

壁温スイング遮熱法によるエンジンの熱損失低減

1. はじめに

地球温暖化防止の観点から自動車へのCO₂削減の要求は強く、内燃機関の熱効率向上への要求は、今後もますます高まることが必至である。

内燃機関の各種損失の中で、燃焼ガスから燃焼室壁面への熱損失は大きな割合を占める。このため、1980年頃から、燃焼室をセラミックスで断熱する研究が行われてきた。しかしながら、壁温度が常に上昇する(図1:従来遮熱壁)ことにより、性能低下や排気ガスの悪化などの背反⁽¹⁾が発生し、実用化には至っていない。

筆者らは、これらの欠点を克服するために、吸気行程の燃焼室壁温を上げない「壁温スイング」遮熱法を提案⁽²⁾し、実現を目指してきた。本稿ではこの新たな遮熱法を用いたエンジンの熱損失低減技術について紹介する。

2. 壁温スイング遮熱コンセプト

一般的に、エンジン筒内において燃焼ガスから燃焼室壁面への熱損失は式(1)で記述される。

$$Q' = h \times (T_{\text{gas}} - T_{\text{wall}}) \quad (1)$$

ここで、 Q' : 単位面積当たりの熱損失、 h : 熱伝達係数、 T_{gas} : ガス温度、 T_{wall} : 燃焼室壁温度である。

壁温スイング遮熱法は、サイクル中の燃焼室壁温度がガス温度の変化に追従するように上昇・降下する(図1: スイング遮熱壁)ことによってガスと燃焼室壁の温度差を小さくし、熱損失を低減することを狙っている。

筆者らの試算によれば、燃焼室壁面に形成する遮熱膜の熱伝導率と体積比熱を共に小さくするほど高いスイング幅が得られ(図2)、熱損失の低減効果は高くなる。たとえば、熱伝導率が0.1W/mK、体積比熱が100kJ/m³Kの遮熱膜をディーゼルエンジンのピストン、ヘッド、バルブの各表面に形成すると熱効率が約8%向上する⁽²⁾シミュレーション予測が得られている。

3. 材料開発

燃焼室壁面に形成される遮熱膜は、エンジン稼働中の熱および応力への耐久性に加え、前述の低熱伝導率かつ低体積比熱の熱特性が求められる。この特性を達成するため、外部から遮断さ

れた空隙を含む多孔質セラミックスに着目した。ピストン材料に広く用いられるアルミニウム合金を電解液中で電荷をかけ酸化させると、中央に孔の空いた柱状のアルミナがアルミニウム表面から膜の厚さ方向に多数成長し、陽極酸化皮膜が形成される。

筆者らは、従来の皮膜よりも膜内部の空隙の量を増やし、かつ熱および応力への耐久性を高めるために膜表面にシリカを充填したシリカ強化多孔質陽極酸化皮膜(Silica Reinforced Porous Anodized aluminum: 略称SiRPA)を新たに開発⁽³⁾した(図3)。

4. ディーゼルエンジンへの適用

開発したSiRPA皮膜をディーゼルエンジンのピストン表面に形成し、表面温度の計測と、性能評価を行った。

表面温度の計測には、非接触かつ高応答で温度測定が可能なレーザー誘起燐光法を適用した。SiRPA皮膜の表面温度は、通常のアルミ壁の条件に比べて燃焼時のみ上昇し、吸気行程では低下して⁽⁴⁾、狙いどおりサイクル中に変化することが確認できた。

性能の評価結果では、SiRPA皮膜を形成したピストンは、通常のアルミピストンと比べて、排気ガスの悪化を伴わずに、熱損失が低減し、仕事と排気エネルギーが増加していることが確認⁽⁵⁾できた。本結果より、吸気行程の壁温度は上げず、燃焼行程でのみ壁温度を上げることで排気ガスの悪化を伴わず、熱効率を向上させることが確認できた。

5. おわりに

本稿では、内燃機関の熱損失を低減し、低減したエネルギーをピストン仕事と排気エネルギーに分配して熱効率を向上させるための壁温スイング遮熱法について、コンセプト、材料開発、ディーゼルエンジンへの適用結果を紹介した。

今後は、膜の遮熱特性を向上させるとともに、膜を形成する範囲を拡大して、より高い熱効率向上率を追及していく所存である。

なお、本技術はThermo Swing Wall Insulation Technology, 略称TSWINと名づけられ、新開発2.8L

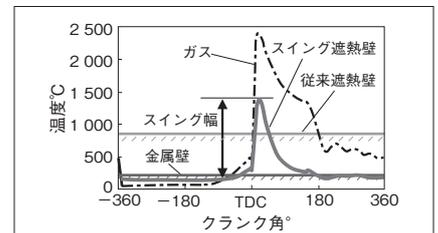


図1 壁スイングコンセプト

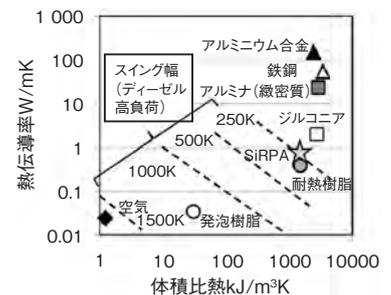


図2 熱物性とスイング幅の例

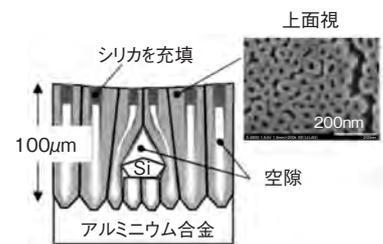


図3 SiRPA皮膜の模式図

ターボディーゼルエンジンの一部仕様にて世界で初めて実用化された。ここに至るまでの研究開発の過程で多くの関係者に貴重な助言と協力をいただいた。記して感謝の意を表する。

(原稿受付 2016年6月30日)

〔脇坂佳史 (株)豊田中央研究所, 川口暁生 トヨタ自動車(株)〕

●文献

- (1) たとえば, Bryzik, W. and Kamo, R., TA-COM/Cummins Adiabatic Engine Program, SAE Technical Paper, (1983), 830314.
- (2) 小坂英雅・ほか, 壁温スイング遮熱法によるエンジンの熱損失低減—第1報, 自動車技術会論文集, 44-1 (2013), 39-44.
- (3) 西川直樹・ほか, 壁温スイング遮熱法によるエンジンの熱損失低減—第4報, 自動車技術会論文集, 47-1 (2016), 55-60.
- (4) 福井健二・ほか, レーザ誘起燐光法を用いた高応答温度計測技術, 自動車技術会論文集, 47-1 (2016), 61-66.
- (5) 脇坂佳史・ほか, 壁温スイング遮熱法によるエンジンの熱損失低減—第2報, 自動車技術会論文集, 47-1 (2016), 39-45.