

<ピストンリング>

コンプレッションリング  
オイルリング

<シリンダライナ>



## FIA-100 燃料着火燃焼性 試験結果報告書

2006年8月11日

ヴィクトリア 御中

株式会社フューエルテックジャパン

ご依頼のありました、調査サンプル油 (1) 軽油 (2) 軽油 1000:1 添加剤 の燃料着火・燃焼性試験器 FIA-100 による燃料着火・燃焼性試験の試験結果について、以下のとおりご報告申し上げます。

## 試験日

2006年8月10日

### 燃料の着火性・燃焼性の評価方法と、燃料着火・燃焼性試験器 FIA-100

燃料の着火性、燃焼性はディーゼル機関の性能、耐久性、故障、排ガス組成などにとって非常に重要な意味をもつものである。つまり、燃料の着火遅れ、燃焼期間などは、シリンダ最高圧力、圧力上昇率(爆発燃焼)、始動性や窒素酸化物の排出量などと深い関係があり、これが長すぎると危険である。これまで燃料正常から計算によって求めた着火性と実際のディーゼル機関での着火遅れとはあまり相関性は良くないことがいろいろな実験研究によって明らかになってきた。(図1)

そこで燃料の着火性、燃焼性を測定するために開発されたのが燃料着火・燃焼性試験器(Fuel Ignition Analyser : FIA-100)である。

この装置は、一定容積の燃焼機内に高温・高圧の空気を作り、この中に試験する燃料を噴射し燃焼させ、燃焼器内の圧力変化から燃焼に関するいろいろな情報を得るものである。着火遅れ、燃焼期間、熱発生率、最高熱発生率なども簡単に調べることができる。

また、同一燃料についての複数回の試験をした場合には、平均値、最大値、最小値、標準偏差なども調べることができる。

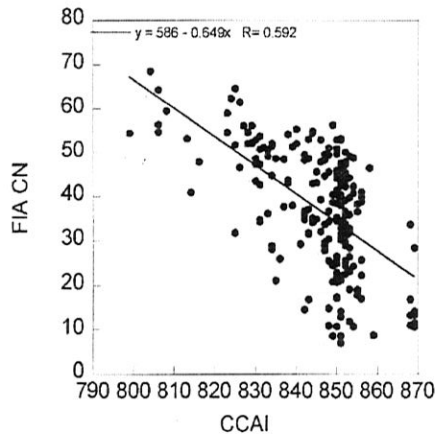


図1 CCAI と CIA CN との関係(過去の調査より)

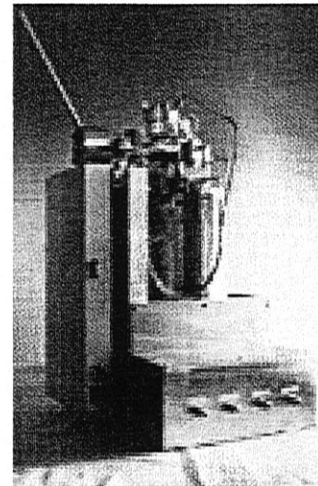


図2 FIA-100/4 概観図

### 試験装置

FIA-100 は、図2に示した装置である。測定原理は、一定容積の燃焼室内に高温高圧の空気を作り、この中に試験燃料を噴射し燃焼させ、燃焼室内の圧力変化から燃焼に関するさまざまな情報を得るものである。今回の測定では、FIA-100/4(装置番号 013.03.1098)を用いて行った。各サンプルは、噴霧特性を同一にするために動粘度がおおよそ 20cSt になるように燃料を加温して測定に用い、10回の噴射(1サンプルにつき12回の噴射を行い、はじめの2回分を棄却して10回の噴射とする)で1サンプル分のデータとした。燃焼条件はすべて同一とし、45bar, 450°Cとした。FIA セタン値は、セタン値が既知の2種の標準燃料を用いてあらかじめ作成された検量線を用いて割り出した。

