+PV(I)*EV)/CYLV(I)
    PRAT(I)=PV(I)/PZ(I)
 10 PRATC(I)=1./PRAT(I)
    I=1
    ALPHA=(PV(1)/PZ(1))**((POL2-1.)/POL2)
    TAZ(1)=(PZ(1)*CYVC(1)+PV(1)*EV/ALPHA)/29.27/RGAIR/100.
    TAV(1)=ALPHA*TAZ(1)
    GAZ(1)=PZ(1)*CYVC(1)/29.27/TAZ(1)/100.
    GAV(1)=RGAIR-GAZ(1)
    C=(VC/6.+DC/RPM*SQRTF(19.6/29.27*AK/(AK-1.)))*10000.
```

```
    IF(PZ(I)-PV(I)) 13,12,12
12  COEFH=PRAT(I)**(2./POL2)-PRAT(I)**((POL2+1.)/POL2)
    DGA(I)=C*PZ(I)*SQRTF(COEFH/TAZ(I))
    GO TO 3000
13  COEFH=PRATC(I)**(2./POL2)-PRATC(I)**((POL2+1.)/POL2)
    DGA(I)=-1.*C*PV(I)*SQRTF(COEFH/TAV(I))
3000DO 50 I=2,IN
    POL1=LOGF(PM(I)/PM(I-1))/DCYVL(I)
    COEFA=(POL1-1.)/POL1
    IF(PZ(I)-PV(I)) 15,14,14
14  TAZT=TAZ(I-1)*(PZ(I)/PZ(I-1))**COEFA
    COEFH=PRAT(I)**(2./POL2)-PRAT(I)**((POL2+1.)/POL2)
140 DGA(I)=C*PZ(I)*SQRTF(COEFH/TAZT)
    GO TO 16
15  TAVT=TAV(I-1)*(PV(I)/PV(I-1))**COEFA
    COEFH=PRATC(I)**(2./POL2)-PRATC(I)**((POL2+1.)/POL2)
150 DGA(I)=-1.*C*PV(I)*SQRTF(COEFH/TAVT)


16  DGAM=(DGA(I)+DGA(I-1))*(ANGL(I)-ANGL(I-1))/2.
    GAZ(I)=GAZ(I-1)-DGAM
    GAV(I)=GAV(I-1)+DGAM
    IF(PZ(I)-PV(I))18,17,17
17  TAZ(I)=PZ(I)/GAZ(I)*CYVC(I)/29.27/100.
    IF(ABSF(TAZ(I)-TAZT)-DTA)21,21,20
20  TAZT=(TAZ(I)+TAZT)/2.
    GO TO 140
21  TAZ(I)=(TAZ(I)+TAZT)/2.
    TAV(I)=PV(I)/GAV(I)*EV/29.27/100.
    GO TO 50
15  TAV(I)=PV(I)/GAV(I)*EV/29.27/100.
    IF(ABSF(TAV(I)-TAVT)-DTA)23,23,22
22  TAVI=(TAV(I)+TAVT)/2.
    GO TO 150
23  TAV(I)=(TAV(I)+TAVT)/2.
    TAZ(I)=PZ(I)/GAZ(I)*CYVC(I)/29.27/100.
50  CONTINUE


    J=1
3001DO 107 I=1,IN
    GO TO (700,701),J
700 TA=TAZ(I)
    GO TO 100
701 TA=TAV(I)
    GO TO 100
100 IF(TA-1000.) 102,101,101
101 IF(TA-2000.) 103,104,104
102 K=1
    GO TO 105
103 K=2
    GO TO 105
104 K=3
105 HA=0.
    DO 106 L=1,6
106 HA=HA+AIR(K,L)*TA**L
    GO TO (800,801),J
800 HAZ(I)=HA
    GO TO 107
801 HAV(I)=HA
    GO TO 107
107 CONTINUE

    J=J+1
    IF(J-2) 3001,3001,3003
3003M=1
3004DO 207 I=1,IN
    GO TO (702,703),M
702 TCGZ(I)=TAZ(I)/DELTA
    TCG=TCGZ(I)
    GO TO 300
703 TCGV(I)=TAV(I)/DELTA
    TCG=TCGV(I)
    GO TO 300
300 IF(TCG-1000.) 202,201,201
201 IF(TCG-2000.) 203,204,204
202 K=1
    GO TO 205
203 K=2
    GO TO 205
204 K=3
205 HCG=0.
    DO 206 L=1,6
    ACG(K,L)=AD2Z(K,L)*VCO2+AH2O(K,L)*VH2O+ANL(K,L)*VNL+AO2(K,L)*VO2
206 HCG=HCG+ACG(K,L)*TCG**L

    UCG=DELTA*UCC
    GO TO (802,803),M
802 UCGZ(I)=UCG
    GO TO 207
803 UCGV(I)=UCG
    GO TO 207
207 CONTINUE
    M=M+1
    IF(ML-2) 3004,3004,3002
```

第3図 計 算 の プ ロ グ ラ ム

```
3002 GO 116 I=1,IN
     IF(PX(I)-PV(I)) 114,200,115
200  ENA(I)=0
     ENG(I)=0
     GO TO 116
114  ENA(I)=HAV(I)*1.9865*TAV(I)
     ENG(I)=HGV(I)*1.9865*TAV(I)/DELTA
     GO TO 116
115  ENA(I)=HAZ(I)*1.9865*TAZ(I)
     ENG(I)=HGZ(I)*1.9865*TAZ(I)/DELTA
116  CONTINUE
     I=1
     ALA(I)=0.
     HAZ(I)=0.
     HAV(I)=0.
     HGGZ(I)=0.
     HGGV(I)=0.
     DO 1116 I=2,IN
     J=3665/RGAIR
     P0L=1.LOOE(PX(I)/PP(I-1))/DGYVL(I)
     ALA(I)=6.7B706E-4/(POL-1.)*(PM(I-1)*CYLV(I-1)-PM(I)*CYLV(I))/RGAIR

     HAZ(I)=HAZ(I-1)+(GAZ(I)*HAZ(I)-GAZ(I-1)*HAZ(I-1)-DGA(I)*ENA(I)+DGA(I-1)*
*ENA(I-1))/RGAIR+ALA(I)
     HAV(I)=HAV(I-1)+(GAV(I)*HAV(I)-GAV(I-1)*HAV(I-1)+DGA(I)*ENA(I)-DGA(I-1)*
*ENA(I-1))/RGAIR
     HGGZ(I)=HGGZ(I-1)+(GAZ(I)*HGGZ(I)-GAZ(I-1)*HGGZ(I-1)-DGA(I)*ENGG(I)+DGA(I-1)*
*ENGG(I-1))/RGAIR+ALA(I)
1116 HGGV(I)=HGGV(I-1)+(GAV(I)*HGGV(I)-GAV(I-1)*HGGV(I-1)+DGA(I)*ENGG(I)+
*DGA(I-1)*ENGG(I-1))/RGAIR
60   HGGZR=HGGZ(1)
     DO 62 I=2,IN
     IF(HGGZR-HGGZ(I)) 61,62,62
61   HGGZR=HGGZ(I)
62   CONTINUE
     DO 65 I=1,IN
63   HZ(I)=HGGZR+HAZ(I)/(HGGZR-HGGZ(I)+HAZ(I))
70   HGGVR=HGGV(1)
     DO 72 I=2,IN
     IF(HGGVR-HGGV(I)) 71,72,72
71   HGGVR=HGGV(I)
72   CONTINUE
     DO 73 I=1,IN
73   HV(I)=HGVR+HAV(I)/(HGGVR-HGGV(I)+HAV(I))

     DO 74 I=1,IN
74   HK(I)=HZ(I)+HV(I)
     HMAX=HK(1)
     MI=1
     DO 401 I=2,IN
     IF(HMAX-HK(I)) 400,401,401
400  HMAX=HK(I)
     MI=I
401  CONTINUE
411  HMIN=HK(1)
     LI=1
     DO 403 I=2,IN
     IF(HK(I)-HMIN) 402,403,403
402  HMIN=HK(I)
     LI=I
403  CONTINUE
     B=HMAX-HMIN
     IF(LI-1) 419,419,420
419  LI=LI+1
420  DO 425 I=LI,MI
     DH=HK(I)-HK(I-1)
     AM1=-1./(V5*(1.+1./(E-1.))/CYLV(1))**0.5
     E=1.-1./E;0.5
425  DHDK(I)=DH*AVG
     DH0(1)=0.0
     SUM=0.0

