

ディーゼルエンジンの実動時ピストン温度計測技術

Piston Temperature Measurement Technology for Actual HSDI Diesel Engines

勝 俣 耕 二*

Koji KATSUMATA

青 木 忠 信*

Tadanobu AOKI

清 水 賢 治*

Kenji SHIMIZU

荒 井 秀 実*

Hidemi ARAI

要 旨

高出力化と共にさまざまな燃焼制御がなされる近年のディーゼルエンジン開発に適したピストンの非接触リアルタイム温度計測手法を新たに導入し、エンジン単体および実車走行時の温度特性を計測した。

本手法は小型テレメータを用いており、アンプやアンテナをピストンに搭載可能である。このためレイアウト性、作業性に優れている。本手法を用いて平均ピストンスピード 14 m/s 以上のディーゼルエンジンにて従来リンクシステム同等の計測精度と、15 時間以上の耐久性を確認した。

本手法にてディーゼルエンジンの運転パラメータがピストン温度へ及ぼす影響を把握した。また運転条件全域におけるピストン温度マップを作成し、燃費、エミッションへの寄与について検討した。

ABSTRACT

A new telemetry-based method for measuring piston temperatures in real time was introduced that is suited to the development of diesel engines, which are becoming higher output and using various types of combustion control in recent years. This method was used to measure temperature characteristics in engine bench tests and while cruising in an actual vehicle.

The new method uses a compact telemeter, and the amplifier and antenna can be mounted on the piston, facilitating both layout and work. This method was confirmed to provide measurement accuracy equivalent to that of the conventional linkage system and to have durability of 15 hours or more in diesel engines with an average piston speed of 14 m/s or more.

The new method was used to understand the effects of the diesel engine operation parameters on piston temperature. In addition, a piston temperature map was created that covers all operating conditions, and the contribution to fuel economy and emissions reduction was also investigated.

1. はじめに

乗用車用のディーゼルエンジンは CO₂ 排出低減に向けて有効な手段である一方、厳しい排ガス規制への対応を求められている。このため、近年のディーゼルエンジンにおいては多種多様の燃焼制御をおこなっている^{(1), (2)}。さらに高過給ダウンサイジング化による出力密度の向上も併せて重要である。燃焼状態の把握や耐久性への影響等を検討するために、ピストンの温度計測は重要な技術となる。

これまでにさまざまなピストン温度計測手法が提案されてきたが、近年の開発ニーズに対応しきれていないのが現

状である。材料の硬度劣化を温度に換算する間接手法は、一定速運転が必要であり、多様な温度計測には時間的制約がある。広く用いられているリンクシステムはロングストロークのエンジンや高回転型のエンジンにおいて計測線の屈曲部が疲労破壊してしまい寿命が限定されてしまうため、長時間の計測には不向きである。

二輪やレース車のエンジンのような高回転の用途としてサーミスタを用いたコンパクトな手法も開発されている⁽³⁾⁻⁽⁵⁾が、主に用いられる NTC サーミスタの特性上 400℃ にも及ぶディーゼルピストンの温度域では十分な抵抗値変化が無いため、温度として精度が得られない。

*四輪 R&D センター

本計測システムは小型テレメータを使用しており、測温線としてシーす熱電対を用いている。またテレメトリシステムがピストンに収まるコンパクトなものであるため、リンクシステムを使った有線方式ではレイアウト上困難であったV型エンジンや実車への適用が容易であるのも特徴である。

本計測システムを用いてエンジン単体および実車で実動時のピストン温度を計測することが可能となった。従来おこなわれている耐久性に関する調査に加え、燃費向上の可能性について検討したのでその結果について報告する。

2. 計測システム概要

Fig. 1 に本計測システム全体の図を示す。下死点でピストンよりデジタル転送された信号はレシーバ内でD/A変換されアナログ信号として出力される。この出力されたアナログ信号を計測デバイスとPCで温度に換算することにより実動時のピストン温度をリアルタイムに把握することができる。

