# プラズマ点火を用いたディーゼル機関用テストベンチの製作

日大生産工(院) 〇牧 正悟 日大生産工(院) 平川 健人 日大生産工 氏家 康成 日大生産工 今村 宰 東京大・工 津江 光洋 東京大・工 中谷 辰爾

#### 1. はじめに

ディーゼル機関において, 圧縮比が高いほ ど理論熱効率が向上することはよく知られて いるが,高圧縮比化により摩擦の増大や圧力 上昇に対する機械的強度が必要となる.その ため,コストや重量の増大,さらには振動の 増大という欠点がある.また,燃焼温度が高 く,NOxの発生が多い.そのため近年では,従 来よりも圧縮比は低い方が良いと考えられて いる.

低圧縮比化により理論熱効率は下がるが, 機械効率が大きく向上し,コスト,重量,振動 を低減できる.また,燃焼温度が下がり NOx の発生を抑制できる.しかし,低圧縮化によっ て自己着火しにくくなる欠点がある.そこで 現在,ディーゼルエンジンの低圧縮化を実現 させるためのあらたな技術を求められてい る.

本研究では,確実な点火と NOx, 煤の低減 を実現させる,プラズマアシストディーゼル エンジンに着目し,その点火および燃焼特性 を調査するためのテストベンチを製作した. 現段階ではディーゼルエンジンとプラズマ発 生装置は分けて実験を行っており,ここでは 主に,プラズマを発生させるためのアンテナ の形状の違いによる放電実験の結果を報告す る.

# 2. 実験装置および方法

本実験装置は Fig.1 に示したエンジンベン チと Fig.2 に示したプラズマ波発生装置から 構成される. 放電実験はプラズマ発生装置の みで行った.

# 2.1 エンジンテストベンチ

ディーゼルエンジンの仕様は,単気筒 557.6 cc,ボア×ストローク φ86×96,圧縮比 14,最高出力 25 kW/ 3600rpm (過給器有りの とき)である.冷却方式は水冷式,オイル循環 には,リザーバータンクを設けたドライサン プ方式を用いている.動力測定には明電舎製 電気動力計,燃焼圧測定にはキスラー製圧 カセンサ,チャージアンプ,オシロスコープ を用いている.



Fig.1 Engine bench



Fig.2 Plasma generator

Fabrication of Test Bench for Diesel Engines using Plasma Ignition.

Syougo MAKI, Kento HIRAKAWA, Yasushige UJIIE, Osamu IMAMURA, Mitsuhiro TSUE and Tatsuji NAKAYA

# 2.2 プラズマ発生装置および方法

プラズマ発生装置は2.45GHzマイクロ波発 生装置,スラグチューナ,アンテナより構成 されている.導波管に取り付けたサンケン製 SDT-50Sの検波器を用いて入射波と反射波の 出力を測定した.アンテナは Fig.3 に示した シリンダーヘッドを模擬した丸棒に入ってお り(以降ダミーヘッド),トリガースパークに は着火マンを改造したものを使った.



Fig.3 Dummy head

#### 2.2.1 実験方法

マグネトロンよりマイクロ波を発生させス ラグチューナで整合をとりながらマイクロ波 出力を徐々に上げ、トリガースパークをかけ ることによりプラズマを発生させた.ここで の整合とは、Fig.4 に示したような入射波と反 射波の出力の差が最大になったときとし、マ イクロ波出力はマグネトロンの電流値で調整 した.



Fig. 4 Matching

# 2.2.2 アンテナ

Fig.5 に最初に用いたアンテナを示す(以降 アンテナ P).アンテナ P は材質が SUS304,2 か所に絶縁セラミックスが付いており, Fig.6 に示したシールド管に相当するアンテナカバ ー( 先端はセラミックスの筒) に挿入し,ダ ミーヘッドに取り付けた.







Fig.6 Antenna cover

### 3. 結果,考察および改善

アンテナ P の放電実験を行った結果, プラ ズマの発生は確認されなかった.また, アン テナカバーが赤熱され,実験後アンテナを取 り出すと根本に近いセラミックスが割れてお り加熱痕が残っていた.これはセラミックス の端面で沿面放電が起きたと考えられる.

根本に近いセラミックスがない状態で再度 実験を行うと、先端部のセラミックスの根元 部の保護管が熱膨張により膨らみ変形してい た.中間部にあるセラミックス部には異変は 観察されなかった.この結果から考えると、 セラミックスの端面で沿面放電が生じている が必ずしもセラミックスがあれば生じるわけ ではなく、マイクロ波の波長とも関係がある と考えられる.

# 3.1 改善1

アンテナ P の実験結果から, アンテナについ ていた絶縁セラミックスをなくし, アンテナ 線の段差をなくしたアンテナ F と段差をなめ らかにしたアンテナ S を製作した. アンテナ F を Fig.7, アンテナ S を Fig.8 に示す. また, 先端のセラミックスの形状を Fig.9 のように 変更した. アンテナ F, アンテナ S は放電時に アンテナの様子がわかるように, 先端のみに ダミーヘッドを取り付けた. ダミーヘッドを 付けたアンテナ F を Fig. 10 に示す.