     DO 428 I=LI,MI
424  SUM=SUM+DHK(I)
     ZGLH=SUM/B
     TYPE 8002
8002 FORMAT(/1X,4HANGL,3X,2HPZ,3X,2HPV,7X,2HHZ,6X,2HHV,7X,1HH,6X,3HTAZ,5X,3HTAV,8X
*,3HDGA)
     DO 8005 I=1,IN
     TANGL=ANGL(I)
8005 TYPE 8004,TANGL,PX(I),PV(I),HZ(I),HV(I),H(I),TAZ(I),TAV(I),DGA(I)
8004 FORMAT(1X,2F5.1,F8.1,F8.1,F5.1,F8.1,F9.1,E11.4)
8008 FORMAT(/6X,4HHMAX,6X,4HHMIN,9X,1HB,8X,4HZGLH/)
     TYPE 8006,HMAX,HMIN,B,ZGLH
8006 FORMAT(4E13.5)
     TYPE 8007
8007 FORMAT(//////////////////////)
50   PAUSE
     GO TO 2000
     END
```

```
5.10434E0 -4.77049E-3  3.37568E-5 -5.48073E-8  4.06986E-11  1.16605E-14
4.52265E0  3.91808E-3  1.42451E-5 -2.52249E-8  1.07869E-12 -1.19890E-16
7.71304E0 -8.71389E-4  2.96787E-6 -1.54915E-9  3.44807E-13 -2.90944E-17

5.06572E0  1.19586E-4 -1.92607E-6  6.81382E-9 -6.98482E-12  2.17304E-15
5.67823E0 -3.20048E-4  1.81075E-6 -9.56985E-10  3.65457E-13 -3.54489E-17
6.84020E0 -2.53694E-3  3.03950E-6 -1.52268E-9  2.28095E-13 -1.54408E-17

4.88472E0  5.81574E-4 -2.58460E-6  4.80653E-9 -3.42786E-12  8.67639E-16
6.07774E0 -4.47452E-3  6.70193E-6 -4.00155E-9  1.24095E-12 -1.49132E-16
4.51770E0  4.77046E-4  3.90187E-7 -2.64417E-10  7.23804E-14 -6.78285E-18

4.97020E0  1.67790E-4 -2.33894E-6  6.32307E-9 -8.99301E-12  2.67270E-15
5.14401E0 -1.16568E-3  1.20691E-6 -2.56342E-9  7.79118E-13 -8.84778E-17
5.83174E0 -1.19582E-3  1.87221E-6 -9.43509E-10  2.15719E-13 -1.85896E-17

4.91784E0  4.69170E-4 -2.42873E-6  5.59302E-9 -6.28685E-12  1.28116E-15
5.92318E0 -1.67432E-3  2.04231E-6 -1.75037E-9  9.79165E-13 -3.02855E-17
5.04867E0 -2.01950E-3  2.56058E-6 -1.05349E-9  2.20064E-13 -1.78514E-17
```

```
THE COMBUSTION PROGRESS OF DIESEL ENGINE ,TANIYAMA

DATE OF TEST 640606   TEST NO. 9

      TD          PI          PAIR          PV
    30.90       17.40       756.60       17.00
                  API          SPS
    16.05      1400.0          5.00
      WI          SFC         GAIR        RANDA        DELTA
 10600.0       387.01       0.0159          0.85       1.071

ANGL     P          B        CYLV        PCL         AL         UA         HGT         TA         TGT         HA         HGT

  -8  37.7        0.0        91.6      0.00.        0.0     4276.      4420.       831.       806.        0.       146.
  -6  40.8      -21.6        85.5       1.49      -11.6     4571.      4930.       848.       823.      -20.       125.
  -4  42.0      -40.7        83.6       1.19      -21.1     4301.      4593.       852.       826.      -38.       110.
  -2  41.0        0.1        85.6       0.98        0.1     4395.      4582.       852.       827.        0.       131.
   0  38.4      144.7        90.4       0.94      128.2     4415.      4566.       856.       830.      141.       193.
   2  36.4      604.7       101.9       0.91      184.6     4677.      4741.       901.       875.      588.       792.
   4  34.9     2261.2       116.1      -0.70      261.8     5001.      5239.       956.       928.     2173.      2906.
   6  34.0     4255.6       134.1      -0.13      357.6     7361.      7818.      1370.      1329.     4051.      4340.
   8  33.8     5413.2       157.3       0.23      434.8     8138.      8594.      1471.      1427.     5092.      5469.
  10  33.8     5813.6       181.4       0.53      471.6     8562.      9041.      1550.      1503.     5455.      5807.
  12  34.4     5813.6       210.0       1.28      417.6     7684.      8013.      1389.      1357.     5495.      5834.
  14  35.6     5813.6       244.6       1.70      384.7     7330.      7625.      1341.      1301.     5316.      5623.
  16  37.5     5784.0       286.6       1.16      334.1     7139.      7456.      1343.      1273.     5089.      5385.
  18  40.6     6025.1       316.1       1.27      335.3     6867.      7148.      1284.      1220.     5242.      5523.
  20  44.2     6020.8       359.9       1.51      299.1     6585.      6850.      1232.      1165.     5058.      5320.
  22  48.2     5976.8       399.8       1.36      266.9     6283.      6541.      1174.      1110.     4850.      5100.
  24  52.6     5951.7       438.5       1.34      240.1     6042.      6277.      1133.      1068.     4719.      4954.
  26  57.2     5876.0       474.7       1.05      219.6     5791.      5976.      1078.      1019.     4543.      4763.
  28  61.8     5808.8       511.0       1.39      195.6     5523.      5730.      1046.      1015.     4609.      4816.
  30  66.4     5773.7       548.3       1.38      174.3     5325.      5521.      1012.       981.     4385.      4591.
  32  71.2     5698.6       626.1       1.88      150.4     4923.      5099.       944.       916.     4227.      4413.
  34  75.7     5781.6       678.2       1.48      126.1     4648.      5041.       934.       906.     4020.      4204.
  36  80.1     5469.6       728.5       1.61      125.3     4644.      4806.       896.       869.     3925.      4084.
  38  84.5     5258.5       770.1       1.93      110.6     4341.      4488.       843.       817.     3729.      3877.
  40  89.1     5101.8       817.3       1.86       98.0     4163.      4323.       812.       730.     3670.      3816.
  42  93.7     5056.0       868.7       1.86       87.8     3927.      4103.       777.       734.     3496.      3676.
  44  98.4     4985.6       902.1       1.65       77.8     3811.      3994.       751.       719.     3483.      3606.
 100  5.2      5000.0       953.3       1.82       70.4     3777.      3898.       742.       718.     3480.      3620.

