621. 436. 019. 25:662. 612. 3

高速度写真による予燃焼室式ディーゼル機関内燃焼の研究*

(第1報, 予燃焼室内燃焼)

長尾不二夫**, 柿本治利**, 松岡義一***, 中谷 博****

Photographic Study of Combustion in a Pre-Combustion
Type Diesel Engine

(1st Report, Combustion in a Pre-Combustion Chamber)

by Fujio NAGAO, Harutoshi KAKIMOTO, Yoshikazu, MATSUOKA,
and Hiroshi NAKATANI

Air motion as well as mixture formation and flame pattern in the pre-combustion chamber of a Diesel engine were investigated by means of high speed photography through a glass window on an engine in operation. By comparing the photographs with the results of test performed under a similar condition, the following conceptions as to the improvement on the combustion were obtained;

The main bulk of fuel should be transferred into a cylinder with the first blow of ejection so that the combustion in a pre-combustion chamber takes place under lean mixture. This state can be materialized by keeping fuel spray from being blown up towards an injection nozzle so as to concentrate the fuel near the throat. Further, the mixture formation in the chamber is effected to a great extent by an air stream, which flows from the throat and then creates a swirl in the chamber, but an excessive intensity of the swirl brings about the later ejection of fuel, which results soot formation.

1. 目 的

予燃焼室式ディーゼル機関の予・主燃焼室内の燃焼は密接に関連しているので、両室内の燃焼過程を切離して考えられないが、便宜上本報で予燃焼室内の混合気形成と燃焼を取扱い、予燃焼室からのガス噴出と主燃焼室内の燃焼については続報に報告する。

予燃焼室式機関では言うまでもなく噴射燃料の一部を予燃焼室内で燃焼させ、それによって生じた圧力により残余の燃料を主燃焼室へ噴出し、燃焼うず流れにより空気とよく混合させ完全に燃焼させることができ、小さい空気過剰率までよく燃焼する。しかるに普通予燃焼室からシリンダへのガス噴出は発火直後にはほとんど臨界速度に達するが、主燃焼室内の燃焼が起ると圧力差は小さくなり、一時停止し、ピストンによる膨脹により再び始まる。このように主燃焼室への燃料噴出と燃焼が2段に行なわれるため、熱力学的熱効

率が低くなっている⁽¹⁾⁽²⁾。したがって予燃焼室式機関の性能改善には、噴射燃料をできるだけ噴気孔附近に集め、その背後で発火させ、最初の噴流で主燃焼室へ噴出させることが大切であり、この事実は多くの実験結果から明らかにされ、予燃焼室への流入気流、燃料噴射および発火位置などが性能に著しい影響を及ぼすことが述べられている⁽¹⁾⁽³⁾⁽⁴⁾⁽⁵⁾。

ところで予燃焼室における混合気形成と燃焼に関しては、従来より燃焼圧力の測定、燃焼室内ガスの分析などにより研究されてきたが⁽⁶⁾⁽⁷⁾⁽⁸⁾、いまだに不明な点が多い。また予燃焼室の形状・寸法は性能に大きな影響を及ぼすものであるが、各メーカーにおいて多種多様な形状に発展してきたが、それらの間に規則性を見出すことさえむづかしい状態である。したがって新たに機関を製作するたびに数多くの予燃焼室を試作し、適合した形状・寸法を探求求めている⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾⁽¹¹⁾。

本研究は現在用いられている予燃焼室の代表的な形状をもつ耐熱ガラス張りの燃焼室を数種試作し、空気流動、噴霧の混合気形成・燃焼の状態を高速度カメラにより撮影し、また一方試験用機関において相似の条件における性能の比較試験を行ない、両者の結果から

