

# 新しい表面創成の試み

—ハイブリッドコーティング技術とコーティング諸特性について—

New fase of Advanced surface modifications

— Hybrid Coating technology and Various Coatings —

キーワード

表面改質, PVD, 硬質皮膜, トライボロジー, イオンプレーティング, DLC,  
(ハイブリッド), 窒化

クリーンサーモ事業部

コーティング部

須貝 賢一

松波 浩二

## ■ 摘要

不二越の PVD コーティング技術の開発は四半世紀前に遡る。TiN や CrN あるいは多層膜等を主に切削工具に適用してコーティング工具の普及に寄与してきた。

近年, 各種 DLC が開発されて DLC コーティングの切削工具も普及し始めているが, これらのコーティングは切削工具ばかりでなく, 金型や機械部品にも適用が進んできている。本報ではこれらの分野に用いる場合に有用となる新しい表面改質であるハイブリッド技術として DLC 系膜の「PVD+PCVD」及び「プラズマ窒化+PVD」について, またそれらの試作ができる試験装置について紹介した。

## ■ Abstract

In Nachi-Fujikoshi Corp, The PVD technology was developed since a quarter century. It is mainly contributed that the cutting tool is coated by TiN, CrN or multilayer etc .

Recently, developments of various DLC are advanced and DLC coated cutting tools are spreaded.

These coatings aren't only used for cutting tools but also advanced to apply for punches,dies and machining parts.

In this paper, it is shown that new surface modification technology of "HYBRID" that is a combination surface treatment is useful.

i.e., "PVD+PCVD" for DLC system and "Plasma nitriding + PVD (PCVD)"

Furthermore, a new experimental coating unit for the new technology is introduced.

## 1. はじめに

コーティング技術は, 表面改質技術の一つとして, 盛んに応用されるようになってきた。中でも PVD (物理蒸着: Physical Vapor Deposition) 法は, ドリル, エンドミルあるいは歯切工具といった切削工具を中心に普及しており, 不二越においても各種の PVD 硬質皮膜の開発 (図 1) を手がけ, 高速度鋼工具の製造からコーティング切削工具を製造販売してきた。

一方, こうしたコーティング技術の適用は, 近年,

切削工具のみならず, 金型や機械部品への展開も要求されるようになってきており, その流れの核となるのは, 硬質表面創成そのものと, いわゆるトライボロジー (摩擦, 摩耗, 潤滑) の特性である。

一般に硬質材料は, 弾性係数が低い (=実質接触面積が少ない, 変形抵抗が高いという点) ことから, 摩擦特性に優れる (摩擦係数が低い) と考えられる。しかし, この摩擦というものについては, 相手材料との化学的な相性や, 加工上の面粗さの問題を含み, 表面被覆の膜特性や膜表面性状が大きく影響する。本報では, これらの要求に対する新しい表面創成の