     HMAX       HMIN          B          ZGLH
 6.02314E03 -4.07281E01  6.06387E03  5.79656E-01
```

第3図　つ　づ　き

とする第2点に対し流出する側（高圧側）の温度を仮定して，2点間の作動ガスの移動量 $\Delta G_{z1\text{-}2}$（あるいは $\Delta G_{v1\text{-}2}$）を求め，それを差引けば，第2点における作動ガス量，G_{z2}（あるいは G_{v2}）が決まり，これに対して，完全ガス方程式から T_{z2}（あるいは T_{v2}）が計算できる。この計算値が前の仮定と異なるときは，ふたたびこの計算値を仮定して計算を繰返す。

このような計算を逐次進めていくことによって，各燃焼室における作動ガス量，および，温度の変化が解れば，前記のエネルギ式に従って燃焼量の計算を行なうことが出来る。

なお，計算に使用した比熱値は H. Kühl の各種半完全気体の平均比熱に関する数表を，最小自乗法を用いて温度の5次式に近似させ，その係数をプログラムに読み込ませて使用した。また，このプログラムでは，燃焼の等容度

$$\eta_{gl} = \frac{1}{H_v}\int \frac{dH_v}{d\alpha}\,\eta_{gl\alpha}\,d\alpha$$

も同時に求められるようにした。

4. 実験結果および考察

4.1 無鉛ガソリンによる運転結果，および軽油の場合との比較

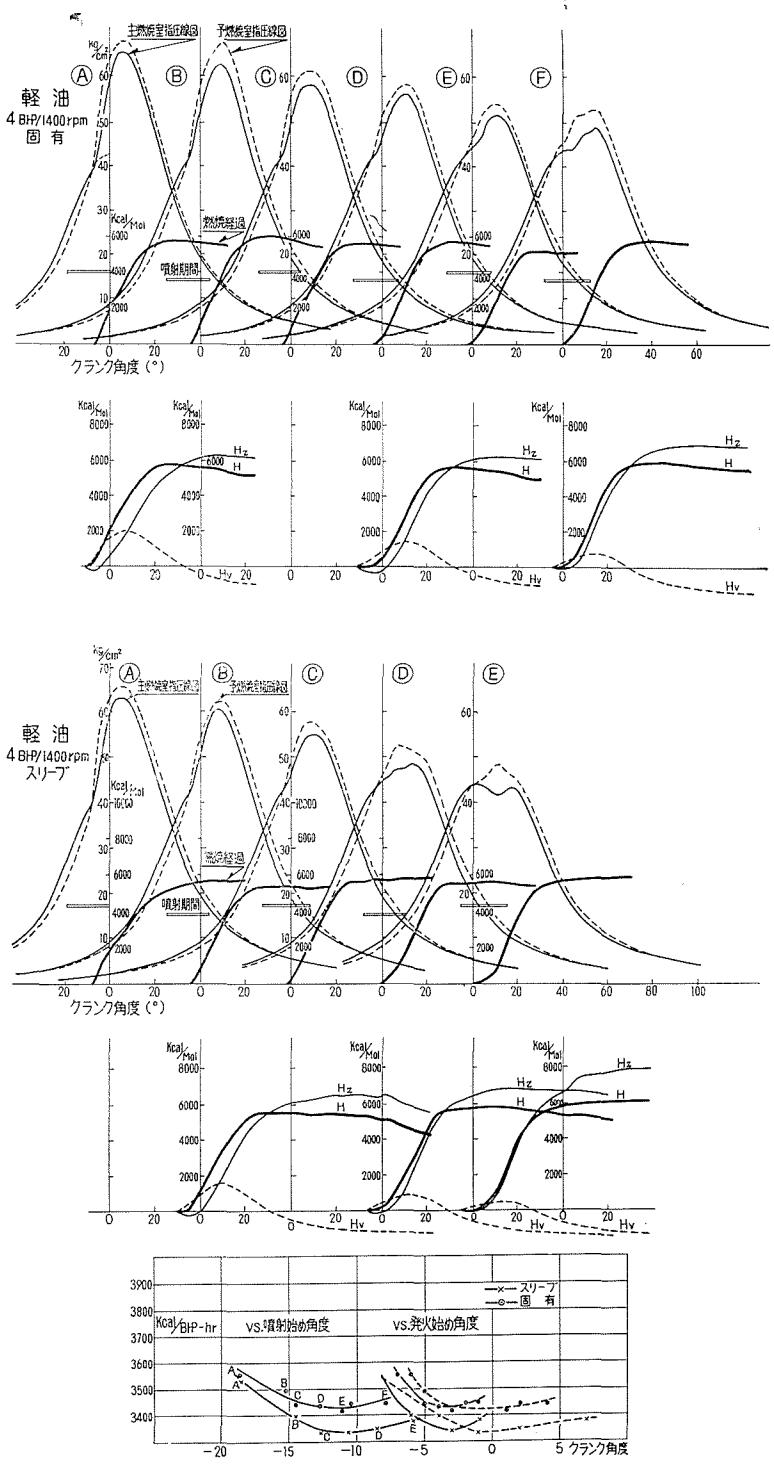
第4～7図に，軽油と無鉛ガソリンについて，4/10負荷，および，全負荷で運転した場合の，指圧線図を示す。図は，それぞれ，噴射時期の早い方から遅い方へ順番に配列してある。なお，これらの線図は，機関固有の予燃焼室で運転した場合（以下“固有”と略記する。）および，予燃焼室にスリーブを挿入して運転した場合（以下“スリーブ”と略記する。）を併記して両者を比較出来るように配列してある。

また，図には，主燃焼室および予燃焼室の指圧図，燃焼経過，ならびに，噴射時期を示している。なお，図の最下段に燃料消費率を，噴射時期および主燃焼室の発火時期に対して示している。この場合，図中の符号 A, B, C …… は，それぞれ，指圧図の符号に対応するものである。また，以後単に，“発火時期”と記すものは「主燃焼室の発火時期」を指すものとする。

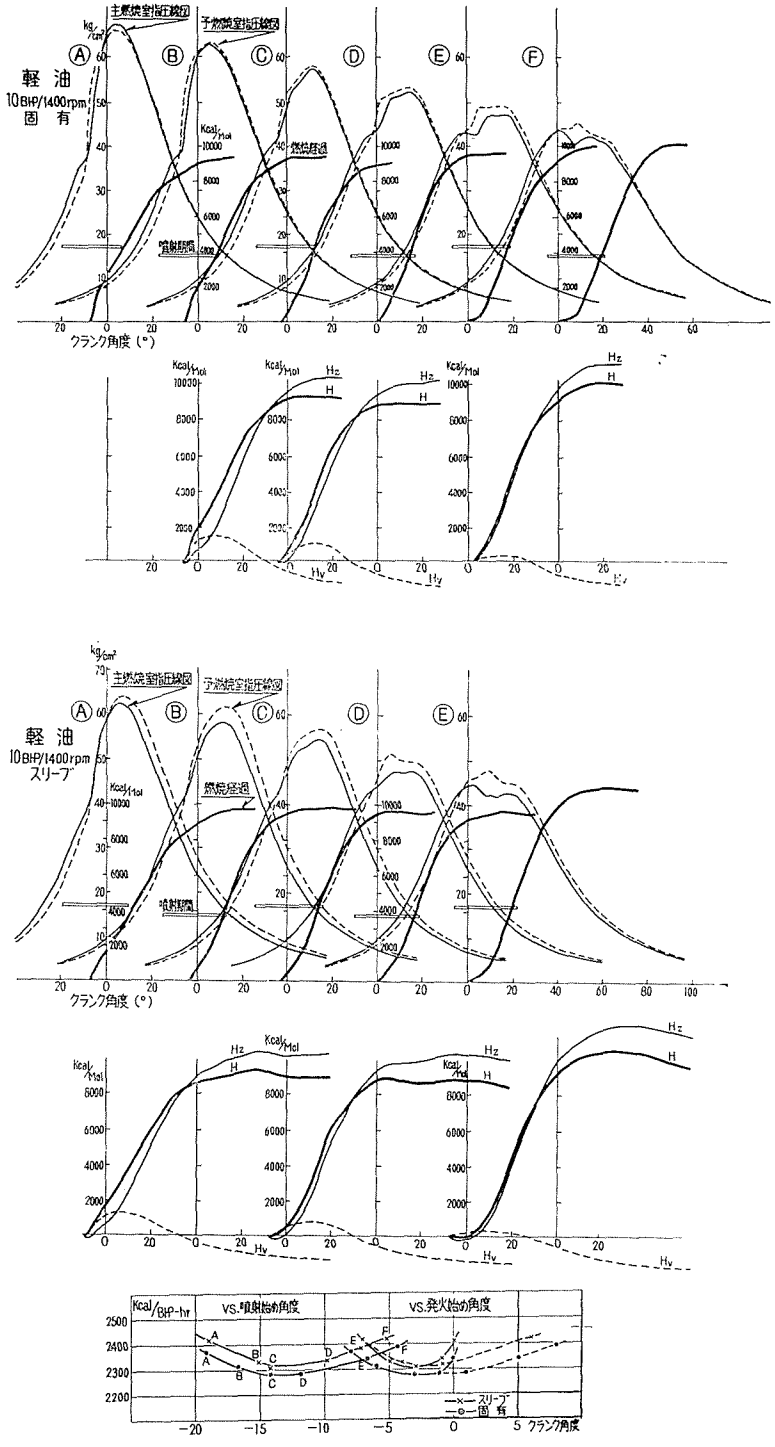
下記各図より明らかな様に，燃料消費率が最小になる発火時期は，軽油，無鉛ガソリンとも，上死点前2～3°であって，これは指圧線図の Ⓒ または Ⓓ に相当する。この場合には，燃焼最高圧力および圧力上昇率は比較的小さな値を示し，無鉛ガソリンで運転した場合でも，これらの値は軽油で運転する場合と比べて大差なく，騒音も左程高くはならずに，安定した運転を行なうことができた。

次に第8図に，同じく軽油および無鉛ガソリンで運転した場合の，4/10負荷および全負荷における，燃料消費率，排気温度，スリーブ温度，発火遅れ，最高圧力，ならびに等容度と燃料噴射時期との関係を示す。

