HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	ディーゼル機関の排気臭に関する研究
Author(s)	村山, 正; 早川, 藤一
Citation	北海道大學工學部研究報告, 70, 1-12
Issue Date	1974-02-20
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/41198
Type	departmental bulletin paper
File Information	70_1-12.pdf

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

ディーゼル機関の排気臭に関する研究

村山　正*　早川藤一**

(昭和48年7月31日受理)

A Experimental study on a Diesel Exhaust Odor

Tadashi MURAYAMA*　Tōichi HAYAKAWA**

Abstract

Recently, diesel exhaust odor has become a problematic point with special regards to air pollution.

The mechanism of formation of hydrocarbons and aldehydes which are regarded as the cause of odor remain unclarified with special regards to engine operating condition.

In the present experiment, the various contributing factors were investigated and we have established the direct relations between the engine operating conditions and emitted aldehydes.

As a result, it was clarified that the formation of exhaust aldehydes and unburned hydrocarbons are especially influenced by the excess air factor, the injection timing and the temperature of the cooling water.

目　　次

1. まえがき …… 2
2. ディーゼル排気臭とアルデヒド類との関係及びその測定法 …… 2
   2.1. 人間の嗅覚を用いる測定法 …… 3
   2.2. 定性分析法 …… 3
   2.3. 定量分析法 …… 3
3. 供試機関及び実験装置 …… 3
   3.1. 供試機関及び使用燃料 …… 3
   3.2. 実験装置 …… 3
4. 実験結果とその考察 …… 5
   4.1. 排気中に含まれるアルデヒド類および未燃炭化水素の定性分析 …… 5
   4.2. 排気中に含まれるアルデヒド類および未燃炭化水素の濃度に及ぼす機関運転条件の影響 …… 6
      i) 負荷の影響 …… 6
      ii) 燃料噴射時期の影響 …… 8
   4.3. 排気中に含まれるアルデヒド類の濃度低減に関する一，二の試み …… 9
      i) 吸気絞りの効果 …… 10
      ii) 冷却水温度上昇の効果 …… 11
5. 結　　論 …… 11

*　機械工学科　熱機関学第二講座

**　釧路工業高等専門学校　機械工学科

1. まえがき

ディーゼル機関の排気臭低減に関しては，その原因となる成分およびそれらの生成機構が明らかにされていないため，実用的にも研究段階においても，ほとんどその対策がたてられていないのが現状である。

現在考えられている対策としては，水マフラを用いて有臭成分を吸収する方法や，活性炭，シリカゲル，苛性ソーダなどに吸着させる方法，あるいはアフターバーナを用いる方法などがあるが，いづれも現段階ではその効果はあまりよくわかってはおらず，臭成分の低減策として十分有効なものはほとんど公表されていない。

本報告では排気臭の原因の一つとして考えられるアルデヒド類を 2-4 DNP 法[1)~3)] によって測定して，機関運転上の諸変数がその生成に対して及ぼす影響を調べた。その結果，排気中に含まれるアルデヒド類の濃度は，空気過剰率と燃料噴射時期および冷却水温度などによって左右されることがわかった。以下その結果について述べる。

2. 排気臭とアルデヒド類との関係及びその測定法

臭の測定方法には，人間の嗅覚を用いて総体的な臭の強さ，あるいはまた臭の種類とその強さとをかぎわける方法[4),5)] があり，また臭の原因となると考えられる成分の種類と濃度を物理的化学的方法によって，定量あるいは定性的に分析を行なう方法とに大別される。

図 1[6)] はディーゼル機関排気において，人間の嗅覚による臭の強さと，化学的定量法によって得られたホルムアルデヒド濃度との関係を示したものであって，図 1(a) は同一の排気を異なる研究グループによって測定した関係を比較したものであり，図 1(b) は同一グループが異なるエンジンについて得た結果を比較したものである。これによれば臭の強さとホルムアルデヒド濃度との間には同一の傾向が認められ，このことからホルムアルデヒドはディーゼル機関排気臭の強弱を支配する一因子であると考えられる。

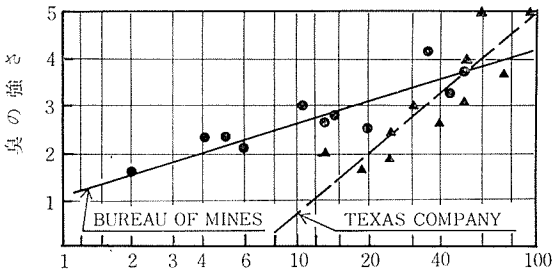

図 1(a) ホルムアルデヒド濃度と臭の強さとの関係

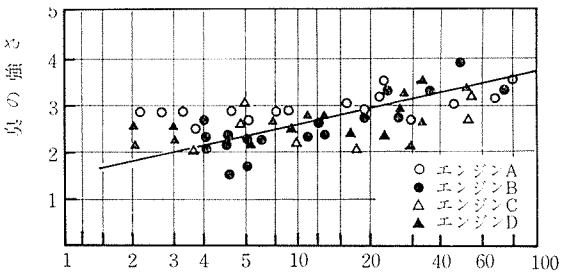

図 1(b) ホルムアルデヒド濃度と臭の強さとの関係

一方，これらの結果による臭の強さとホルムアルデヒド濃度との相関係数がそれぞれ異なっていることから，人間の嗅覚による臭の強さの決定方法には試験者の主観による偏差が表われることが明らかであり，嗅覚という主観と，化学的定量法である客観とを併用する上での技術的困難さが介在することは否定できない。

