短期集中連載

18年前の空冷水平対向6気筒を
DIYメンテナンスで復活させる

ポルシェ911 カレラ フラット6 DIY蘇生作戦

1992年ポルシェ カレラ2
走行距離：92000km

PROJECT 7

フリクション低下と耐久性向上のための表面処理

パワー、フィーリング、耐久性を現代のレベルへ引き上げたい

エンジンのオーバーホールでは、消耗したパーツを交換したり修正して、新品あるいはそれ以上のコンディションに仕上げることを目指すわけだが、今回はより＋αの性能を目指し、パーツのフリクションや摩耗を極力下げるような加工を実施することにした。

エンジンをOHするとよく分かるのだが、基本的なオイル交換などのメンテナンスをキチンと行っていても、しゅう動部の各部に摩耗が発生するのは避けられないことだ。

ポルシェのエンジンは、これまでのレポートで報告してきたように、メカ部分の程度は悪くない。排気のバルブシートやガイドの摩耗は驚くべきものだったが、ポルシェの世界ではヘッドのOHでバルブガイドを替えるのは珍しくはないようだ。もう一つ、動弁系がらみではカムノーズの虫食い摩耗がある。これは、964で材質変更されてから顕著になったトラブルのようである。それらを除くと、クランクやピストン周りの主運動部は、標準的な摩耗状態なので、そのままでも再使用が可能で、メタルやピストンリングの交換という、一般的なOHと同様の内容になりそうだ。

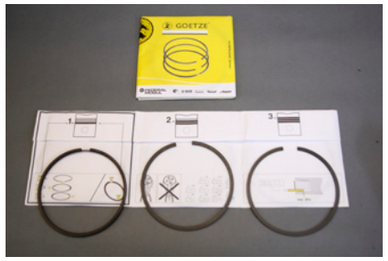
標準的に起こる摩耗は、異常ではないのだが、減らなくて済むならそれに越したことはない。目視ではわずかな摩耗でも、音質やノイズにはそれなりに影響が出るし、余計なオイル消費も極力抑えたいところ。ましてや、ポルシェのエンジンパーツは高価だし、OHするにもかなりの労力が必要なので、一度組み上げたエンジンはできるだけ長期間使えるようにしておきたい。また、せっかく個々のパーツまでバラバラにしたのだから、摩耗だけでなくフリクションも減らすような加工をしたいところである。最近のエンジンでは、燃費向上のためにパーツの設計面はもちろん、フリクション低減のために金属表面に様々な処理が行われることが多いが、これを18年前のエンジンに適用してみたのだ。

オーバーホールで交換するパーツを入手

ベアリングメタル

クランクメタルは7カ所あるので14枚ある。うち一組はクランクの前後方向の動きを規制するスラストメタルのため、サイドまで折り曲げられている。コンロッドは12枚（6組）。

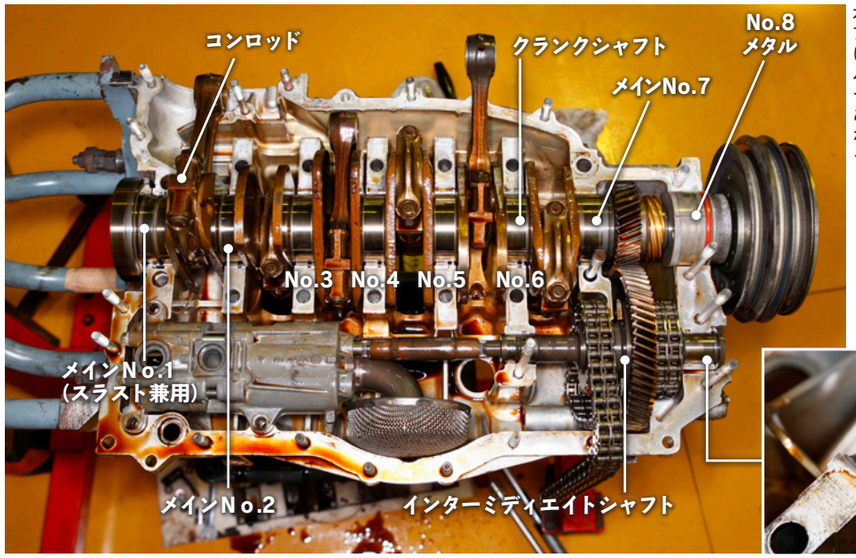
◀▲クランクシャフトの回転の1/2で回るインターミディエイトシャフト用のメタル。前後に2組計4枚ある。片方はスラスト部が付いている。