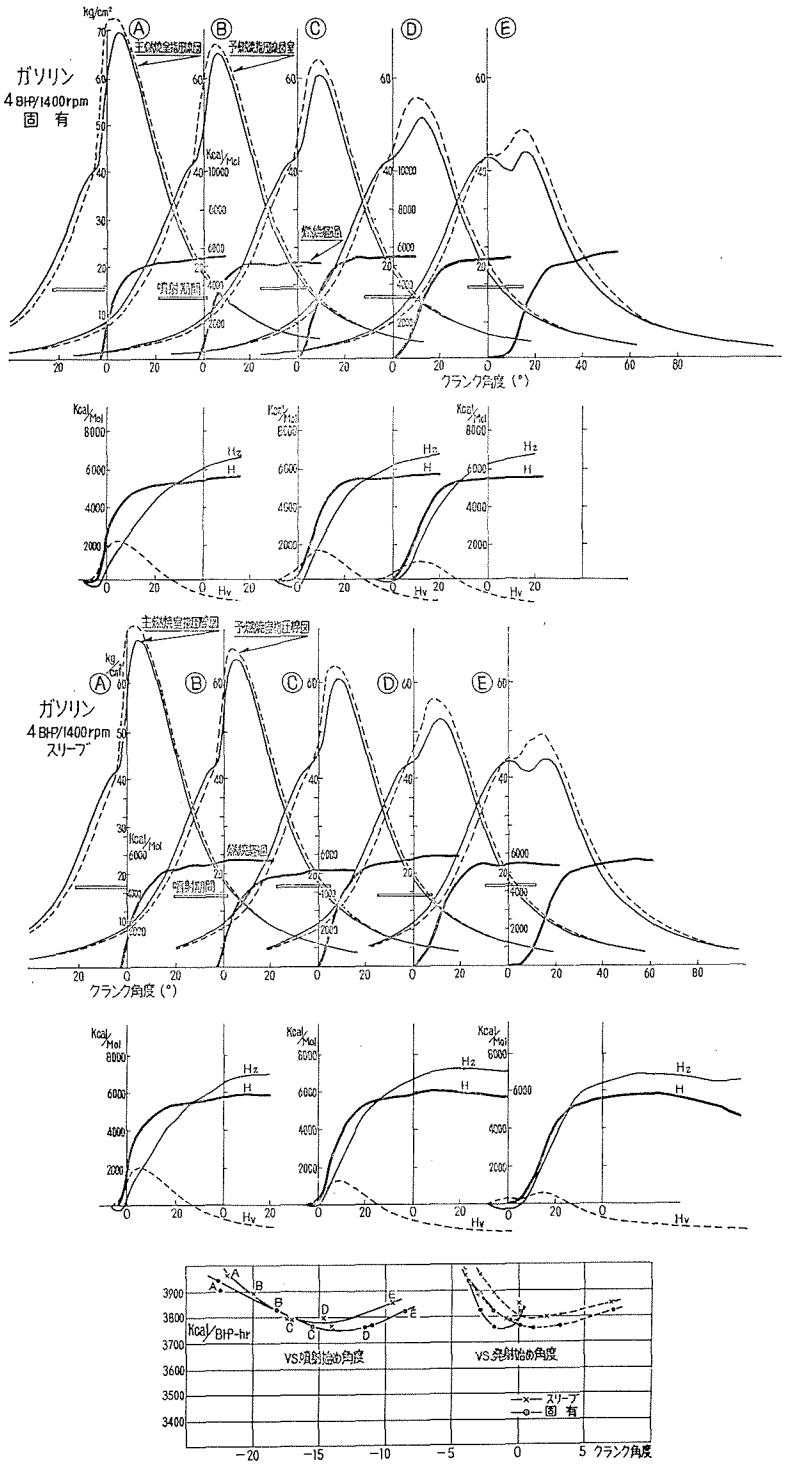
図に示されるように，噴射時期が早くなると，発火遅れ，スリーブ温度，最高圧力は大きくなり，排気温度は低下する。また，無鉛ガソリンの場合には，軽油と比べて着火遅れが大き


軽 油
4 BHP/1400rpm
固 有
主燃焼室指圧線図
予燃焼室指圧線図
Kg/cm²
Kcal/Mol
燃焼経過
噴射期間
クランク角度 (°)
Hz
H
Hv
軽 油
4 BHP/1400rpm
スリーブ
Kcal/BHP-hr
VS.噴射始め角度
VS.発火始め角度
スリーブ
固 有
クランク角度

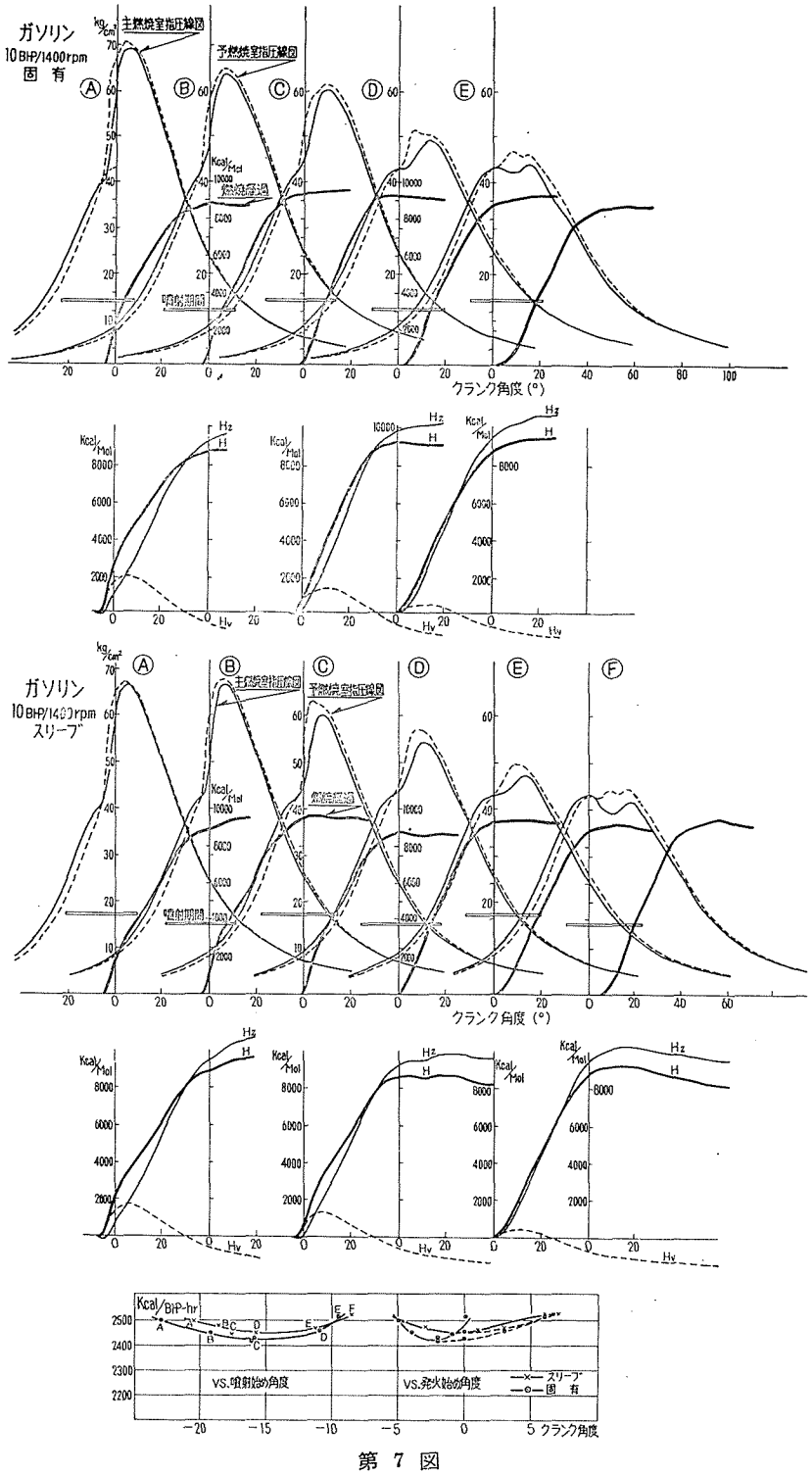
第 4 図


軽油
10BHP/1400rpm
固有
主燃焼室指圧線図
予燃焼室指圧線図
燃焼経過
噴射期間
クランク角度 (°)
軽油
10BHP/1400rpm
スリーブ
Kcal/BHP-hr
VS.噴射始め角度
VS.発火始め角度
—×— スリーブ
—○— 固有
クランク角度

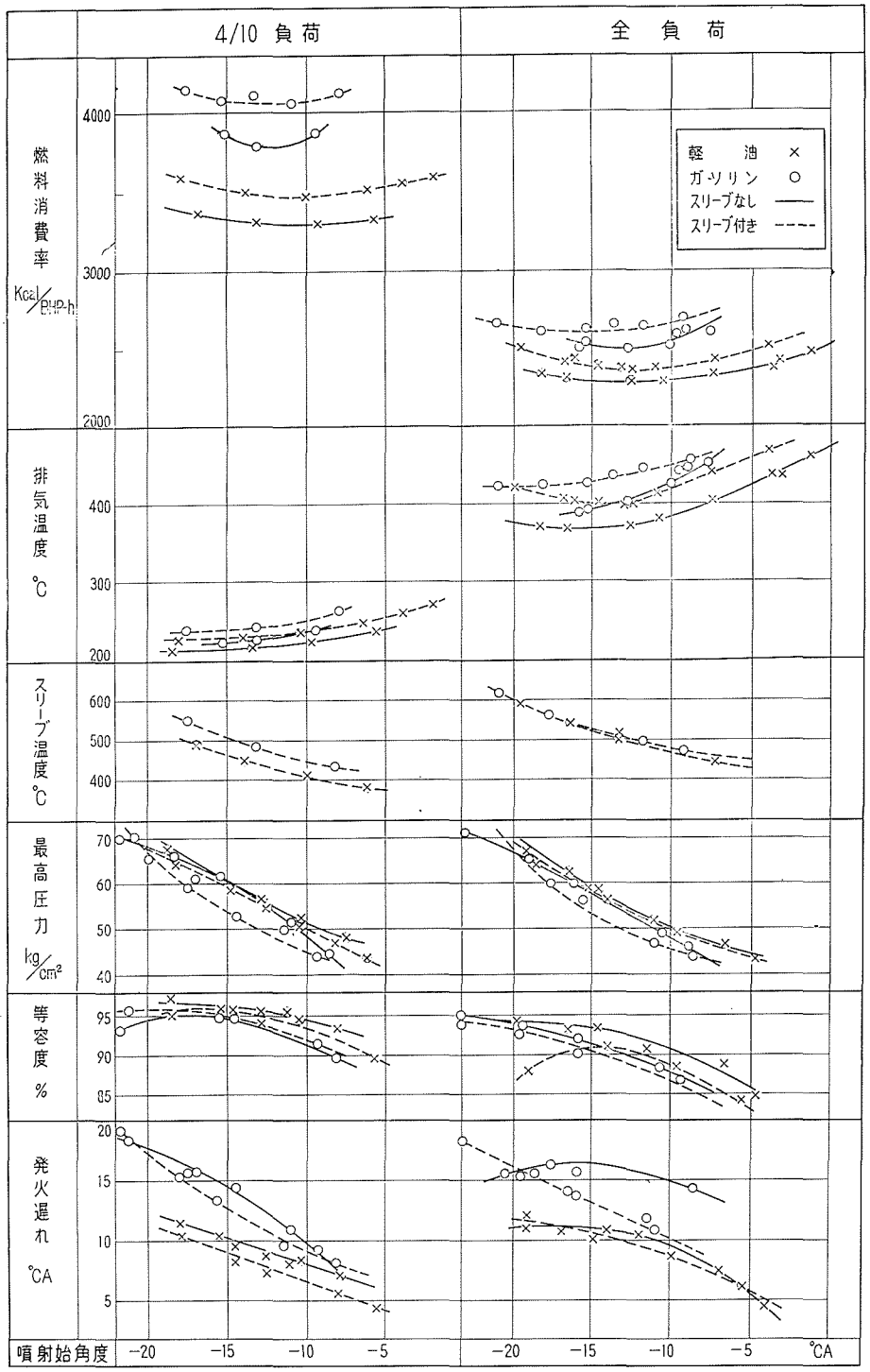
第 5 図


ガソリン
4 BHP/1400rpm
固 有
ガソリン
4 BHP/1400rpm
スリーブ
クランク角度 (°)
VS噴射始め角度
VS発射始め角度
スリーブ
固 有
Kcal/BHP-hr
クランク角度

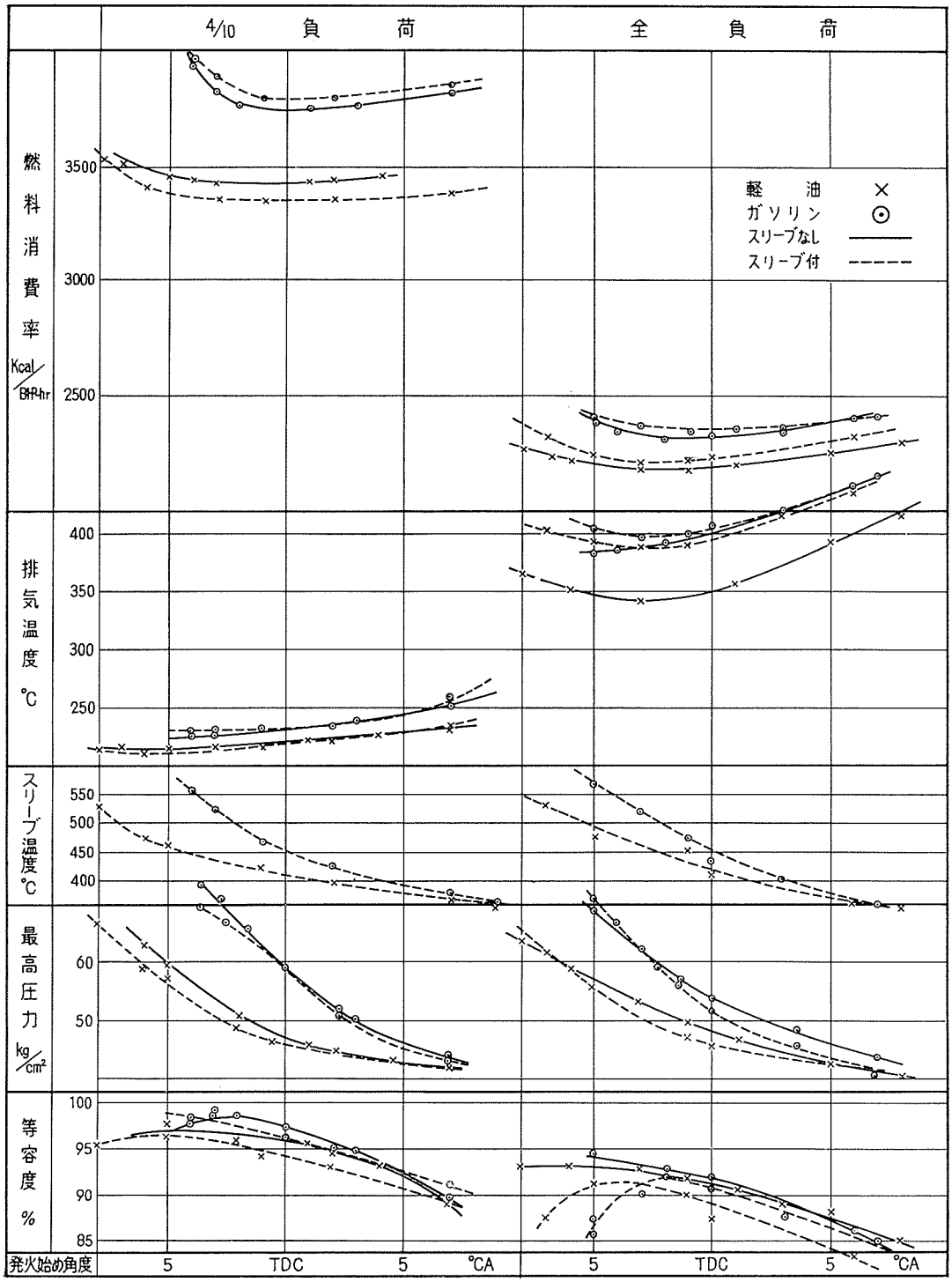
第 6 図


ガソリン
10 BHP/1400rpm
固 有
主燃焼室指圧線図
予燃焼室指圧線図
噴射期間
クランク角度 (°)
ガソリン
10 BHP/1400rpm
スリーブ
主燃焼室指圧線図
予燃焼室指圧線図
噴射期間
クランク角度 (°)
VS.噴射始の角度
VS.発火始の角度
スリーブ
固 有
クランク角度

第 7 図


4/10 負荷
全 負 荷
燃料消費率 Kcal/PS·h
4000
3000
2000
軽 油 ×
ガソリン ○
スリーブなし
スリーブ付き
排気温度 ℃
400
300
200
スリーブ温度 ℃
600
500
400
最高圧力 kg/cm²
70
60
50
40
等容度 %
95
90
85
発火遅れ °CA
20
15
10
5
噴射始角度
−20
−15
−10
−5
°CA

第 8 図


4/10 負 荷
全 負 荷
燃料消費率 Kcal/BHP-hr
3500
3000
2500
軽 油 ×
ガソリン ⊙
スリーブなし
スリーブ付
排気温度 ℃
400
350
300
250
スリーブ温度 ℃
550
500
450
400
最高圧力 kg/cm²
60
50
等容度 %
100
95
90
85
発火始め角度
5 TDC 5 °CA
5 TDC 5 °CA

第 9 図

くなる。

また，第9図は，同じく，燃料消費率，排気温度，最高圧力，および等容度を，発火始め角度に対して示したものである。

