

表面改質によるエンジンのしゅう動抵抗低減技術

Technology for Reducing Engine Rubbing Resistance by Means of Surface Improvement

荻原 秀実*
Hidemi OGIHARA
村田 雅史*
Masashi MURATA

城戸 智之* 山田 裕*
Tomoyuki KIDO Hiroshi YAMADA
小林 重実*
Shigemi KOBAYASHI

要 旨

ショットピーニングを応用したピストンしゅう動面の表面改質によるしゅう動抵抗低減技術を開発した。

これは被加工物表面に、中心粒径 $\phi 40\ \mu\text{m}$ の略球形セラミックビーズを圧縮エアと共に秒速 100 m以上の高速度で衝突させ、表面に無数の微細なくぼみを附与し、油膜保持性向上をねらったものである。

これによりエンジン単体での摩擦損失出力を2～2.6%低減する事ができた。この処理の効果持続性の検証としてエンジン単体での長時間運転試験を実施し、長時間運転後においても、実しゅう動部にくぼみが残存していることを明らかにした。又、本処理がピストン焼付きタフネス向上に有効であることも明らかにした。

ABSTRACT

A technology has been developed for surface treatment that reduces the rubbing resistance of piston rubbing surfaces that have had shot peening applied. This technique shoots compressed air together with roughly spherical ceramic beads with a central particle diameter of $40\ \mu\text{m}$ at high speeds of 100 m/sec or more against the surface of the object to be processed, creating numberless microscopic dimples on it. This is intended to improve the oil film hold of the treated surface. Use of this technology enables a 2–2.6% reduction of the friction loss of output from engine unit. The engine unit was subjected to an extended running test to verify the sustainability of the effects from this treatment, and the results showed that dimples still remained on the actual rubbing parts even after running the engine for an extended period of time. The treatment was also demonstrated to be effective in increasing the anti-seizure characteristics of the pistons.

1. まえがき

近年、地球環境改善への関心が急激に高まる中、省資源の観点からも自動車の低燃費化の要求がますます高まってきた。エンジンにおいても高効率化として熱効率の向上と機械損失の低減を図るため、さまざまな角度から研究がなされている⁽¹⁾⁽²⁾。特に機械損失においては、ローラフォロア動弁系、ピストンリング張力低減、軽量化など、エンジン部品細部にわたり改良がなされてきている。今回、しゅう動部の表面性状の改良によるしゅう動抵抗の低減に着目し検討を行なった。この結果、機械損失の中でも4割を占めるピストン駆動損失を、表面性状の改良により30%低減できた。本稿では、摩擦損失低減効果、耐焼付き性、効果持続性、量産適用例について報告する。

*栃木研究所

2. 機械損失低減技術

Fig.1に示すように、部分負荷運転時の全損失の6割は機械損失が占めている。機械損失の内訳を見るとピストン駆動損失(ピストンのしゅう動抵抗)の占める割合が4割となっており、ピストンのしゅう動抵抗を低減することが燃費の向上に効果的であることが分かる。従来、ピストンのしゅう動抵抗を低減させる手法としては、ピストン側面に対して、モリブデンに代表される固体潤滑材の塗布、コーティングや、錫メッキなどがあるが、これらの手法はしゅう動抵抗低減効果が小さく、剥れや摩滅などにより効果の持続性が懸念される。これに対し持続的しゅう動抵抗低減の実現をしゅう動部の面性状改良という切り口から取組んだ。