1. 燃焼のプロセスが常に一定であること

燃焼のプロセスが1回の噴射や1気筒ごとに一定であることが重要です。一定な燃焼はエンジンの吹き上がりをスムーズにして、エンジンの持つ本来の性能を引き出すことができます。特にエンジンが多気筒になるほど、より一定であることが望まれます。

2. 燃焼期間がより早いこと

エンジンは、燃料が燃焼した後の圧力上昇を、ピストンを押し下げる力に変え出力を得ています。燃焼期間が早くなり、すばやく燃えきるようになることは、ピストンが上死点から下降する間の限られた時間（クランク角度で約40度まで）での、熱エネルギー(燃焼)から運動エネルギー(圧力)への変換の行なわれる時間がより多くとれることとなります。つまりエンジン効率が上がるため、エンジン出力と燃費の向上につながります。またエンジンが有効な出力をえるために必要な燃焼時間内で燃えきらない燃料は、シリンダーヘッド、ピストンヘッド、吸排気バルブにデポジットを付着させ、良好な燃焼を妨げることとなり、最後にはエンジンにダメージをあたえてしまう結果を招きます。

3. 着火性能が安定していること（着火遅れ値の標準偏差が小さいこと）

着火に至るまでの時間が1回の噴射や1気筒ごとに異なると、本来着火するべきポイントの前や後で燃焼しはじめ、エンジン回転のばらつきや出力低下に結びつきます。エンジンの多気筒化が進んでいる現在では、添加剤に求められる重要な要素であるといえます。

4. 着火をむやみに早くさせないこと

着火する時間をただはやくするだけでは、燃焼性を向上させたことにはなりません。むしろピストンが上昇し、本来着火するべきポイントの前で燃焼を始めてしまうようでは、エンジンはスムーズな回転を保てません。こうなるとノッキングの発生や、ピストンの上昇が妨げられることからくる出力の低下、そしてピストン・コンロッドメタルなどエンジンへのダメージを与えることにつながってしまうのです。一般的にセタン価向上剤といわれるものは、添加剤自身が早く燃焼することにより着火がはやまるという考えから用いられています。そのため燃料が燃焼し始めるまで添加剤で燃焼させるため、必要な添加剤の量は多めになっています。重要なのはエンジンで使われる燃料は、エンジンが要求する燃焼条件より着火をはやくしてしまわないことなのです。

#### 4. エンジンの噴射時期について

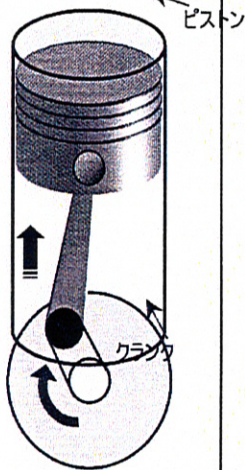
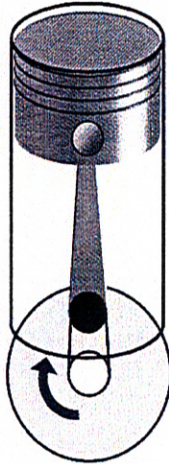
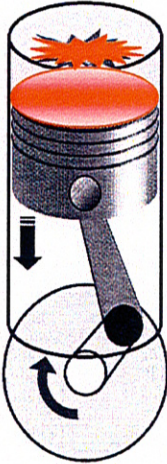
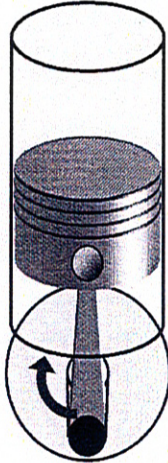
ディーゼルエンジンは、空気を圧縮して高温高压の条件下での自然発火の性質を利用しているもので、噴射時期の設定は非常に重要となります。石油燃料の品質は、現在輸入されている原油の問題や精製上の問題、需要のバランスなどの要因で年々低下しています。

