

〔10〕 薄膜コーティング装置およびコーティング受託加工事業

当社ビーム・真空応用事業本部ファインコーティング部（FC部）とグループ会社である日本アイ・ティ・エフ株式会社（ITF）は、FC部が海外、ITFが国内において受託コーティング加工分野で事業を展開しており、両者が保有するリソースの有効活用を念頭に相互に協力し、2016年度より5年間の中長期計画「VISION2020（V2020）」を進めている。FC部は海外のコーティング受託加工6拠点（中国3拠点、タイ1拠点、インド2拠点）を統括し、ITFは国内3拠点（京都2拠点、前橋1拠点）と薄膜コーティング装置の製造・販売事業を展開している。

2018年は「V2020」の計画達成を見据えて①「究極のDLC（ダイヤモンド状炭素,Diamond-Like-Carbon）膜の開発、②コーティングにおける量産部品処理ラインの自動化、③薄膜コーティング装置iDSのシリーズ化、④海外受託サービス拠点用新膜の開発に注力したので、これらの技術開発、システム開発の成果を報告する。

①自動車のエンジン部品の中でも種類や用途によって其々求められる膜性能に違いがある。「究極のDLC膜」とはDLC膜の品揃えを増やし、其々の部品に要求される最適な性能をもったDLC膜を提供する意味である。今回は自動車エンジン部品や軸受部品向けに開発された膜を紹介する。②は量産部品のコーティング処理ラインの中で量産部品専用として開発した自動検査システムを紹介する。③はコーティング装置としてシリーズ化した中から今回は短時間少量生産用のiDS-miniを紹介する。④は海外において市場規模が大きい歯切り工具用途に最新の蒸発源で開発したコーティング膜を紹介する。

ビーム・真空応用事業本部ファインコーティング部
日本アイ・ティ・エフ株式会社

10. 1 究極のDLC（Diamond-Like Carbon）

10. 1. 1 軸受用DLC膜（ジニアスコートHS）開発

自動車や空調機器などの機械部品には多くの軸受が使用されているが、効率化や小型軽量化、環境規制対応などの面から非常に厳しい摺動条件にさらされる場合が多くなっており、フレーキングやピーリング、焼き付きなど様々な問題が顕在化してきている。

当社はDLC膜がもつ滑り性、耐焼き付き性、また潤滑油が分解した際に生じる水素が金属に侵入することを防止（水素脆化防止）する効果に着目し、軸受へのDLC膜開発を進めてきた。特に転がり疲労に対する耐剥離性を格段に高める必要があるため、下地層から傾斜層の密着力を向上させたDLC膜（ジニアスコートHS）を完成させた。

このジニアスコートHSを株式会社豊田自動織機が開発中であった車載CO₂冷媒用コンプレッサの転がり軸受に適用検討した。エアコンの冷媒にはHFC（ハイドロフルオロカーボン）が使用されるが、環境規制の高まりにより温暖化係数が最も低いCO₂冷媒に着目して開発を進められていた。しかしHFCと比較して極めて高温・高圧になることから、転がり軸受にフレーキングなどの損傷が発生していた。転がり軸受の「コロ」にジニアスコートHSをコートした結果、フレーキングの発生を防止し、耐久性の大幅な向上が認められ、すでに量産品質を確保した生産工程が完成している。

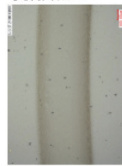
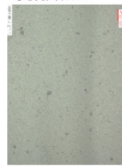
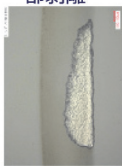
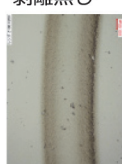
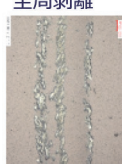

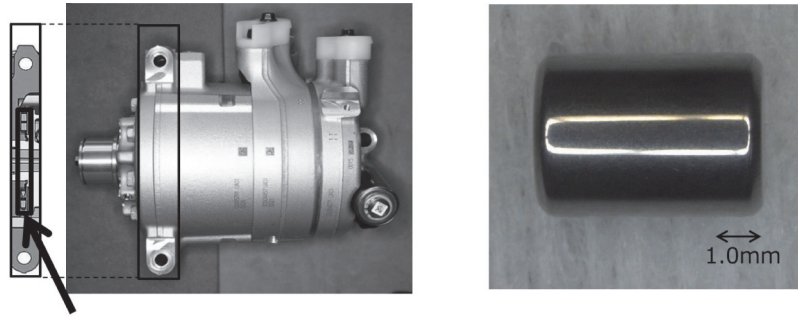
	ジニアスコートHS	ジニアスコートHA	ジニアスコートHT
22.5万回 疲労試験	剥離無し 	剥離無し 	一部剥離 
126万回 疲労試験	剥離無し 	全周剥離 	全周剥離 

