

小形ガソリン機関の吸気の温度および湿度が 排気ガスの NO_x に及ぼす影響

和泉 晴夫*・福田 基一*

Effects of the Temperature and the Moisture of Suction Air
on the NO_x Exhaust Emission of a Small Gasoline Engine

Haruo IZUMI and Motokazu FUKUDA

Abstract

The automobile has been receiving severe impeachment over the past decade as a factor in urban air pollution.

Nitrogen oxide produced as a result of combustion can be roughly classified to thermal NO_x and fuel NO_x. In an engine, the former percentage is larger than the latter one.

The thermal NO_x is produced in combustion zone at high temperature by the way of oxidation of nitrogen in air. The fuel NO_x is produced by the oxidation of such various nitrogen compounds contained in fuel. In any case, NO_x is correlated with the highest temperature of the flame.

If the temperature distribution in the combustion chamber and the exhaust system are known, it is possible to predict NO_x in the exhaust gas.

On the other hand, it is a well known fact that gasoline engines perform better on rainy days than on dry days or at nights than at sunny day times. The reason why moisture increases engine performance is not yet clear.

The gasoline entering a carburetor in liquid mist form cannot be fully mixed in air. But, it may be supposed that the wet intake air vaporizes the gasoline mist for more complete mixing, and that the moisture evenly distributes the temperature throughout the combustion chamber.

In any event, wet intake air will certainly drop the maximum temperature in the combustion chamber and will reduce NO_x in exhaust gas.

In this paper, these problems have been investigated experimentally by authors, and it is recognized that NO_x is in proportion to the temperature and that it is in inverse proportion to the moisture of intake air.

1. 研究の目的

エンジンの排気ガスに基因する有害ガスはCO, HC, NO_x等に分類されるが、この中で制御が最も困難なものはNO_xとされている。

ガソリン機関から高負荷時に発生するNO_xの99%まではNOの形であり¹⁾、その発生率は燃焼室における火炎最高温度と大きな相関を示すといわれている。

したがって最高温度を制御することがNOの発生を低減するために最も有効な方法であるが、エンジンの場合には温度の低減は出力を低下する方向を指向するので、この点が解決を困難にしている。

NOの対策の一つとして、従来水噴射が試みられた研究²⁾もあるが、水滴の粒子が大きく、燃焼効率を悪化し、また腐蝕の問題もあって実用になり得ないまま今日に至っており、現在多くの自動車に利用されている方法は、触媒(catalyzer)と排気還元方式(EGR)

* 機械工学科

である。

一方、よくいわれるように、雨天のときは晴天のときよりもエンジンの運転は円滑になり、吸入空気湿度が高いほどエンジンの調子は良くなり出力も増大するという説もあるが、その理由としては未だ解明されているとはいえない。

もし吸気の湿度を高めることによってNOが低減し、しかも性能が増大する効果が生ずるならば、一石二鳥ということになる。

筆者らはこの点に着目し、吸気の温度による影響と、吸気に水蒸気を混入することによる効果について研究を行うことにした。

エンジンでは、排気管内のガスの熱を利用することにより、水蒸気を発生させることは容易であるから、

もし効果があることになればこれを実用化することは可能である。

本報告は、その基礎研究^{3)~5)}の一環として、まず吸気の温度を -15°C の低温から 120°C の高温まで段階的に変化してそのときの排気ガス中のNOの変化について実験を行い、次いで蒸気を吸気に混入することによる影響について実験を行ったので、その結果の一部を報告する。

