

# Hauzer Techno Coating B.V. のコーティング装置と技術

## PVD/PACVD Technology and Equipments of Hauzer Techno Coating

製造業の一翼を担う当社にとって急速に悪化する地球環境の維持・改善を考えるうえで、内燃機関の効率改善による CO<sub>2</sub> を中心とした排出ガスの低減、製造プロセス改善による製造現場における廃棄物削減は急務である。これらの対策に不可欠な技術となっているのが、Physical Vapor Deposition（以下、PVD と呼ぶ）／Plasma Assisted Chemical Vapor Deposition（以下、PACVD と呼ぶ）ハードコーティングによる表面改質技術である。

2008 年 4 月から IHI グループとなったハウザーテクノコーティング社（Hauzer Techno Coating B.V.（オランダ）：以下、ハウザー社）は、2008 年に設立 25 周年を迎えた工業用 PVD/PACVD ハードコーティング装置のリーディングサプライヤーである。特に自動車部品用途に適用が広がっている Diamond Like Carbon（以下、DLC と呼ぶ）コーティングにおいては世界各国の自動車メーカーから高く評価され、自動車業界の燃費向上に貢献してきた。ここでは、ハウザー社の主力製品である Flexicoat<sup>®</sup> シリーズの、アプリケーション、コーティング技術、機種ラインナップについて紹介する。

### 1. アプリケーション

PVD/PACVD ハードコーティングは、金属やセラミックスを原料とする硬質薄膜を製品表面に蒸着させる技術である。ハウザー社がコーティング装置を販売するターゲット市場は主に三つに分類される。摺動部品用コーティング市場、工具用コーティング市場、装飾用コーティング市場である。

#### 1.1 摺動部品用コーティング

ハウザー社の装置が使用される最大の市場は自動車産業で、その用途はエンジン周りを中心とした部品表面へのコーティングである。

自動車産業においては、環境性能の向上を目的としてのハードコーティングの使用範囲が急速に拡大している。主要な目的はフリクションロスの低減による燃費性能向上とその性能維持（低摩擦特性）、クリーンディーゼルエンジンに必須の高圧インジェクション（>160 MPa、コモン

レールインジェクション）に代表される高負荷耐性部品の実現（高硬度、高摩耗耐性）である。

ピストンリングに代表されるフリクションロス低減を目的としたハードコーティングには従来 CrN コーティングが使用されてきたが、より硬質な膜が求められる用途においては DLC コーティングの適用が急速に広がっている。

欧州で一般的なクリーンディーゼルエンジンは、コモンレールインジェクションによって達成されるが、このような部品には高い負荷耐性が要求され、部品表面を保護するために高い耐摩耗性と低い摩擦係数をもつ DLC が使われている。

排出ガス規制をきっかけとした省燃費化・ダウンサイジング（低排気量化）の流れの加速によって、エンジン部品への要求はますます厳しくなっており、コーティングの適用範囲も拡大している。ハウザー社は自動車部品用コーティングに早くから注力し、特に DLC 用のコーティング装置では業界トップの納入実績を維持してきた。

第 1 図に自動車部品へのコーティング適用例を、第 1 表に主な摺動部品用コーティングの種類を、第 2 表に自動車部品用コーティングの用途をそれぞれ示す。



第 1 図 自動車部品コーティング適用例

第1表 摺動部品用コーティングの種類

項目	単位	カーボン膜				窒化膜	
		Me-DLC	DLC	Me a-C	a-C	CrN	TiN
プロセス	—	PVD/PACVD	PACVD	PVD	PVD	PVD	PVD
硬度	HV 0.05	800 ~ 2 200	1 500 ~ 3 500	1 500 ~ 2 500	2 000 ~ 4 000	2 000 ~ 2 200	2 000 ~ 2 200
摩擦係数	—	0.1 ~ 0.2	0.02 ~ 0.1	0.05 ~ 0.1	0.02 ~ 0.1	0.4	0.5
内部応力	GPa/μm	0.1 ~ 1.5	1 ~ 3	1 ~ 3	2 ~ 6	0.1 ~ 1	0.5 ~ 2
膜厚	μm	1 ~ 10	1 ~ 3	1 ~ 5	1 ~ 3	1 ~ 40	1 ~ 8