信号伝達の状況を Fig. 2 に示す。ピストンにはセンサアンプとコイル状のロータアンテナを搭載する。このロータアンテナとシリンダブロック側に取り付けたロッド形状のアンテナが下死点近傍で近接することにより電力および計測信号の授受をおこなう。ピストン側への電力供給は電磁誘導にておこない、供給された電力によりセンサアンプが熱電対の起電力を増幅し、A/D変換後、搬送波にデータをのせて計測信号をロッドアンテナに伝達する。この信号伝

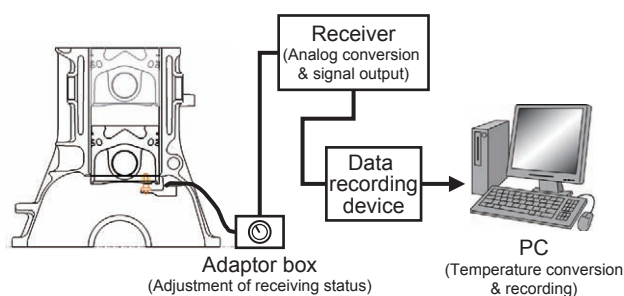


Fig. 1 Configuration of measurement system

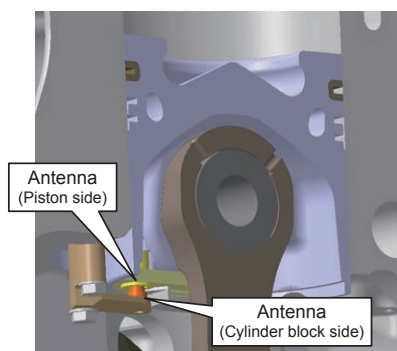


Fig. 2 Temperature measurement system

達はデジタル転送でおこなわれるため、ノイズに対してのタフネスが高い。

ピストンに搭載するセンサアンプは最大6チャンネル測定可能である。マルチプレクサにて多チャンネル化に対応しているため、測温線は非接地型のシーす熱電対を用いる必要がある。

Fig. 3 は実際にピストンにセンサアンプおよびロータアンテナを搭載した状態である。

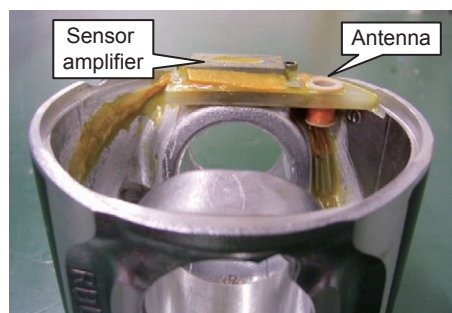


Fig. 3 Measurement piston mounted with new telemetry system

3. 計測性能

本計測システムの計測精度および耐久性の確認を実施した。今回用いたディーゼルエンジンの諸元を Table 1 に示す。基本性能の確認は2004年モデル i-CTDI エンジンでおこなった。また計測ポイントについては Fig. 4 に示すポイントを選定した。燃焼室に面したポイントについては表層より0.5 mm 内部に熱電対の先端が配置されている。

精度の確認は従来用いられている露出型熱電対と非接地型シーす熱電対を同一ピストンのピンボス部に近接配置し、前者をリンクシステムにて、後者をテレメータシステムにて同時計測して比較をおこなった。

Fig. 5 は温度精度を検証した結果である。エンジンの出力によらず両手法の差異は約2℃であり、テレメータを用いた本計測システムが従来手法と比較し十分な精度を有することを確認した。なお計測値は各運転条件で温度が安定した後1分間の定常運転中の平均値を採用している。

また Fig. 6 は温度の過渡特性を比較した結果である。従来リンクシステム同様に、トルクの上昇や下降に伴いレスポンス良く温度も上下動している様子がわかる。

連続運転をおこない、計測器の耐久性を評価した結果を Fig. 7 に示す。高負荷での運転パラメータ変更の影響を確認しながらのテストであったが、15時間を越える寿命を有しており、リンクシステムにおける高回転テストの実績が2時間程度であることを考えると、十分な耐久性である。