進化するコーティングテクノロジー

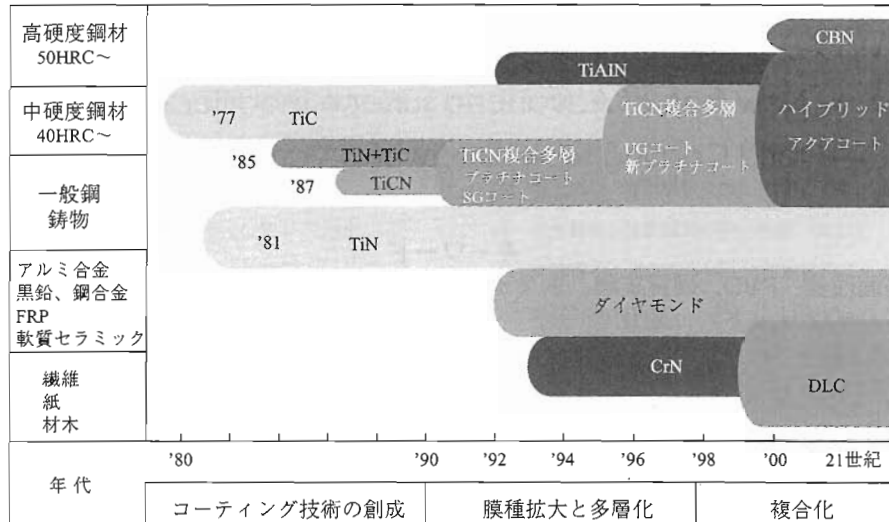


図1 不二越のコーティング技術の進展<sup>1)</sup>

試みについて紹介する。

## 2. PVD 装置と各種皮膜

PVD 法、特にイオンプレーティング（溶解法、アーク法、スパッタ法等）は各種の装置が普及しており、各社より TiN, TiCN, TiAlN および CrN 等が盛んに処理されるようになってきた。しかし、多くの場合、原理的な違い、各装置の特性、プロセスの違い等により、同じ元素を組合せた膜であっても、コーティング工具に見られるように性能が等しくなるとは限らない。溶解法やスパッタ法及びアーク法による標準的な条件での工具性能では、温度条件やプロセスをほぼ同じに設定した上で、膜厚を2~3 $\mu$ mにした場合には TiN コーティングハイスドリルの性能は、溶解法（HCD：不二越製 SS-2-8 図2）>スパッタ法>アーク法の順の性能となる。アーク法が悪くなるのは、膜応力が低く、表面性状が溶解法やスパッタ法に比べ劣るためと考えられる。しかしながら、アーク法においても膜厚の制御を行うことで他法と同レベルの性能を引き出すことは可能である。膜応力は工具性能に大きな影響を及ぼすので、工具性能を考える上でも溶解法（SS-2-8）は有利になる。

工具に限らず、処理母材自体の表面清浄性や、処理装置内の清掃度合い（粉塵）によっても膜性能は大きく影響することが知られており、これらのことを考慮すると各種原理によってパラメータは異なるが、生産ラインにおいて高性能かつ安定性を確保す

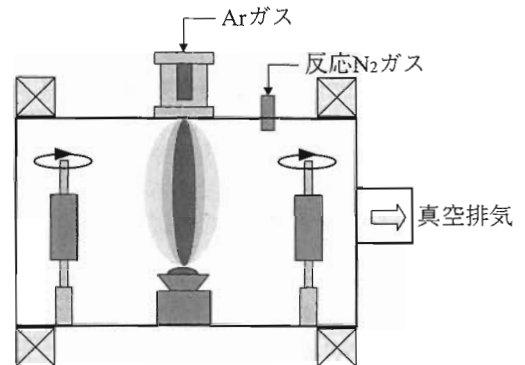


図2 イオンプレーティング装置（SS-2-8）

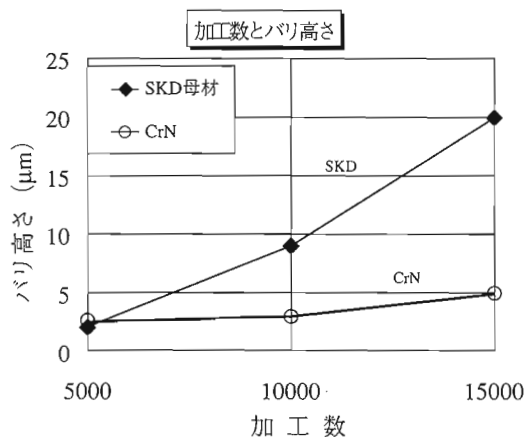
ることが重要な問題になる。こうした観点から各社の装置（異なる原理）を比較してみると、どの原理でもほぼ同等のサイクルタイムが必要であり、清掃や洗浄に関する点などが共通な重要点となる。表1に各種のコーティング膜とその用途を示した。また、図3には CrN の応用例を示した。

現在、DLC（Diamond Like Carbon）が市場で普及し始めてきた。DLC は良く知られているように、ダイヤモンドと黒鉛（グラファイト）の中間の物質であるが、定義は曖昧で、どのような場合が性能が良いかは分からないというのが現状である。ラマン分光法により「これこれを DLC という」というようなことでそう呼ばれているが、実用上の効果となるとプラスチック用途や水洗弁に使用されていることや、古くから磁気ヘッド等に応用されていることが知られている。