* 昭和34年10月15日 東京秋期講演大会において論文講演として講演, 原稿受付 昭和34年7月25日。

** 正員, 京都大学工学部(京都市左京区吉田本町)。

*** 正員, ヤンマーディーゼル会社。

**** 准員, 京都大学工学部。

予燃焼室の設計方針および適切な燃料噴射方向を見出そうとするものである。

2. 高速度撮影用および試験用機関

2.1 高速度撮影用機関および装置 ループ掃気式二サイクル機関(シリンダ径: 80 mm, 行程: 90 mm, 行程体積: 452 cc)のシリンダヘッドを改造し, 耐熱ガラスを通して予燃焼室内の状態を撮影できるようにした。第 1 図に一例を示すが実際の燃焼室形状にできるだけ近づけるように努めた。圧縮比は 22.6~24.2 (ピストン頂面が排気孔を閉じてから 15.1~16.1), 予燃焼室容積比は全圧縮体積の 53~57% であり, 噴気孔は口金を取換えて孔径・数および方向を変えられるようにした。燃料には発火遅れ短縮のためセタン価 72 のディーゼル油を用いたが, 機関回転数 1 200 rpm にて発火遅れはクランク角度 6~10° で, 実用機関における値とほぼ同程度であった。噴射ポンプはボッシュ形 PE1A50B101 を使用した。噴油量は毎行程 17.5 mg であり, この量はこの機関の全負荷に相当する。また噴射ノズル開口圧は常に 100 kg/cm² に調節した。

撮影には日立製作所 KPC-25 高速度カメラ(最高 2,500 こま/秒)を用い, カメラと反対側窓から適当な

明るさで照明し, 噴霧と炎を同時に撮影できるようにした。上死点の指示はカメラ内に火花間げきを設けフィルム上に感光させた。撮影は, ガラス窓がすすでよごれるのを避けるため, 機関を一定回転でモータリングし, 燃焼室壁・冷却水温度が定常状態になったとき燃料噴射を開始し, その後 20~50 サイクルの間で行なった。

2.2 試験用機関 性能の比較試験には四サイクル水冷単筒立て形ディーゼル機関(ヤンマー ST-95 形機関を試験用に改造, シリンダ径: 95 mm, 行程: 115 mm, 行程体積: 815 cc, 圧縮比: 19, 噴射ポンプ: ボッシュ形 PE1A70B101)を用いた。燃焼室は第 2 図に示すとき 2 種の予燃焼室配置(AおよびBと名付く)のものを用い, 燃料はA重油(比重: 0.86, セタン価: 45)を使用した。

排気煙濃度の測定は Saurer 式排気濃度計によった。これは排気 0.5 l を直径 30 mm のろ紙に通じて, そのろ紙の黒さを比較するもので, ここではろ紙の明るさを 0%, 完全黒色を 100%としその間を等分する尺度によった。

3. 予燃焼室内の混合気形成・燃焼と性能

3.1 予燃焼室内における混合気形成と発火・燃焼 圧縮時流入気流は噴気孔において約 300 m/s の最大速度に達し, 予燃焼室内に複雑な空気流動を引き起す。その流動状況は予燃焼室形状および噴気孔の大きさ・方向により異なり, したがってその気流中へ噴射される燃料の混合気形成・燃焼, ひいては主燃焼室への噴出に影響を及ぼす。そこで一般に複雑な形状をしている予燃焼室内にどのような空気流動が発生し, また気流中へ噴射された燃料がどのような過程を経て混合気を形成して燃焼し, 主燃焼室へ噴出されていくかを調べるのが根本的な問題である。

まず最も簡単な形状における燃焼・噴出の過程につ

第 1 図 高速度写真用シリンダヘッド

第 2 図 試験用機関の燃焼室

いて調べた。円形断面の予燃焼室へ空気は噴気孔から中心に向かって流入し、その流れに逆らって燃料が噴射される(これに近い形状として Daimler Benz OM 312 形機関の予燃焼室がある)。第3図写真1はピントルノズル DN4S1 から噴射した場合の撮影例である。燃料噴射は上死点前 15° から始まり、気流に逆らう噴霧は周縁部から吹き上げられるが、上死点近くになると流入速度が弱まるため、噴霧の先端部は気流に打勝って噴気孔近くに達する。最初の発火は燃焼室中央の噴霧周縁部の一部から起り、次のこま(約1/2000

秒後)では炎はほとんど全噴霧を包んでしまう。直ちに主燃焼室へガス噴出が始まるが、上死点后 5° 近くでは一時噴出が弱まり、その後ピストンの下降につれ燃焼室下部から順次流出する過程は予燃焼室くび部における炎の動きから推察される。この形状の燃焼室では気流は燃焼室上面へ衝突後減衰するため、目立ったうず流れは発生せず、炎の動きはにぶくまた炎は燃焼室全域には広がらない。このように燃焼は燃焼室内で一様には起らないので、燃焼室内特定の場所から燃焼ガスを取出して、その分析結果から燃焼状態を論じても

第3図 高速度燃焼写真

あまり意味がないように思われる。

3.2 流入気流と燃料噴射 予燃焼室への流入気流、噴射ノズル形式および噴射率などにより性能が大きく左右される事実は知られているが、予燃焼室内の気流と混合気形成の関係などは全くわかっていない。そこで第 1 図に示す最も広く用いられている形状の予燃焼室において、いろいろな噴射条件における高速度写真を撮り、同時に試験機関において性能の比較試験を行なった。