以下，排気臭測定法の現況について概説する。

2.1. 人間の嗅覚を用いる測定法[4),5)]

この方法は，Turk. A. によって作られた数種類の標準的臭の組合わせのような，特別の供試ガスによって，訓練された人達のなかからえらばれた数人からなる複数グループによって測定を行なうものであり，試料の使いかたと評価の方法によって，

a) 試料の排気を新鮮な空気により，稀釈度 1～1/100 程度の範囲で十数段階に稀釈し，試験者の感知できる最低の稀釈度によって，臭の総体的強さを決定する稀釈法とよばれる方法。

b) 稀釈されない排気を直接評価することによって，臭の種類と強さを表わす直接法とよばれる方法。

の 2 種類にわけられる。

2.2. 定量分析法

あらかじめ排気中のある特定の有臭成分に着目して，その成分の化学的特性を利用して排気中より捕集する方法である。以下ディーゼル排気臭の主要成分といわれているアルデヒド類の溶液吸収による捕集方法の概略を示す。

a) 2-4 DNP 法[1)~3)] 2-4 ジニトロフエニルヒドラジン (2-4 DNP) の塩酸溶液に，試料を吸収させて生ずる結晶性アルデヒド誘導体 (2-4 ジニトロフエニルヒドラゾン) を，溶液から濾過分離して，その重量を計測することによって濃度を求める方法である。この方法は以下に述べる方法とは異なり，分離した結晶性誘導体の秤量後，これを定性分析の試料として使用できるので，本報告ではこの方法によって試験を行なった。

b) パラローザニリン法[5)] 0.005 N 塩酸溶液に試料を吸収させた，ホルムアルデヒド塩酸溶液を，パラローザニリン (TCN-Na_2SO_3) 液によって呈色反応を行なわせたあと，吸光度を測定して濃度を求める比色方式である。

c) クロモトロープ酸法[5)] クロモトローム酸-硫酸銅溶液に試料を反応させて生ずるクロモゲンを 0.01 N 沃素溶液で滴定する方法である。

d) MBHT 法[7)] 試料を 0.05 N MBHT 水溶液 (3-メチル 2-ベンゾチアゾロンヒドラゾン) に吸収させたあと，塩化第二鉄-スルファミン酸溶液による呈色反応を行なわせて吸光度を測定し，濃度を求める比色方式である。

2.3. 定性分析法

本報告では，2-4 DNP 法で得たアルデヒド誘導体を溶媒にとかして，ガスクロマトグラフで分離して FID によって検出を行なったが，この外に質量分析計，NDIR あるいは NDUV 等によって検出する方法がある。

3. 供試機関及び実験装置

3.1. 供試機関及び使用燃料

本実験に供試した機関は，直接噴射式単筒 4 サイクルディーゼル機関である。その主要諸元を表 1 に示す。また供試燃料の特性を表 2 に示す。

3.2. 実験装置

実験装置の配置を図 2 に示す。実験にさいして，冷却水出口温度は 70°C に保って運転を行なった。燃料噴射時期は，フォトトランジスタの光電効果を利用した弁リフト検出装置と，クランク角度測定用パルス発生装置との出力を用いて測定した。吸入空気量は 200 ℓ のサージタンクにとりつけた，開口径 19.2 mm・流量係数 0.82 の丸型ノズルとベッツマノメータによって測定を行ない，また燃料消費率は燃料 15 cc の消費時間を測って計算した。

表 1　供試機関諸元

サイクル	4 サイクル
行程容積	1.425 cc
冷却方式	水冷
燃焼室型式	直接噴射式
圧縮比	17.4
定格出力	10 PS/1,200 RPM
噴射ポンプ	Bosch A 型

表 2　供試燃料特性（市販軽油 1 号）

比重	0.830 kg/ℓ
低位発熱量	10,330 kcal/kg
セタン価	55
炭素含有量	85.6%
水素含有量	13.2%
硫黄含有量	0.8%
理論空気量	14.43 kg/kg