計測器としての精度および耐久性としては十分な性能が得られた。

Table 1 Specifications of test engine

Specification	04M/Y i-CTDI diesel engine	08M/Y i-DTEC diesel engine
Bore x Stroke (mm)	85 x 97.1	85 x 96.9
Displacement (cm ³)	2204	2197
Compression ratio	16.7	16.7
Max engine power (kW/rpm)	103/4000	110/4000
Max engine torque (Nm/rpm)	340/2000	350/2000
Max piston speed (m/s)	14.6	14.5

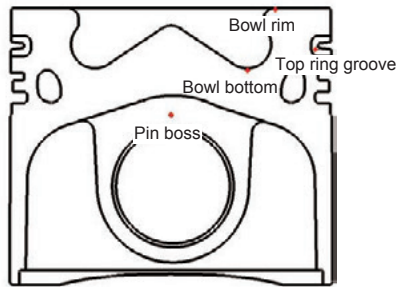


Fig. 4 Measurement points in thrust cross-section

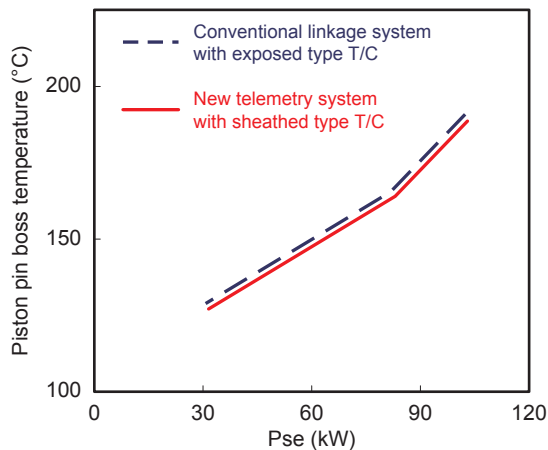


Fig. 5 Temperature correlation of both measurement systems

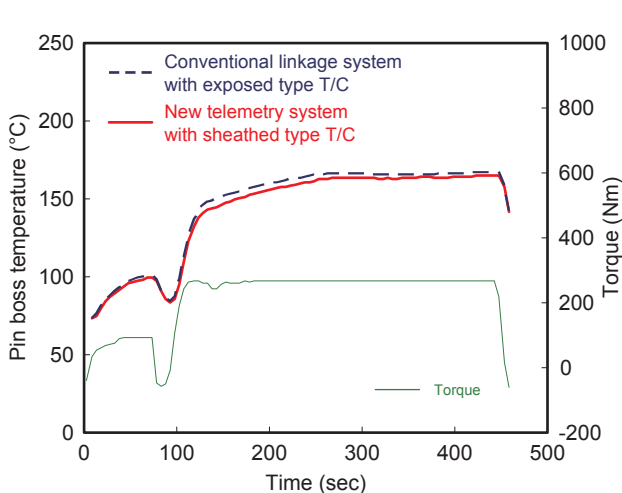


Fig. 6 Comparison of transient reaction of both systems

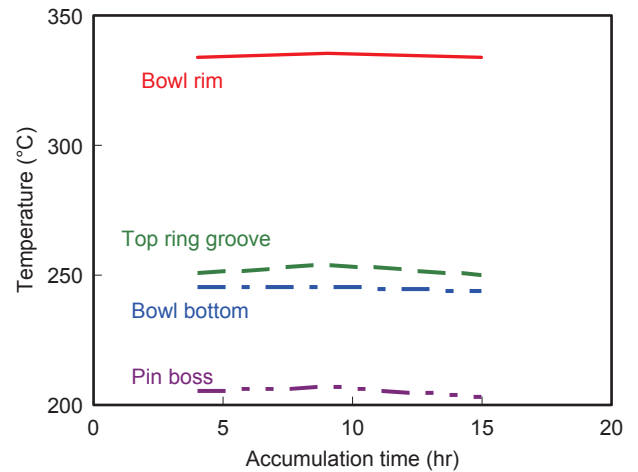


Fig. 7 Durability of telemetry system

4. エンジン単体テスト結果

本計測システムを用いてディーゼルエンジンの運転パラメータがピストン温度に及ぼす影響を確認した結果を以下に示す。

