

薄膜コーティング技術と応用分野の 将来展望

Prospect of thin film coating technology and its application

石 井 孝 也* 今 井 修*
T. Ishii O. Imai
梶 間 俊 郎*
T. Kajima

概 要

薄膜コーティング技術は、多くの優れた特性を持つことから幅広い分野に応用されています。現在では、工具、金型を始め、自動車部品、情報機械、家電製品および産業機械など幅広い分野に応用されています。今後、その応用は、地球環境改善に大きく貢献するものとなっていきます。

本解説では、将来に向けて、現在取り組んでいる新しい硬質薄膜コーティング技術について解説していきます。この新しいコーティング技術を実践していくためのハードウェアとして、当社で製造しているマルチアークPVD装置についてもあわせて解説いたします。

Synopsis

Ceramic coating technologies have many useful features and have been used for wide range of applications. These have been used for such as not only the improvement of the efficiency of the cutting tools and molds, but also the improvement of the wear resistance and the achievement of the low friction for the various machine parts. In order to improve the environment of the earth, ceramic coating technology will play an important role for the specific applications.

We are going to develop in various new coating technologies. This review is explained the advanced coating technologies based on the results acquired by the application of Multi-Arc PVD methods.

1. まえがき

薄膜コーティング技術は、耐摩耗性、耐焼付き性、耐腐食性、耐酸化性に優れたセラミック薄膜をコーティングすることで製品の性能、寿命、使用範囲等を大幅に向上できるため、工具や金型を始め自動車部品、半導体部品、家電製品やその製造装置および産業機械など幅広い分野に応用されています。

薄膜コーティングは、

工具、金型や部品の寿命を延ばす。

再コートにより、リユースを可能にする。

低摩擦化により、エネルギー損失を減らす。

メッキ等の表面処理で使用される環境汚染物質を使わない。

耐熱性や低摩擦性により、将来はオイルレスも目指す。

等、その効能は、地球環境改善にも大きく貢献するものと期待されています。

当分野は、日本国内が200億円、海外が2,000億円規模のマーケットといわれていますが、日本国内でも年に15~20%の伸びを見せており、地球温暖化対策の必要性の高まりとともに、更なる用途展開と市場規模の拡大が続くものと考えられます。

*ファインコーティング事業部

最近の技術動向に少し触れておきます。

切削工具分野では、高効率化を目指しての高速切削加工やドライ切削加工に応用が広がってきています。金型分野では、CRを目指した金型の長寿命化や離型性改善のために、低摩擦化、耐摩耗、耐食、耐熱性といった特性の向上が求められています。機械部品においても、メンテナンスフリー、省エネ化、小型軽量化のため、耐久性向上、低摩擦化といった特性が要求されています。⁽¹⁾ 今後はより厳しい環境対策のためにも、無潤滑下での加工や摺動などに耐え得るコーティング膜の開発が求められています。

本解説では、これらの要求に対応していくため、現在取り組んでいる新しい硬質薄膜コーティング技術について解説するとともに、この新しいコーティング技術を実践していくために必要なハードウェアとして、当社で製造しているマルチアークPVD装置についてもあわせて解説いたします。

2. マルチアークPVD装置⁽¹⁾

マルチアークPVD装置の装置構成を図1に示します。本装置の基本原則であるアーク式PVD法は、イオン化率が高く密着性に優れるという特徴を持っており、硬質セラミックコーティングに広く利用されています。しかしながら、一般にアーク式PVD法は、成膜の過程で生じる

粗大溶融粒子が膜中に取り込まれることにより、膜の表面平滑性が他のPVD成膜法に比べて粗くなるという欠点があります。当社はこれらの欠点を改善するために、粗大溶融粒子の生成を抑制する2S蒸発源を開発・採用し、密着性が高く平滑性に優れたTiN系窒化物(TiN, TiCN, TiAlN等)膜の形成に優れた特性を発揮するマルチアークPVD装置を製造・販売しています。また、2S蒸発源では表面平滑性が得にくい膜種については、2S蒸発源を更に発展させた3S蒸発源を開発しています。図2に3S蒸発源の構造を示します。3S蒸発源は、カソード周囲に配置した電磁コイルを用いて高密度プラズマを生成し、粗大溶融粒子を再溶融させることで更なる平滑性が可能となります(写真1)。これらの蒸発源を最適に組み合わせることにより、一般的な工具や部品などに限定されていた適用範囲が、膜表面の平滑性が必要な精密金型等にも拓かれました。