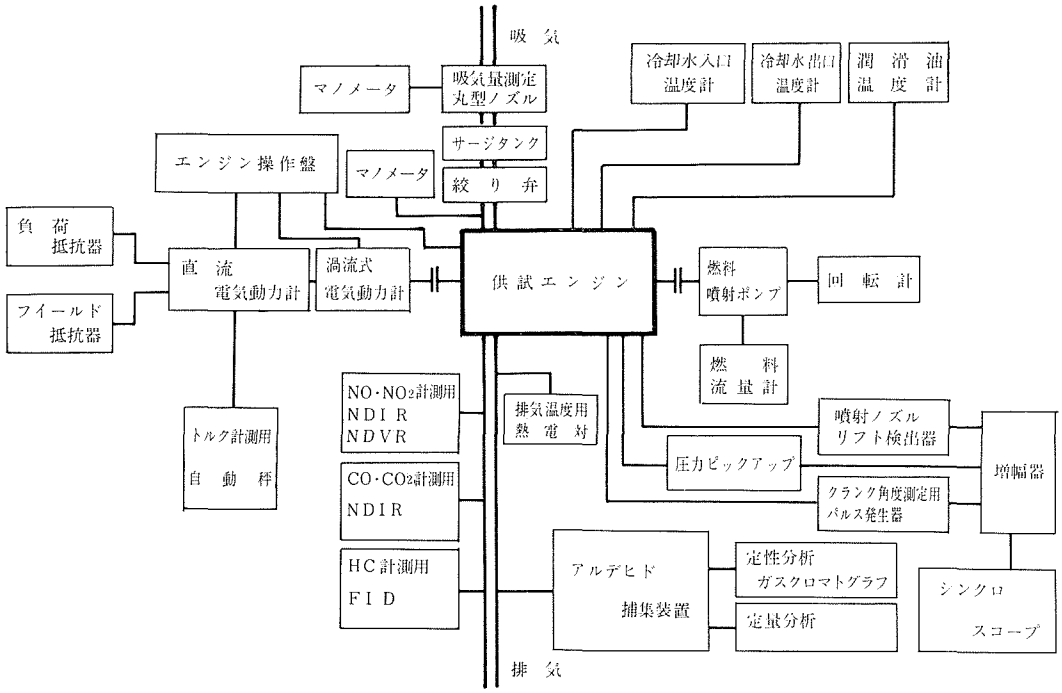

図 2　実験装置配置図

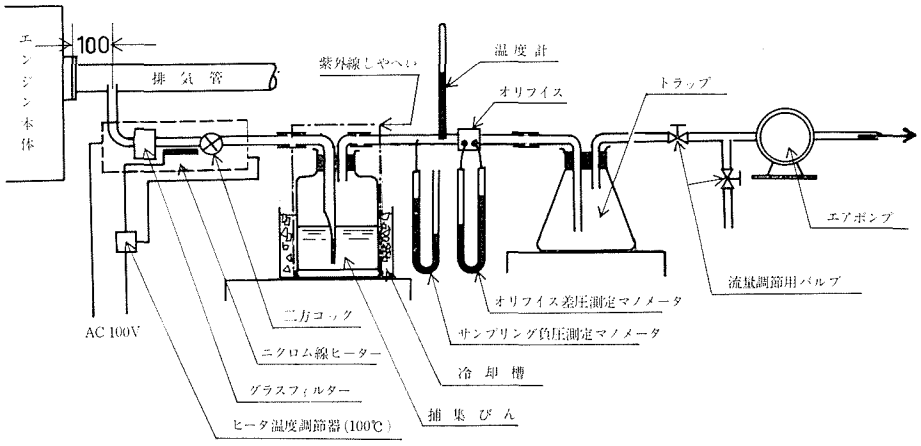

図 3　アルデヒド類捕集装置

排気中のアルヒド類捕集には，2-4 DNP 法を用いた。その捕集装置は図3に示すように，導入部，捕集部，および吸引量調整部とからなっている。

導入部は，排気管とりつけフランジ部から 100 mm の位置の管壁にガス採取口を設け，吐煙粒子の混入を防ぐためのグラスファイバー製フィルタを経て，内径 6 mm，長さ 500 mm の銅管をとりつけた。銅管末端にはストップコックをとりつけ，一方サンプルガス導入中に，冷却によって銅管内部で，アルデヒドが凝縮するのを防ぐために，導入部全長にわたって，ニクロム線ヒーターを捲きつけて加熱し，100°C に保温した。

捕集部と導入部との接続には，ビニールパイプを用い，シールテープとビニールテープによって固定して気密を保った。高温の排気導入による試薬溶液の温度上昇をさけ，試薬の捕集率が最高になる温度を保持するために，捕集びんを氷水槽に侵し，さらにアルデヒドの光化学分解を防ぐために，全体をアルミ箔で包んで，紫外線をさけた。

吸引量調整部では，捕集部との接続は，捕集部入口と同様に気密を保って固定し，開口径 2 mm のオリフイスとベッツマノメータによって吸引ガス量を計測した。このばあいオリフイス前に取りつけた温度計と水銀柱マノメータによって計測された温度と圧力によって，流量を補正した。捕集びんへのサンプルガス導入は，オリフイスの後に吸引量調節のためのバルブを介してとりつけられたダイヤフラム式空気ポンプ（流量：15 ℓ/mm）によって行なった。

なお本実験では，試薬溶液温度を一定に保持して実験を行なったが，本装置による捕集率を調べるため，つぎのような実験を行なった。すなわち，2個の捕集びんを直列に接続して，実験と同じ条件でホルムアルデヒドを吸引し，それぞれの捕集びんについて捕集量を調べた結果，2番目の捕集びんの試薬中にはアルデヒド誘導体は検出されなかった。このため本実験では捕集率を1として計算を行なった。