昨今の応用では塑性加工等に使用されはじめているが、まだまだ、密着性等に問題があるようである。

表 1 代表的な膜種と適用分野

膜種	硬さ Hv	乾式摩擦係数	機能				用途例	適用分野
			耐摩耗	低摩耗	非凝着	耐熱性		
DLC	1000 ~5000	<0.1	○	◎	◎	×	モールド金型, アルミ絞り加工型, 歯車 他	樹脂アルミ用金型, 摺動部品 (軽負荷)
CrN	1100 ~2000	0.5	○	○	◎	◎	金型, パンチ, クラッチプレート, インナープレート, ピストンリング	金型, 摺動部品 (中重負荷; 自動車, OA 機器)
TiN	2400	0.7	○	△	△	△	切削工具, 金型, デフビニオンシャフト	金型, 摺動部品 (重負荷; 自動車 他)
TiCN	2700	0.6	◎	△	△	△	切削工具	切削工具
TiC	3300	0.5	◎	○	△	×	切削工具	切削工具, 金型
TiAlN	2600	0.7	○	△	△	◎	切削工具	切削工具



(プレス条件)  
被加工材: SUS304 1.0t, プレス機: トルクバック45トン  
加工速度: 100spm, 潤滑剤: SY20-S

図 3 CrN の応用事例

DLC については、各種の手法が提案されているが、フィルタードアーク法以外はほぼ、PCVD (プラズマ CVD) といって良い。フィルタードアーク法は PVD であり、PVD と PCVD の違いは原料が金属 (もしくは元素) 等固体のものを PVD, 気体 (液体を気化した場合を含む) から形成し、プラズマを利用したものを PCVD という。これらは用途的には、トライボロジーの機能を付加させる表面創成としての新しい取組である。

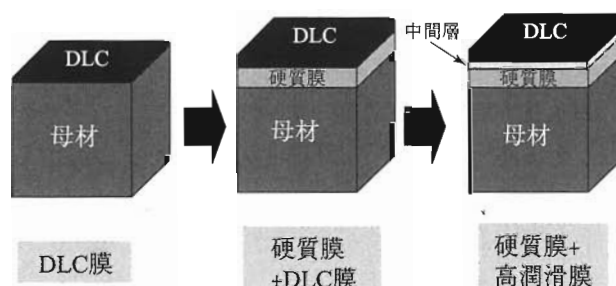


図 4 DLC 系皮膜の強化手法

### 3. 新しい表面創成の試み

#### (1) DLC 系皮膜 (μrex)

先に DLC が密着性にまだ難があることを記したが、不二越の DLC 系皮膜は図 4 に示すような強化手法を用いている。DLC 系と記したのは、密着性の向上をはかるために Ti などの金属元素を含有させたものも含めて表記したからである。こうして形成した DLC 系皮膜の摩擦係数は、図 5 のような低摩擦係数を示し、滑らかな表面性状になると考えられる。滑りに関連した特性は、DLC