2. 実験装置

2.1 概要および実験機関

実験装置の概要を Fig. 1 に示す。

実験に用いたエンジンは空冷式、四サイクル、単シリンダのガソリン機関で、その諸元を Table. 1 に示す。

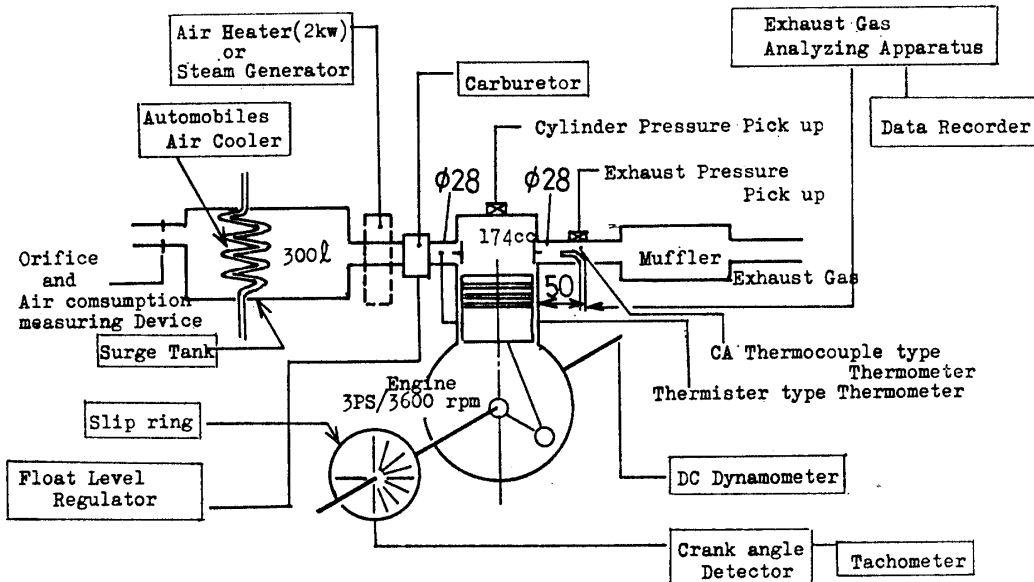


Fig. 1 Schematic Diagram of Experimental Apparatus

Table 1 Specifications of the test engine

Bore×Stroke	φ65×52.5
Stroke volume	174cc
Compression ratio	5.9
Cruising out put	3PS/3600rpm
Cylinder	1
Cycle	4 Stroke cycl
Fuel	Gasoline
Cooling method	Air cooling

2.2 排気ガス分析装置

排気ガスを測定するために、排気管路にガスサンプリング部を設けた。これを Fig. 2 に示す。サンプリング位置は排気管取付フランジより出口側に 50mmの

管断面中央部である。

採取したガスの分析は、堀場製作所製の MEXA-16 型の非分散赤外線式自動車排気ガス分析装置を用いて行った。ガス分析は、NO, HC, CO, CO₂ の 4 項目について瞬時的に同時記録をした。

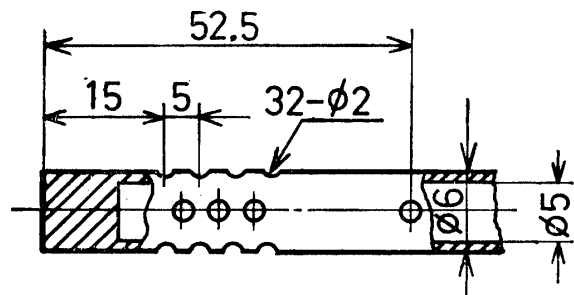


Fig. 2 Dimension of Gas Sampling Pipe

2.3 空燃比調整・計測装置

空燃比の調整は困難なものの一つである。吸入空気量は 300ℓ のサージングタンクとオリフィスにより測定し、燃料消費時間の測定とともに、気化器のフロートチャンパのレベルの高低調整を特別に工夫して混合気濃度を調整した。

2.4 吸気温度調整装置

吸入空気の温度は、サーミスタ形温度計で測定した。温度調整は、低温度調整用と高温度調整用装置を併用した。低温度調整装置は、サージタンク内に自動車用クーラーの冷却器をセットし、外部膨張弁の開閉調整により冷却能力を加減する装置で、コンプレッサと熱交換器を設けている。

高温度調整装置は、吸気管直前に 2kW の空気加熱用ヒーターとスライダックトランスを設けている。

これらの装置により、吸気温度を -20°C から 120°C まで変化させた。

2.5 機関部温度調整装置

エンジンの機関部は、ファンにより強制空冷を行っている。

冷却空気取入口にフードと絞り弁を設けて流量を制御し、冷却空気出口部の空気温度と、点火プラグ座金温度を、アルメルクロメル熱電対により計測した。

2.6 シリンダ内部圧力測定装置

シリンダ内の圧力変化の計測のために、シリンダヘッドの中央部に取り付けられた抵抗線歪計式圧力ピックアップ（共和電業製）を用いた。

また、クランク軸端にクランク角度検出用スリット円板を設け、クランク軸の回転速度および同期信号の検出を同時に行った。

2.7 吸気湿度調整装置

吸気を加湿するために、気化器の直前に蒸気発生装置を設けた。これは約 3 リットルの鉄製容器の中に水を入れ、加熱ヒーターを設けたもので、発生した水蒸気は内径 5mm の保温銅管により気化器に導き、Fig. 3 に示す噴出孔により吸気に混合した。