実験にあたっては，サンプルガス吸引速度を一定に保ちながら，アルデヒド類を捕集びん中で試薬溶液と反応させて，得られたアルデヒド誘導体を濾過乾燥したあと，その重量を直示天秤で計測した。得られた誘導体重量と，標準状態に換算したサンプルガス体積と，ホルムアルデヒド誘導体分子量（210）とから，全アルデヒド類をホルムアルデヒドに換算した濃度を計算することができる。

捕集されたアルデヒド類と，排気中の未燃炭化水素の定性分析には，日立製 063 ガスクロマトグラフを用いた。検出部は FID でキヤリヤガスには窒素ガスを，カラム充てん剤にはシリコン SF 96＋クロモソルブ W（AW 15%）を用いた。

窒素酸化物 NO の濃度測定には，堀場製作所製 MEXA-82 型分析計を使用した。検出部は NDIR である。

未燃炭化水素の濃度測定には，同 MEXA-FIA 型炭化水素分析計を用いた。これの検出部は FID である。

4. 実験結果とその考察

排気中に含まれるアルデヒド類，未燃炭化水素および窒素酸化物濃度に及ぼす機関運転条件の影響を調べた実験の結果，およびアルデヒド類と炭化水素とをガスクロマトグラフにより定性分析した結果について述べる。

4.1. 排気中に含まれるアルデヒド類および未燃炭化水素の定性分析

ディーゼル排気中に含まれるアルデヒド類の中で，ホルムアルデヒドはその主成分であって，とくに臭気の原因となっているといわれている[2]。そこで本実験では，ガスクロマトグラフによ

る定性分析によって，アルデヒド誘導体の各組成を求めた。その成分および平均組成を表3に示す。これによればホルムアルデヒドはその80%をしめており，のこりはおもにアセトアルデヒド，プロピオンアルデヒド，およびブチルアルデヒドであって，そのほか微量のイソブチルアルデヒドとベンズアルデヒドを含んでいることが確認された。

表 3 排気アルデヒドの定性分析（ガスクロマトグラフ）

名称	保持時間比		本実験平均組成 (%)	標準試料平均保持時間	
	本実験	R. J.Sokp		250°C	275°C
ホルムアルデヒド	0.484	0.378	80.0	4分39秒	2分18秒
アセトアルデヒド	0.651	0.560	12.2	6′ 34″	3′ 33″
プロピオンアルデヒド	0.807	0.743	5.0	8′ 28″	4′ 24″
イソブチルアルデヒド	0.871	0.829	微量	9′ 33″	4′ 45″
ブチルアルデヒド	1	1	2.2	10′ 54″	5′ 45″
ベンズアルデヒド	3.119	3.647	微量	—	—

カラム充てん剤： シリコン SF 96 +Chromosorb W (AW 15%)
キャリヤガス： N_2 60 mℓ/min

ベンズアルデヒドは，文献[7]との比較によって確認されたものであって，刺激臭をもつものといわれている。ベンズアルデヒド以外の5種類の成分は，実験によって捕集したアルデヒド誘導体を分析した時のピーク保持時間と，5種類のアルデヒド試料によって作成した標準試料によって示されるピーク保持時間との比較によって確認されたものである。

なお，以上の外に炭化水素の一部も有臭成分であるとされている。本実験においても，運転中の排気管から抽出した排気ガスを，ガスクロマトグラフによって定性分析を行ない，供試燃料の分析結果と比較してみたが，排ガス中の炭化水素成分は，そのほとんどが燃料成分の分解によって生じた低級炭化水素であることがわかった。

4.2. 排気中に含まれているアルデヒド類および未燃炭化水素の濃度に及ぼす機関運転条件の影響

i) 負荷の影響 燃料噴射時期を一定として，1/8から5/4まで負荷を変化したときのアルデヒド類，未燃炭化水素および窒素酸化物の濃度を，機関回転速度800, 1000, および1200 rpmについてそれぞれ測定した結果を図4(a)に示す。

図に示されるように，アルデヒド類濃度は負荷の増加にしたがって減少し，正味平均有効圧4 kg/cm² 付近で最小値を示したあとは，負荷の増加につれて，濃度は逆に増加している。NOの濃度は最大値を呈する位置が全負荷付近となって，アルデヒド類濃度を最小とする位置とややずれているが，アルデヒド類とほぼ逆の関係を示している。

未燃炭化水素の濃度は低負荷から全負荷付近までは漸増し，過負荷域では急増している。なお本供試機関では，アルデヒド類ならびにNOの濃度の最小値および最大値を示す位置の空気過剰率λは2.5および2.0付近となっている。図4(b)参照

ディーゼル機関における燃焼機構は一般につぎのように説明されている。すなわち，まず噴射された燃料の油粒が蒸発して炭化水素は分解・酸化をはじめ，有機過酸化物やホルムアルデヒドを生じてその濃度は連鎖反応的に増加する。その結果有機過酸化物が臨界濃度に達すると冷炎を発生する。