図1 各DLCの転がり疲労耐性評価結果



DLC付ベアリングを採用

図2 コンプレッサ及びピストンの外観

10. 1. 2 自動車用新DLC膜 (ジニアスコートHC) 開発

自動車の電動化は今後急速に進む見通しであるが、2050年時点でもHEVやPHEVなどエンジンとバッテリーを組み合わせた車両が大多数を占め、エンジンを搭載する車両は現在よりも増えるというのが多くの予想である¹⁾。

このためエンジンの小型化・高効率化開発はますます加速している。ディーゼルエンジンのダウンサイジングにおいては耐久性を確保するためにピストンピンにDLCをコーティングすることが一般的であるが、さらなる過給圧のアップや小型化に対する耐久性不足が課題となっている。最近ではガソリンエンジンのピストンピンにもDLCが採用され始めたが、オイルに一般的に使用される添加剤モリブデンジチオカーバメート (MoDTC) と反応して異常摩耗するなどの課題が見えている。

我々はアーク蒸発技術にCVDを複合する独自の技術開発により、高硬度で耐摩耗性・耐久性に優れ、MoDTCにも異常摩耗を起こさず、さらにはアルミ合金や銅合金のような軟質金属と摺動しても相手摩耗が極めて小さい、ピストンピンとして最適なジニアスコートHC (ta-C:H) を完成させた。

一例として図3にアルミ合金と摺動させたときのアルミ合金摩耗量を示す。ta-Cと比較して相手摩耗が極めて小さくなっていることがわかる。現在複数のカーメータに評価いただきながら量産化の整備を進めている。

1) 三原雄司, 月間トライボロジー-2017.5, p.18

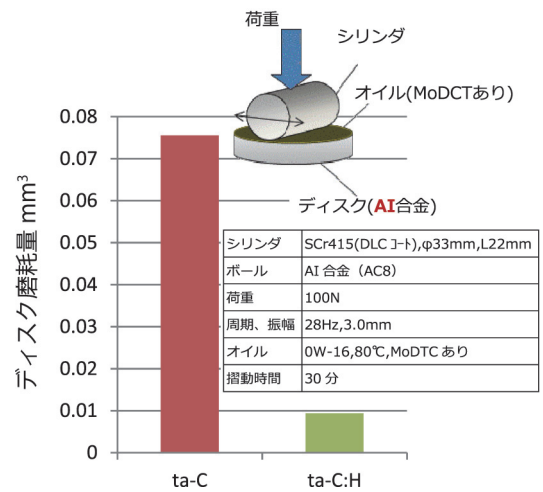


図3 Al合金との摺動におけるAl合金摩耗量

10. 2 コーティングにおける量産部品処理ラインの自動化

自動車や機械部品の量産ラインでは検査工程で良否を確実に判別し、不良品を絶対に市場に出さないことが求められる。しかもそれらを低価格で実現する必要がある。当社ではマシンビジョン解析技術による自動検査システムの開発を進めている。前述の転がり軸受用コロ部品の自動検査装置では、コーティング面にある直径0.2mm以上の欠陥を検出し、これらの欠陥が基材についている傷なのか、コーティングによって生じた欠陥なのかを判別することができる。この装置は時間当たり約750個の処理能力を有しており、量産部品に必要な要求基準を満たす基礎技術を構築した。

また、これらの技術を用いてディーゼルエンジン用ピストンピンの自動検査システム（図4）を開発し、コーティング成膜から後処理、検査までの一貫した量産ラインの構築を進めている。

これらのコロ部品やピンは形状が比較的単純で円柱の外周面（2次元）が検査対象であるが、凹凸のある部品や球面部分が検査対象となる部品が一般的である。当社では自社で開発したマシンビジョン解析技術を汎用化するため、3次元形状に対応した撮像技術や解析技術の開発に取り組んでいる。

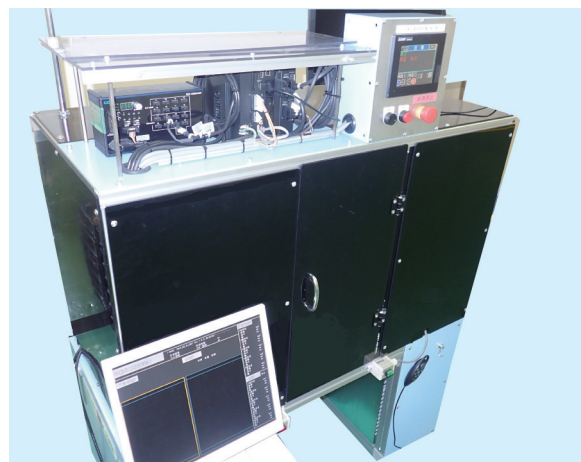


図4 ピストンピン自動検査装置外観

10. 3 短サイクル小量生産用装置 iDS-miniの開発

当社では、新規に開発したアーク蒸発源を搭載する新型装置として、iDS (innovative Deposition System) のシリーズ化を図っている。シリーズに共通する特長を列記する。