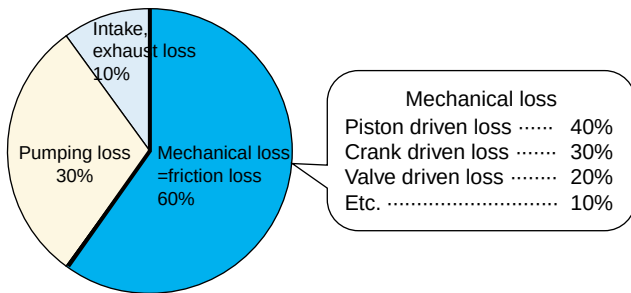


Fig.1 Engine component loss division
at Ne = 1500rpm, P intake = -53kPa

2.1. ピストンスカート部の潤滑状態

表面性状改良によりしゅう動抵抗の低減を得るには、しゅう動部に介在する潤滑油の保持を効果的に高める必要がある。これにより流体潤滑状態を、あらゆるエンジン運転状況下に於いても継続的に維持し、円滑なしゅう動状態を作り出し、しゅう動抵抗を低減することができる。

始めに、現状のピストンとシリンダのしゅう動面状態を考察する(Fig.2)。ピストンスカート側面には耐焼付き性向上を主目的とした条痕加工と称するら旋状の筋目が円周方向に沿って機械加工により施されている。

更に、ピストン側面をミクロ的に観察すると機械加工時に生じる細かな加工の筋目が、やはり円周方向に無数に認められる。

この表面性状下における潤滑状態としては、ピストンが燃焼ガスにより爆発荷重を受けスラスト方向に動きシリン

ダに強く押し付けられた時、この加工の細かな筋目に沿ってピストンとシリンダに介在している潤滑油は、毛管現象により円周方向に流動する。このためピストンとシリンダのしゅう動部間においては、油膜保持が困難になりしゅう動抵抗の増大を招き、場合によっては、かじり、焼付きに進展する。

3. マイクロディンプル処理によるしゅう動抵抗低減

加工の筋目に沿って発生する毛管現象を阻止するためには、加工の筋目を取り除く必要がある。

その手法として、マイクロディンプル処理(以下 MD 処理と記す)を採用した。

MD 処理は、中心粒径φ40μmの略球形セラミックビーズを、圧縮エアを介し、秒速100m以上の高速度で被加工物表面に衝突させるショットピーニング加工の一種であり、加工物の寸法を変えることなく、被加工物表面に無数のミクロンオーダーのくぼみ(MD)を付加し、加工の筋目を消失するとともに、しゅう動抵抗低減に効果的なオイルピットを形成する(Fig.2)。