ディーゼルエンジンの噴射時期は本来の着火性(セタン価)に合わせて調整されるべきですが、現在では必ずしもそうなってはいません。その理由は次のとおりです。

1. ディーゼルエンジンの噴射時期は、エンジンの製造された時代の燃料の着火性に合わせて設定されていること。
2. ディーゼルエンジンが使用されている内燃機関は、耐久年数が長いことが利点であるが、10年～20年前に製造されたものが現在も使用されており各年式の機関の噴射時期はさまざまである。
3. 最近、ディーゼルエンジンの黒煙、NOxその他排気エミッションの問題が大きく取り上げながらも、燃料の質は徐々に低下している。エンジンメーカーは、NOx対策のため、噴射時期を遅らせることにより対応しているケースが見られること。

※ 各社エンジンの燃焼特性は、それぞれの特徴を持っており、同一燃料に対して噴射時期(着火遅れ)や燃焼時間に違いがあります。各エンジンには要求セタン価があり、本来燃料が変われば噴射時期などの調整をしなければなりません。

図 エンジンの噴射時期イメージ

燃料噴射時期	上死点(着火時期)	理論燃焼範囲	下死点
			
クランク角度 <b>-8~-12°</b>	着火のばらつき(偏差)が小さいことは非常に重要	燃焼期間が <b>40°</b> より長くなりすぎないことは非常に重要	<b>180°</b>

### FIA-100 着火性および燃焼性の定義

FIA-100 による試験結果の燃焼曲線の一例および熱発生曲線の一例をそれぞれ図 3 および図 4 に示す。図 3 において、横軸は時間を示しており、その単位はミリセカンドである。時間軸の 0 は、噴射始めを意味している。着火遅れは、噴射始めから着火点、つまり圧力上昇が基準圧力より 0.2bar 上昇したときとし、着火遅れ MD と定義する。燃料によっては、一部燃焼するが主燃焼に至らないものもある。つまり、実質的な着火の始まりは主燃焼の開始であると定義したほうが、実際のディーゼル機関にとっては意味があると考えられる。この実質的な着火遅れは、燃焼圧力が基準圧力より 1.0bar 上昇したときとし、主燃焼開始 MD' と定義する。

燃料の燃焼性評価には、燃焼時間を用いている。燃焼時間は、燃料が噴射されてから 95% 燃焼が終わるまでの時間 (ROHR における 100% 燃焼終わり位置が不明瞭であるため) で評価し、これを全燃焼期間 Mat と定義している。もうひとつの燃焼性は、MD' から 95% 燃焼が終わるまでの時間を測定し、これを燃焼時間 Mat-MD' と定義している。これらの時間で燃焼性を評価する。これらが短い燃料ほど燃焼性がよく、燃焼時間の長い燃料は燃焼性が悪いと定義した。