- ①アーク蒸発源やスパッタ源などのプラズマ源の取付部を縦に長い矩形のフランジとして、様々な物が搭載できるようにしている。
- ②前後に大型扉を配して、チャンバ内部のメンテナンスアクセスを容易にしている。
- ③排気コンダクタンスを極力大きくして、真空排気速度を向上させている。

当社は、2014年度にiDS-500を開発⁽¹⁾し、2017年度にiDS-1000を開発⁽²⁾した。用途によっては、更に小さい生産単位の装置や、あるいは研究開発用途として小型機のニーズがあったため、この度iDS-miniを開発するに至った。図5、6に外観写真、表1に、今までに開発したiDSシリーズの諸元をまとめた。

iDS-miniは、中型モデル用の排気速度の大きいターボ分子ポンプをそのまま使用し、炉内の排気コンダクタンスを最大化した。その結果、 1×10^{-2} Paまで15分以内で到達する。加熱用ヒーターも高出力型を採用、基材の加熱時間を、30分で500℃まで加熱できるなど短縮させた。成膜工程においては、高いアーク電流を常用する事が出来るステアワン型蒸発源⁽³⁾で、SKD鋼用の

TiN膜成膜条件で、 $1.8 \mu\text{m/h}$ と高速成膜を行い、冷却工程では大気圧に近い圧力でのガス封止で基材を冷却する。上記の成膜サイクルが5時間以内で出来るようになった。

ステアワン型蒸発源は、当社従来型と比較し同じ成膜条件でも約20%成膜速度が高く、広い放射角度により、成膜分布も比較的広いエリアをカバーできる。またカソード裏面に配置した可動磁石の効果によりアークスポットが強制的に掃引されるので、特に高いアーク電流での使用時にカソードの寿命が長くなる特性がある。

また、装置を海外に設置する機会も増え、アフターメンテナンスのために、インターネットを利用した遠隔監視、遠隔診断などの必要性が急速に高まっている。当社ではお客様側で装置に付属するコンピューターをLAN回線に繋いで頂く事により、ご要望に応じて上記のサービスが出来る様にしている。

- (1) 日新電機技報 Vol.60, No.1 (2015.4)
- (2) 日新電機技報 Vol.63, No.1 (2018.4)
- (3) 日本国特許 登録6074573号

(注) 「iDS」は、日本アイ・ティ・エフ株式会社の登録商標です。

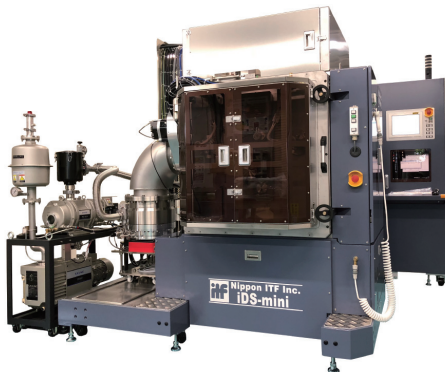


図5 iDS-mini本体



図6 iDS-mini電源制御盤

表1 iDSシリーズの諸元まとめ

型式	iDS-1000	iDS-500	iDS-mini	
有効成膜ゾーン	$\phi 1000 \times H1000$	$\phi 500 \times H500$	$\phi 450 \times H420$	$\phi 450 \times H180$
標準アーク蒸発源数	12	9	6	3
スパッタ源取付可否	可	可	可	可
主な用途	DLC膜量産用	窒化膜生産用	窒化膜 小規模生産用	開発用
設置面積	6.5×8.5m	5.5×6.3m	3.5×5.2m	

10. 4 海外受託サービス拠点用新膜の開発 ～ホブカッター用コーティング膜～

1. 目的

製造業のグローバル化が進み、従来にも増して高度な加工技術が求められるようになってきている。当社が事業を行っているアジア各国においても、切削加工の精度やコスト、環境負荷低減への要求は益々厳しさを増している。二輪車用・四輪車用変速機のギアでは、高精度を維持し且つ効率よく生産する必要があり、その加工に用いられるホブカッターは切削速度の高速化が常に求められている^(1,2)。このようなニーズに応えるべく、高速加工でも優れた耐久性を実現するホブカッター用のコーティング膜を開発したので報告する。

