

ディーゼル機関の熱発生率と NO_x 濃度

佐々木 啓 介*・岩瀬谷 正 男**

The Rate of Heat Release and NO_x Emission of the Diesel Engine

Keisuke SASAKI and Masao IWASEYA

要 旨

予燃焼室式ディーゼル機関において、燃焼過程を考察するための要因の一つである熱発生率を計算しその影響を調べ、また排気ガス中で重要視されている NO_x 濃度および煙濃度について計測した。

Synopsis

Considering of combustion process of diesel engine, rate of heat release is one of the important factor. In this experiment, we investigated it's influence, and measured smoke emission and NO_x emission that are the noted components of exhaust emissions of diesel engine.

1. ま え が き

ディーゼル機関についての評価は、出力、熱効率(燃料消費率)、騒音、排気ガス成分と濃度などによる。本研究は、燃焼過程、噴射機構などに大きな影響をもつ熱発生率を計算し、前記の項目に対し、熱発生率がどの様に影響を与え、また受けるかを実験した。さらにエンジンの変化の因子として、負荷、回転数とともに噴射時期を考え、熱発生率の影響とともに、排気ガス成分中の重要な成分である NO_x 濃度と煙濃度について測定し、その発生状況について検討した。また NO_x 濃度の低減法である排気ガス再循環(EGR)による実験を行い、エンジンの運転条件の一つの最良点について検討した。以下その結果について報告する。

2. 実験装置, 方法

重な実験装置とその緒元は以下の通りである。

- エンジン 予燃焼室式ディーゼルエンジン
6.5 PS/1200 rpm, 815 cc
- 指圧計 抵抗線歪計式により写真撮影

○ NO_x 濃度 比色法(ナフチルエチレンジアミン法)

○ 煙濃度 ボッシュ式スモークメータ(単位: ボッシュ濃度)

実験方法は、負荷を 1/4 ~ 11/10 (平均有効圧力 2 ~ 6.5 kg/cm²)、回転数を 1000, 1200 rpm、噴射時期(IT)を上死点前 0° ~ 14°と変化させた。

指圧線図はシンクロスコープより写真撮影し、その圧力測定は拡大鏡により、クランク角度 - 40° ~ 60°の 101 点につき行い、その結果より熱発生率などを計算した。NO_x 濃度は、排気ガスを 50 ~ 100 cc をポンプにより採取し、比色計により測定した(1 点につき 3 回採取)。煙濃度はスモークメータによりこれも 1 点につき 3 回の測定を行った。

排気ガス再循環法は、排気ガスをフィルター(シリカゲル、ガラスワール)を通して、水分、煙粒子を除去して循環させ、その循環率を 0 ~ 25% とし実験を行った。

3. 指圧線図と熱発生率, 燃焼率

指圧線図は $P-\theta$ (圧力-クランク角度) 線図を、各実験点について 5 ~ 6 枚撮影した。燃焼変

* 助教授 機械工学科

** 技 官 機械工学科

動により圧力変動があるが、その燃焼最高圧力が平均値を示す $P-\theta$ 線図について圧力を測定し、熱発生率、燃焼率、燃焼温度などの計算を行った（本校計算機を利用）

○熱発生率の計算

熱発生率 ($dQ/d\theta$) は次式で与えられる

$$\frac{dQ}{d\theta} = \frac{dQ_b}{d\theta} - \frac{dQ_w}{d\theta} \quad \frac{dQ_w}{d\theta}: \text{冷却損失}$$

$$\frac{dQ_b}{d\theta} = \frac{A}{k-1} \left(kp \frac{dV}{d\theta} + V \frac{d}{d\theta} \right)$$

$$\frac{dQ_b}{d\theta}: \text{燃焼率}$$

圧力変化を

$$\frac{dp}{d\theta} = \frac{1}{12} (P_{\theta-2} - 8 P_{\theta-1} + 8 P_{\theta+1} - P_{\theta+2})$$

として、指圧線図より測定した圧力よりこの値を求め、体積変化、冷却損失を計算することにより、熱発生率を燃焼ガス成分割合、温度変化などを考慮し計算を行った。図1にその計算結果の一例を示す。燃焼ガス圧力、熱発生率および燃焼ガス温度を図示している。