実用化の場合には、加湿は排気管またはマフラー内の排気ガスの熱を利用して行うことができ、また液も必ずしも水だけではなく、より適切な液が考えられるが、本報は基礎実験であるので、上述のごとく実験を

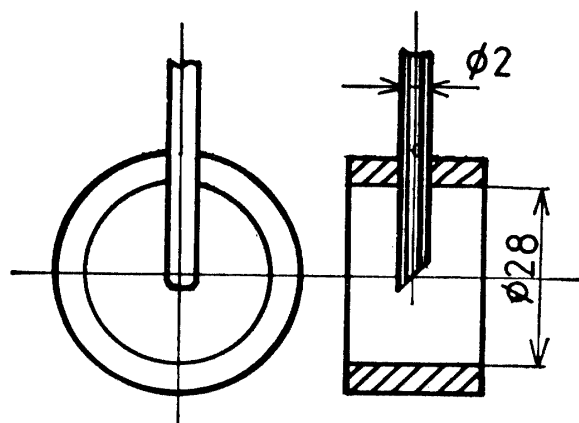


Fig. 3 Dimension of Steam Nozzle

行った。

2.8 運転制御装置

エンジンの負荷の吸収は、直流電気動力計を用いて行った。また、燃料絞り弁の開度の調整は、気化器付属の弁で行った。

2.9 その他

その他の装置として、排気管内圧力、背圧、吸気圧力、排気温度測定装置などを用いた。

また、吸気管および排気管内における脈動に及ぼす影響について、同時に測定を行った。

3. 吸気温度と機関冷却空気量が排気ガスに及ぼす影響

3.1 吸気温度の影響

吸入空気と燃料の混合気生成後の温度、すなわち気化器直後の温度を $-15, 20, 60, 120^{\circ}\text{C}$ に押えた場合の排気ガスの濃度の特性を実験した。

Fig. 4 は、機関本体の熱的安定を保ちながら、吸気温度を -15°C にした場合と 20°C にした場合の空燃比と排気ガスの関係を示すものである。実験条件としては、負荷 1.5/5 (30%)、回転速度 3600rpm に押え、燃料弁の絞り弁開度を变化した。

図において、 -15°C の場合には 20°C の場合に比べて NO は幾分低減する傾向が認められる。燃料消費率にはほとんど変化はない。吸気温度の低下によって燃焼最高温度が低下するためと思われる。

次に、吸気温度を -15°C から 120°C まで次第に変化したときの、排気ガス中の NO の変化について調べた結果を Fig. 5 に示す。図から、吸気温度は低いほど NO は低減する傾向を示すことが認められる。