ピストンリング

ピストンリングのセット。オイルリングは1ピース式で、内側にスプリングが入るタイプ。ちょっと古くさい形式に思える。これらの交換用パーツは市販のOHキットに含まれるもの。

メインメタルは7+1カ所



水平対向なので、メインベアリングは気筒を挟むように配置され全部で7つ。ポルシェのエンジンはインターミディエイトの駆動部があり、プーリー部まで長さがあるので、これを支持するNo.8ベアリングがある。

先月号 ポルシェのエンジン寿命についての補足

先月号でGT3のエンジン寿命はモータースポーツ走行で30時間という記述がありましたが訂正です。これは、ポルシェモータースポーツが制作するレース用車両をモータースポーツ条件下で使用した際にE/GおよびミッションOHおよび各部点検が強く推奨される時間です。

交換または修正する主要パーツ

交換あるいは交換済みのパーツ	クランクメタル、コンロッドメタル、インターミディエイトシャフトメタル、ピストンリング、排気側バルブガイド、カムチェーン、チェーンガイド、ケース締め付け用ボルト＆ナット、コンロッドボルト、ガスケット＆Oリング＆オイルシール
修正、チューニングして再使用するパーツ	クランクシャフト、シリンダー、シリンダーヘッド、ピストン、ピストンピン、バルブ、カムシャフト、ロッカーアーム＆ロッカーシャフト、インターミディエイトシャフトのギヤ、チェーンスプロケット
清掃して再使用するパーツ	クランクケース、カムシャフトハウジング、オイルポンプ

内外出版社　オートメカニック2010年6月～2011年3月号連載記事より、
2010年12月号をカラー化して転載しています（使用許諾済み）。

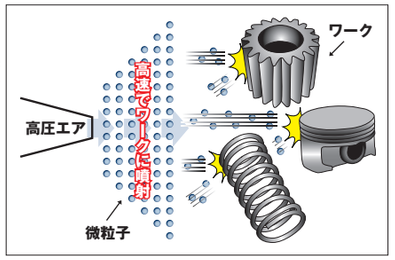
フリクション低下と耐久性向上を狙い金属表面処理を行う

処理その1 WPC処理

この処理は微粒子を高速で対象物にぶつけることで、金属の表面を鍛え直す効果とマイクロディンプルによる潤滑性能向上がある。二硫化モリブデンによる低フリクション化も大きな魅力だ。

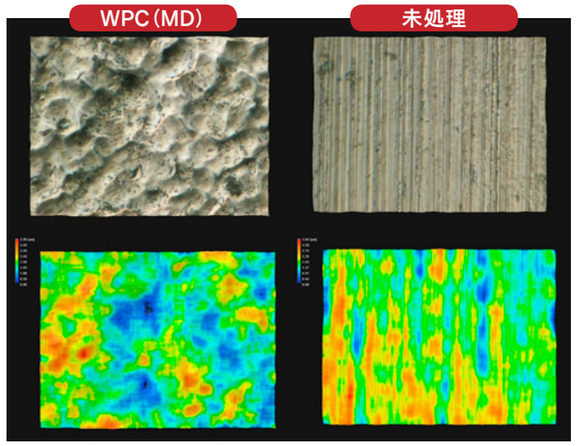
WPC処理の種類と効果

MD（マイクロディンプル）処理	金属表面を鍛えるとともに、マイクロディンプルを形成して潤滑効果を高める。オイルの性能を有効に発揮するので、フリクション低減効果も期待できる。エンジンやミッションなどで使用される。
M_oS_2（二硫化モリブデン）ショット	二硫化モリブデンのパウダーを対象物に投射する。コーティングと違って、バインダー（接着剤）を使わないので、モリブデンの効果がフルに発揮される。ピストンやメタルと相性がいい。