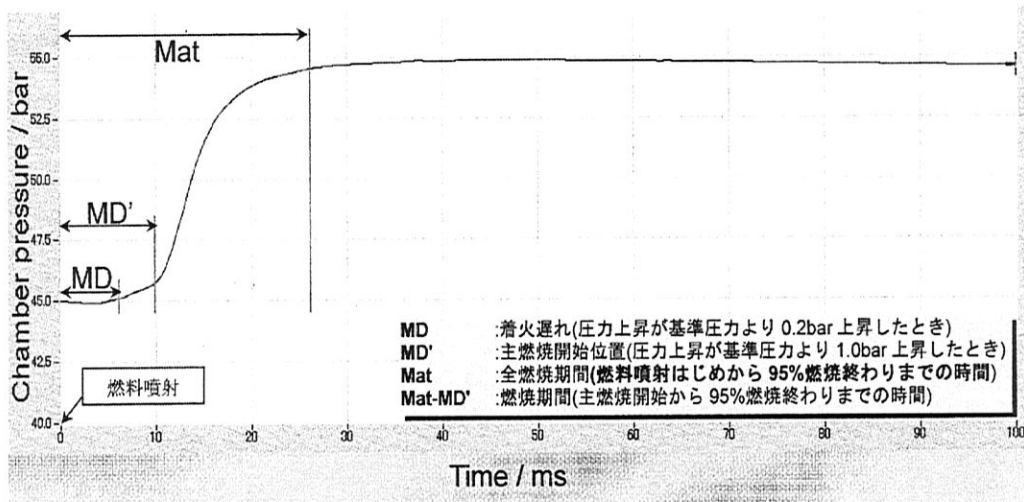


図 3 FIA-100 分析結果の一例 燃焼曲線

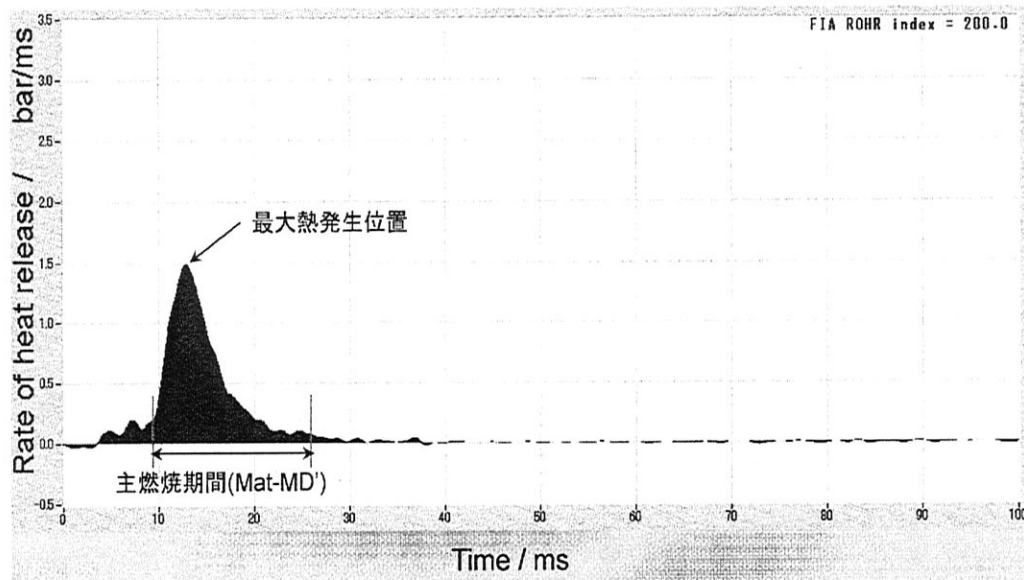


図 4 FIA-100 分析結果の一例 熱発生曲線

### 試験結果

今回の調査サンプル油の FIA-100 分析は、FIA-100/4(装置番号 013.03.1098)を用いて行いました。測定は、10 回の噴射\*でひとつのデータとしています。測定条件(燃焼室燃料噴射条件)はすべて同一とし、燃焼室圧力 45bar, 燃焼室温度 450°Cとしています。

FIA セタン価は、あらかじめこの FIA-100 で作成された下図のような検量線を用いて割り出しました。なお、燃料着火遅れを割り出す Pressure limit 値(Pressure limit 値については表 1 注釈を参照)は 1.0bar としています。