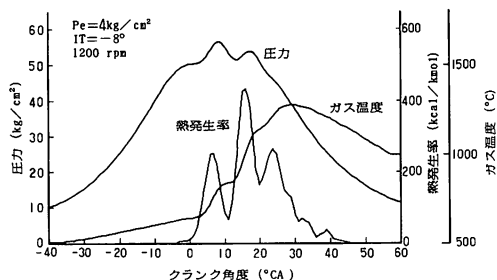


図1 出力結果

4. 実験結果

4. 1 燃料消費率、排気温度について

1) 負荷変化に対して

回転数 1000 rpm, 1200 rpm において最良の燃費率を示す噴射時期で行った結果を示したものが図2である。両者とも平均有効圧力 (Pe) が 5 kg/cm^2 附近において最良の燃焼率を示し、1000 rpm の方が低負荷では良いが、これは予燃室での渦流の影響が良い結果となって表われていると考えられる。排気温度は、両者はほぼ同様の傾向を示し上昇している。

2) 噴射時期変化に対して

平均有効圧力 4.5 kg/cm^2 で行った結果を示したものが図3である。1000 rpm では噴射時期が -6° 、1200 rpm では -8° 附近において最良の燃焼

率を示し、早い時期の方で 1000 rpm が悪くなっているが、これは燃焼期間が早く終ることと渦流

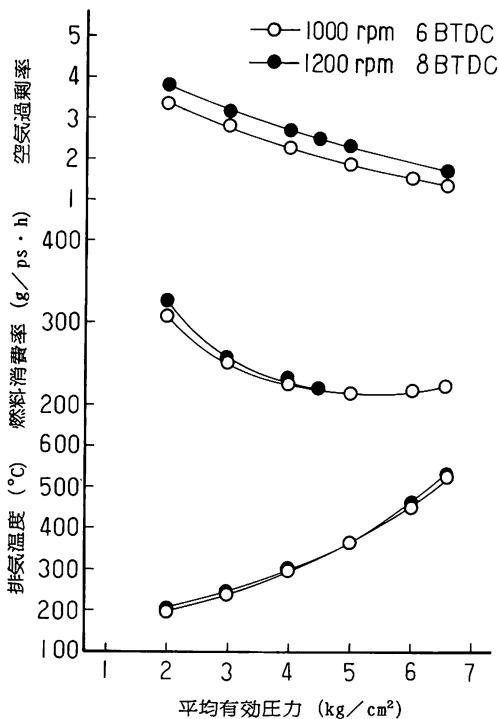


図2 負荷と性能

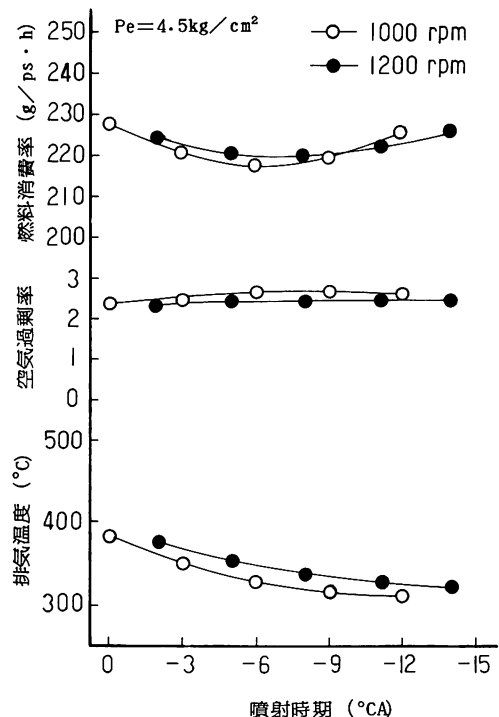


図3 噴射時期と性能

の利用の違いと考えられる。排気温度は噴射時期が早まるに従い、低下している。これは燃焼終了が早いと、冷却される期間が長いのである。

4. 2 NO_x 濃度、排煙濃度について

1) 負荷変化に対して

負荷変化に対する NO_x 濃度、煙濃度を示したものが図 4 である。NO_x 濃度は、実験値に変動はあったが一つの結果として、図の様に 1200 rpm では 5 kg/cm² まではほぼ一定であり、高負荷では酸素不足のため低下している。1000 rpm では負荷とともに増加しているが、一般的傾向としてこの中間の報告が多い (3/4 負荷位で最高値)。