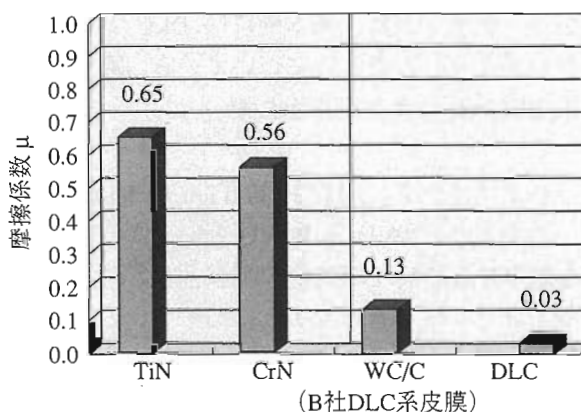


図 5 DLC 系皮膜の摩擦係数

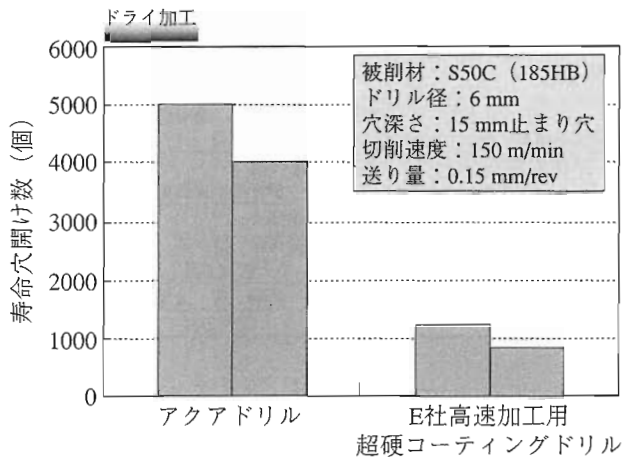
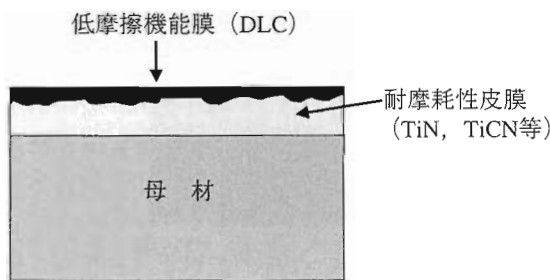


図6 ドライ加工を可能にしたアクアドリルの性能



効果：耐摩耗性皮膜 $\mu$ rexの表面の効果

図7 DLC系皮膜 $\mu$ rexの表面の効果

系皮膜が強靱である必要はなく、下地の PVD 皮膜の表面欠陥を補い、表層機能を高める作用が発揮されればよいと考えることができる。こうした考えに基づいて、表面機能強化では母材に対する膜の作用は PVD 膜が請負い、表層の機能は DLC 系皮膜が請負うという考えが成り立つ。図6に従来ドライ加工が不可能といわれていた穴明け加工において、ドライでも十分に加工能率が得られるアクアドリルの性能を紹介する。アクアドリルのコーティングは、基本的には DLC 系皮膜ではないがこうした考えに基づいている。図7に DLC 系皮膜 $\mu$ rex の考え方を示した。

(2) ハイブリッド (HIT: Hybrid Ion Technology)

このように PVD と PCVD というような複合的な処理方法については、近年特に注目されており<sup>2)</sup>、ハイブリッド<sup>3)</sup>と呼ぶようになってきている。このような組合せには PVD+PCVD、窒化+PVD、メッキ+PVD あるいは窒化+PVD+PCVD のようなものが相当する。特に窒化+PVD あるいは窒化+PCVD については一般的に成り立つものである