第2表 自動車部品用コーティング用途

部位	対象部品	膜種
ディーゼル インジェクション	加圧ポンプ	Me-DLC
	バルブ	DLC
	インジェクション	CrN
カムシャフト	カムシャフト	Me-DLC
	フォロワ	DLC
	タペット	CrN a-C
ピストン	上部 ピストンリング	CrN, DLC/Me-DLC
	ピストンピン	DLC/Me-DLC
クランクシャフト	ジャーナル ベアリング	AlSn 合金, AlPbSi 合金

1.2 工具用コーティング

コーティングの対象は、主に切削工具・金型などである。第2図に工具用コーティング適用例を示す。工具用コーティングは、工具の寿命と加工性能の改善による加工コスト低減と、加工品質の向上を目的とした機能性コーティングとして進歩してきた。昨今では、加工現場における環境対策から、ドライ切削の活用による切削油の削減や、水性切削油への切替え・ミスト冷却への対応など工具への



第2図 工具用コーティング適用例

要求はますます多様化している。

工具用コーティングでは AlTiN あるいは TiN を中心とする金属窒化物系コーティングが歴史も長く主流であるが、最近では難削材の加工や切削速度の向上を目指して、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> に代表される酸化物系コーティングなども非常に注目されている。

1.3 装飾用コーティング

ドライ処理によるハードコーティングを行った製品表面は、質感の高い外観を得るとともに耐摩耗性が高く、製品の長寿命化にも貢献することから、装飾用としても広く用いられてきた。近年、環境保護に関する要求から、廃液処理が必要な電解めっきから環境負荷の少ないドライ処理プロセスへの置き換えの要求がさらに強まってきている。腕時計、筆記用具、ドアノブ・蛇口・眼鏡のフレームや携帯電話などといった身近な製品（第3図）で、ハードコーティングの採用が広がっている。

装飾用コーティングで需要が増えている樹脂へのコーティングでは、従来、表面膜の密着性向上のために電解めっきプロセスによる下地処理が必要であった。このた



第3図 装飾用コーティング適用製品例

め、ドライプロセスへの移行は完全ではなかった。また、電解めっきプロセスによる下地処理が必要であることは、被コーティング材料を ABS 系樹脂に限定させる要因でもあった。

これに対して、ハウザー社は下地めっき処理を不要とする DLC 下地処理技術を開発し<sup>(1)</sup>、完全ドライコーティングに対応できる装置の販売を開始した。DLC 下地処理とすることで従来、ABS 系樹脂に限られていた被コーティング材料を選ばず、多彩な樹脂材料に対してコーティング処理が可能となった。

また、Sidasa Coating 社（スペイン）と共同で樹脂ベース下地処理にハウザー社装置で Cr コーティングを行う CROMATIPIC™（Sidasa 社商標）処理もラインナップの一つとして紹介している。こちらも、下地の樹脂材料を選ばない完全ドライプロセスであり、環境に優しいとともに、製品の設計自由度を大幅に向上させるものである。

## 2. コーティング技術

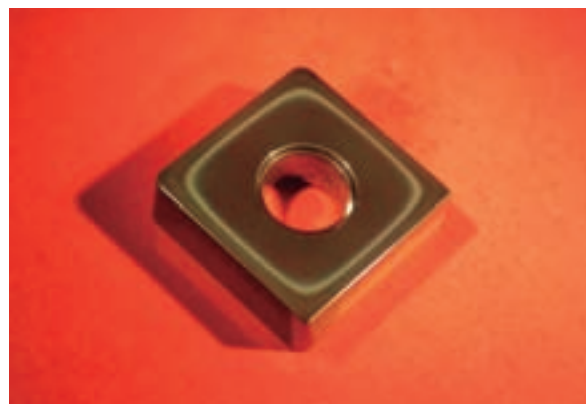
ハウザー社が提供するコーティングプロセスはアーク放電法、スパッタリング法あるいは原料をガスで供給する PACVD 法である。また、スパッタリング法の派生技術としてのデュアルマグネトロンスパッタ（Dual Magnetron Sputtering）や HIPIMS+（High Power Impulse Magnetron Sputtering Plus）法など絶えず新しいプロセスの開発にも取り組み、市場に提案している。