\* : 1 検体につき 12 回の噴射を行い、はじめの 2 回分を棄却して 10 回の噴射とした。

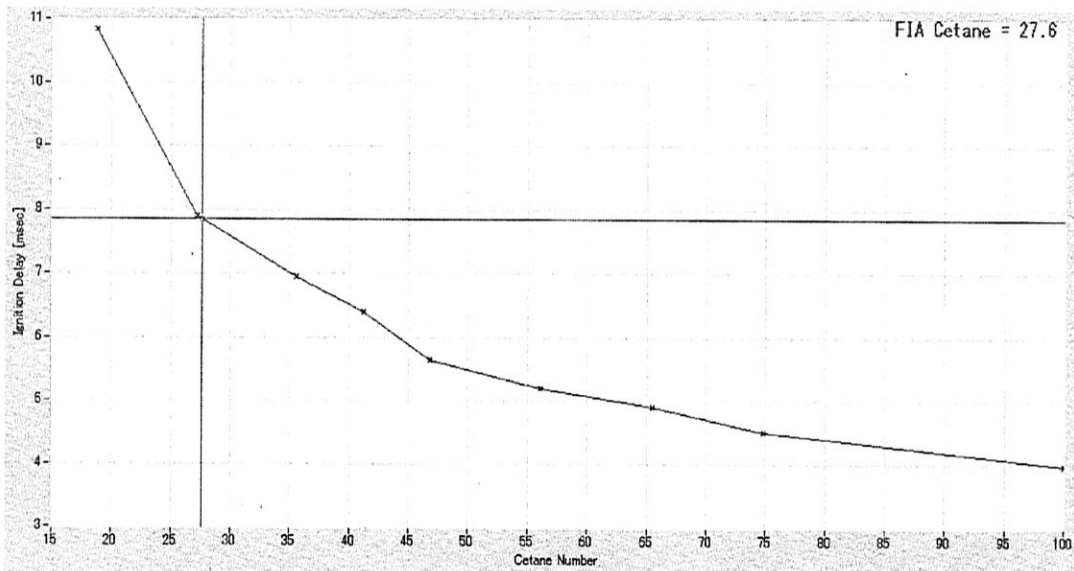


図 FIA-100 検量線の一例

(縦軸は着火遅れ[ms]、横軸はセタン価。燃料噴射時燃焼室条件:45bar, 450°C Pressure Limit=1.0bar)

### 試験結果

今回ご依頼の添加剤 (CDC100) についての試験結果を以下にご報告致します。市販の自動車用軽油に添加剤を 0.1 vol% 添加した燃料②を作り、これと添加剤をしてない燃料①を用いて比較燃焼試験を行った。この FIA100 による燃焼比較試験の結果は以下の図 5-1,5-2,6 に示す通りである。