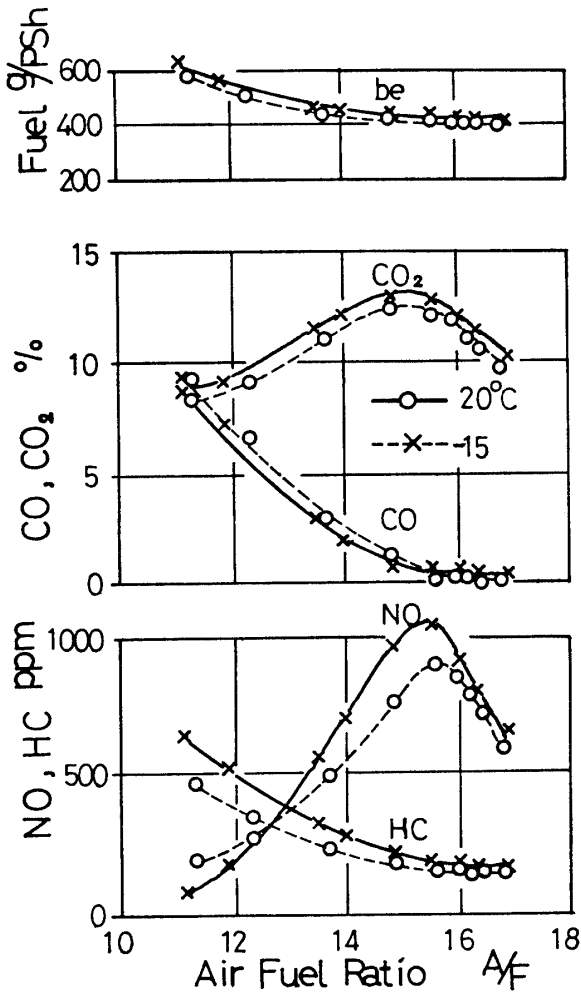


Fig. 4 Relationship between Suction Air Temperature and Various Exhaust Gases (1.5/5 Load, 3600rpm)

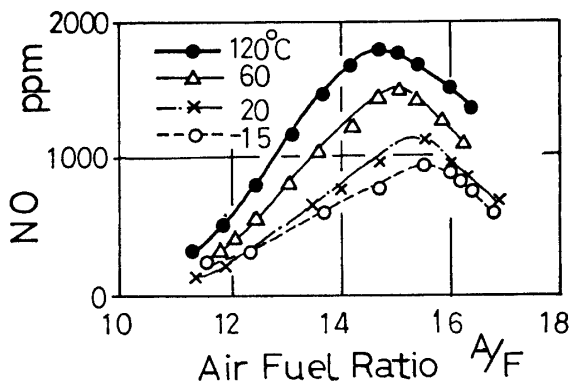


Fig. 5 Influence of the Temperature of Suction Air on NO (1.5/5 Load, 3600rpm)

なお HC, CO, CO₂ などの変化は僅小で、ほとんど無視できる程度である。

3.2 機関冷却空気量の影響

エンジンの本体、すなわちシリンダヘッドやシリンダ壁面の温度によって、燃焼に影響が生ずる筈であり、

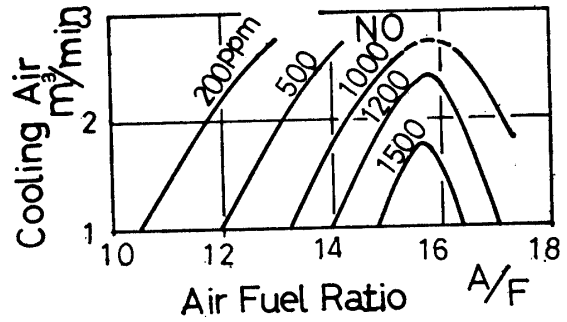


Fig. 6 Effect of the Cooling Air for Engine Structure on NO (1.5/5 Load, 3600rpm)

空冷式エンジンでは冷却空気量によってNOの発生量が制御されると推定される。

Fig. 6は、吸気温度20°C、湿度65%の空気を冷却ファン空気取入口のバルブで操作し、2.5で述べた装置を用い、冷却空気量を0.9, 1.5, 1.8, 2.4m³/minと変化したときの空燃比と冷却空気量とNOの関係を調査した結果である。図から、冷却空気量を増大するほどNOは低減する傾向が認められる。

なお、本実験においては、負荷、回転速度および点火時期は一定で行われたが、機関性能への影響については、ほとんど変化が認められない程度であった。

4. 水蒸気混入が排気ガスに及ぼす影響

4.1 水蒸気混入によるNOの変化

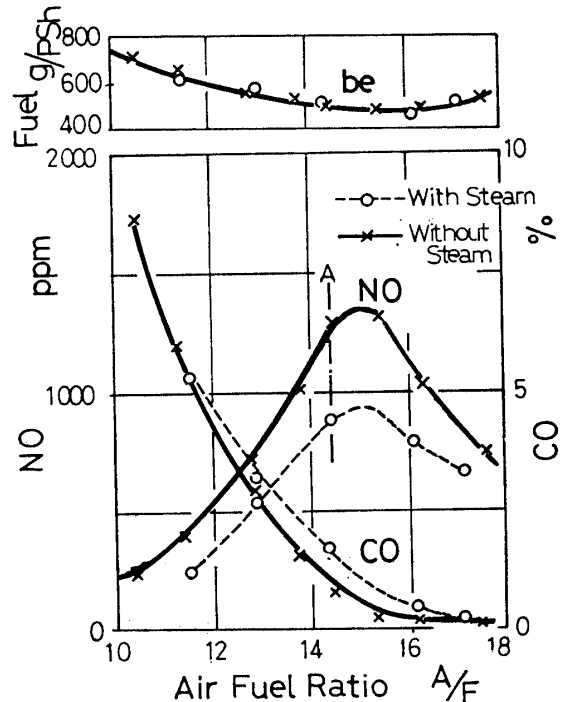


Fig. 7 Effect of Moisture in Suction Air (2.5 Load, 3600rpm)