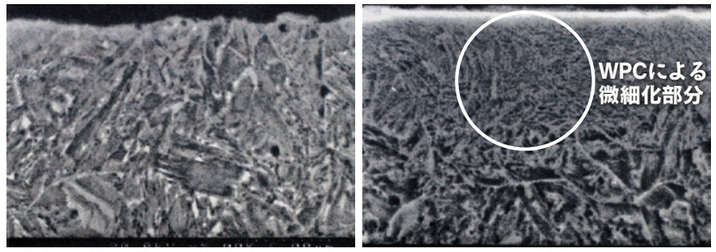
WPC処理のイメージ。微粒子を高速でぶつけることで、金属表面に結晶レベルで大きなエネルギーが加わえられる。寸法変化がないので、一度使った部品でも使える。

微細なディンプルを形成する



金属表面の拡大写真。右列の未処理面は研磨したスジがついている。潤滑面の場合、このスジからオイルが流れやすい。MD処理では、ディンプルが形成され、オイル溜まりとなる。

表面組織を鍛える効果もある



金属表面の断面を電子顕微鏡で観察した例。左が未処理で、写真の上側が最表面になる。WPC処理では、金属の組織が細かく均一になるので、摩耗や欠けの起点となる部分がなくなるという。

メーカーで純正採用されている技術を我がポルシェにも

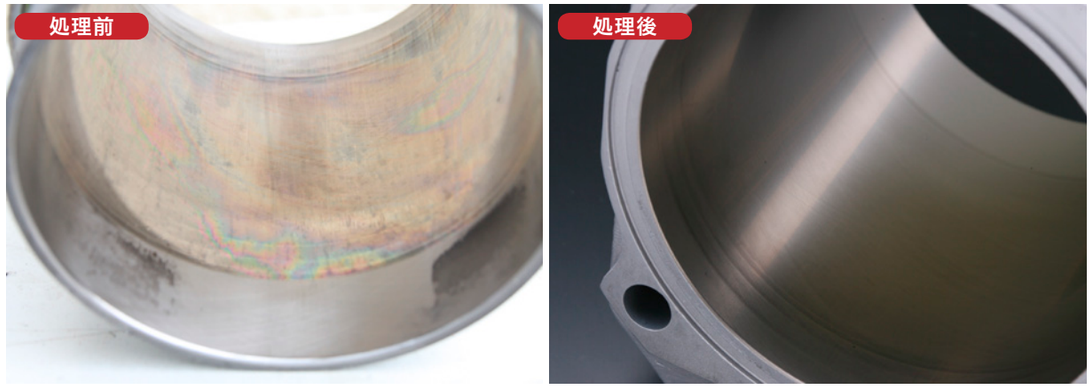
各種エンジンパーツや駆動系パーツの寿命向上やフリクション低下技術として、自動車メーカーやチューニングカーで幅広く使われているのがWPCだ。これは、小麦粉のような微粒子を高圧エアで噴射して、対象物の表面にぶつける技術。自動車やバイクだけでなく、切削工具（ドリルなど）や金型の寿命延長など産業界でも使われており、十分な実績を持っている。

クルマに使われているWPC処理は大別すると2種類ある。まずMD処理は、金属表面の組織を強固にして、表面に細かいディンプルを形成するもの。微粒子が金属表面にぶつかった時のエネルギーで、表面が加熱されつつ鍛造されるような状態になり、組織が緻密化する。さらに圧縮残留応力が加わるのでギヤなどに使うと、歯面の異常摩耗やギヤ欠けを予防できる。このためハイパワー化したチューニングカーのミッションにもよく使われている。