# [1] 軽油

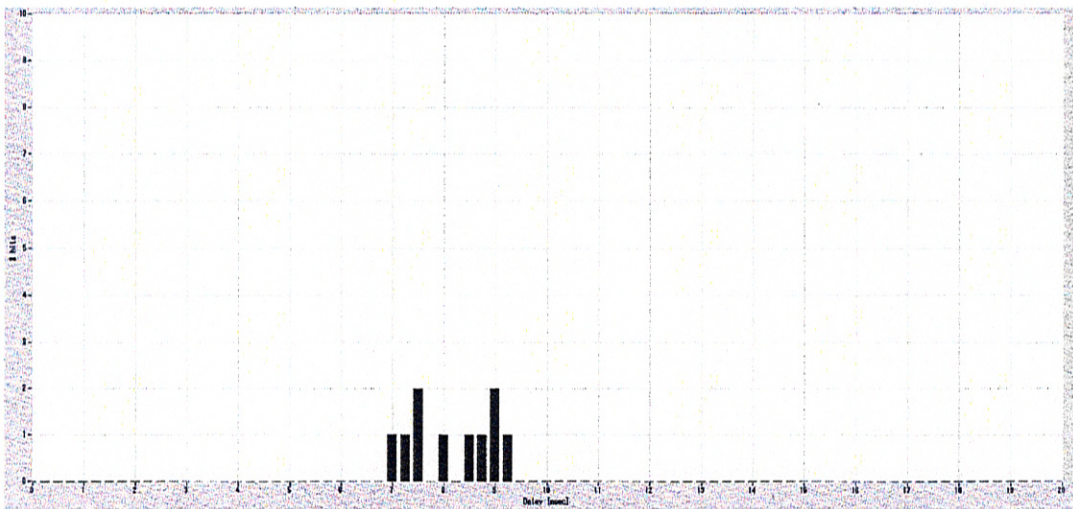
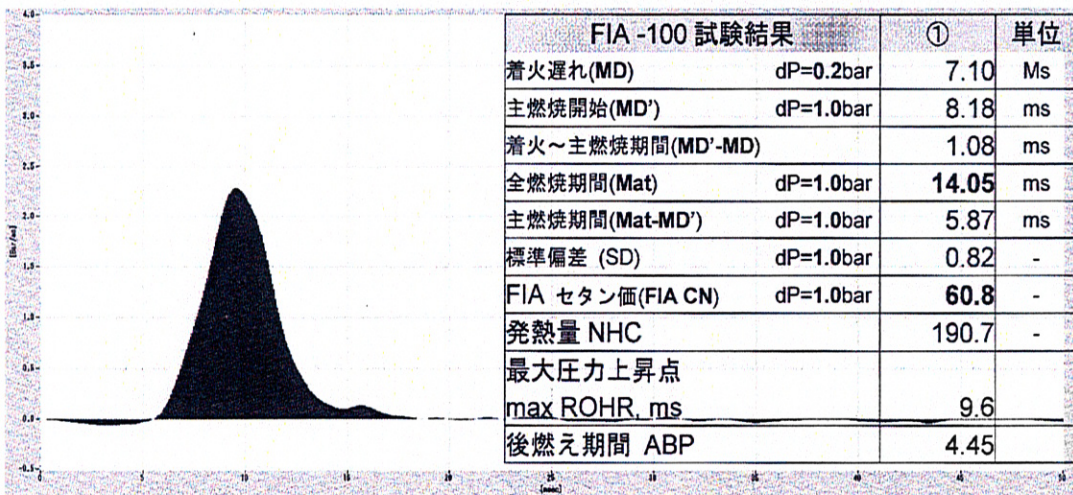
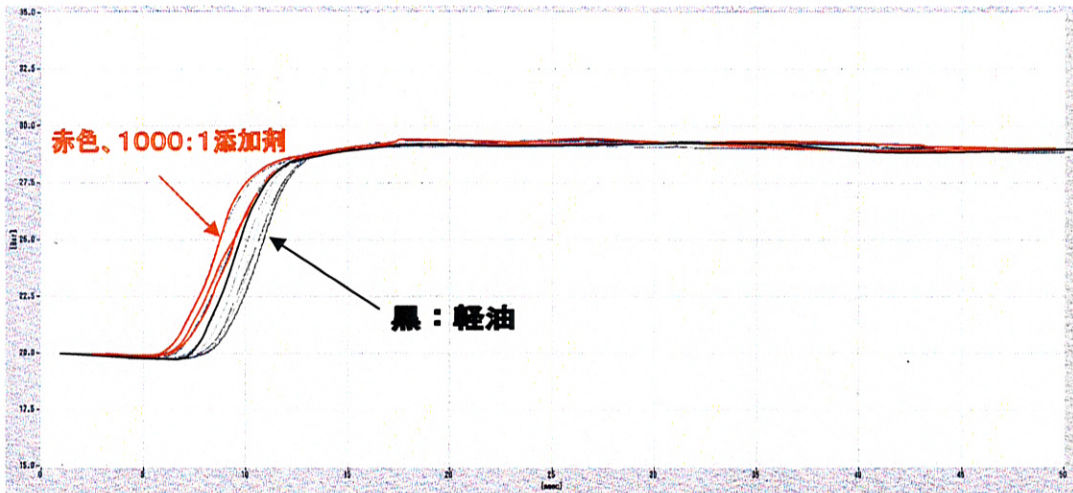


図 5-1 上から燃焼曲線、熱発生曲線、ヒストグラム(すべてのグラフの横軸単位は ms)