噴射ノズルの噴霧角 噴霧角 4° のピントルノズ

ル DN4S1 と 15° の DN15S3 から燃料噴射した場合をそれぞれ写真 2 および 3 (第 3 図) に示す。噴霧孔は $4\text{mm}\phi$ 1 孔と $2.5\text{mm}\phi$ 2 孔から成っている。主噴霧孔からの流入気流は片側の燃焼室側壁にそって上昇し、予燃焼室主部にかなり強いうず流れを生じている。DN4S1 からの噴霧はうず流れにより多少押し流されるが、その先端はくび部に達し、一部は引続く流入気流により再び吹き上げられ、予燃焼室主部で混合気を形成する。噴霧の先端部で発火して後炎は急速に燃焼室全域に広がる。DN15S3 の場合、噴霧はノズルを離

第 4 図 高速度燃焼写真

第 1 表 高速度写真の運転条件

写 真 番 号	1	2	3	4	5	6	7	8	9
噴 射 ノ ズ ル	DN4S1	DN4S1	DN15S3	DN4S1	DN4S1	DN4S1	DN4S1	DN4S1	DL0S63
噴霧孔数-径mm	1-5.7φ	1-4φ, 2-2.5φ	1-4φ, 2-2.5φ	1-5.7φ	1-5.7φ	1-5.7φ	4-2.8φ	4-2.8φ	1-3.8φ, 6-1.8φ
予燃焼室容積比%	54	54	54	54	54	55	55	55	57
機関回転数 rpm	1285	1220	1140	1060	1070	1000	1220	1200	1330
撮影速度 こま/秒	2550	2200	1920	1820	1900	1860	2180	2180	2020

写 真 番 号	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
噴 射 ノ ズ ル	DL0S63	DN4S1	DN4S1	DN4S1	DN4S1	DN4S1	DN4S1	DN4S1	DN4S1	DN4SD24X
噴霧孔数-径mm	1-5.7φ	1-5.7φ	1-5.7φ	1-5.7φ	1-4φ, 2-2.5φ	1-4.1φ	1-5.7φ	1-5.7φ	1-4φ, 2-2.5φ	1-4φ, 2-2.5φ
予燃焼室容積比%	57	54	54	54	57	54	54	54	54	54
機関回転数 rpm	1200	1180	1150	1260	1260	1180	860	770	760	700
撮影速度 こま/秒	2160	2070	2100	2080	2300	2760	1400	1440	1550	1510

れるとすぐうず流れに巻き込まれくび部へは達せず、予燃焼室主部で発火して後炎はすみやかに全域に広がり、炎消滅後多量のすすが予燃焼室内に残留する。これは燃料の噴出が遅れ予燃焼室内で空気不足のもとで燃焼が行なわれるためと思われる。この燃焼室ではうず流れの減衰は少なく、円形のうず流室と同様にうずの中心は燃焼室内に噴出終りまで存在する。第6図は第2図の予燃焼室(B)で噴霧角の異なる噴射ノズルを用いた場合の性能の比較試験結果を示す。噴霧角が

大きくなるにつれ出力、燃料消費率および排気煙濃度はともに悪化する。これは予燃焼室に生ずるうず流れに噴射燃料が巻込まれ、過濃混合気の主燃焼室へ噴出するのが遅れるためで、うず流れが更に強い予燃焼室において差が顕著に現われたことから推察できる。また排気煙濃度は高負荷では噴霧角が大きいほど高いが、低負荷では反対の傾向になる。噴油量が減じ予燃焼室内の酸素のみで十分燃焼し尽せるようになると、噴霧角が大きいほど予燃焼室の混合気形成は均一とな

第5図 高速度燃焼写真

第 6 図 噴射ノズル噴霧角による性能の相違

り、すすの発生は減少するものと考えられる。

流入気流と噴射ノズル位置 噴射ノズルを燃焼室中心線に対し偏心させて混合気形成・燃焼過程を比較した。噴気孔は 5.7 mm ϕ 1 孔であって噴気孔面積比は写真 2, 3 とほぼ同じであるが、うず流れは強くなっている。第 3 図写真 4 では、流入気流に逆らって噴射された噴霧の周縁部は直ちに吹きもどされ、中心部も噴気孔への中間までしか達しない。吹き上げられ気流にのった噴霧は半回転し、燃焼室くび部上方に達し発火するが、燃焼は燃焼室上部に集中して起り、主燃焼室へ過濃混合気の噴出が遅れ、燃焼後多量のすすが残る。これに対し写真 5 では、噴霧は燃焼室側壁にそって下降気流にのりあまり分散されことなく噴気孔近くに達する。発火後炎は燃焼室主部にあるうずへ巻込まれていき、燃焼室全域を包む。炎は上死点後 30° までに消滅し、すすの発生はほとんど認められない。中心方向への噴射では、強いうず流れにより噴霧が曲げられる以外は写真 2 と同様の燃焼過程であった。