当社では、アーク式PVD装置を開発してきた実績に基づき、写真2にあるMシリーズ型マルチアークPVD装置を製作・販売しています。本装置は、金属を蒸発させる蒸発源が装置壁面に多数取り付けられることから、成膜速度が速く均一性に優れた生産性の高い装置であると言えます。当社では、コーティング基材の大きさや処理量に合わせて、表1のような各種装置ラインナップを取り揃えています。

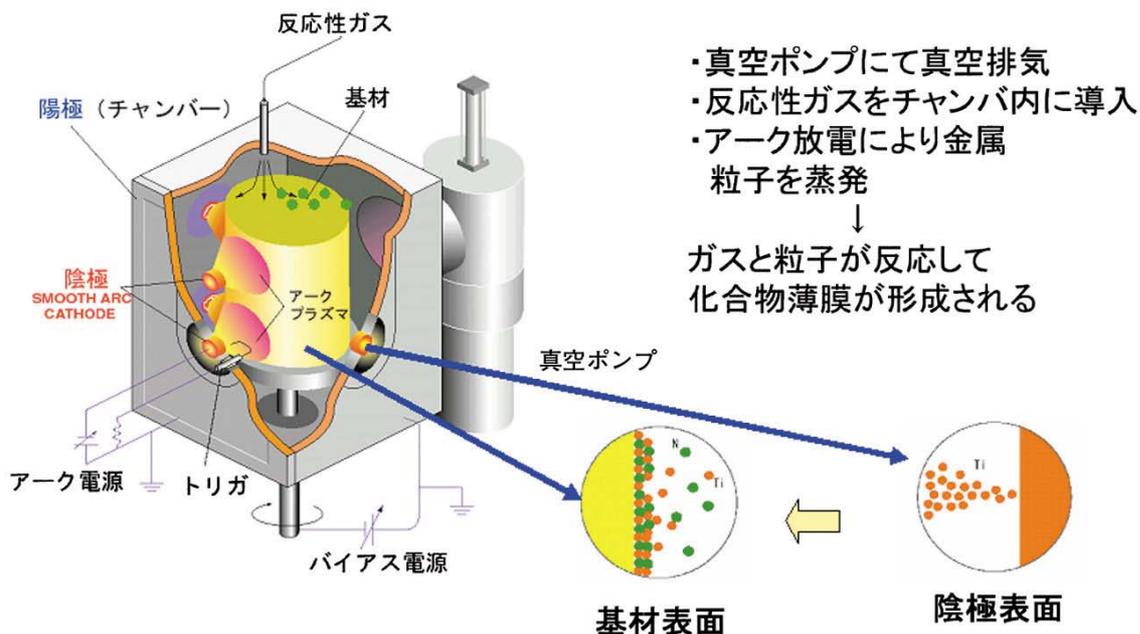
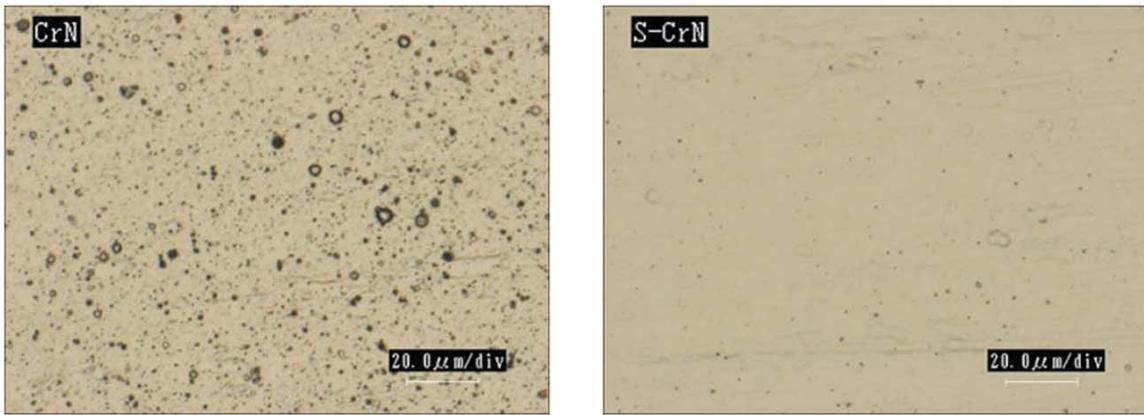


図1 アークイオンプレーティング法の原理



従来CrN膜 (Ra=0.25 μm)

3S-CrN膜 (Ra=0.05 μm)