この冷炎中には，燃焼中間生成物として多量のホルムアルデヒドが含まれている。そしてこ

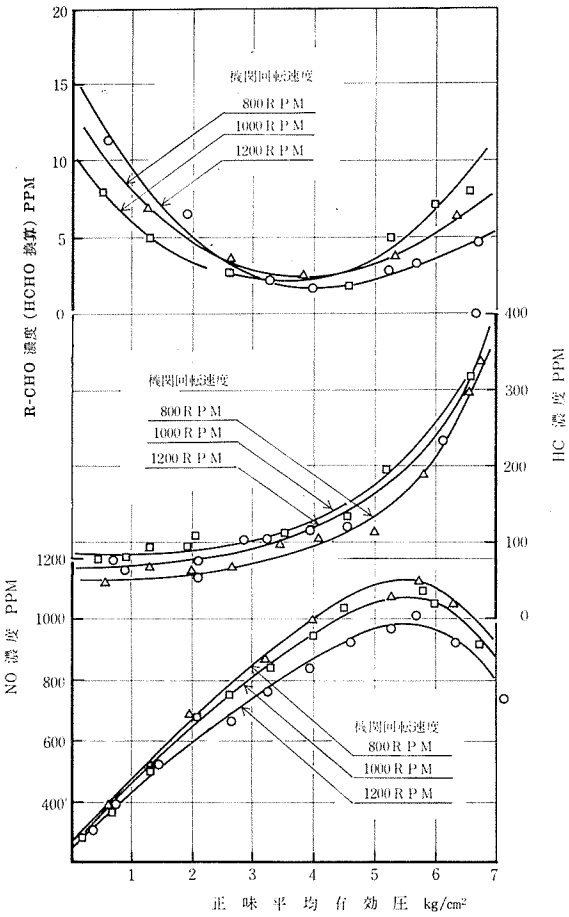

図 4(a)　負荷の影響

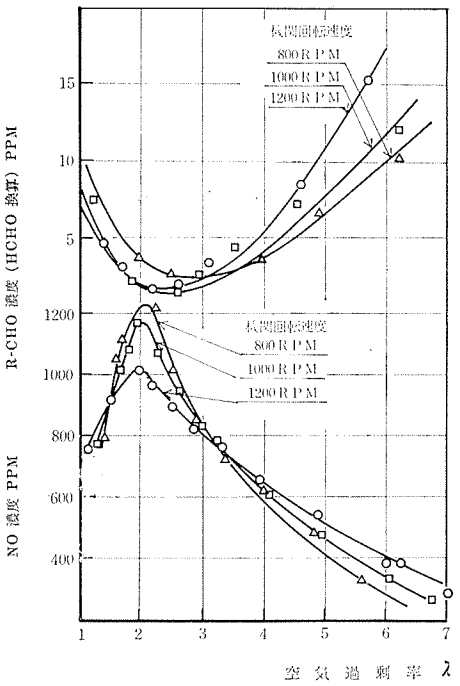

図 4(b)　負荷の影響

れが分枝連鎖反応を起こすのに大きな役割をはたし，かなりの熱を発生して青炎を発生し，もとの炭化水素のほとんどをCOに酸化するが，まだ最終生成物とはなっていない。

このとき，中間生成物であるCO，ホルムアルデヒドおよび残存している分解炭化水素は，反応を終らせるのに必要なだけ温度が高く，なおかつ酸素濃度が十分であるならば熱炎を発生して，燃料の燃焼は最終段階に移行するものと考えられている。

このことから，低負荷での空気過剰率の増加は，燃焼ガスの温度水準の低下を意味するものであって，中間反応で生成されたホルムアルデヒドの一部分が，反応の最終段階までいたらぬうちに排出されることになり，アルデヒド類の濃度の増加の一原因となるものと考えられる。

燃焼温度のみについて考えた場合，全負荷付近までは，ホルムアルデヒドの濃度は減少するが，一方負荷の増加による燃料噴射量の増加は，噴射期間の増大をもたらすことになる。そのため，噴射期間後期の燃料は，火炎あるいは燃焼ガス中に噴射されるため，燃焼室全体としての酸素がまだ過剰であっても，局部的に酸素濃度が不足する部分の発生する頻度は大きくなる。そこで全体の温度水準は高まっているにもかかわらず，反応速度がおそくなる部分が増え，空気過剰率がある値より小さくなると，ついには未反応のまま排出されることになる。

さらにまた，噴射期間の後期に，反応中の火炎の中に燃料が噴射されることにより，火炎が冷却されるという効果も加わって，その結果アルヒド濃度は増加する。

すなわち，アルデヒド濃度が正味平均有効圧 4 kg/cm² 付近から増加をはじめることの原因

は主としてλによるものといえよう。なおまた，機関回転速度の高い場合にアルデヒド濃度最小の点が高負荷側へ移行して，最小値もより小さい値を示している理由は，回転速度が高いと渦流が強くなって，噴射期間後期に噴射された燃料の影響が少なくなるためと考えられる。

一方，内燃機関排気中で，とくに処理が困難とされている NO の濃度は，温度が高くて酸素濃度が大きい場合に増加するものであって，その生成反応をおこす空間の酸素濃度はホルムアルデヒドを生成している炎の中の酸素濃度に較べてつねに高い。そのために NO 濃度の最大を示すλの値は，アルデヒド濃度最小を示すλの値より小さいので高負荷側に移行し，またλの変化に対してはアルデヒド類と逆の関係を示すものと考えられる。なお回転速度が高い程 NO の濃度が低いことは，アルデヒドの場合と同様に渦流の強さによって説明することができる。