また、軸受けやピストン、シリンダーなどのしゅう動部で使うと、上記の効果の他、表面にできた細かいディンプル（凹部）がオイル保持性を高めるので、フリクションや摩耗を抑える効果が期待できる。例えば、ピストンのスカートには、条痕という横方向の溝が作られていて、ここにオイルが溜まるようになっているが、圧力が加わると溝方向にオイルが逃げやすい。ディンプルがあると、溜まったオイルが逃げにくいので油膜保持効果が高くなるのだ。自動車メーカーではピストンリングで使う例があり、初期なじみ性の向上やフリクション低減策として使われることがある。

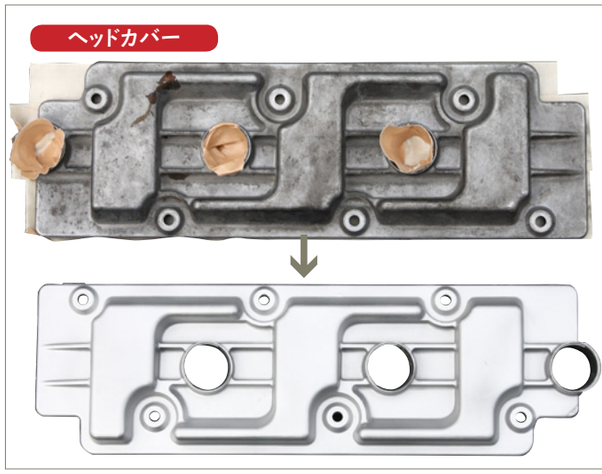
もう一つは、二硫化モリブデンショットと呼ばれるもの。これは粉末の二硫化モリブデンを吹き付けるもので、主にピストンやメタルに使われる（一部、ロータリーのローターハウジング等にも使われる）。二硫化モリブデンは昔から摩擦低減材として広く使われている物質だが、アルミなどの柔らかい金属に対してショットすると、二硫化モリブデンが内部まで潜り込んで、長期間効果を維持できる。この技術は、初代ホンダフィットのピストンに使われ、低燃費化に大きく貢献した。最近では、軸受けメタルメーカーでも同種の処理を行ったタイプがある。

ポルシェのメッキシリンダーへも処理可能だ



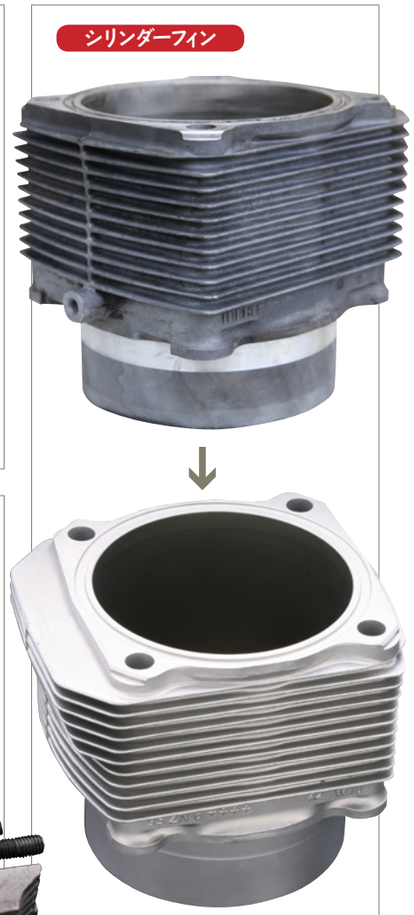
ポルシェのアルミシリンダーは鉄のスリーブはなく、ボア内面をメッキしたもの。WPC処理（MD）すると、マイクロディンプルによって表面に鈍いツヤが出る。