煙濃度は負荷の増加に従い悪くなり、燃費率の傾向と同様の傾向を示し、酸素不足のため 5 kg/cm² 以上での上昇率が高くなっている。

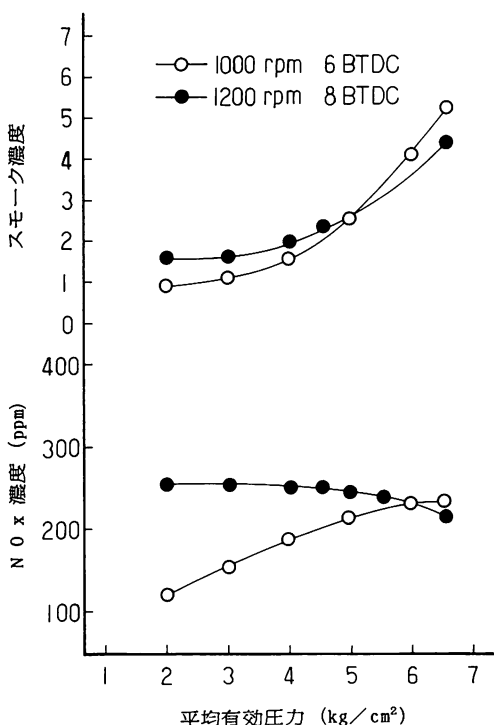


図 4 負荷と NO_x、煙濃度

2) 噴射時期変化に対して

噴射時期変化に対する NO_x 濃度、煙濃度を示したものが図 5 である。NO_x 濃度は噴射時期が早まるに従い増加している。これは燃焼ガス圧力、温度が高いためと NO_x 生成期間が長くなるためであり、遅くするとその逆の効果でかなり減少し

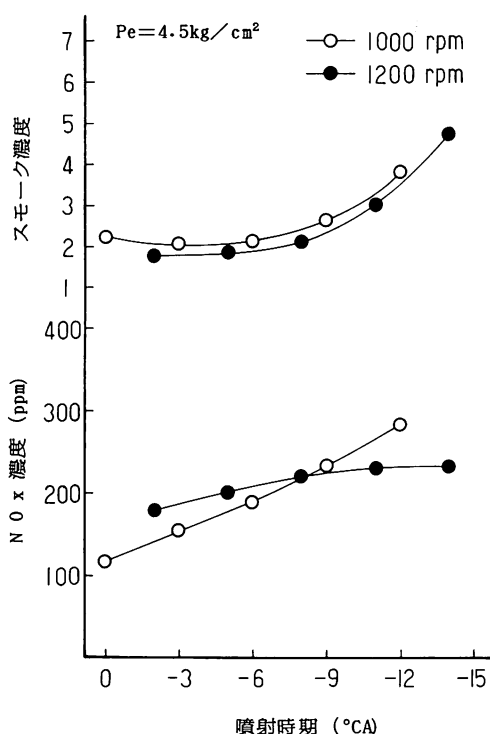


図 5 噴射時期と NO_x、煙濃度

ている。1000 rpm の方が減少割合 (280 ppm から 120 ppm) が大きく、それだけ回転数変化による渦流の影響があると考えられる。煙濃度も噴射時期が遅くなるに従い減少し、1200 rpm では約 5 から 2 へと減少し、燃費率をあまり悪化させずに、噴射時期を選択することにより、両者を減少させることができる。