アルデヒド類と NO の濃度の関係は 図5に示されるように，フィッシュフック状を呈しているが，このことは両者の濃度がλの変化に対して上述のような傾向を示していることからその理由は説明できる。

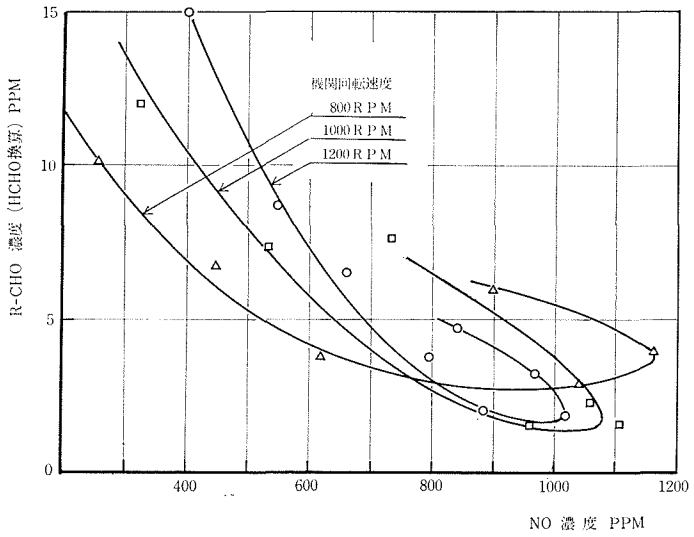

図 5 アルデヒド類濃度と一酸化窒素濃度との関係

また一方，炭化水素は酸素濃度の影響を強くうけるため，λの減少とともにその濃度は増加を示して，過負荷域では，噴射期間後期の燃料に対する局部的酸素不足のために，急激にその濃度は増加しているものと考えられる。

ii) 燃料噴射時期の影響 燃料消費率の最小値を示す上死点前 20° 付近を中心にして，燃料噴射時期を，上死点前 30° から 10° 付近まで変化した場合の排気中に含まれる諸成分濃度を図6に示す。

図に示されるように，アルデヒド類と炭化水素の濃度は，噴射時期が上死点前 20° から 10° の間で最小を示し，回転速度が高い程，また負荷の大きい程，その位置はより噴射時期の早い方へ移行している。

噴射時期を進めすぎた場合には，圧縮端温度低下によって着火遅れは増加して，着火までに噴射される燃料量が増加するため，圧力上昇率は大きくなって燃焼が激しくなる。このために局部的に酸素不足となる部分がふえてアルデヒド類，炭化水素ともにその排出濃度は増加するものと考えられる。

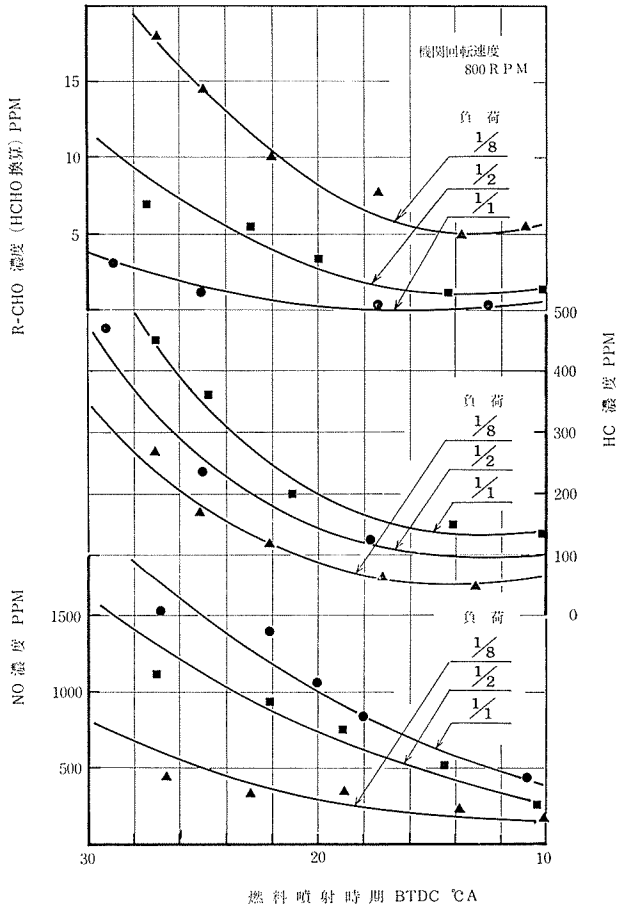

図 6 燃料噴射時期の影響

逆に，噴射時間を遅らせすぎた場合，着火遅れの短縮によって，燃焼は比較的緩慢となり圧力上昇率も小さくなるが，一方では早い着火後の噴射燃料量増加をもたらし，着火後噴射される燃料が，反応中の火炎を冷却すること，さらに後続燃料が既に発生した火炎または燃焼ガス中で燃焼する割合が増加することのために，過渡的な酸素不足と温度水準の低下をまねいて，アルデヒド類と炭化水素の排出濃度は増加を示すものと考えられる。