以上の燃焼写真の結果から、燃料を流入気流から遠ざけて噴射すると、噴霧はうず流れに巻込まれることなく、噴気孔近くへ集中し、シリンダへ早く噴出できることがわかるが、第 7 図に示すごとく、試験機関における性能の比較試験結果からも、性能の良好なことが確かめられた。性能は噴射を流入気流側より 2 mm ずらした場合 (G3) に最良となり、5 mm の偏心 (G4) ではやや低下する。噴射の偏心が大き過ぎるときには、予燃焼室主部で燃焼する燃料が不足して最初の噴出が弱くなるためと解せられる。

著者らは先に、予燃焼室側壁に掘られたみぞにそって流入気流を上昇させ噴霧との衝突を避けるようにす

第 7 図 噴射ノズルの位置の性能におよぼす影響

第 8 図 流入気流と燃料噴射

ると、性能が著しく改善されることを報告したが⁽³⁾ (第 8 図参照), それに相当する燃焼室における燃焼過程を第 3 図写真 6 に示す。噴霧は下降気流によって分散することなく、発火前に一層噴気孔近くに集中することがわかる。発火は燃焼室下部で起り、その後炎はうず流れに巻き込まれ、燃焼室全域を包む。上死点後 25° 近くには炎は消滅し、すすの発生は全く認められない。このように流入気流と燃料噴射の関係は混合気形成に大きな影響を及ぼし、予燃焼室形状により最適の噴射偏心量が決まるようである。たとえば第 11 図の予燃焼室 H では、くび部が偏心しているため中心方向噴射の性能が最もすぐれていた。

噴気孔形状による流入気流の相違と混合気形成

予燃焼室内燃料噴射において流入気流との正面衝突を避け、噴霧到達距離を増さねばならぬことを繰返し述べたが、他に噴気孔形状に特別のくふうをし、気流の状態を変えて性能向上を計っている例が見受けられる。その二三の例を高速度写真により確かめた。

Henschel PA 形機関のシリンダヘッド中央にある予燃焼室では、予燃焼室先端に突起を設けているが⁽¹⁾、その効果を確かめるため、類似の燃焼室で突起有無の場合を比較した。突起のあるもの（第4図写真7）をないもの（写真8）に比べると、発火前の噴霧到達距離、発火位置および発火後の炎の分布に明らかな相違が認められ、四方から流入し、予燃焼室中心を上昇する気流の中心速度が突起により弱められ、噴霧吹きもどしは軽減されることがわかる。

また、最近発表された MWM AKD 312 形機関においては独特の噴気孔をもつ予燃焼室を採用し、噴霧が噴気孔を貫抜くと言われているが⁽¹²⁾、類似の噴気孔における写真9を同一噴気孔面積を有する単孔における写真10と比較してみると、前者では噴霧到達距離が増加し、噴射ノズルに向かって上昇する気流の幅が大きくなるため、気流中心部の最大速度が減少することがわかる。

以上の二例は噴気孔形状により気流中心の最大速度を下げることを計っているが、噴射を気流中心からわずかさして成功している例もある。たとえば Daimler Benz OM 315 形機関⁽¹³⁾ およびトヨタ D 形機関⁽¹⁴⁾ がある。写真11と写真12および写真13（第4図）と写真1（第3図）を比較すれば、噴気孔をわずかさすると噴霧吹き上げの軽減の外に、予燃焼室内空気が動がわずかに認められる。