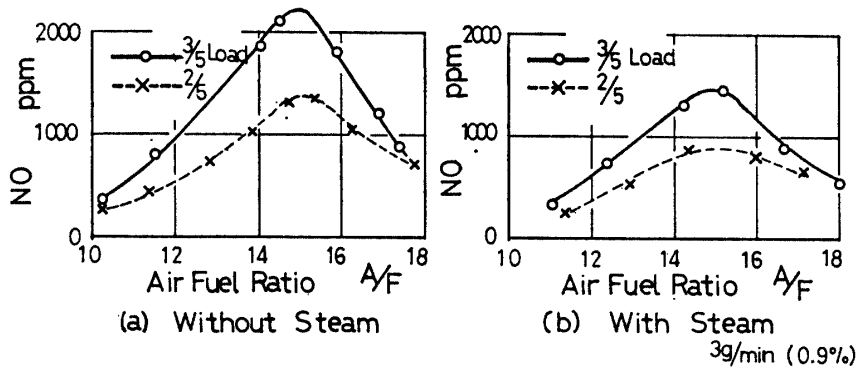


Fig. 8 Effect of Load at Various Air Fuel Ratio (3600rpm)

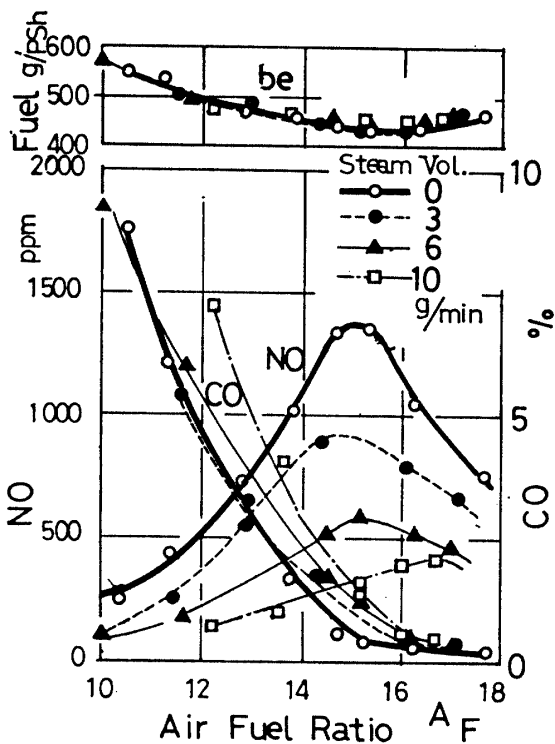


Fig. 9 Effect of Steam (2/5 Load, 3600rpm)

エンジンの負荷を2/5、回転速度を3600rpmに保ち、吸気(温度20°C、湿度65%)の中に水蒸気を3cc/minの割合で混入したときの影響について調べた結果をFig. 7に示す。

図において明らかなように、水蒸気の混入によってNOは低減することが認められる。なお、燃料消費率(b)には、ほとんど差は認められていない。

次に、負荷を変えた場合のNOの発生量の比較をFig. 8に示す。図は2/5(40%)負荷と3/5(60%)負荷の場合における比較である。(a)は水蒸気を混入しない場合、(b)は混入した場合で、図から負荷が大きいほどNOは著しく増大するが、水蒸気の混入によってかなりその発生が制御されることが認められる。