贅沢だが表面のクリーニングでも使える



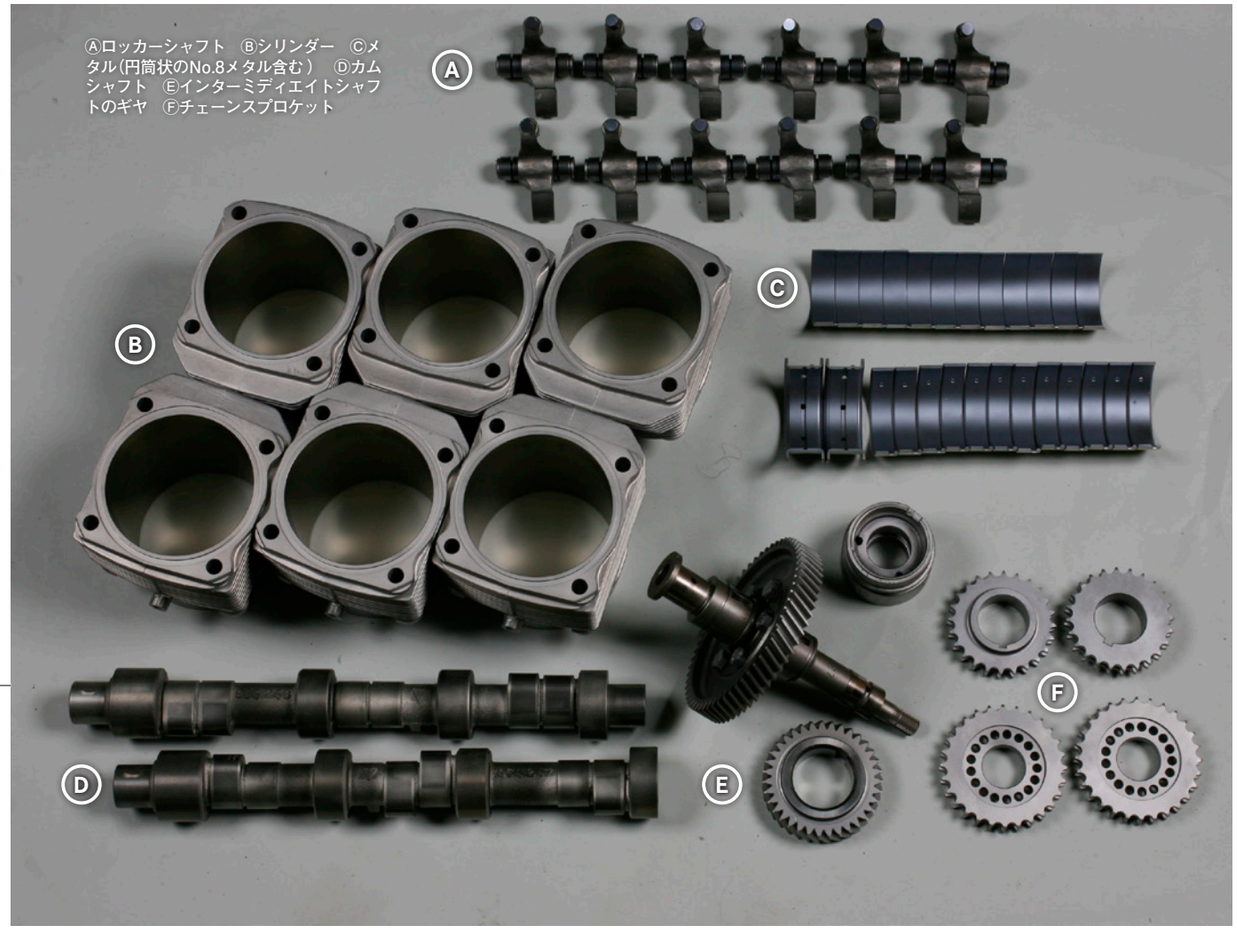
潤滑性能とは関係がないが、パーツのクリーニングとしても応用が可能だ。質感は、バフがけのようなテカテカとは違い、いぶし銀。細かい梨地表面のため、反射光が拡散しているのだと思われる。