Fig. 7 Antenna F



Fig. 8 Antenna S



Fig. 9 New protective tube



Fig. 10 Antenna F (Dummy head only the tip)

# 3.1.1 アンテナF

アンテナFはN端子とアンテナ線を繋ぐ部 分のみ $\phi$  3mm になっており、それ以外は $\phi$  2mm のストレートになっている.

アンテナ F の放電実験を行った結果,スパ ークの光が多少大きくなる程度で,プラズマ の発生は確認できなかった.しかし,アンテ ナカバーが赤熱されることはなく,変形も見 られなかった. また, アンテナ線には 3 か所 に加熱痕がみられ, その間隔は 60mm 程度だ った.

# 3.1.2 アンテナS

アンテナSはN端子から45mmまで $\phi$ 4mm, その後 $\phi$ 2mm のアンテナ線になめらかにつ ながれている.

アンテナ S の放電実験を行った結果, アン テナ F 同様にスパークの光が多少大きくなる 程度でプラズマの発生は確認できなかった. またアンテナカバーが赤熱されることはなく, 変形も見られなかった. アンテナ F と同様に アンテナ線には 3 か所加熱痕がみられ, その 間隔は 60mm 程度だった.

### 3.1.3 考察1

アンテナ F, アンテナ S の放電実験の結果 を比較すると,同じ位置に加熱痕が見られた. その間隔は両アンテナとも 60mm 程度であ った.またこの距離は 2.45GHz の 1/2 λとほ ぼ一致している.このことから,アンテナ線 の段差はあまり関係が無いと考えられる.

#### 3.2 改善2

アンテナ P, アンテナ F, アンテナ S, にお いてもプラズマの発生を確認することが出来 なかった. そこでアンテナ線での電力損失を 低減すべく,より短いアンテナを製作した (以降ミニアンテナ). Fig.11 にミニアンテナ を示す.



Fig. 11 Mini Antenna

#### 3.2.1 ミニアンテナ

ミニアンテナはアンテナ線全長が 35mm, 直径φ3mm,φ6mm の絶縁セラミックスが 2か所付いており,Fig.12のようにダミーヘッ ドに取り付けた. ミニアンテナで放電実験を行った結果,ス パークの光が多少大きくなる程度でプラズマ の発生は確認出来なかった.

#### 3.3 改善4

アンテナ P, F, S, ミニアンテナにおいてプ ラズマの発生を確認することが出来なかった. そこで、ダミーヘッドにアンテナ先端部に対 向する接地電極を設けることにした. Fig.13 にミニアンテナ用ダミーヘッドに対向電極を 設置したものを示す.

# 3.3.1 ミニアンテナに対向電極を設置

対向電極を設置したミニアンテナで放電実 験を行った結果,対向電極のみにスパークを 飛ばした場合のみに安定してプラズマの発生 を確認することが出来き,スパークをアンテ ナのみに飛ばした場合と対向電極,アンテナ 両方に飛ばした場合にはプラズマの発生を確 認できなかった.

# 3.3.2 アンテナFに対向電極を設置

アンテナ F の先端のみのダミーヘッドに も対向電極を設置し,放電実験を行った.そ の結果,対向電極のみにスパークした場合と 対向電極,アンテナ両方にスパークをさせた 場合に安定してプラズマの発生を確認できた. Fig.14 にプラズマが発生している様子を示 す.

同様に当初のダミーヘッドに対向電極を 設置し、アンテナFで放電実験を行った結果、 対向電極のみにスパークした場合と対向電極、 アンテナ両方にスパークをさせた場合に非常 に不安定ではあるがプラズマの発生を確認す ることが出来た.

# 3.3.3 考察 2

ミニアンテナではトリガ放電を適切に与え た場合には常にプラズマの発生を確認できた が,アンテナ P で用いたダミーヘッドではプ ラズマ発生が不安定であることから,実機の 燃焼室内壁に相当するグラウンドの大きさが 関係していと考えられる.



Fig. 12 Dummy head of mini antenna



(Establishment of counter electrode)



Fig. 14 Plasma generation

### 4. おわりに

対向電極を設置することにより、プラズマの発生を確認することは出来たが、当初のダ ミーヘッドではプラズマの発生が不安定である.

今後は、グラウンドの大きさがプラズマ の発生に及ぼす影響、よりプラズマが発生し やすいアンテナの位置、アンテナ先端部での 出力を調査する.そして安定的にプラズマの 発生が確認できたら、実際のエンジンヘッド に取り付けて実験を行う.

このプラズマが実際の燃焼に利用できれば 低圧縮比でも確実な点火が保証され,正味熱 効率が高く,クリーンなディーゼル機関が実 現できると期待される.