ここでは、 $\text{Al}_2\text{O}_3$  などの絶縁物コーティングに有効なデュアルマグネトロンスパッタとハウザー社独自の最新コーティング技術である HIPIMS+ 技術を紹介する。

### 2.1 デュアルマグネトロンスパッタ

$\text{Al}_2\text{O}_3$  をコーティングする場合、アルミターゲットをスパッタしながらコーティング室に酸素を導入、反応させることで酸化物としてコーティングする。ここで、通常の DC あるいは DC パルススパッタでは、処理時間につれてターゲット表面が酸化し長時間の安定動作ができないという課題があった。

これに対してデュアルマグネトロンスパッタ法では、2 極 1 対のターゲットに対して数十 kHz の交流バイアス電圧を印加する。これによって 2 極のカソードが交互にスパッタされ、ターゲット表面では、酸化とエッチングが繰り返されることになる。このため、酸化の進行を抑制して安定的に  $\text{Al}_2\text{O}_3$  コーティングすることができる。最大 5  $\mu\text{mm}$  程度の連続コーティングが可能である。第 4 図に



第 4 図 デュアルマグネトロン  $\text{Al}_2\text{O}_3$  コーティングインサート

例を示す。

### 2.2 HIPIMS+

アーク放電法は処理空間のイオン化率が高いため、コーティング速度が速く、膜の密着性が良好であるが、ドロップレットと呼ばれる液滴状に飛散したターゲット材料が粒状にたい積する現象が起き、膜中の欠陥となる。一方、スパッタリングによるコーティングでは非常にスムーズな膜が得られる反面イオン化率が低いためコーティング速度が遅く、密着性が低い。従来、アプリケーションの要求に対してこれら双方の優劣をもとにプロセスが選択されてきた。

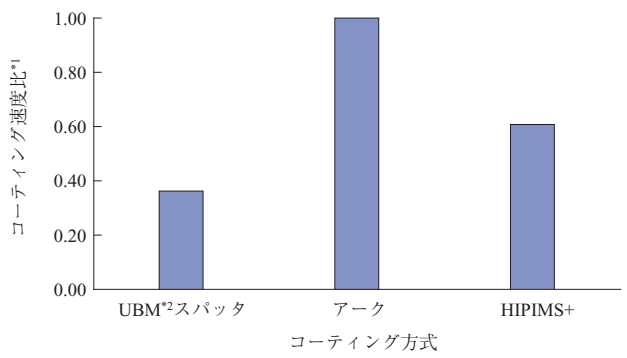
これらの課題を解決する技術としてハウザー社が提案しているのが HIPIMS+ 技術である。

スパッタリングプロセスにおいて高エネルギーパルスバイアス電圧を印加することで、ち密な膜が得られる技術として HIPIMS 技術が世界的に注目されている。しかし、通常の HIPIMS 技術ではコーティング中のエッチング効果が強く、従来のスパッタリングを超えるコーティング速度を得るのは非常に困難であった。

ハウザー社は Sheffield Hallam University（イギリス）ほか欧州先端研究機関と共同で、パルス波形、使用周波数ほか特許取得済み技術を含む独自の改良を加えることで、アークコーティングに迫るコーティング速度を得られる技術を開発し、HIPIMS+（HIPIMS “プラス”）として 2008 年から搭載装置を製品化した<sup>(2)</sup>。