## [ 2 ] 軽油 1000:1 添加剤

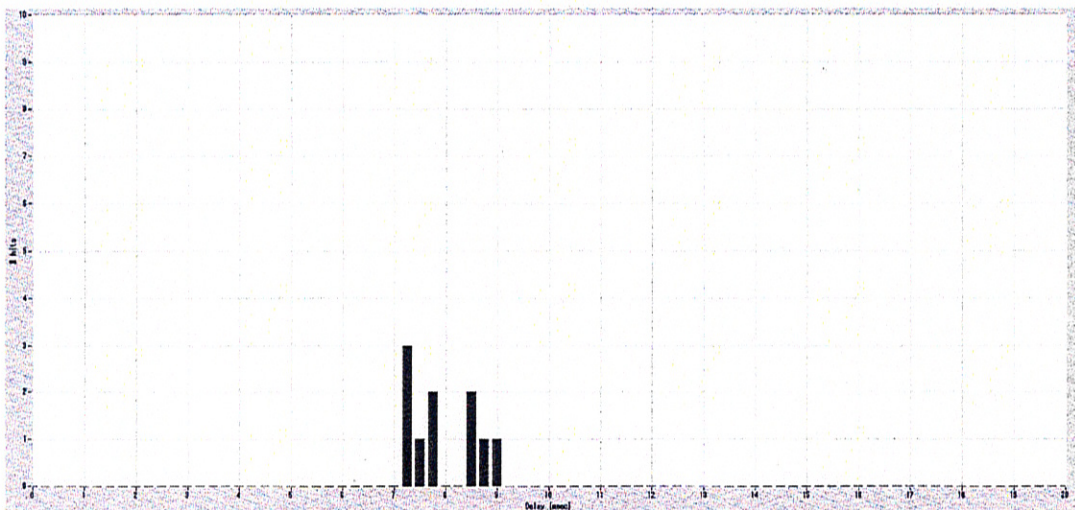
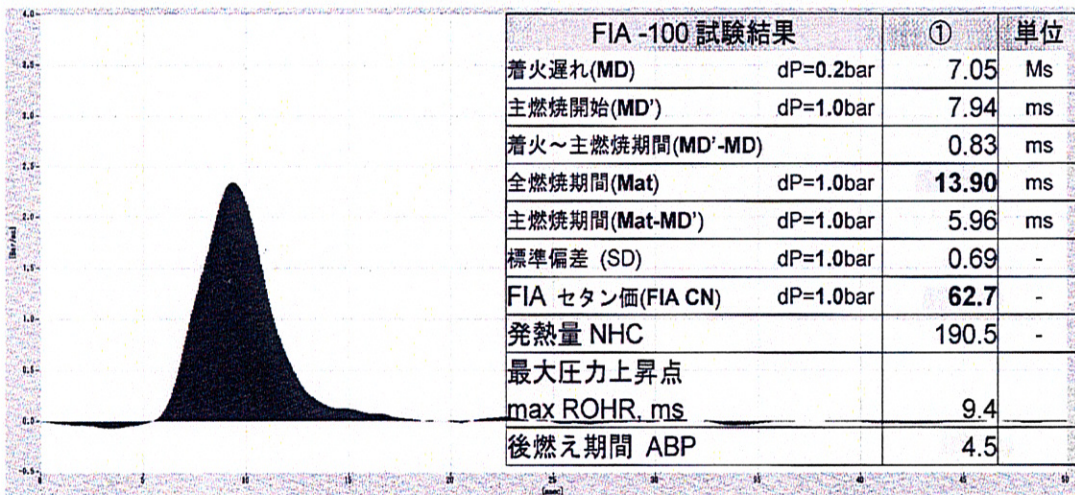
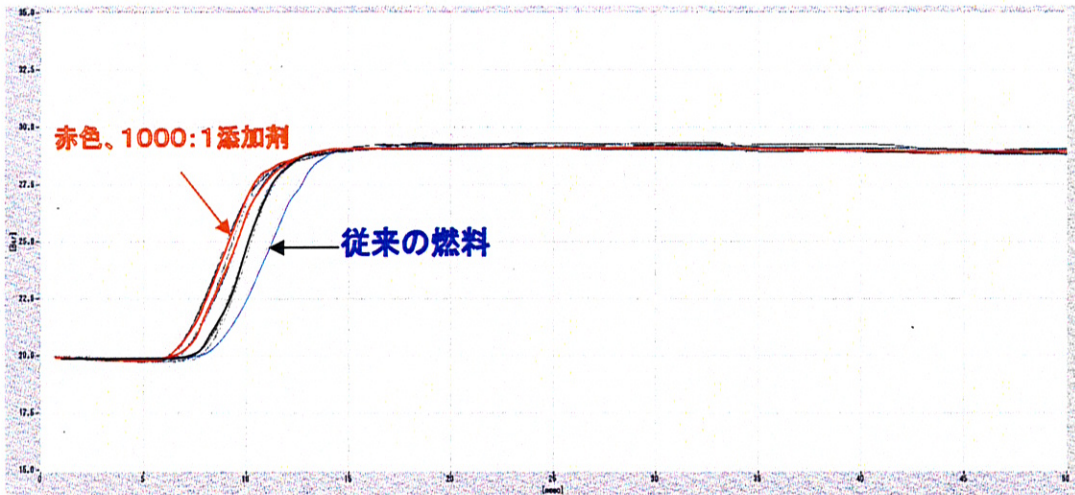