4. 3 EGR について

図 6, 7 は排気ガス再循環による結果を示したものである。燃費率は循環率の増加とともに若干ながら良化している傾向にある。これは循環ガス吸入により渦流が増加した効果と考えられる。NO_x 濃度は循環率の増加に従い、かなり減少し 20% の循環率で約半減している。(250 ppm から 100 ppm) これは、燃焼ガス温度の低下によるものであるが、前記の燃費率を悪化させず、低減できることがわかる。排気温度はほぼ一定であり、燃焼ガス温度の影響が大きい。煙濃度は循環率が増加するに従い、不完全燃焼の増大により悪化しているが、この場合はそれほど大きな上昇割合でない (2.5 から 3.5)。しかし、ディーゼル機関の EGR は煙粒子の除去が問題であり、循環中に煙粒子を水分とともに除去したが、その量はかなりあった。

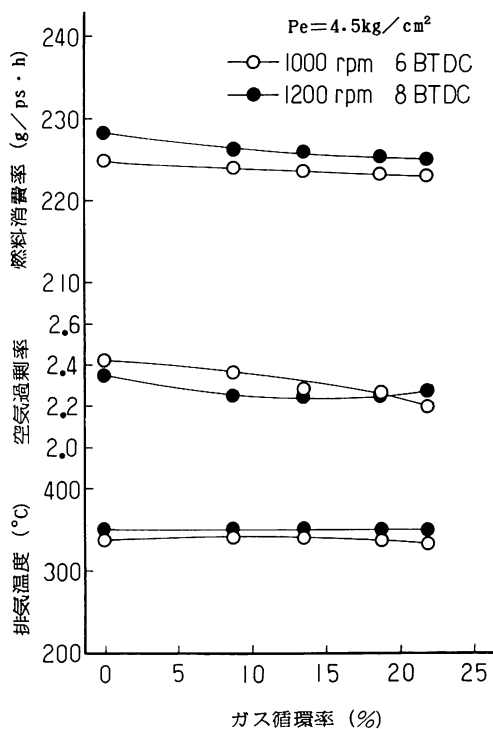


図6 EGR と 性能

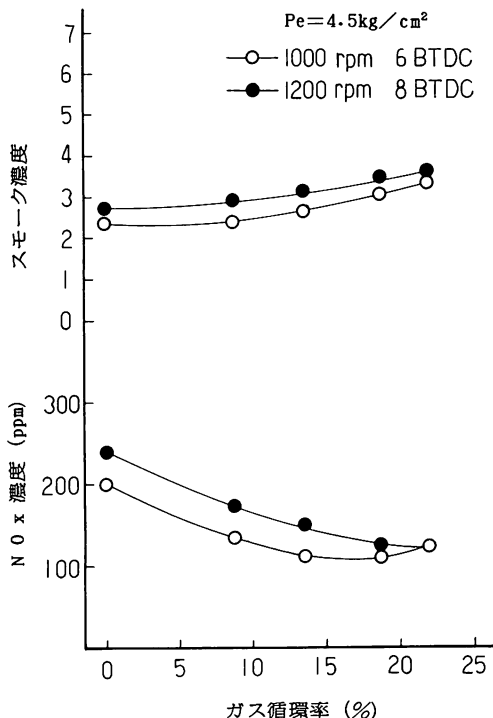


図7 EGR と NOx, 煙濃度

4. 4 熱発生率, 燃焼ガス最高温度・圧力

1) 負荷変化に対して

図8は負荷変化に対する熱発生率などの影響を示している。燃焼ガス最高圧力は(主燃焼室内)1200 rpmの方が1000 rpmより高い値を示し、かつ平均有効圧力にあまり変化を受けず、1200 rpmでは、高負荷で低下している。これは初期燃焼の割合によるもので、圧力上昇率は高負荷で低下している。又燃焼ガス最高温度は負荷とともに増加しているが、これはNOx濃度を増加させる因となっていると考えられる。(特に1000 rpmで)

熱発生率については、1000 rpmのとき、初期燃焼期に最大熱発生率を示し、主燃焼期は増加の傾向にあり、これは最高圧力の傾向と同様である。1200 rpmでは主燃焼期に最大熱発生率を示し、これが燃焼期間を短縮し、かつ燃焼温度を高める因となっている。1200 rpmについて言えば、燃費率と同じ傾向、すなわち3/4負荷附近で、最高点、最良点がほぼ一致している。