3.1. テストピースを用いた往復摺動試験によるしゅう動抵抗低減の検証

MD 処理によるしゅう動抵抗低減効果を検証するため、テストピース(以下 TP と記す)を用いた往復しゅう動試験

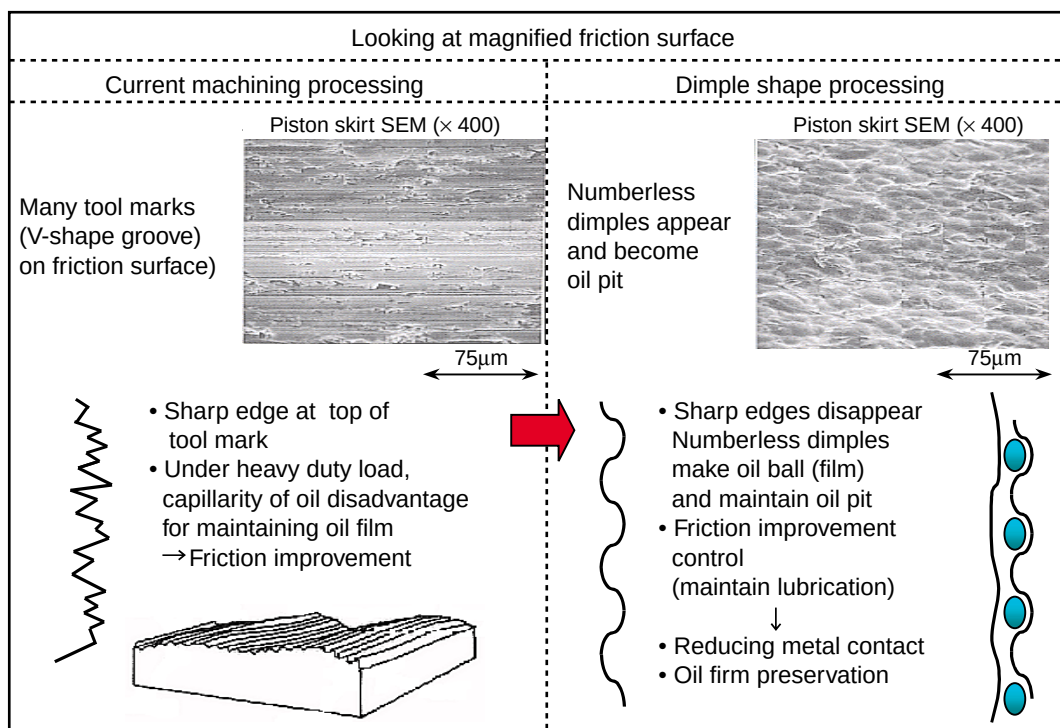


Fig.2 Dimple effect (expectation)

による摩擦係数および、焼付き荷重の測定を実施した。当該往復しゅう動試験の概略を Fig.3 に示す。

シリンダを擬した板材しゅう動面に潤滑油を滴下しながら、TP を 50mm のストロークで板材表面上にて往復しゅう動させ、その際に押し付け荷重を段階的に増加させ摩擦係数 μ をリアルタイムに測定し摩擦係数を時間で積分することにより、単位時間当たりの平均摩擦抵抗を算出した。その結果を Fig.4 に示す。

条痕加工を施したしゅう動表面に、更に MD 処理を施した TP は、MD 処理投射圧力 1.5 ～ 4.5 気圧(ゲージ圧力、以下圧力値は全てゲージ圧力)の範囲で、条痕加工のみの面に対し約 7% 摩擦係数 μ が低下している。

比較として、条痕加工を施していない平面に MD 処理を行なった TP の結果を併記したが、MD 処理を施していない平面のままの TP の μ が一番低い結果となった。しかし、Fig.5 に示すように焼付き荷重は、平面より条痕加工を施した面の焼付き荷重が高く、条痕加工に MD 処理を施すことで焼付き荷重は、更に向上することが判明した。

この試験の結果から摩擦係数と焼付き荷重を合わせて向上出来る手法として、条痕加工に MD 処理を施すことが有効であることが確認できた。

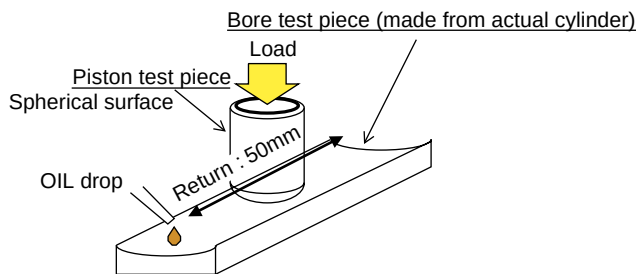


Fig.3 Two way friction test machine (simple drawing)

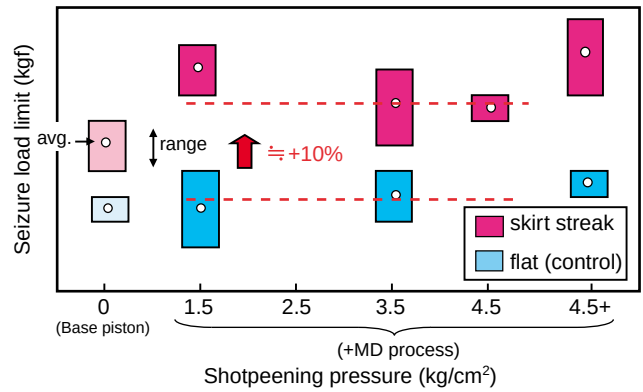


Fig.5 Two way friction test result

3.2. MD 処理条件によるしゅう動抵抗低減

以上の TP しゅう動試験の結果から、Fig.6 に示すようにピストンスカート部全周の条痕付しゅう動面に MD 処理を投射圧力 1.5 ～ 4.5 気圧で施したピストンを各々製作し、エンジン単体でモータリング法に依る機械損失を測定した。