図によって，無鉛ガソリンによる運転を軽油で運転した場合と比較すると，次のような結果が得られる。即ち，同一発火時期に対して，無鉛ガソリンの方が

a．最高圧力が高くなる。

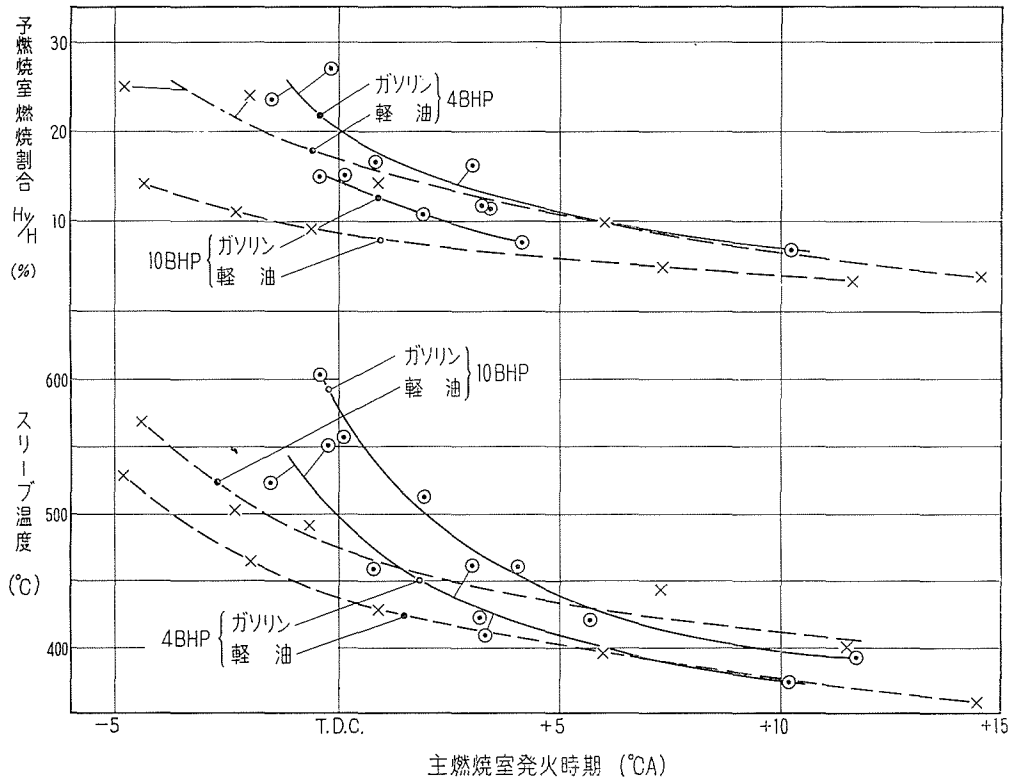
b．燃料消費率および排気温度が増加する。

c．等容度はほぼ等しい。

d．予燃焼室に挿入したスリーブの温度は高くなる（第10図参照）

無鉛ガソリンの場合には，軽油と比べて着火性が悪いために，発火遅れ期間が長くなり，この期間中に形成される混合気の量が多くなって急激な燃焼を行なうために，最高圧力および圧力上昇率が増加するのは当然考えられることである。

次に，スリーブの温度について考えると，第10図の上部に示すように，無鉛ガソリンの場合には，軽油と比べて予燃焼室内での燃焼割合（加熱経過から求めた全発熱量に対する予燃焼室内での発生熱量の比）が大きく，従って，無鉛ガソリンで運軽した場合には，予燃焼室内



第10図　予燃焼室燃焼割合およびスリーブ温度

で燃焼する割合が多いために，スリーブの温度が高くなるものと考えられる。

なお，等容度が最大値を示すのは，噴射時期で −(15〜20°) であるが (第 8 図)，これは発火時期で上死点前 2〜5° に相当する。ここで，等容度最大の発火角度と燃料消費率最小の発火角度とは一致していない (第 9 図)。この場合の等容度は，加熱経過の等容度であるから，熱力学的には指示熱効率と一致するはずである。しかし，噴射時期を進めると最高圧力が増加するから，機械率効が低下すると考えれば，熱効率最大の位置は少し遅れた側に移行すると考えられるが確かな事は分らない。

一方，第 8，9 図に示されるように，無鉛ガソリンと軽油とを比較した場合，等容度はほぼ等しいにも拘らず，特に 4/10 負荷において，無鉛ガソリンで運転した場合には燃料消費率が大幅に増加している。

この原因としては，次のような三つの事柄が考えられる。即ち

a．ガソリンが低粘度であるために，噴射系統の各部からの漏洩が増加する。

b．後燃えの増加。

c．冷却損失の増加。

まず，噴射系統各部からの漏洩について考えると，燃料噴射弁の弁棒からの漏れは，軽油と比べて相当多くなってはいるが，これは回収して燃料消費率の計算には考慮して居る。また燃料噴射ポンプのカム室への漏洩についても調査を行なったが，この部分への漏洩はほとんど無視し得る程度のものであった。そのようなわけで，燃料噴射系統各部からの漏洩が燃料消費率増加の原因になって居るとは考えられない。

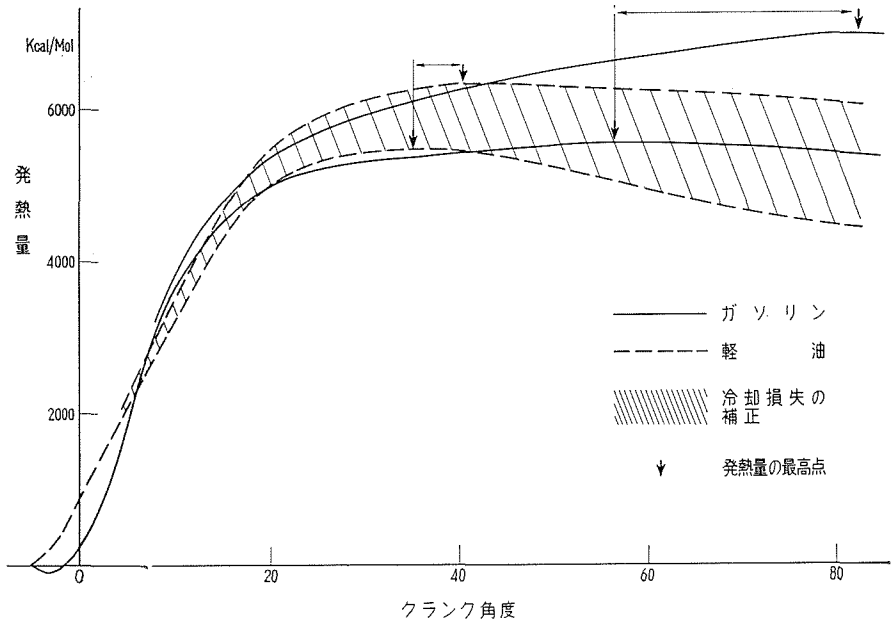
次に，後燃えについてであるが，これを調べるために，無鉛ガソリンおよび軽油で運転した場合の，加熱経過の等容度がほぼ等しい場合をとり，これに対して，供給燃料の発生熱量と加熱量との差が燃焼期間中の冷却損失を表わすことから，概略の補正を行ない燃焼経過を求めた (即ち，加熱経過曲線の燃焼終了後の部分から単位時間当りの冷却損失を求め，燃焼時間中および燃焼後において冷却損失は単位時間当り一定と仮定して 加熱経過曲線を補正した)。その結果は，第 11 図中に太く表示した曲線のようになり，軽油と比べて，無鉛ガソリンで運転した場合には，後燃えが相当大きくなっていることが想像される。