Fig. 8 は水温と油温がピストン温度に与える影響を検証したものである。運転条件はすべて 4000 rpm 全負荷、温度比較の観点から図示平均有効圧と吸気温度を同一とした。横軸にオイルジェットより吐出するオイルの温度とエンジン入口の水温、縦軸にピストン各部の温度を示す。燃焼室近傍からピン穴周辺のすべての部位で油水温の上昇に伴う温度上昇に線形性が見られる結果となった。またその傾きは水温で整理した場合、水温 1℃ あたりピストン温度が 0.5 から 0.6℃ の上昇となり部位による差が小さいことがわかった。

過給ディーゼルにおいてはターボチャージャの耐熱限界温度も考慮する必要があるため、排気温度への影響も検証

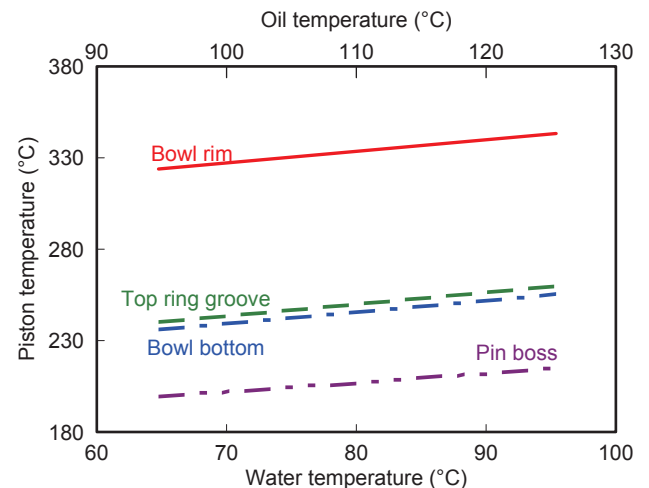


Fig. 8 Piston temperature against water and oil temperature

した。Fig. 9 は排気温度とピストン温度の関係を示したものである。また過給圧の変動に伴う指圧の影響も併せて示す。運転条件は上記同様に 4000 rpm の全負荷運転で図示平均有効圧と吸気温度を同一とした。

過給圧を 30 kPa 上昇させることにより排気温度が 100 °C 以上上がった。ピストンへの影響では、温度は 4 °C の上昇に留まる一方で指圧が 1.5 MPa 上昇した。

熱的負荷と機械的負荷をコントロールすることで、各部品をさらに軽量、コンパクト化できる可能性があることを示している。

Fig. 10 に 2008 年モデル i-DTEC エンジン⁽¹⁾を用いて運転条件全域にわたり燃焼室口元部のピストン測温をおこない、温度マップを作成した結果を示す。従来ピストン測温は耐久性の評価を主目的としてきたために、高負荷側の計測を優先してきた。今回は従来データに加えて低負荷から中負荷領域に関しても今後の開発に有用なデータが取得できた。