投射圧力に対する機械損失低減特性を Fig.7 に示す。供試エンジンは排気量 1.0L, 1.5L および 2.2L の 3 種類である。投射圧力 1.7 から 4.5 気圧の範囲で 1% 以上の機械損失低減率を得ており、いずれのエンジンに於いても、投射圧力 3.5 気圧で機械損失低減率が最大となり、2 ～ 2.6% のフリクション低減率を得た。

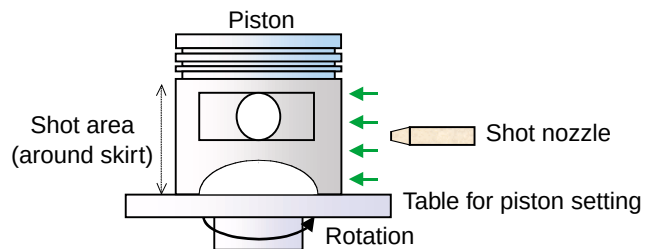


Fig.6 MD process piston setting layout for machine

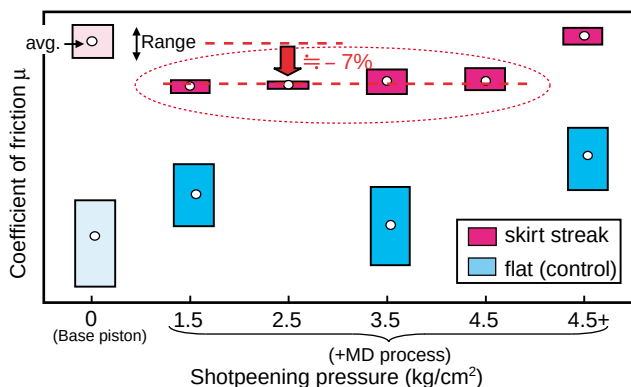


Fig.4 Two way friction test result

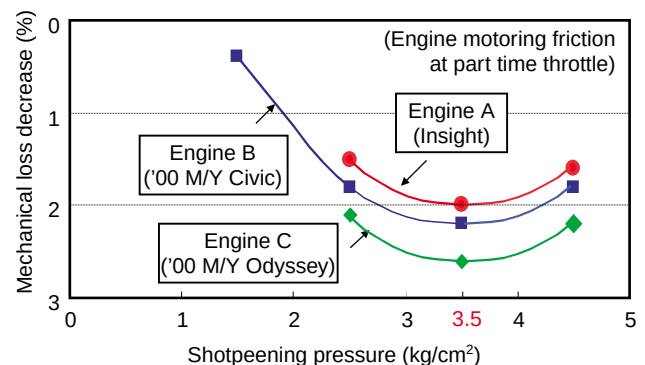


Fig.7 Shotpeening pressure and mechanical friction loss

以上のことから MD 処理条件を投射圧力 3.5 気圧に、投射材の中心粒径を $\phi 40\mu\text{m}$ のセラミックビーズに設定した。また、この条件下に於いて得られる MD の平均深さは、 $0.6 \sim 1.8 \mu\text{m}$ であった。ここで MD の平均深さは、面粗度 Ra を測定し、その Ra の値を平深さとした。

3.3. MD 処理の効果持続性の検証

この MD の効果持続性を把握するために、エンジン単体での高負荷、長時間台車運転を実施し、一定時間経過後モータリング法により機械損失を測定した。

Fig.8 に示すように、MD 処理ピストンは未処理ピストンに対し、初期状態から機械損失が低く、120時間運転後に於いても未処理ピストンに対し 2% 以上の機械損失低減効果が得られている。また、その時の条痕部の摩耗量の推移を Fig.9 示す。