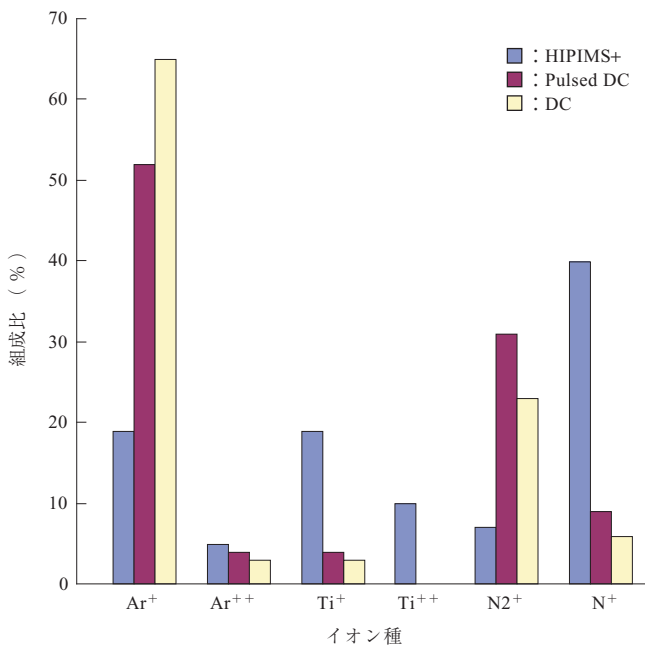
本技術の特長は、イオン化率が非常に高く、金属イオンと反応性ガスイオンの組成比が高いことである。これによって平滑、高密度で欠陥がなく密着性の良いコーティングが高いコーティング速度で得られるものである。

第 5 図にスパッタ法、アーク放電法とのコーティング速度の比較を示す。第 6 図にイオン種組成比（対 DC ス



(注) \*1: アークを1とした場合の速度比  
\*2: Unbalanced Magnetron Sputtering

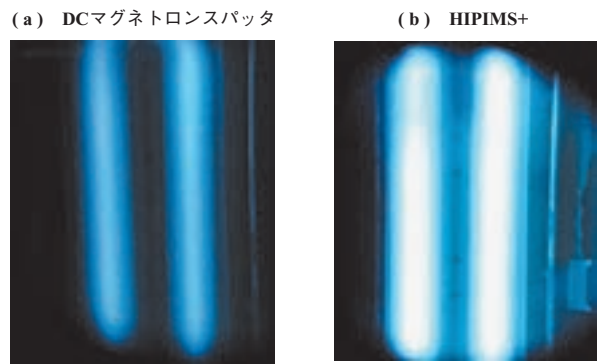
第5図 コーティング速度比 (スパッタ/アーク/HIPIMS+)



(注) データ提供: Sheffield Hallam University

第6図 イオン種組成比 (対 DC スパッタ比較)  
(Ar/N<sub>2</sub> 雰囲気下での Ti スパッタリング)

パッタ比較)を示す。DC マグネトロンスパッタとのイオン種組成の比較で、金属イオン (Ti<sup>+</sup>/Ti<sup>++</sup>) および反応性ガスイオン (N<sup>+</sup>) の比率が非常に高いことが分かる。第7図にチャンバ外から見たターゲット付近のカソード表面プラズマの様子を示す。



第7図 カソード表面プラズマの様子

### 2.3 ハイブリッドプロセス

ハイブリッドプロセスは、スパッタ、アーク放電、PACVD 技術の組み合わせを一つの装置で実現する技術で、他社に先駆けて実現し<sup>(3)</sup>、市場に提供してきた。

ハウザー社のコーティング装置は、顧客の使用目的に応じて、アークやスパッタ、PACVDに加え、デュアルマグネトロンスパッタや HIPIMS+ のような最新技術までさまざまなプロセスを組み合わせ、多層膜の連続コーティング処理が可能で、このことがハウザー社製品の強みの一つとなっている。

### 3. Flexicoat® シリーズコーティング装置

ハウザー社は量産運用を前提として処理能力の異なる装置をシリーズ化しており、顧客の製品サイズ・生産量に応じた選択を可能としている。

装置はプラットフォームデザインを採用し、基本共通デザインはすべてのシステムで使用できるよう設計されている。独自開発のコーティングソース、電源、ヒータ、サンプル固定方法などを、顧客アプリケーションに応じて構成する。プロセス設計の自由度 (フレキシビリティ) が高く、これがシリーズ名の由来ともなっている。すべての装置でほぼすべてのプロセスが組み合わせ可能である。