また回転速度が高く，負荷が大きい程，アルデヒド類の濃度が最小を示す噴射時期がより早い方へ移行する理由については，つぎのように考えられる。すなわち着火遅れに対するクランク角度は，回転速度に比例して大きくなり，また負荷が大きい程着火後に噴射される燃料量が増加して，油粒による火炎の冷却や局所的な酸素不足が発生しやすくなる。また一方では燃焼期間も長くなって，燃焼の終期は，膨張行程のより進んだ位置になって，温度水準もより低下するために，アルデヒド類濃度の最小値を示す噴射時期はより早くなるのであろう。

4.3. 排気中に含まれるアルデヒド類の濃度低減に関する一，二の試み

前述したように，排気中のホルムアルデヒドの濃度は，おもに熱炎反応時の温度水準と酸素濃度によって支配されている。着火遅れの長い衝撃的な燃焼は，局部的な酸素濃度不足を生じやすく，また着火後に噴射される燃料は熱炎を冷却する原因となり，その燃料に対しては酸素不足の原因となりやすい。

さらに，着火おくれ時間は圧縮端の温度と圧力によって支配され，温度と圧力は噴射時期に対するピストン位置，圧縮行程の初期条件，冷却水温度などにより決定される。そこで，本実験ではアルデヒド類排出濃度低減の手掛りとして，つぎのようなことを試みた。

i)　吸気絞りの効果　吸気を絞ることによって吸入空気量を減少した場合，高温の残留ガスによってサイクルの初期温度が増加するため，圧縮端の温度は高くなり，さらに吸入空気量の減少によって燃焼温度も高くなる。この効果をしらべるために，吸気管に絞り弁をとりつけ，吸気管内負圧 150 mmHg 付近まで実験を行なった。その結果を図 7 に示す。

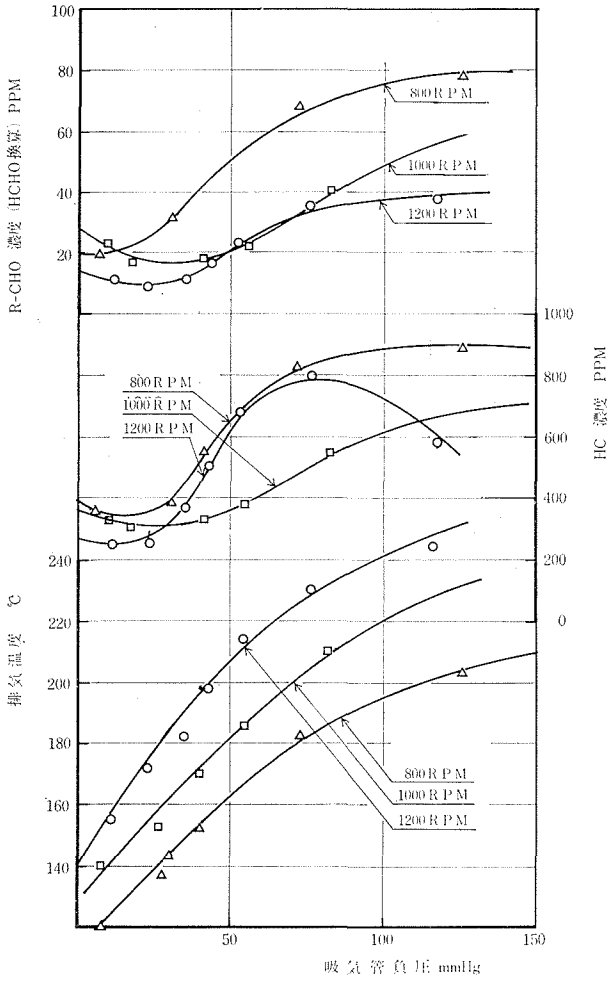

図 7　吸気絞りによる効果

すなわち，吸気管内負圧の増加による充てん効率の低下と，吸排気のポンプ損失の増加による燃料消費率の増加によって，空気過剰率は減少し，シリンダ内の温度水準は上昇して，排気温度も高くなっている。この結果吸気絞りを行なった場合，全アルデヒド濃度はやや減少を示している。しかし吸気管内負圧が 30 mmHg 以上になると，その濃度は逆に増加しはじめる。このことは，一面では吸気圧力の低下によって，圧縮端圧力が低下するため，着火遅れが大きくなって着火時の衝撃が大きく，熱炎反応部での酸素不足の部分が増加する。その結果アルデヒド類増

加の傾向の方が強く表われたものと思われる。

ii) 冷却水温度上昇の効果　一般に圧縮端温度は，サイクルの初期温度と，ポリトロープ指数とによって決定される。したがってシリンダ壁温度を左右する冷却水温度の上昇によって，圧縮端温度は大幅に上昇することになる。

アルデヒド類の排出濃度は，温度水準の高い程その低下を期待出来るので，冷却水温度を20°C から 80°C まで上昇させた場合に，排気中のアルデヒド濃度を求めて見た。その結果を図8に示す。