最後に，冷却損失について考える。第 12 図は燃焼期間中の冷却損失を示すものであって，図中 ⊙ 印は無鉛ガソリン，×印は軽油で運転した場合を示す。冷却損失は上述の如くして求め，これを供給燃料の低発熱量との比として示している。

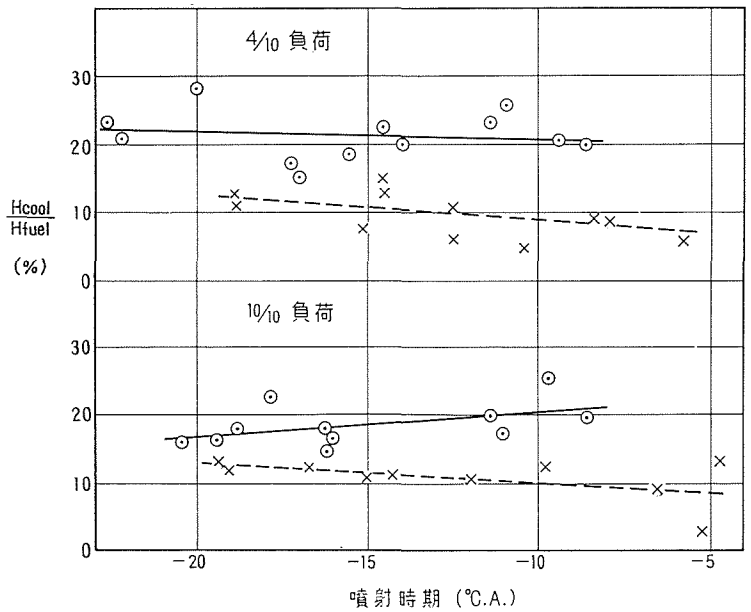
図より明らかなように，軽油と比べて，無鉛ガソリンで運転した場合には冷却損失が大きい。これは無鉛ガソリンの場合には急激な燃焼が行なわれるために，冷却水等への熱伝達が大きくなるためと考えられる。

従って，無鉛ガソリンの場合，軽油で運転した場合に比べて，燃料消費量が増加するのは主として，後燃えおよび冷却損失が増加することによるものと考えられる。

なお，前にも述べたように，本実験においては，予燃焼室壁面温度を高めるために，予燃焼室内に，壁面との接触面積が少ないスリーブを挿入して実験を行なったのであるが，これとスリーブを挿入しない状態とを比較すると，一般に，次のような結論が得られる（第8，9図参照）。



第11図　軽油およびガソリンの燃焼経過



第12図　燃焼期間中の冷却換失

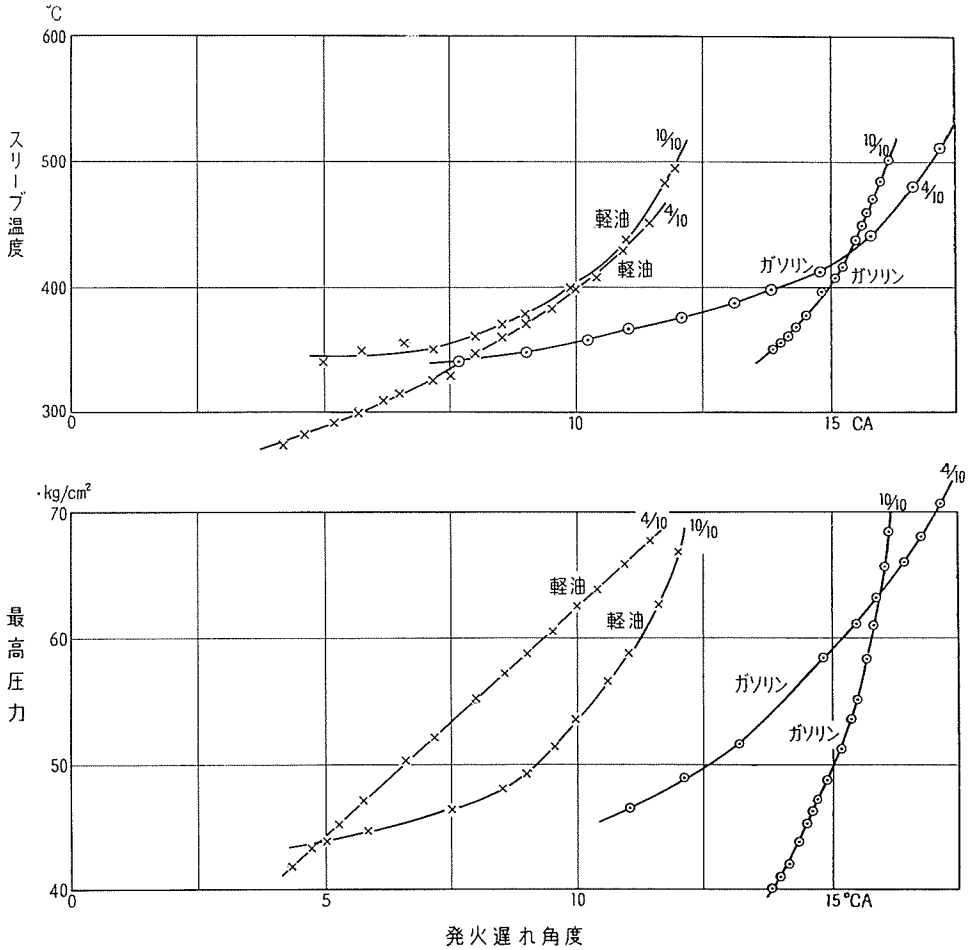
a. 実験を行なった範囲内では“スリーブ”の温度は400～600°Cであり，“固有”の場合の壁温（300～400°Cと推定される）より高くなって居る。

b. 軽油，無鉛ガソリン共に，スリーブの挿入により発火遅れは短くなる。

c. スリーブの挿入により最高圧力は若干小さくなるが，燃料消費率および等容度は若干悪くなる。

即ち，スリーブを挿入することによって，予燃焼室の壁温は上昇しているので，従って，発火遅れは短くなり，燃焼の最高圧力および圧力上昇率が小さくなって，“固有”の場合と比べて静かな運転を行なうことができる。しかし，その反面，スリーブを挿入した場合には，発火遅れが短くなるので，燃焼の準備期間が不足するものと考えられ，燃料消費率および等容度が悪くなっている。

第13図は，同一資料により，最高圧力およびスリーブ温度を発火遅れ角度に対してプロットしたものである。図に示されるように，発火遅れが大きくなるほど，最高圧力およびスリ



第 13 図

ーブ温度は上昇する。なお，この場合発火遅れが大きい程スリーブの温度が上昇するのは，上述のように，予燃焼室内で燃焼する量が多くなるためと思われる。

4.2 自動車用ガソリンによる運転

前にも述べたように，供試機関において無鉛ガソリン（オクタン価 50）を燃料として用いた場合には，全負荷範囲に亘って安定した運転を行なうことが出来た。しかし，これに自動車用ガソリン（オクタン価 87）を使用した場合には，機関が“固有”の状態では継続して安定した運転を行なうことが不可能であった。