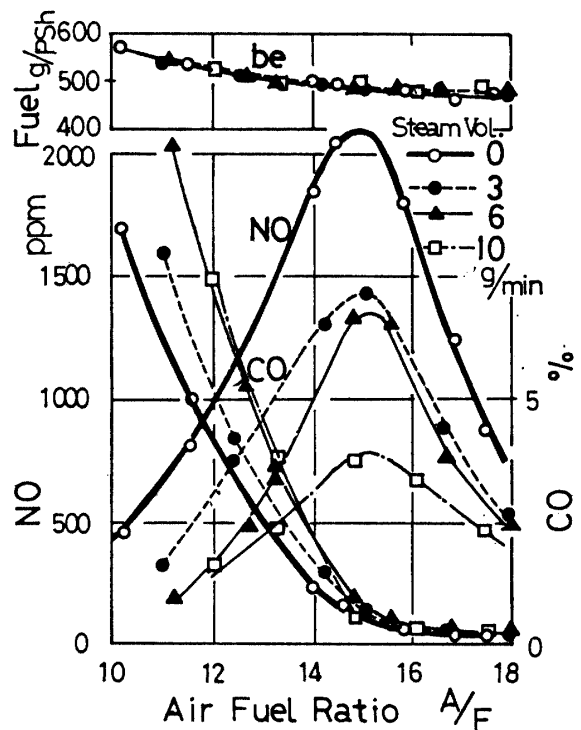


Fig. 10 Effect of Steam (3/5 Load, 3600rpm)

Fig. 9およびFig. 10は混入量の変化による影響を示す。Fig. 9は負荷2/5、Fig. 10は負荷3/5のときの特性である。蒸気混入量の増減によって、いずれの負荷の場合にも、NOの発生量は逆比例する傾向が認められる。

Fig. 11は、NOの等濃度分布曲線を、水蒸気混入量(水換算値)および空燃比で整理した結果である。図から、蒸気混入量が増加するほどNOは低減する傾向を示すが、蒸気量には限度があることが推定される。

NOの発生は、理論空燃比15付近で最大を示し、これより混合気が稀薄になっても濃厚になってもNOは減小する。また既によく知られているように、経済空燃比は13~14、最大出力空燃比は16~17であるが、

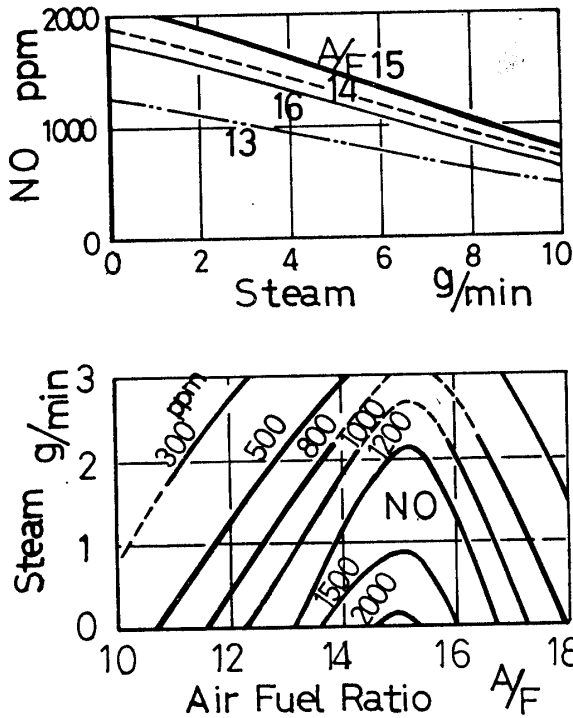


Fig. 11 Characteristic Curves of NO at Various Steam Volume (3/5 Load, 3600rpm)

この範囲では確かに蒸気混入はNO低減に効果があるといえるようである。一方、濃厚混合気では蒸気混入によるCOの増加が認められる。

なお水蒸気混入によって、普通世間でよくいわれているような燃料消費量の減小、運転性能の円滑化や向

上については、本実験の程度の蒸気量に対してはとくにその差は認められなかった。

4.2 水蒸気混入による燃焼サイクルの変化

シリンダ内部の圧力変化を、2.6に述べた圧力測定装置によって検討した結果について述べる。

Fig. 12は、2/5負荷、3600rpmで運転したときの、各空燃比における水蒸気混入の有無による圧力クランク角度線図を調べたものである。混入によって最高圧力は低下していることが認められ、最高圧力の低下によって、必然的に最高温度も低下していることが推定される。

Fig. 13は、シリンダ内部における圧力上昇率 $dp/d\theta$ の変化を、空燃比ごとに、水蒸気混入の有無によって比較したものである。混入によって $dp/d\theta$ のピークの低下も認められ、騒音の低減が予想される。また理論混合比の近傍において、温度は最大を示し、圧力上昇率は最小を示している。