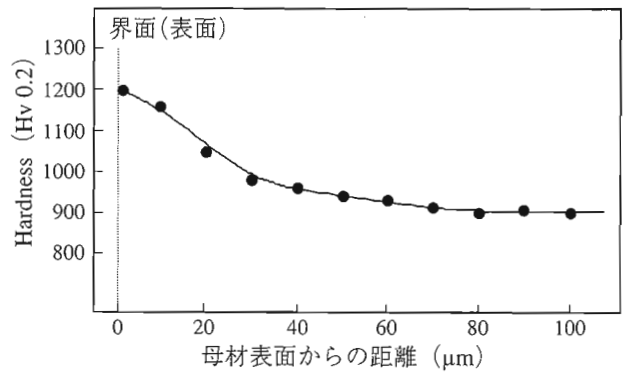


図8 プラズマ窒化による高速度鋼母材の表面からの硬さ分布

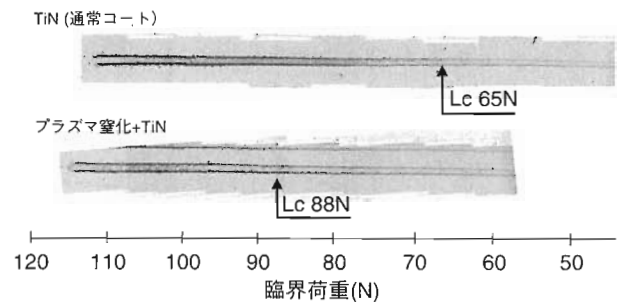


図9 ハイブリッド TiN (プラズマ窒化+TiN) のスクラッチ Lc の向上

が窒化層にこれまで問題があり、多用できていないという問題があった。これは、最も重要な界面に窒化層 (白層) を生じるためにおこる。

また、ハイブリッド処理のほとんどは、従来の装置を用いた場合、別々の処理を必要とするため、各処理毎に洗浄や加熱など時間がかかるが、プラズマ技術を応用することで、連続で処理することが可能となった。図8はプラズマ窒化の手法を用いた高速度鋼 SKH51 の表面からの硬さをプロットしたものであるが、拡散層の深さを示しており、この手法でも十分な効果が見込める。さらに連続的に PVD のコーティングを行うことが可能であり、通常の TiN 膜をコートした場合には、密着性を評価するスクラッチ試験で、65N 程度のものが 88N にまで向上することが判った。図9にその様相を示した。

#### 4. 小型スパッタコーティング装置 (HS-1530-1)

以上、新しい表面創成の試みとして DLC 系皮膜ならびにハイブリッドについて紹介したが、母材表面改質を含む複合膜の組合せは無限にあり、その可

## 5. 結 び

以上、PVD のコーティングに限定することなく、不二越の新しい表面創成の試みについて紹介した。21 世紀のキーワードは「環境」であり、PVD 等のドライプロセスが工業全般の中心になると思われる。

### 参考文献

- 1) 不二越 社内データ
- 2) 池永 勝：表面技術 46 2 (1995) 19
- 3) 安岡 学：精密工学会誌 66 4 (2000) 527

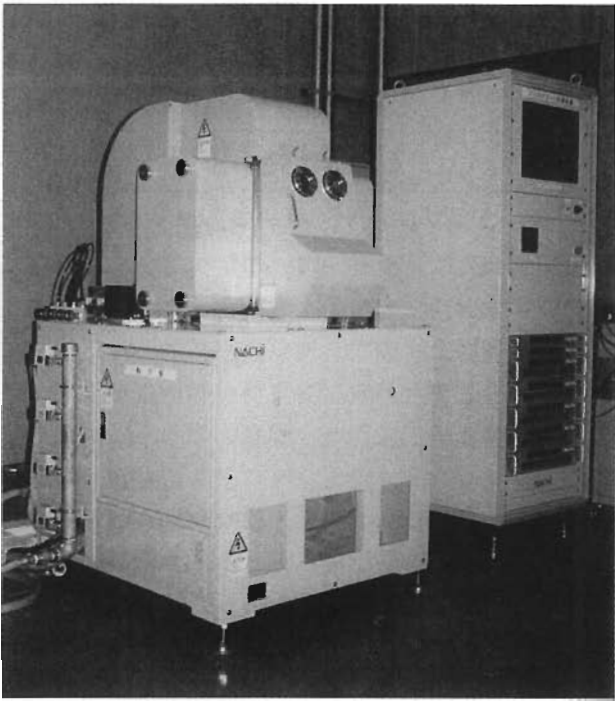


図 10 小型スパッタコーティング装置 HS-1530-1

能性もまた無限大であるといえよう。そういった意味では、我々の試みも、まだその入口に入ったばかりである。図 10 に示した小型スパッタコーティング装置 HS-1530-1 は、こうしたニーズに答える試験装置として（特にハイブリッド処理試験設備として）開発したものである。

本研究開発用高性能コーティング装置の特長は、高エネルギーのイオンや粒子を放出する傾斜ターゲットを利用したマグネトロンスパッタリングターゲットを複数装備しており、それぞれの出力を操作することにより、様々な複合多層膜をえることができる。また、プラズマ窒化も可能であり、ハイブリッド処理の対応をはかることができる。



須貝 賢一

1992 年 (株)不二越に入社。技術本部（現、技術開発部）にて、コーティング技術の開発に従事。2000 年より、クリーンサーモ事業部コーティング部に移り、現在に至る。



松波 浩二

1985 年 (株)不二越入社。東富山製鋼所産業装置部（現、クリーンサーモ事業部）製作組を経て、コーティング課にてコーティング装置の開発、製作、受託加工に従事。現在に至る。