この場合に，まず，軽油によって定常運転を行なっておき，燃料を自動車用ガソリンに切換えながら，ブラウン管上の指圧図を観察していると，燃料が軽油からガソリンに切り換るに従って発火時期が次第に遅れ，ノッキングが激しくなり，燃焼の最高圧力が次第に低下して，遂には，燃焼が行なわれなくなって機関が停止してしまうことが分った。

これに対して，予燃焼室にスリーブを挿入した場合には，発火時期が上死点後 10° 位のところに止り，燃焼は多少不安定であるがどうにか継続して燃焼を行なわせることができた。ただし，この場合，発火遅れは，軽油による運転の場合と比較して，クランク角度で約 7° 遅れると云う結果になった（4 PS）。

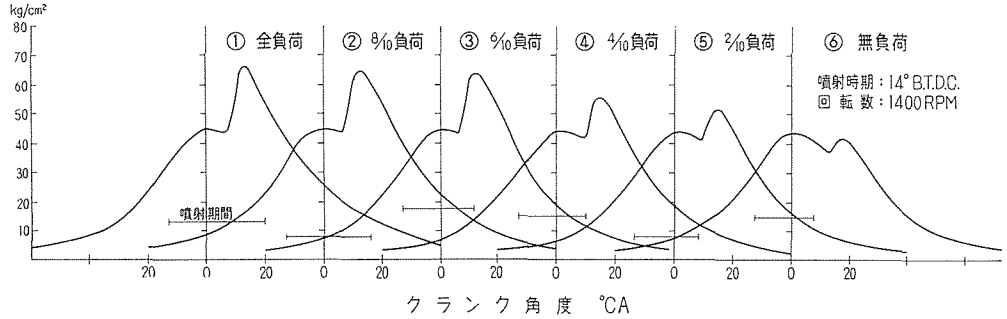
なお“スリーブ”を挿入した場合でも，噴射時期等の運転条件が少し変ると非常に不安定な燃焼状態となり，ノッキング，失火等を起し，発火時期が著しく変動して，連続して安定な運転を行なうことが困難であった。

そこで，次に，圧縮比を従来の 16.95 から 19.05 に上げて運転した結果，どうにか連続して運転を行なうことが可能となった。

第 14 図に自動車用ガソリンにより運転した場合の指圧図の一例を示す。この図は予燃焼室に“スリーブ”を挿入して，圧縮比 19.05 で運転し，噴射時期一定（14° BTDC）で負荷を変えて測定したものである。

また，第 15 図に，この場合の各負荷に対する燃料消費率，スリーブ温度，排気温度，最高圧力変動率（燃焼最高圧力の平均値/同標準偏差）を夫々示す。

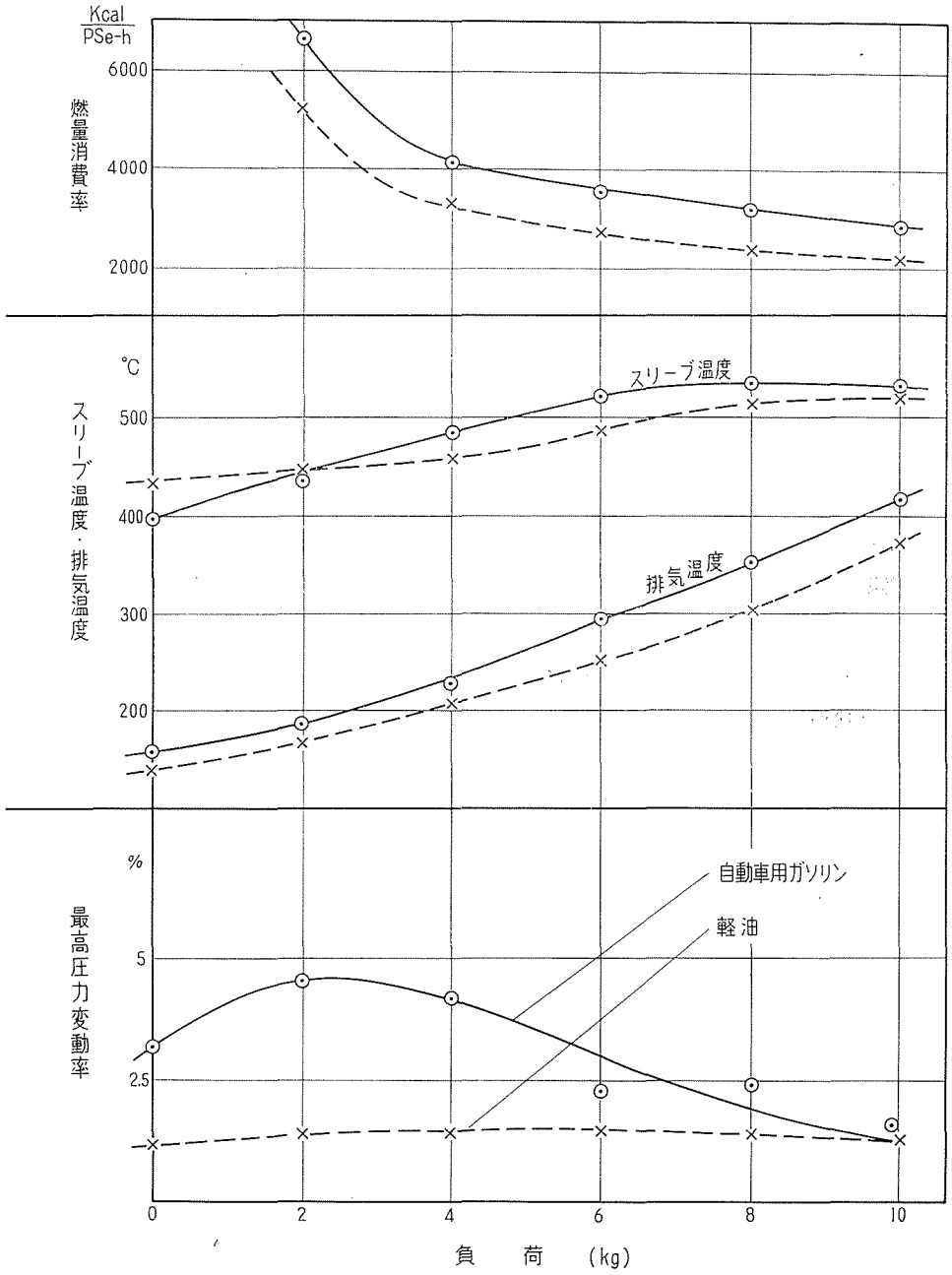
これらの 2 つの図より明らかなように，供試機関において，自動車用ガソリンを使用して



第 14 図 自動車ガソリンの指圧図

運転を行なった場合には，高負荷時には一応許容し得る程度の発火遅れに押えて運転することが出来るにも拘らず，軽負荷になるほど発火遅れが増大して燃焼が不安定になった。

即ち，高負荷時には，噴射時期を適当に選べば，発火時期を上死点後6～8°位までのところにおさえることができ，燃焼は一応安定であったが，軽負荷では発火が上死点後10°以後に



第 15 図

なり，発火がこのように遅れる場合には燃焼は非常に不安定になる。

低セタン価燃料を使用する場合，少なくとも運転を可能にするためには，発火が上死点後10°より遅れぬ程度に機関の諸条件を決定すべきである。

5. 結　　言

本実験により得られた結果を要約すると次の通りである。即ち

1. 無鉛ガソリン程度のセタン価の燃料までならば，ディーゼルエンジンの一般の状態で大体使用することができるが，自動車用ガソリンになると運転不可能になる。

2. 燃料の発火遅れを短縮させる意味で予燃焼室に“スリーブ”を挿入し，壁温を高めたが，この効果は多少発揮され，自動車用ガソリンでも一応運転可能の状態に持ち来すことができたが，その効果は不充分であった。

3. 発火遅れを最小にする噴射時期は1500 r.p.m. 附近の回転数では大体上死点前12～15°位であり，噴射時期をその位置に設定しても，発火を上死点後6～8°の位置より早めることができなかった。発火遅れが非常に大きい燃料を使用する場合でも，発火が上死点後8°位までの間に起れば，燃焼は一応安定で経続運転が可能であるが，発火がそれ以後に起るようになると，燃焼が不安定となり経続運転は不可能になる。