噴霧が最初に発火する位置について、第3図写真1および第4図写真7～13を観察すると、噴霧が吹きもどされる傾向の大きい燃焼室では、発火は総体的に燃

焼室中央部もしくは上部から起り、噴霧吹きもどしを減ずるようにすると、発火位置は燃焼室下部へ移っている。

3.3 予燃焼室形状のうず流発生と混合気形成に及ぼす影響 予燃焼室の形状の中、特にくび部形状・寸法が性能に大きな影響を及ぼすことはすでに多くの実験結果から明らかであるが、たとえば、第9図に示すように、くび部の長さおよびその上端の角の鋭さを変えた場合、それらのわずかな変化により性能に著しい相違が認められる。くび部が長いときにはくび部上端に角がある方が性能が良好であるが、くび部を短くすると角がない方が性能はすぐれている。第5図写真14は短いくび部上端に角をつけた予燃焼室における燃焼過程を示す。同じ条件における第3図写真2に比べると、気流が燃焼室中央寄りを上昇するようになるので噴霧吹き上げの傾向は大きくなり、予燃焼室主部に発生するうず流れは弱くなる。

このように燃焼室形状の影響としては、噴射燃料の噴気孔近くへの集中と予燃焼室内のうず流れの強さの2点が考えられる。そこでうず流強さの影響のみについて調べるため、予燃焼室主部形状を変え性能の比較試験を行なった。第10図はうず流れを強めるよう球形に近い形にした場合 HK とうず流れの減衰をねらって角形にした場合 HW の比較を示す。くび部における気流状態は同じであるが、予燃焼室主部におけるうず流強さにより性能に著しい差が現われており、強過ぎるうず流れは特に排気煙濃度に対し悪影響を及ぼしている。これはうず流れに巻込まれ予燃焼室主部に集中した燃料のシリンダへの噴出が極度に遅れるた

第9図 くび部上端の角の性能におよぼす影響

第10図 予燃焼室主部形状の性能におよぼす影響

めと解せられる。

また、うず流強さは噴気孔の大きさによっても変化する。第 5 図写真 15 は比較的小さい噴気孔 ($4.1\text{mm}\phi$ 1 孔, ピストン面積の 0.26%) の場合の燃焼過程を示す。うず流れは著しく強くなり、噴霧の大半はうず流れ中に巻込まれる。炎の消滅はおそく、上死点後 40° 近くまで炎が認められ、燃焼後多量のすすが認められる。噴気孔の大きさは従来噴出エネルギーの点からのみ論じられていたが、予燃焼室内に発生するうず流れが過大になると、燃料の噴出が遅れることも見逃せない。また、第 11 図にいろいろの形状の予燃焼室における性能を比較しているが、W, H, F, C の順にうず流れの強さは大きいと考えられる。H は最も高い平均有効圧が得られるが、軽負荷における排気煙濃度はかなり高い。W はほとんどうず流室に近い形状にしてうず流れの強化をねらったものである。この燃焼室は容積比が大きいのと発生するうず流れの規模が大きくなるため、副室内の混合気形成が促進されるので、軽負荷における排気煙濃度はきわめてよいが、噴油量の増加とともに漸次濃くなる。この燃焼室では噴出初期に多量の燃料をシリンダへ吹き出すことはできないので、高い平均有効圧は期待できない。

3.4 低速における噴霧の素通りとアイドルノック

予燃焼室式機関はアイドル時に特異なノックを起し、その発生機構は機関回転数の低下に伴い予燃焼室へ圧縮時流入する気流の速度が低下するため、噴霧の到着距離が増加し、主燃焼室へ素通りしてそこで急激に燃焼するものと考えられる⁽¹⁵⁾。

第 5 図写真 16 は第 3 図写真 1 と同じ円形燃焼室において、低回転でアイドルに相当する噴油量 (7.2mg/l)

予燃焼室 A 配置 容積比 C, F, H: 35%, W: 45%

噴気孔 C, F, H: $2-4.5\text{mm}\phi$ (0.449%),

W: $2-7\text{mm}\phi$ (1.09%)

二条みぞ付くぼみピストン

噴射ノズル DN4S1 (開口圧 100 at),

噴射時期 -10°

$n=1500\text{rpm}$, 室温 20°C

第 11 図 いろいろな形状の予燃焼室の性能比較

行程) の場合の燃焼写真を示す。噴霧の周縁部は気流により吹きもどされるが、中心部の先端は発火前に噴気孔に達する。写真 17 は Daimler Benz OM 636 形機関の予燃焼室⁽¹⁶⁾ に類似の球付棒 (der Kugelstift) を入れた燃焼室において噴油量 5.9mg/行程 のときの燃焼写真を示す。噴霧は球に衝突し四方に飛散し噴気孔へは直接達しない。発火は上方へ飛散した燃料から起っている。球付棒は噴霧をそこに衝突させ、シリンダへ素通りするのを防止するのに役立っている。全負荷時では衝突し飛散する燃料量が増え、燃焼室上部で発火後、炎は燃焼室全域をおおうが、燃焼過程は無負荷時と傾向的には変らない。