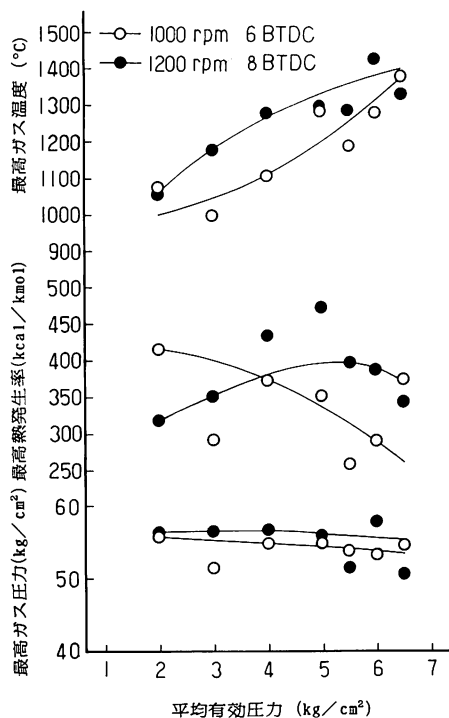


図8 負荷と熱発生率

2) 噴射時期変化に対して

図9は噴射時期変化に対する熱発生率などの影響を示したものである。燃焼ガス最高圧力は噴射時期が早まるとともに増加しかつ、圧力上昇率も

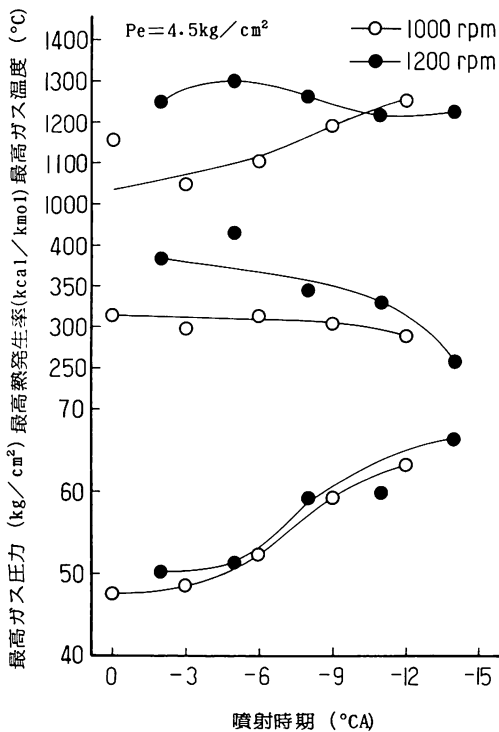


図9 噴射時期と熱発生率

3) 熱発生率については噴射時期などに対するその形状変化, NO_x 濃度との関係がある程度把握できたが, さらに解析を進めたい。

参考文献

- 1) 宮本, 佐々木: 北大工学部研究報告, 98 号。
- 2) 渡部他: 内燃機関, vol. 24, No. 306。

(昭和 61 年 11 月 29 日受理)

増加して, これがエンジン騒音を大きくする因となっている。さらに NO_x 増加の因となっており, 1000 rpm ではガス温度が上昇していることから 1200 rpm より NO_x 濃度が高くなる傾向と一致している。

熱発生率については, 噴射時期の影響が大きい。噴射時期が早くなるに従い, 初期燃焼期が大となって, 熱発生が急激となり, それが圧力を高くしている。主燃焼期はある程度ゆるやかになっている。最高熱発生率については変化は小さいが噴射時期が遅くなるほど増加し, それだけ早急に燃焼させ, NO_x 濃度を減少させる因となっている。

5. 結 言

1) NO_x 濃度, 煙濃度と噴射時期の関係については, その傾向が把握でき, 燃費率を悪化させることなく, 噴射時期を選択することにより両者を低減できる。

2) EGR については煙粒子の除去が問題であるが, 循環率 20% 位で NO_x 濃度を半減でき, 煙濃度の限界により循環率はきまる。