2. 方法

ホブカッター用コーティング膜の開発に当たっては、当社が新たに開発した新型蒸発源「ステアワン蒸発源」を使用した⁽³⁾。アークスポットを強制的に移動させる機構を有し、**図7**に示すようにドロップレットの少ない高品位な膜を得ることが可能である。コーティング膜の性能評価は、ホブカッターによる歯切り加工を模擬した切削試験により行った。切削試験の条件を**表2**に示すが、被削材・切削条件はできる限り実際の歯切り加工の環境に近づけた条件とした。

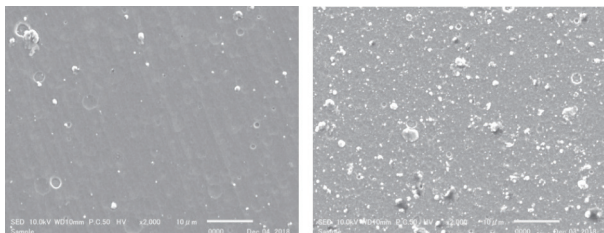


図7 ステアワン蒸発源によるドロップレット低減効果
(左) ステアワン蒸発源使用 (右) 従来蒸発源使用

表2 切削評価条件

使用工具	丸溝サイドカッター (材質SKH51、カッター外径φ80mm、厚み4mm、丸溝r=2mm)
膜種	AlCr系コーティング、膜厚3μm
被加工材	炭素鋼 (S50C)
切削条件	切削速度V=150m/min、送りf=0.1mm/rev、切込深さ1.5mm、溝加工長さ9m、冷却油使用

3. 結果および考察

切削試験後のカッター刃先外観写真を**図8**に示す。従来蒸発源を用いた場合は、刃の一部が大きく失われ(A部) また刃が残っている部分でも切れ刃に細かい損傷が生じていることがわかる(B部)。これに対しステアワン蒸発源を用いた場合はそのような損傷が見られなかった。これはステアワン蒸発源を用いることによ

り膜の平滑性・緻密性が向上し、耐摩耗性が向上したことが原因と考えている。

なお、実製品であるホブカッターで良好な密着性が得られるようプロセスの最適化をも同時に進め、従来製品に比べて長い加工寿命が得られることを確認した。一例を**表3**に示す。ステアワン蒸発源の適用が、歯切り加工の性能向上に大きく寄与したものと考えている。

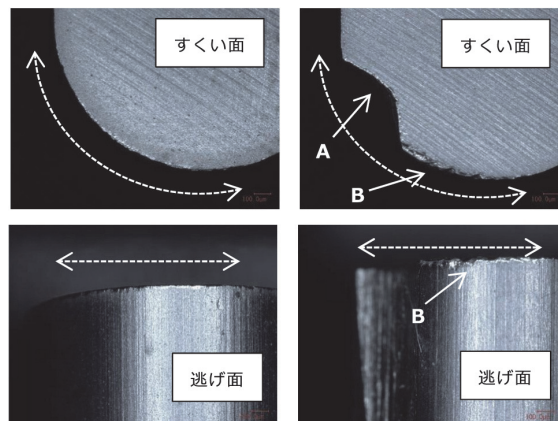


図8 切削試験後写真 (点線矢印：加工部位)
(左) ステアワン蒸発源使用 (右) 従来蒸発源使用

表3 歯切り加工適用結果

使用工具	GPDNギア加工用ホブカッター (材質ASP2052、外寸φ80xL180mm、モジュール1.75、刃数20)
被加工材	クロムモリブデン鋼 (SCM415)
切削条件	切削速度V=180m/分、送りf=1.7mm/rev、冷却油使用
ギア加工数(寿命)	従来膜：1200～1600pc 開発膜：1800～2000pc

4. おわりに

すでにステアワン蒸発源の全拠点への適用を完了し、本開発膜を提供できる体制を整えた。一部の拠点ではすでに本開発膜をお客様に提供開始している。全世界でコーティング需要は今後ますます高まっていくことが見込まれる。これらの期待に対応できるよう引続き設備開発・プロセス改良に取り組み、お客様のニーズに応えながら事業の拡大・発展に貢献していきたい。

参考文献

- (1) 久保、丘：日本機械学会論文集 C 編 Vol.79, No.799 (2013.3), pp.443
- (2) 鍋倉、他：三菱重工技報 Vol.43 No.3(2006)
- (3) 岡崎、他：日新電機技報 Vol.62, No.3(2017.10)