写真 18 もアイドルに相当する燃焼状態を示している。予燃焼室主室内のうず流れは弱くなるため、噴霧はうず流れに巻込まれることなく、噴気孔近くへ達する燃料割合は多くなっている。写真 19 は上と同じ条件で噴射に Pintanx ノズル DN4SD24X (副噴油孔は $0.15\text{mm}\phi$ で主噴油孔に対し 15° の角度をなす) を用いたときの燃焼写真を示す。副噴油孔からの噴霧はうず流に曲げられ、また主噴油孔からの噴霧も弱く、噴気孔近くまでは達していない。

4. 結 び

いろいろな形状の予燃焼室内における燃焼過程を耐熱ガラス窓を通して高速度撮影し、実用機関において相似の条件のもとで性能の比較試験し、両者の結果を合わせて検討した。その結果、予燃焼室式機関における燃焼とその性能向上に関する従来の知識を確かめると同時に、次のことを明らかにすることができた。

燃料をできるだけすみやかに主燃焼室へ流出させ、予燃焼室では空気過剰のもとで燃焼さすべきである。燃料の噴出が遅れると予燃焼室内の空気不足のため発煙する。燃料の噴出を早くするためには流入空気による噴霧の吹き上げを避け、くび部へ燃料が集中するようなくび部形状あるいは噴射方向を選ばねばならない。これを実施するには燃焼室形状と噴射方向の多数の組合せが考えられるが、わずかの形状の相違も性能に敏感に影響する。噴霧の吹き上げを避けるような流入気流は多く予燃焼室内にうず流れを発生するが、あまり強いうず流れは燃料の噴出を遅らせ性能の低下を来す。予燃焼室内の空気ですべて完全燃焼できる程度の噴射量では、うず流れを強くし噴霧角を広げ混合を良好にした方が排気煙濃度は薄い燃料消費率は多い。

終りに実験機関の試作に御尽力下さったヤンマーディーゼル会社の横井元昭氏ならびに実験および整理を手伝って下さった大鹿澄男、大島雄次郎両君に厚く感

謝の意を表する。なおこの研究は昭和33年度文部省科学試験研究費の一部により行なわれたことを附記する。

文 献

- (1) F. Eberle, *MTZ*, 5, 4/5 (1943), 121.
- (2) 佐次, 機械学会誌, 57, 493 (昭 28-4), 268.
- (3) 長尾, 柿本, 工藤, 機械学会論文集, 23, 132 (昭 32-8), 593 または長尾, 柿本, *MTZ*, 18, 10 (1957), 301.
- (4) 長尾, 柿本, 工藤, 平岡, 鳥海, 機械学会論文集, 24, 140 (昭 33-4), 240.
- (5) K. Löhner, *Brennkraftmaschinen* (1953), VDI Verlag.
- (6) 黒岩, 機械の研究, 9, 11 (昭 32), 1268.
- (7) 寺尾, *MTZ*, 17, 10 (1956), 329.
- (8) 高橋, 下山, 機械学会論文集, 20, 120 (昭 31-8), 620; 高橋, 三瓶, 機械学会論文集, 23, 128 (昭 32-4), 274.
- (9) 伊藤, 機械の研究, 4, 7 (昭 27), 417; 4, 8 (昭 27), 463.
- (10) 戸田, 増田, 機械の研究, 6, 5 (昭 29), 419; 6, 6 (昭 29), 517; 6, 7 (昭 29), 599.
- (11) 吉田, *MTZ*, 20, 10 (1959), 369.
- (12) K. Kollmann, *MTZ*, 17, 8 (1956), 256.
- (13) *MTZ*, 19, 5 (1958), 184.
- (14) 坂東, トヨタ技報, 10, 1 (昭 32-9), 19.
- (15) 長尾, 柿本, 平岡, 機械学会論文集, 24, 144 (昭 33-8), 599.
- (16) H. Hoffmann, *MTZ*, 14, 11 (1953), 324.