冷却水温度を上昇させた場合，冷却損失の減少によって，燃料消費率は低下して，アルデヒド類の排出濃度は減少している。このことは，冷却水温度上昇による圧縮端温度の増大のために着火遅れは短縮しさらには，熱炎の温度水準が上昇して反応速度が早くなるためと考えられる。

なお，シリンダー壁温度の上昇によって，熱炎反応中の火炎が燃焼室壁面によって急冷される程度も減少して，局部的な反応速度低下の割合が減ることも大きい要因と考えられる。また，排気温度は低下しているがこのことは，燃焼がより早く終り，燃焼ガスの膨張が十分に行なわれているためと考えられる。

以上のようなことから，冷却水温度を適温に保つことは，とくに軽負荷時のアルデヒド低減策としては非常に有効であると考えられる。

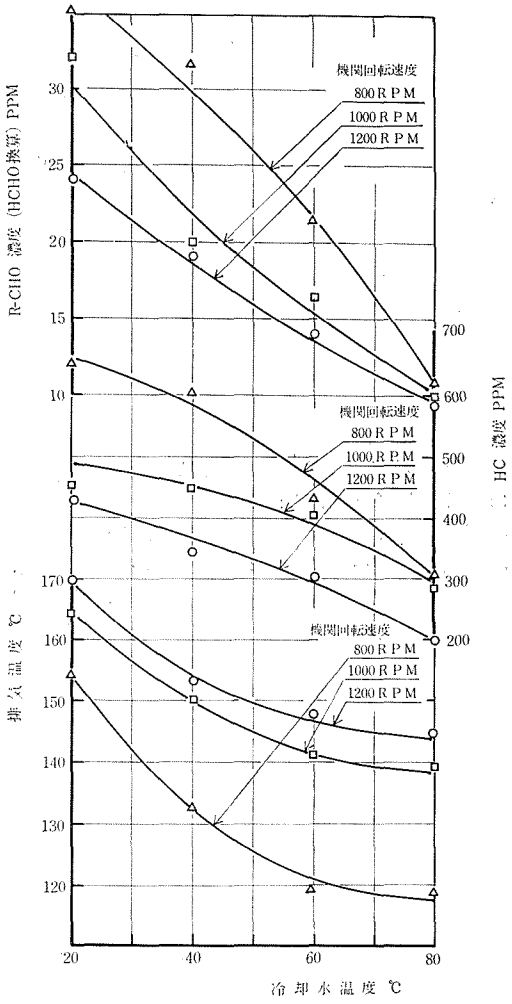

図 8　冷却水温度上昇による効果

5. 結　　論

ディーゼル機関の排気臭の主要因と考えられるアルデヒド類の濃度に対して，機関運転条件が及ぼす影響について調べ，その低減策に関して行なった実験結果をまとめると，おおよそつぎのことがいいうる。すなわち；

1. ホルムアルデヒドの排出は，燃焼過程中の温度と酸素濃度とに強く支配されて，2/3負荷付近においてアルデヒド類の濃度は最小値を示す。本供試機関では，正味平均有効圧 4 kg/cm², 空気過剰率 2.5 付近でその最小値を示している。

2. 燃料噴射時期を変化した場合には，着火遅れの変化によって支配される燃焼過程により強い影響をうけて，燃料消費率を最小とする噴射時期にアルデヒド類の濃度は最小値を示している。

3. 吸気絞りの効果については，吸気管内負圧 30 mmHg 程度までは，空気過剰率の減少および温度の上昇によって，アルデヒド類濃度はやや減少を示すが，さらに絞ったときは空気量が

大幅に減少して，温度が上昇するにもかかわらず，着火遅れによる影響が強く表われて，アルデヒド類の排出濃度は増加している。

4. 冷却水温度を上昇させたときは，圧縮端温度上昇による着火遅れの短縮と，火炎のシリンダ壁による冷却の割合の低下によって排気中に含まれるアルデヒド類濃度は減少する。

なお今後排ガス成分の定性分析をさらにすすめるとともに，燃料噴射率，燃焼室形状，あるいは排気絞りの影響などをあわせて研究する余地があるものと考えられる。

本論文作成について，深沢教授の御助言をいただき，また大学院生上田建仁君・研究生柴田正仁君および4年目学生工藤正君の多大の御協力を得た。ここに深く感謝の意を表する次第である。

引 用 文 献

1) Iddles, H. A. and Jackson,C. E.: Ind. Eng. Chem., Anal. Ed. Vol. 6, 1934.
2) Francchai, M. F., Shuette, F. J. and Mueller, P. K.: Air and Ind. Hygiene Laboratory calif 94704.
3) Oberdorfer, P. E.: SAE paper 670123 Son oil co.
4) Horn, R. W. and Marshall, W. F.: SAE paper 680418 Bureau of Hines.
5) 大喜多敏一・重田芳広： 微量ガス・悪臭の分析. S 47. 講談社.
6) Rounds, F. G. and pearsal, H. W.: SAE Transactions. Vol. 65, 1957.
7) Sawicki, E., Hanser, T. R., Stanley, T. W. and Elbert, W. C.: Analytical Chemistry, Vol. 33, 1961.