さらに i-DTEC エンジンを用いて、ピストン温度が燃

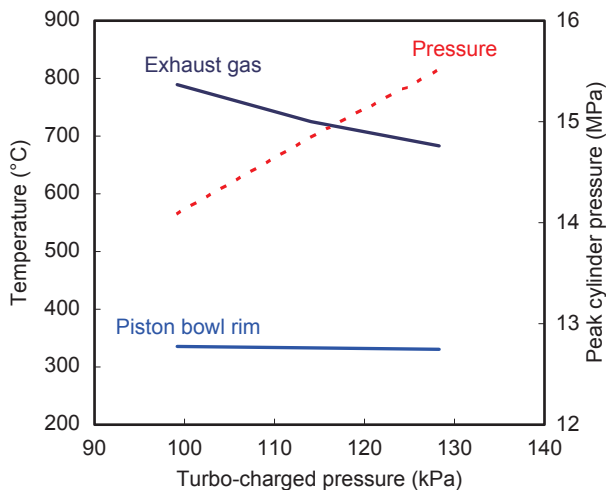


Fig. 9 Relation between piston temperature, exhaust temperature, cylinder pressure and turbo-charged pressure

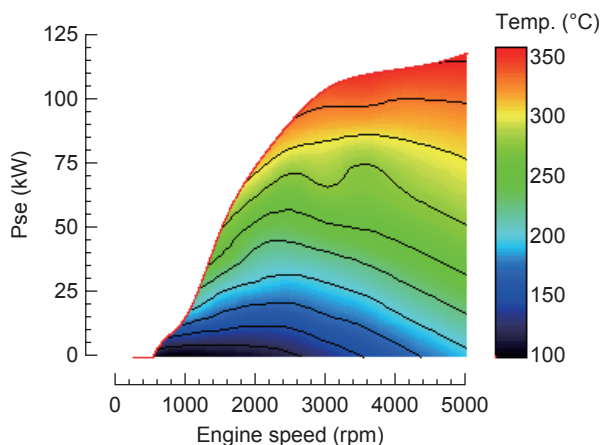


Fig. 10 Piston temperature map

費、エミッションに与える影響を検討した。ピストン温度のコントロールはピストン冷却用オイルジェットの流れを変化させることによりおこなった。Fig. 11 は燃費モード領域の負荷でピストン温度が上昇した時の図示燃費との相関を確認した結果である。ピストンの温度上昇に伴い、燃料消費が低減していく傾向を確認できた。これはピストン壁面温度の上昇に伴う熱損失の低減によるものである。なおこの時ピストン温度差により NO_x、Soot やポンピングロスに変化はなかった。燃費改善に向けてはさらなる調査が必要であるが、ピストンの温度コントロールが燃費改善に寄与する可能性が示された。

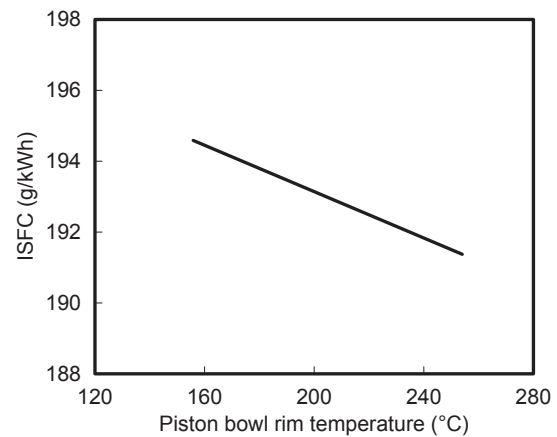


Fig. 11 Relation between fuel consumption and piston temperature

5. 実車測温結果

実車での過渡状態や実際の使用状態で起こる温度変化を確認するために、本計測システムを組み込んだエンジンを実車に搭載し、温度計測をおこなった。走行モードは EU 地域で燃費、エミッション計測に用いられる NEDC モードにておこなった。またテストには i-CTDI エンジンを搭載した CR-V を用いた。本テスト車には燃焼にて発生する PM (パティキュレートマタ) を捕集する DPF (ディーゼルパティキュレートフィルタ) が搭載されていると同時に、フィルタの詰まりを防止するため、捕集した PM を燃焼させる DPF の再生機能が搭載されている。この機能は筒内でポスト噴射により未燃 HC を DPF まで到達させ、PM を燃焼させるのが一般的である⁽²⁾。この再生機能がピストンの温度に及ぼす影響を確認した。