条痕初期高さは約 $10 \mu\text{m}$ であり、それが長時間運転後、約 $8 \sim 9 \mu\text{m}$ となり、 $1 \sim 2 \mu\text{m}$ 摩耗している。

しかし、この摩耗は進行性のあるものではなく、運転開始後 100 時間近辺で、ほぼ平衡状態となっている。この状態で上記のように、未処理に対して 2% 以上の機械損失低減効果が得られている。

長時間運転前後のしゅう動面の状態を Fig.10 示す。

しゅう動前の未処理ピストンには、条痕加工形状が認められる (Fig.10-1)。これに対し、しゅう動後の未処理ピスト

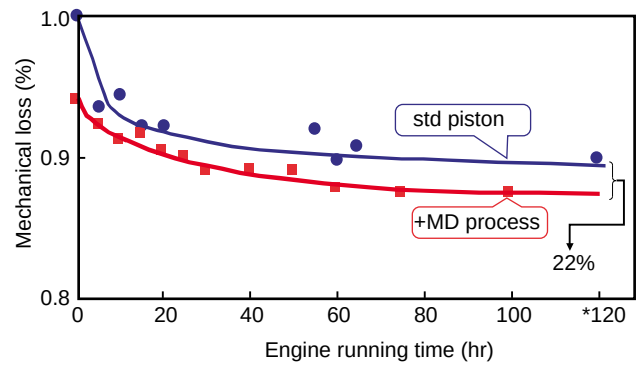


Fig.8 Mechanical loss decrease & eng running time

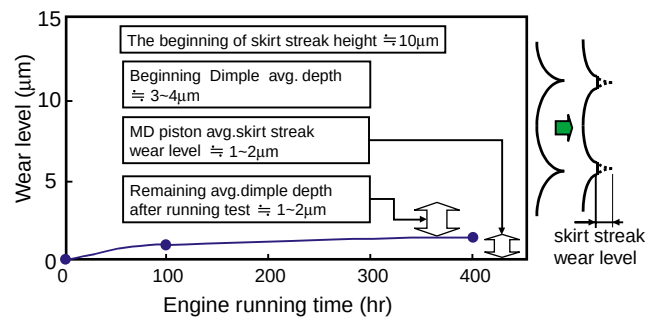


Fig.9 Wear level of MD process piston skirt streak

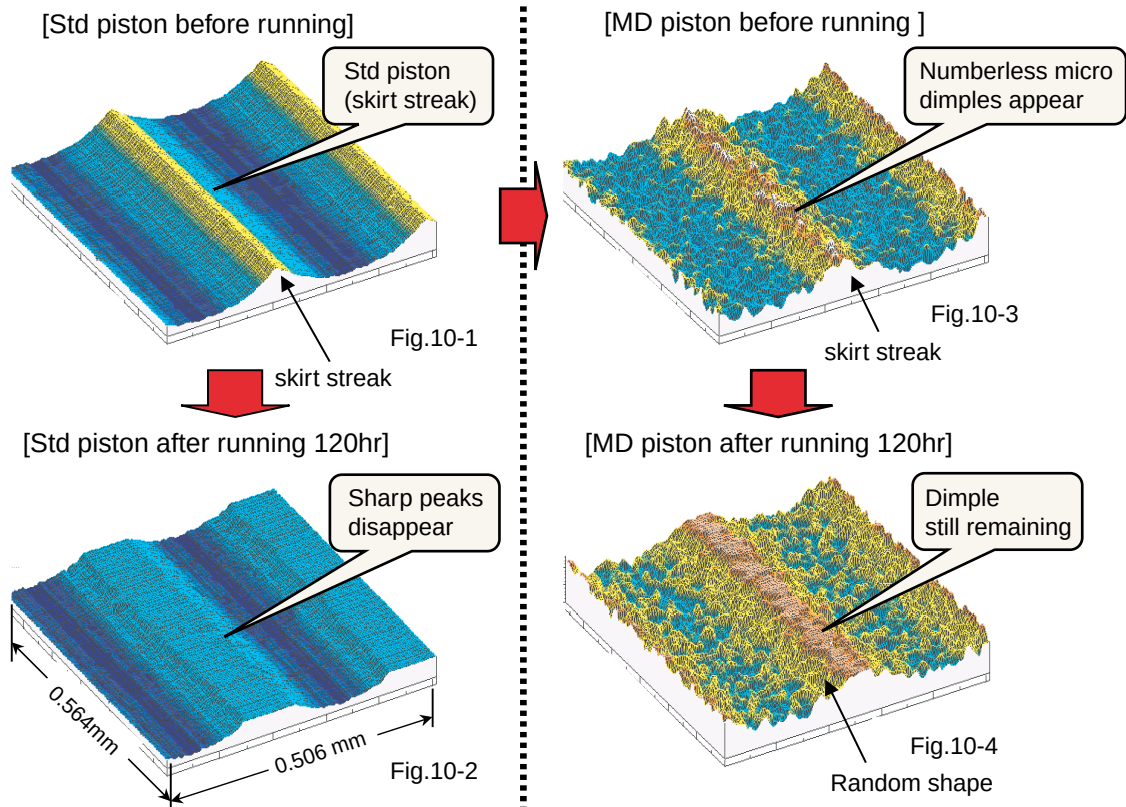


Fig.10 Characteristic of piston wear

ンは、条痕先端が摩滅し略台形状化している (Fig.10-2)。

ピストンのしゅう動に伴い、条痕先端部の摩滅によって略台形状部の縁に形成されたエッジは、ピストンの往復運動時に潤滑油に対しワイバの様に作用し極圧荷重下に於いては毛管現象と共に、実しゅう動部への潤滑油の供給を困難なものとしていると推察される。

一方これに対し、しゅう動前の MD 処理ピストンでは、MD が隙間なく無数認められる (Fig.10-3)。

更にしゅう動後に於いても、実しゅう動面である条痕先端部は摩滅しているが MD が残存している (Fig.10-4) (Fig.11)。

また略台形状化した実しゅう動面の縁部は、MD 処理によって形成された入り江状に入り組んだ形状となっている。このため、条痕と条痕の間の大きな谷間部に存在している潤滑油がピストンの往復運動時に、容易に、この入り江部から実しゅう動部分に供給され実しゅう動面に残存している MD にも潤滑油が供給されしゅう動を良好なものとして考えられる。