Fig. 14は、Fig. 7のA点における温度変化を、各クランク回転角度ごとに計算によって求めたものである。蒸気の混入により燃焼温度は低下し、また圧力上昇時間がやや遅延し、火炎伝搬速度も遅くなるという傾向が Fig. 12, 13, 14 の各図から推定される。

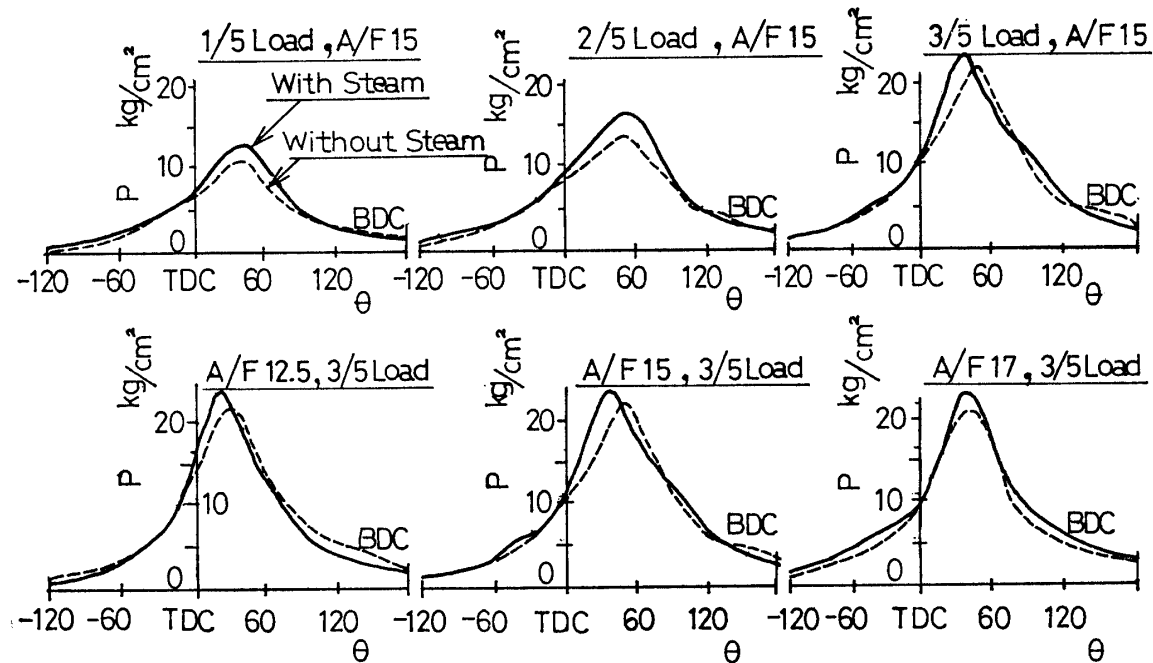


Fig. 12 Indicator Diagrams at Various Load and Air Fuel Ratio (3600rpm)