討 論

〔質問〕 各種の場合に対し点火おくれが表わされると更に設計上有用な指針になると思います。

(川田正秋)

〔回答〕 高速度写真のこま数が毎秒 2000~2500 であるから, これから測定するとクランク角で 3~5° の誤差を生ずる。インジケータ線図を取ればよいが, 写真と同期させることが困難なので省略した。この装置は目下試作中である。また実験機関による性能試験は高速度写真に附加的に行なったもので, 今回は一部のものだけしかインジケータ線図はとっておらない。

〔質問〕 予燃焼室内の燃焼の模様を目で見せていただき, またいろいろ条件を変えた場合の燃焼状態を実験機関の場合の性能と結びつけて説明いただき, 十分理解することができました。

ただ一つ質問上げたいことは, これは本論文の主体の部分ではないが, 343 ページに書いてあるアイドルノックのことです。アイドルノックの原因として素通り燃料の急激燃焼と考えておられますが, この素通り燃料というのは, 予燃焼室内に停滞することなく主燃焼室に素通りする燃料を指しておられるのですか, あるいは予燃焼室先端部分にたまり最初の予燃焼室内の圧力上昇で吹き出される燃料部分をも含めて指しておられるのですか。もし前者であるとするとその量は割合少なく, また急激な燃焼を起すこともないように思われ, もし後者であるとする, これは予燃焼室先端部に燃料のたまり具合と予燃焼室内の最初の圧力上昇の程度に支配されるように思えますがいかがですか。昨年発表の貴論文を拝見しましたが, それに示されている指圧図ではアイドルノックを起している場合は, すべて予燃焼室でも急激な圧力上昇を起している場合であり, 予燃焼室内で急激燃焼をするためにたくさんの燃料が主燃焼室に噴出されるように思えます。

(黒岩 保)

〔回答〕 アイドルノック時に主燃焼室に未燃焼のまま噴出される燃料に二つの場合を示しておられますが, 両者の燃料によるものと解釈しております。お説のとおり予燃焼室内への燃料噴射条件を変えると, ア

イドルノックの強さは著しく変わり, それは燃料の主燃焼室へ未燃焼のまま噴出される程度によることが多くの実験結果から結論づけられています。燃料が直接素通りするか, あるいはとどまった燃料が噴出されるか否かにかかわらず, 噴気孔まで燃料が到着するとノックを起す。燃料が吹き上げられた場合は予燃焼室内の圧力上昇が急激でもノックは起らない。たとえば噴気孔を極度に小さくすれば, 予燃焼室内の圧力上昇率は大きいノックは起らないが噴射を遅らすと激しいノックを起す。予燃焼室内の圧力上昇の急激なことがノックの原因ではなく, 噴気孔附近に燃料が存在するときこれを強めるに過ぎない。

しかしながらこの燃焼過程は第2報 351 ページにも述べてあるようにまだ不明な点が残されており, 今後両燃焼室内の燃焼状況を同時に撮り, 更に研究を進める予定である。

〔質問〕 予燃焼室設計にあたって, 貴重なる示唆を明示されたことに對し, 感謝いたします。つぎの点に関しお尋ねいたします。

(1) 貴論文 3・3 予燃焼室形状のうず流発生と混合気形成におよぼす影響において, 第9図の実験結果およびその説明に関し, 341 ページ左下から 11 行め, 噴霧がうず流にまきこまれぬため, 予燃焼室内ではうずの発生がないほうがのぞましいわけでありますから, E形のものが良好なことがわかり, つぎにC形でしょう。D形が悪いのは, うずの発生が多いからと考えられます。内部形状において, 壁すみ角が 90° 以上の円筒形の組合せでは, うずはすみ角におしつめられなく遊離して, さらにうずの領域が広がると考えます。ゆえに, F形のようにくび部が短くて, うずの発生をおさえる 90° すみ角のない形状が, 性能がよいのはどうやって説明しますか。

(2) 貴論文においてくび部の長さに注目すべきこと (342 ページ右 10 行め) をのべておられますが, この長さはそれだけで単独にきめられるものではなく, 予燃焼室全体の形状によってきまるもので, 筆者はすでに, このくび部の長さに注目し, うずの少ない予燃

焼室形状を幾何学的関係から、一つの推定式(実験式)

$$l_2 = \left[\frac{n^2 x}{\varepsilon - 1} D^2 L - \left(\frac{n}{m} \right)^2 l_1^3 \right]^{1/3}$$

ただし D : シリンダ径, L : ストローク, ε : 圧縮比, x : 容積割合, $m = l_1/d_1$, l_1 : 主部の長さ, d_1 : 主部の直径, $n = l_2/d_2$, l_2 : くび部の長さ, d_2 : くび部の直径を見出しています〔機械学会論文集, 7, 28 (昭 16-8), II-26〕. よって第 9 図に示され, 貴論文の主旨を若干でも満足しうる予燃焼室の形状 E 形は上式によって表示され, くび部の寸法比 $n = l_2/d_2$, 主部の $m = l_1/d_1$ などにより, 規則性を形状にあたえられると考えますがいかがですか. D が 80~180 mm にわたる予燃焼室で $n = 2 \sim 3.5$, $m = 1.0 \sim 1.5$ の範囲にあります. (大道寺 達)