4. 燃料消費が過大になるのは防がねばならないから，少なくとも発火が上死点で起るようにする必要があろう。そうすれば燃焼の不安定は起らない。

5. ガソリンは気化がよいので噴射時期を早くして，大部分が気化した上で発火するようにすることも考えられるが，これは燃焼による圧力上昇が激しくて，ノッキングが激しく実際に使用可能な状態ではない。

6. あ と が き

以上述べて来たように，本実験においては予燃焼室内にスリーブを挿入して予燃焼室壁面温度を高め，更に圧縮比を増加して圧縮端温度を高めることにより，自動車用ガソリンのような着火性の悪い燃料によっても，一応の運転を行なうことができた。しかし，全負荷範囲に亘って安定した運転を行なうためには，この程度の対策では不充分であって，燃焼室の構造についても根本的な改造を加える必要があるものと考えられる。

なお，始動性に関しては，自動車用ガソリンを用いた場合でも，グロープラグを使用することにより常温においては十分に始動出来ることが分った。

一方，燃料噴射系統について述べるならば，ポート型燃料噴射ポンプの特性として，ポンプ・プランジャの return stroke の途中で圧縮室内に真空をつくる時期がある。そして，ガソリンのように気化性の高い燃料では，その時期に燃料が蒸発してポンプの圧縮室内に蒸気となって溜り，或いは，ガソリン中に溶解していた空気が放出されて，vapour lock の原因となる。

本実験において，燃料が灯油までは 70 cm 位のヘッドを与える程度で運転に支障はなかったがガソリンの場合には 2 atg 位の圧力を以て feed する必要があった。吸込行程中に真空をつくらないポンプ型式ならば，この困難は少なくなるものと思う。また，ガソリンの場合は粘度が小さいため，噴射弁のスピンドルガイドからの漏洩が多くなる。本実験の場合には，ポンプ・プランジャからの漏洩はほとんどなかったが，ポンプ・プランジャの潤滑性が悪く，ポンプ本体も暖まりがちであった。要するに，ガソリンで運転する場合には，むしろ，燃料噴射装置に多くの問題があるものと思われる。

本実験を行なうに当っては，熱機関第 2 研究室員諸氏，および，当時の大学院学生，藤村憲司，村岡嘉治両君の熱心な協力を得た。また，計算機のプログラム作成は北大計算センタの助力による所が大きい。ここに付記して深く謝意を表す次第である。

引 用 文 献

1) H. List: Thermodynamik der Verbrennungs Kraftmaschine (1939).
2) T. Kuroiwa: Experimental studies on some combustion problems of diesel engines by the method of analysing indicator diagrams, Memoirs of Faculty of Engr. Hokkaido Univ., vol. 10, No. 3, 1957.