燃焼室は内面にこびりついたカーボンやスクレーパーやガスケットの当たり面にある小キズを落とすために処理してもらった。ここだけ、新品になったような感じだ。

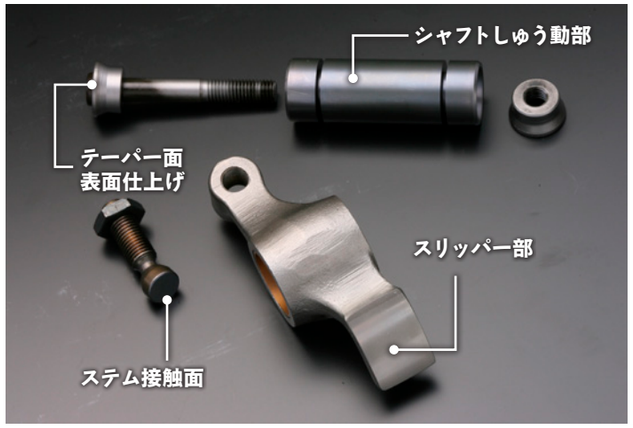


シリンダーのフィンは、ブラシなどでは完全なクリーニングが難しいが、WPC処理で見違えるような色になった。これは部屋に飾っておきたいくらい。

WPC処理を行ったパーツ



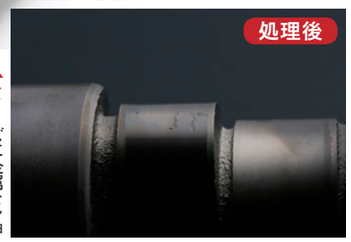
ロッカーアーム＆シャフトの処理



ロッカーアームには、バルブを押し下げる時に大きなストレスが加わるので、支点やスリッパー部のフリクションはできるだけ低減しておきたい。また、ステムの接触面は首振り機構になっているが、ここの滑り性も向上させる。

カムシャフトの虫食い摩耗部の保護

▲ノーズ部に異常摩耗が目立っているが、段付き摩耗ではないので何とか再使用できる(交換したいが高価)。これもWPC処理で補修する。



▲▶ノーズに金属をショットすることで、虫食い部が広がらず、他の部分のなじみ性を良くしてやる。窪みを埋めるわけではないが、キズを広げずに済むというわけだ。

パーツをWPC処理する際の注意点

・組み合わせてあるパーツは分解

インターミディエイトシャフトを処理に出す際に、チェーンスプロケットを外す。これは、スプロケットを傷つけないよう、慎重に作業。

WPC処理では微粒子をパーツに吹き付けるのだが、MD処理の微粒子は硬いため、洗浄を徹底して行う必要がある。シャフトにギヤが圧入されているような場合は、あらかじめ外しておくといい。今回のインターミディエイトシャフトでは、シャフト内部にオイル通路が設けてあるので、フタを外して内部までクリーニングした。クランクなどの油穴がある場合も同様である。なお、二硫化モリブデンショットでは、それ自体が潤滑作用を持っているので、残留しても悪影響はない(もちろん、洗っておくのは常識)。

クリーニングは入念に!

Professional's Talk ▸▸▸ しゅう動部の当たりの良さは大きな魅力です

ポルシェのエンジンは、現在組み付け工程が着々と進んでいるのだが、その現場に不二WPCの下平さんを招いて、WPCユーザーでもある小西さんとプロならではの意見交換を行ってもらった。

AM(高)　不二WPCの下平さんと小西さんはかなり以前からの知り合いで小西さんは、WPC処理のユーザーですよね?