図 5-2 上から燃焼曲線、熱発生曲線、ヒストグラム(すべてのグラフの横軸単位は ms)



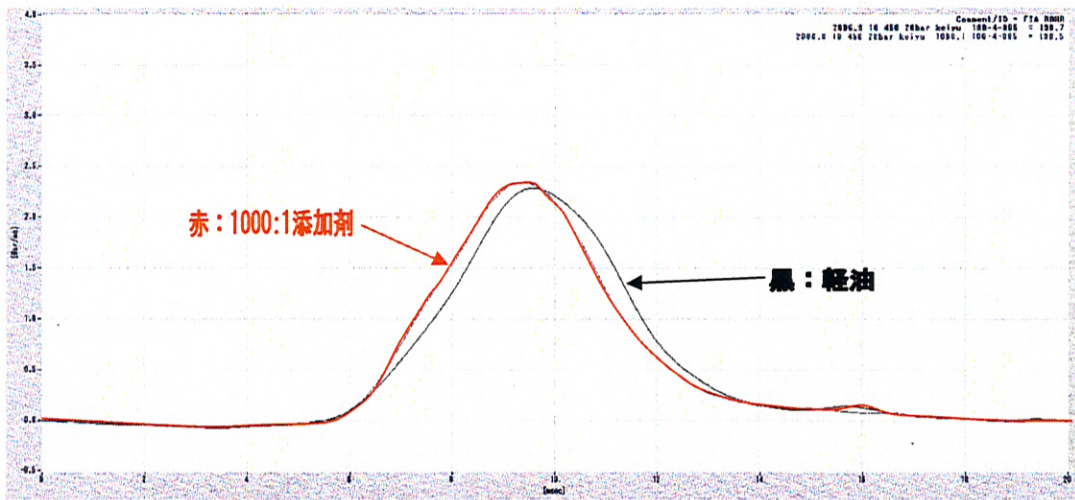


図 6 黒：軽油 赤：1000:1 添加軽油

### 試験結果に対する考察

図 6 に無添加軽油と 0.1 Vol% CDC100 を添加した軽油の熱発生曲線を示す。この図は縦軸が熱発生率（燃焼率＝単位時間あたりの燃焼量）を示している。横軸は燃料が噴射されてからの時間を示している。燃料がシリンダ内に噴射され、蒸発し着火、燃焼し燃え切るまでの過程を、この図は示している。

着火性については、無添加の燃料に比較して 1.9 の向上が見られる。これは高速ディーゼル機関の燃料として使用する場合には、非常に重要な特性であり、燃費改善には効果がある。

主燃焼期間については、僅かではあるが無添加燃料に比較して短縮されている。主燃焼期間の短縮は燃費の向上をもたらすものである。また、主燃焼期間の短縮は排気ガスの浄化（PM，スートの減少）にも寄与するものである。

以上の燃焼試験の結果から、この添加剤の使用により燃料消費率の低減、及び排気ガスの改善が期待できる。