写真1 3S蒸発源により形成したCrN膜と従来CrN膜との表面状態比較

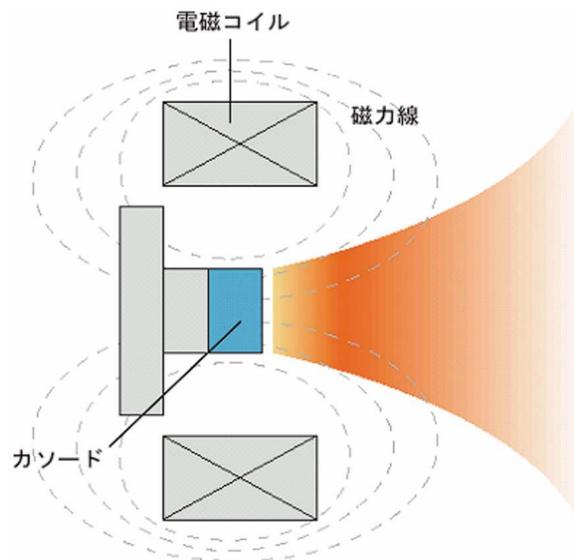


図2 3S蒸発源の構成図

サイズ	型式	蒸発源数	コーティングゾーン
大型	M720E	10	Φ720×H800
中型	M500D	8	Φ500×H600
小型	M500C	6	Φ500×H400

表1 装置ラインナップ



写真2 アークイオンプレーティング装置

3. 窒化物系コーティング膜の新展開^(1, 2)

セラミックコーティング技術は、主として金属材料表面に薄膜を形成することにより耐摩耗性、耐焼付き性、耐腐食性、耐酸化性に優れた特性を付加し、さまざまな製品の表面特性、寿命、使用範囲などを大幅に向上させることができ、工具、金型、部品といった幅広い範囲に用いられています。マルチアークPVD法で形成される代表的薄膜として、TiN膜、TiCN膜、TiAlN膜およびCrN膜などの窒化物膜があります。表2にこれら薄膜の主な用途を示します⁽²⁾

従来のPVD法による薄膜形成はTiNやCrNの単一層、TiCN/TiNといった2~3層の多層構造をもつコーティング膜やTiAlNに代表される合金窒化物膜が主流でした。しかし、これらのコーティング膜では、昨今のハイレベルなお客様のニーズに対応するには性能的に限界があります。最近では新しいコーティング技術として超多層コーティング膜形成技術が開発され、応用が進められています。図3にその構造を示します。このコーティング膜は、数nm（原子数十個分）の厚みで異種金属窒化物を約千層のオーダーで交互に積み重ねるといったプロセスを開発することにより、新たな性能の発現と相反する要求性能の両立を実現しました。この超多層コーティング技術は

日本アイ・ティ・エフ株式会社において開発が進められ、ジニアスコート⁽²⁾として工具、金型用途に展開し、幅広くお客様に提供しています。その事例についてご紹介いたします。

超多層コーティング技術の応用例として、ジニアスコートICR, IARおよびITRがあげられます。これらの膜は、耐食性に優れたCrNをベースにした超多層コーティング膜で、耐食性、耐焼付き性、耐熱性および耐熱衝撃性などといった種々の金型に要求される特性をバランスよく提供することが可能となっています⁽²⁾（図4）。また、この超多層コーティング技術は、さまざまな材料のもつ特性を選択し組み合わせることができ、硬質セラミックコーティングの世界に新しい展開が生まれるものとして大いに期待されます。

その他、従来の多層構造膜においても膜構造や各層の厚みなどに改良が進められています。ジニアスコートTCはTiCNをベースにした多層膜として、TiCNの高硬度と摺動性、耐焼付き性を維持しつつ、内部応力を制御することにより耐剥離性、耐欠損性に優れた信頼性の高いコーティング膜です。その特徴として、Hv3000以上の高硬度をもち、 $\mu = 0.25$ （無潤滑）の低摩擦性もあるためTiN膜の10倍以上の耐焼付き性を有しています⁽²⁾（図5）。