小西　もう10年前からですよ。それより前から別の固体潤滑剤を利用していましたが、メタルの当たりを観察すると、納得したものが得られなかったんです。そんな時に紹介され、以後良い結果を得ています。

下平　当社の二硫化モリブデンショットは、モリブデンのみを投射するので効果的なんです。表面に塗る方式のコーティングでは、バインダーという結合材が必要なので、これに潤滑性能が妨げられてしまうんです。

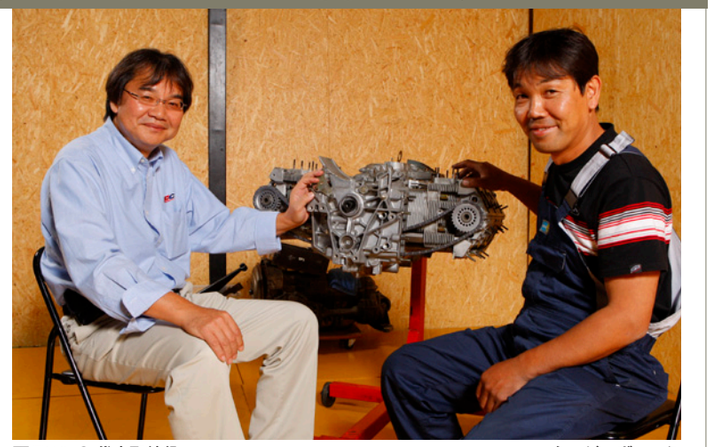
AM(高)　オススメのパーツは?

小西　子メタルは傷みが激しくなりがちですし、インターミディエイトシャフトのメタルもベースの銅が出ることが多いので、両方モリブデンショットしてもらいます。そこまでやるなら親メタルも一緒にやったほうが良いでしょう。また、インターミディエイトシャフトのメタル接触部やピストン＆シリンダー、ピストンリングにも使っていて、私は上記をOH時の基本処理として実施しています。古いクルマともなると、パーツ代が高価ですし、希少品となるとお金で解決できないこともありますから、部品を痛めないことが大事。

AM(高)　今回はフルWPCです。

小西　シリンダーを組んだ状態でも手の力でスルスル回ると思いますよ。

下平　組んでいる人ならではの実感でしょうね。完成が楽しみです。



不二WPC 代表取締役
下平英二さん

ケージーヴェルク
小西さん

最新の表面処理「DLC」にもトライしてみる

処理その2 DLCコーティング
ダイヤモンドライクカーボン

次世代のコーティングとして有望視される技術の一つ。金属表面にダイヤモンドに似た特性を持つ薄膜を作り、フリクションを大幅に低減させる。

すでにレーシングカーでは当たり前の処理技術

現在の環境配慮型エンジンでは、CO_2低減や燃費向上という項目が開発目標のトップに据えられているが、メカニカル面では、フリクションをいかに低く抑えるかがポイントになってくる。そこで最近の注目株の一つがDLCという技術である。これは、金属表面にダイヤモンドに似た性質の薄いカーボン皮膜を作り、パーツの摩耗や摩擦を極力減らそうというもの。

市販車のエンジンでは、RX-8のコーナーシール、日産VQエンジンのバルブリフターなどに使われているのが有名である。例えば、日産のVQ-HRでは、カム-バルブリフター間のフリクションを40%低減し、リフターのみで1%、DLC対応省燃費オイルとの併用で2%の燃費向上が得られたと発表されている（オイルは動弁系以外の効果も含む）。日産VQはデモ展示のヘッドで、カムシャフトを手回ししたことがあるが、最初の動きだしが明らかに軽くてコジリやギクシャクした動きがなく、バルブスプリングがスムーズに縮んでいく感じだった。

また、F1やMotoGPのようなカテゴリーでは、出力向上策として様々な部分にDLCが使われていると聞くし、国内でもフォーミュラニッポンをはじめ、チューニングカーでも徐々に使われ出してきている。

ちなみに工業的にはドリルの凝着防止、光ディスクの金型、身近なところではカミソリの刃や時計の表面保護、ペットボトル内面の酸化防止コーティングなどで使われるなど、一口にDLCといっても全て同じではなく、用途に応じた様々な種類がある。当然、エンジンやミッションには、この使用条件にマッチングしたものが選ばれる。