長時間運転前後の未処理と MD 処理におけるピストンスカート断面の二次元表面性状測定結果を Fig.12, 13 に示す。

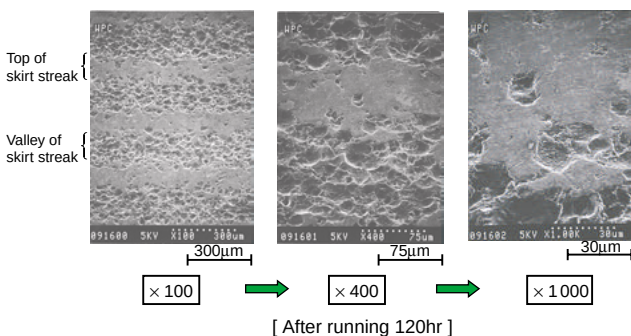


Fig.11 Looking at magnified MD piston skirt surface

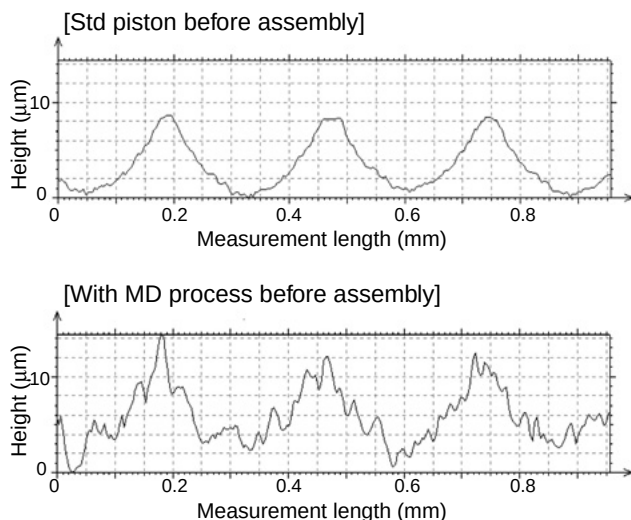


Fig.12 Surface curve of piston skirt-1

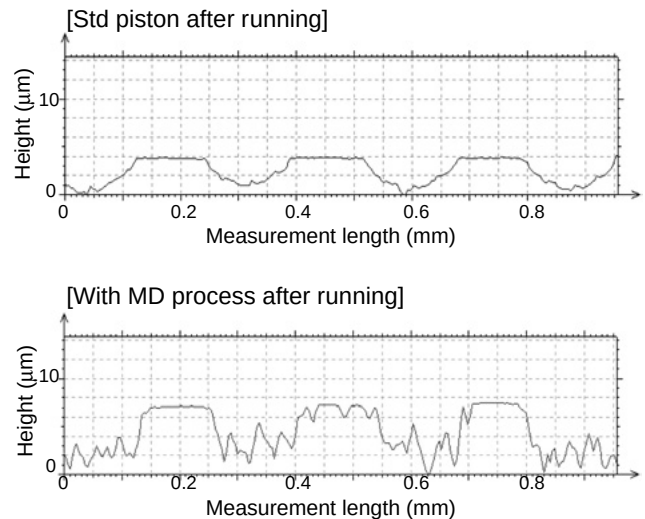


Fig.13 Surface curve of piston skirt-2

MD 処理により、無数の微細なくぼみが形成され、長時間運転後においてもくぼみの残存が確認できる。

4. まとめ

ショットピーニングを応用したピストンスカート面の表面改質 (MD 処理) により以下の結果を得た。

- (1) MD 処理によりピストン駆動損失を低減し、エンジンの機械損失を 2 ~ 2.6% 低減した。
- (2) MD 処理条件は、投射材中心粒径 40 μm の略球形セラミックビーズを、投射圧力 3.5 気圧で、圧縮空気と共に 100m/sec. 以上の高速でピストンスカート部全周に投射する条件が、もっともしゅう動抵抗低減効果が大きかった。

5. あとがき

本知見で得られた技術は、ホンダ初のハイブリッドカーインサイトへの採用を皮切りに採用を拡大している。

本研究のような局所的な潤滑状態を解明し、改良、改善する研究が今後ますます重要になると思われる。

面性状においても、他部品への適用や異材料の溶着、面粗度の改善など、まだまだ改善、発展、応用の可能性がある。

用途に応じた面性状を自由に作り出せる技術開発を目指し、努力していきたい。

最後に、本研究にあたり、当初より研究支援を快諾下さり、技術指導および、ご助言を頂いた (株) 不二製作所 間瀬氏、菅沢氏、熊谷氏、石渡氏、(株) 不二機販 宮坂氏の各氏に厚く御礼申し上げます。

文 献

- (1) 青木薫, 梶原滋正, 佐藤浩光, 山本善夫: モータ式ハイブリッドパワートレインの開発, 自動車技術会学術講演会前刷集, 98-99, p.9-12 (1999)
- (2) 福尾幸一, 藤村章, 斉藤政昭, 角田和彦, 瀧口士郎: 超低燃費ハイブリッドカー「インサイト」の開発, HONDA R&D Technical Review, Vol.11, No.2, p.1-8 (1999)

■ 著 者 ■



萩原 秀実



城戸 智之



山田 裕



村田 雅史



小林 重実