第3表 Flexicoat® シリーズ装置ラインナップ

モデル名	Flexicoat® 850	Flexicoat® 1000	Flexicoat® 1200	Flexicoat® 1500
処理室径 (mm)	500	650	650	900
処理室長 (mm)	500	650	850	1 500
処理重量 (kg)	250	500 ~ 1 000	500 ~ 1 000	900 ~ 3 000
カソード装着可能数 (—)	4	4 ~ 6	4 ~ 6	4 ~ 6

### 3.1 Flexicoat® 850 (第8図)

Flexicoat® 850 は有効コーティング容量がテーブル直径 500 mm, 有効高さ 500 mm と Flexicoat® シリーズの最小容量機種であるが, Flexicoat® シリーズの特性をすべて備えている。チャンバは四つの壁面で構成されており, 各々の壁にはヒータ, 円形アークカソード, 矩形アークカソード, スパッタカソード, 真空機器・圧力計類が必要に応じて設置される。

### 3.2 Flexicoat® 1000 (第9図)

Flexicoat® 1000 は, サイズが比較的大きいあるいは生産量が多い切削, 成形工具の高性能コーティングに適している。

六つのカソード配置が可能で, 有効コーティング容量が大きな八角形のチャンバ形状である。有効コーティング容量はテーブル直径 650 mm, 有効高さ 650 mm である。

### 3.3 Flexicoat® 1200 (第10図)

Flexicoat® 1200 は Flexicoat® 1000 と基本的なシステム構成は同じであるが,  $\phi 650 \times 850$  mm の有効容量があり, Flexicoat® 1000 より約 30%生産能力が高い。

摺動部品用コーティングにおける主力機種で, 大型の工具・金型コーティング, あるいは多品種少量を対象とした装飾用コーティングなどもターゲットとなる。

### 3.4 Flexicoat® 1500 (第11図)

Flexicoat® 1500 は標準の Flexicoat® 中で最大の装置で,



第8図 Flexicoat® 850



第9図 Flexicoat® 1000



第10図 Flexicoat® 1200



第11図 Flexicoat® 1500

$\phi 900 \times 1500$  mm の有効容量を誇る。標準モデルとしては業界最大級の装置で, 装飾用, 自動車部品用あるいは大型工具用向けの大量生産用モデルとして近年出荷数が伸びている機種である。

### 3.5 ターンキーソリューション (第12図)

PVD/PACVD 装置の経験がない顧客に対する技術的なハードルを低くするため, ターンキーソリューションとして PVD/PACVD 工程のトータルパッケージの提供も行っている。はく離 (工具用で必要に応じ), 洗浄, コーティング, 品質管理装置 (顕微鏡, 密着性/膜厚測定などの検査装置), 後処理 (必要に応じ) の一連の処理設備に加え, 運転ノウハウ, オペレーションのトレーニングまでをターンキーパッケージとして提供している。

## 4. 結 言

ハウザー社製品のアプリケーションおよび技術, Flexicoat® シリーズについて紹介した。コーティングプロセスは最終製品からは見えないプロセスであるが, 自動車の省燃費化, 製造現場での廃棄物の削減をはじめ環境負荷の低減のために不可欠な生産技術となっており, 今後も成長が見込まれている。



第12図 ターンキーソリューション

ハウザー社のもつ最先端コーティング技術によって産業界の環境負荷低減に貢献していきたい。

### 参考文献

- (1) P. Peeters, I. Kolev, J. Landsbergen, R. Tietema and T. Krug : DLC Base Coating on Plastics as Support for Scratch Resistant Decorative Finishes; 2009 SVC Technical Conference Program p. 100
- (2) F. Papa, C. Strondl, I. Kolev, T. Krug and R. Tietema : Industrial Impact of HIPIMS+ Technology for Chromium Nitride Coatings; 2009 SVC Technical Conference Program p. 9
- (3) ハウザーインダストリーズビーブイ (現, Hauzer Techno Coating B.V.) : 日本国特許第 2836876 号

産業システムセクター薄膜・表面処理プロジェクト部  
 Hauzer Techno Coating B.V. 日本支店  
 綾目 吉彦