Fig. 12 に通常の NEDC 走行モードと走行中に DPF の再生制御、すなわちポスト噴射がおこなわれた際のピストン温度を示す。共に車の加速に対し敏感に温度が立ち上がり、速度を維持する程度の負荷領域では素早く温度が下がる傾向を示した。またポスト噴射制御中は、通常時に対しピストン温度が上昇していた。ポスト噴射された燃料は本

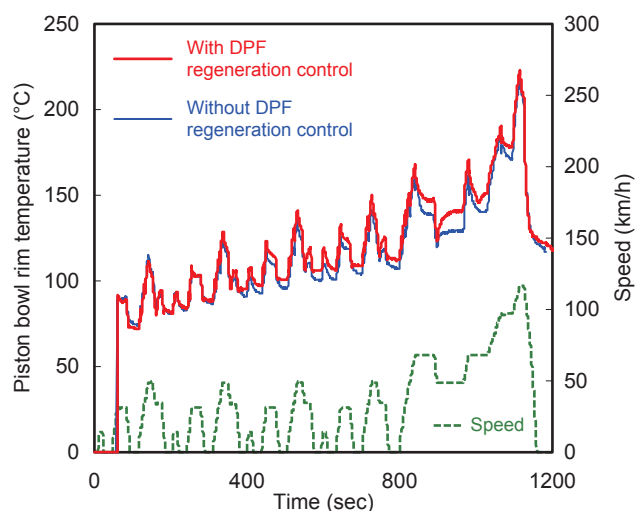


Fig. 12 Effect of regeneration control in NEDC mode on piston temperature

来PMを燃やす燃料としてDPFに投入すべきものだが、筒内で霧化されると共に、一部燃焼に使われていることがピストン温度から読み取れる。

6. まとめ

過給ディーゼルエンジンのピストン測温に適した非接触温度計測システムを導入した。本計測システムがコンパクトで従来リンクシステムと同等の精度を有し、高回転域の長時間計測が可能な耐久性を有していることを示した。

本計測システムを用いてエンジン単体でピストン温度計測をおこない、運転パラメータの変化がピストン温度へ及ぼす影響を定量的に把握した。また低負荷から高負荷までエンジンの運転条件に対するピストン温度マップを作成し、ピストン温度コントロールによる燃費向上の可能性を示した。

本計測システムを実車に搭載し、NEDCモード中のピストン温度変動と、DPF再生中の温度測定をおこない、比較することができた。

今後は本計測システムの耐久性、搭載性という特徴を、エンジンの熱マネージメントを始め車両全体の高効率化に向けて活用することが期待される。

参考文献

- (1) 松井竜太, 下山和明, 千葉勲, 日高尚志, 野中繁治: EURO-V対応高出力ディーゼルエンジンの開発, Honda R&D Technical Review, Vol.20, No.1, p.19-24
- (2) 千葉勲, 金子功, 松井竜太, 石原佳敬, 松門龍司: EURO-IV対応ディーゼルエンジン用DPFシステムの開発, 自動車技術会 学術講演会前刷集 No.103-05, p.15-18 (2005)

- (3) 稲見規夫, 竹内一雄, 加藤哲也, 大崎理江: 超高速(CART)エンジンにおける実動時のピストン温度計測, 自動車技術会 学術講演会前刷集 No.89-02, p.1-4 (2002)
- (4) 鈴木正剛, 植田真悟: 非接触電磁誘導法を用いたピストン温度計測例, Honda R&D Technical Review, Vol.18, No.1, p.77-80
- (5) 小井良治, 杉野正芳, 岩出純, 大坪誠, 瀬来徹朗, 森次通泰, 中村光宏: エンジン運動部計測用テレメータ, 自動車技術会 学術講演会前刷集 No.62-07, p.17-20 (2007)

■ 著 者 ■



勝俣 耕二



清水 賢治



青木 忠信



荒井 秀実