【回答】 (1) 予燃焼室式機関の燃焼改善には, 噴射燃料を噴気孔附近に集め, 最初の噴出で主燃焼室へ搬出し, 主燃焼室内空気とすみやかに混合させることであり, そのためには流入気流による噴霧の吹きもどしを避けることが最も大切である. F 形燃焼室では流入気流が壁面に沿って上昇し, 噴霧との正面衝突が避けられるため, E, C 形に比べてすぐれていると考えている. D 形が C 形に比べ性能の著しく低下してい

る原因は, これだけの実験結果から説明することはできない. 予燃焼室くび部の角の鋭さの効果は予燃焼室主部のうず流れの状態に影響を及ぼしているためとしか考えられない. H. Hoffmann が Daimler Benz OM 312 形機関の予燃焼室は“Wirbelabsatz”を設け, その効果の顕著なことを報告しているが〔MTZ, 17, 5 (1956), 160〕, 予燃焼室全体にわたるような大きな空気流動の外に, くび部角から発生する小規模のか動も燃焼に関係するのではなからうかと考えられる. いずれの予燃焼室内においてもうず流れは発生するが, それが極度に強い場合の外は, 予燃焼室内の燃焼促進に役立せることができる. このことは K 3 (第 8 図), G 3 (第 7 図) 形燃焼室が E 形などに比べて, 最低燃料消費率で 15 g/PS·h, 最大平均有効圧で 1~1.3 kg/cm² もすぐれていることから明らかである.

(2) 予燃焼室内にうず流発生がない場合には, 貴殿の理論はごもっともである. しかし少なくともシリンダ側面にある予燃焼室内ではうず流れは発生しており, また上に述べたごとく, その空気流動を巧みに利用した予燃焼室の方が高性能を示している. そこでこのような燃焼室に貴推定式を拡張することはむずかしいように思われる.

原子力船調査団報告書作成

さきに欧米各国の原子力船開発事情を視察して帰国した原子力船調査団(団長=三菱日本重工社長 桜井俊記氏)はこのほどその調査報告をまとめた.

それによると (1) 世界の原子力実用船は 7 年ないし 10 年後には採算にのりうる, (2) このため日本も 2, 3 年後に原子力実験船の建造に着手する,

(3) 実用原子力船の原子炉の形は PWR (加圧水形), BWR (ふっ騰水形), GCR (ガス冷却形) OMR (有機減速形) の 4 種類が安全性, 経済性の面でもっとも有望視される, (4) 原子力船開発の統一政策を樹立するため原子力委員会と運輸省との合同委員会を設けること, (5) IAEA (国際原子力機関) との関係を連れ強化して原子力船の災害補償問題などの面を検討する, などとなっている.

政府はこの報告にもとづいて原子力船開発政策を確立する方針である.

報告の主な点つぎのとおり,

1. 原子力船の開発促進態勢 アメリカ, イギリス, ドイツ, フランスなど世界の原子力船は 7 年ないし 10 年後に経済ベースにのりうるものと考えられる.

このため, 熱出力 1 000 kW のスイミングプール形の原子炉を設置することによって, 船用炉の十分な諸

実験を行なうこととする.

また, 原子力船開発の進め方としてアメリカ原子力委員会と商務省海運局との合同委員会があるように, わが国も原子力委員会と運輸省との合同委員会を設けることが望ましい.

2. 実験船の建造 第一船(実験船)は原子力委員会, 原子力専門部会の答申による 3 船主, 5 船形がよい, また 4 000 トン, 8 000 馬力の小形実験船の建造が計画されているが, 世界の原子力船の開発の態勢は大形化している.

このため, わが国も大形の実験船を 2 ないし 3 年後に建造に着手する.

3. 船用炉の輸入 アメリカ原子力委員会の回答によると, 日米動力協定の範囲内で可能であるが, メーカは事故に対する免責条項を要求することになっている.

4. 船用炉設計, シャヘイ構造などの研究

船用炉の十分な基礎実験のため臨界未満実験装置を設置し, 念入りの研究をする.

材料試験炉と兼用できる原子炉の設置も必要である.

(服部 敏夫)