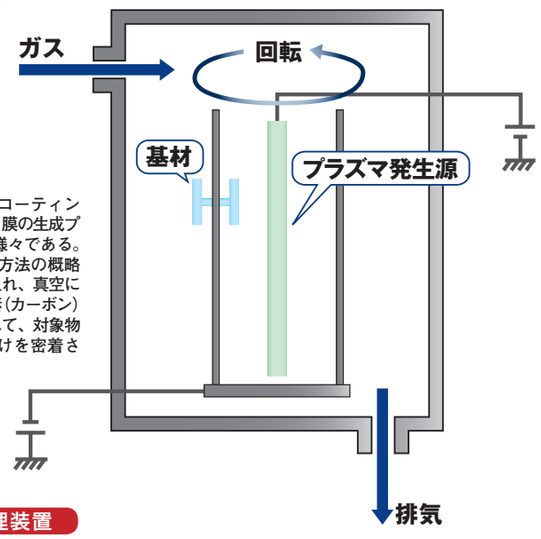
そんなDLCをポルシェの主要パーツにもテスト処理してもらった。といっても、ホイホイとお手軽にできるものではない。パーツの脱脂やクリーニングを徹底的に行った後、必要に応じてマスキングして、成膜装置に入れて数時間掛けて仕上げられる。

バルブステムへの処理例

バルブステムは、すでにダイヤモンドエンジニアリングでスーパーラッピングしてあり、表面の平滑性は良好。これにDLCを行ったところ黒光りの美しい膜ができた。

表面に丈夫なカーボン膜を生成するテクノロジー

装置概略図



DLCはあくまでコーティングの分類であり、膜の生成プロセスや装置は様々である。これは、P-CVD方法の概略図。気密容器に入れ、真空にしたところに炭素（カーボン）を持つガスを入れて、対象物（基材）に炭素だけを密着させる。

実際の処理装置

特別に装置を見せてもらった。中央の円筒が成膜装置。真空ポンプや高電圧発生部などが接続されている。エンジン部品だけでなくバイクのフロントフォークなども処理できるそうだ。

DLC処理してもらったパーツ

Ⓐ吸排気バルブ（ステム部）　Ⓑクランクシャフト　Ⓒピストン
Ⓓピストンピン　Ⓔピストンリング

ピストンリング

シリンダーとのフリクションの原因となるピストンリングはフリクション低下が期待できる。日産もマーチの過給エンジンでDLCピストンリングを採用するとアナウンスしている。

バルブ

バルブガイドの摩耗がひどかったことから、ロッカーアームの動きによるコジリが大きいと想像できる。ステムのフリクションを下げることで、ガイドの寿命延長を狙っている。

ピストンピン

▲膨張行程で大きな荷重が加わるピストンピンのフリクション低下策としてコーティング。黒光りしているので、なかなか見応えもある。余談だが、ゴルフクラブなどでもDLCが使われる。

ピストン

DLCはピストンのアルミに対して密着性が低いのだが、不二WPCではこれを改善する技術を開発しており、今年の神奈川工業技術大賞で大賞に選ばれた。

クランクシャフト

何とクランクシャフトまで丸ごと処理してもらった。油穴があるので残留オイル分を除去するのが大変だったようだ。

取材協力 ▸▸▸（株）不二WPC

〒252-0331
神奈川県相模原市南区大野台4-1-83
Tel:042-707-0776
www.fujiwpc.co.jp

クルマやバイク、産業機械など、様々な分野のWPC処理を手がけている。レーシングカーやチューニングカーのユーザーも多く、フォーミュラニッポンのナカジマレーシングのミッションギヤなどはDLC処理だ。一般ユーザーはショップ経由で処理可能。

What's Next？ ✳ 次回はいよいよエンジンの組み付けスタートです。乞うご期待!!