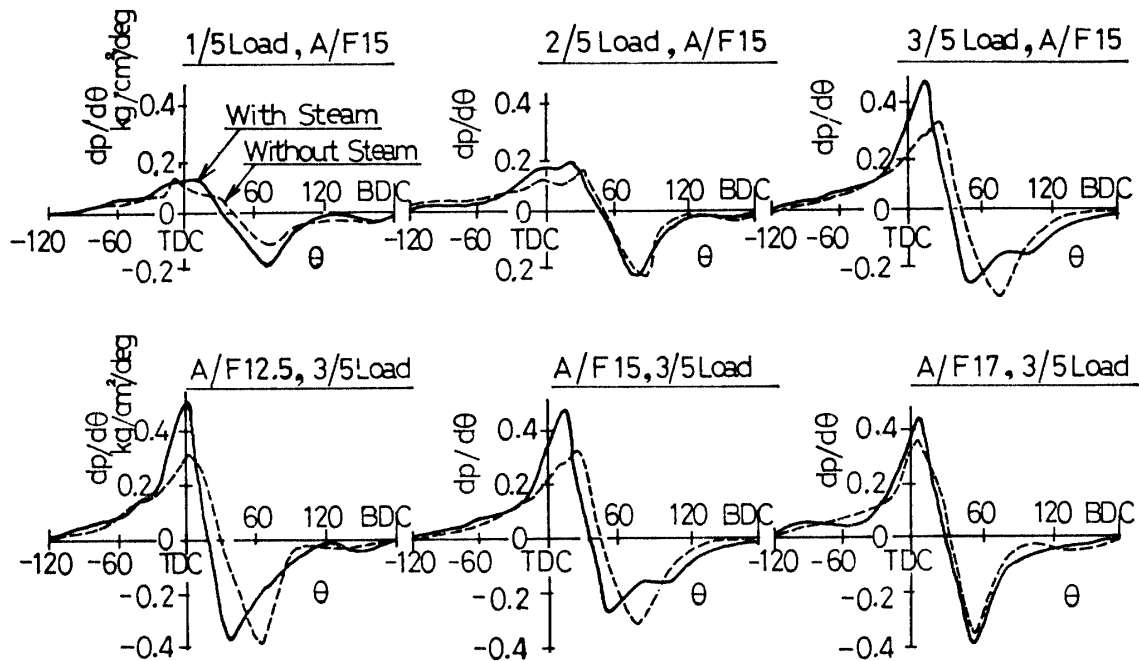


Fig. 13 Diagrams of the Rate of Pressure Rise at Various Load and Air Fuel Ratio (3600rpm)

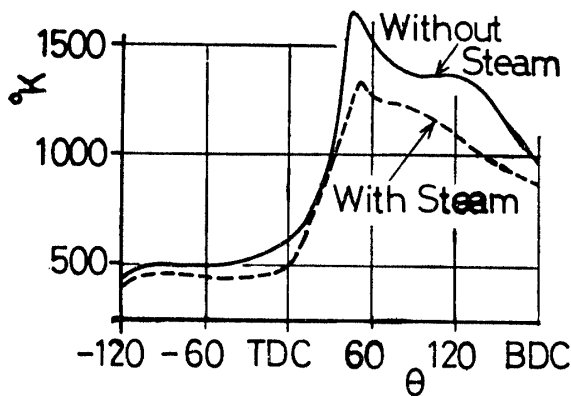


Fig. 14 Combustion Gas Temperature at A in Fig. 7 (2/5 Load, 3600rpm)

5. 結 論

本研究は、小型ガソリン機関において、吸気温度、機関冷却空気量が排気ガス中のNOに及ぼす影響、および吸気中に水蒸気を混入させた場合のNOに及ぼす影響について調べた結果の一部である。

本研究によって得られた結果を要約すると次のとおりである。

1. 吸気の温度を低くするほどNOは減少の傾向を示す。
2. 機関冷却空気量を増すほどNOは減少の傾向を示す。
3. NOに及ぼす影響が最も大きい因子はエンジンの負荷である。

4. 吸気水蒸気を混入することによるNOの低減効果は、吸気温度の低減による効果や、冷却空気量の増大による効果よりも大きい。
5. 水蒸気混入がエンジン性能に及ぼす影響については明確な結論は得られなかった。

水噴射の場合には明らかに性能の低下がみられるのに対して、蒸気の場合には性能が低下するのに向かうのか、単純に断定はできない。

本報告に当たり、とくに-15°Cの低温実験を担当した広島工大(山口大学工学部内燃研究室内地留学生)松江博孝講師に対して感謝の意を表す。

参 考 文 献

- 1) R.M. Campan and J.C. Neerman: SAE paper 660116 (1966).
- 2) 鍋谷正利, 西沢潤: 水によるガソリン機関のNO_x値低減の研究, 内燃機関, 15-174, 25 (1976).
- 3) 福田基一, 和泉晴夫, 金田慶久, 清水隆司, 角慶郎: 内燃機関の排気ガスに関する研究(第1報), 日本機械学会講演論文集(松山), 129 (1968).
- 4) 和泉晴夫, 福田基一: 内燃機関の排気ガスに関する研究(第2報), 日本機械学会講演論文集, No. 768-1, 128 (1976).
- 5) 徳永宏, 和泉晴夫, 小嶋直哉, 福田基一: 内燃機関の排気ガスに関する研究(第3報), 日本機械学会講演論文集, No. 785-1, 7(1978).
- 6) 徳永宏, 福田基一, 小嶋直哉, 和泉晴夫: 内燃機関の排気ガスに関する研究(第4報), 日本機械学会講演論文集, No. 795-1, 58 (1979)

(昭和53年10月11日 受理)