<p>TiN膜 窒化チタン</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・汎用的な金色の膜 硬さHmv 1800~2000 ・低温(250℃)でのコーティングも可能で、高精度部品にも好適 ・切削工具、金型、部品など幅広い用途に好適
<p>TiCN膜 炭窒化チタン</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・TiN膜より硬度が高い。硬さHmv 2200~3200 ・炭素を含有することで、滑り性も良好な膜 ・切削工具、パンチ、ダイなど金型などに好適
<p>TiAlN膜 窒化チタンアルミ</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・Al添加によりTiNよりも硬く、硬さHmv 2000~3000 ・酸化に強い、紫色の膜 ・ドライ切削や高速切削用工具など硬度と耐酸化性が必要な用途に好適
<p>CrN膜 窒化クロム</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・硬さは低い(Hmv 1200~2000)が、滑り性がよい。 ・耐熱性、耐食性に優れた銀色の膜 ・非鉄金属との耐溶着性に優れる。 ・膜厚は20μmまでの厚膜も成膜可能 ・Cuを含むワークの切削、高温で使用する金型、部品に好適

表2 代表的な窒化物膜とその応用例

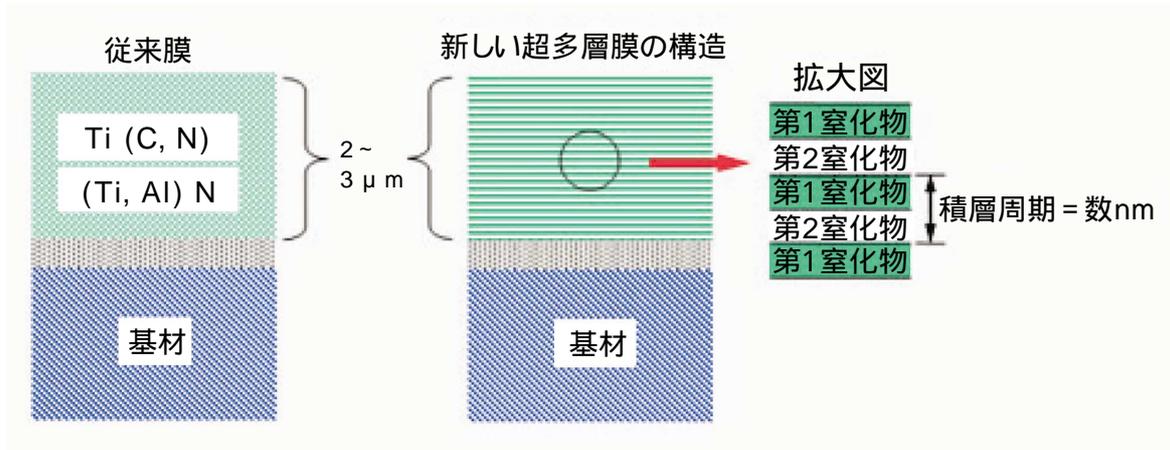


図3 超多層コーティングの構造

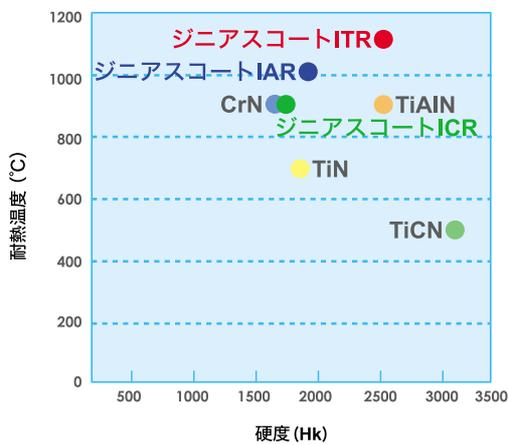


図4 ジニアスコートTCの硬度と耐熱性

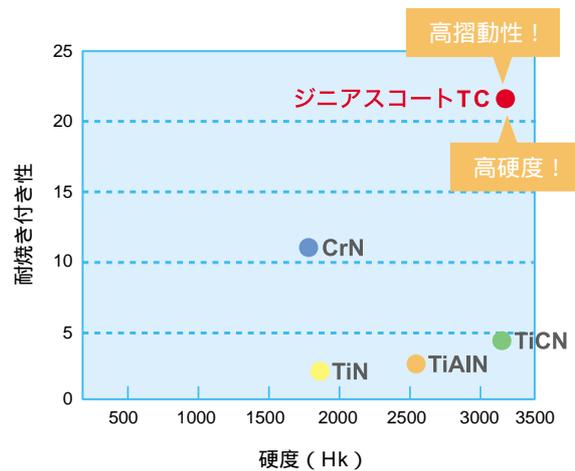


図5 ジニアスコートTCの硬度

4. DLC (ダイヤモンドライクカーボン) 膜の形成⁽³⁾

DLC (ダイヤモンドライクカーボン) は、アモルファス構造を持ったカーボン系薄膜であり、摩擦係数が低く、高硬度で耐摩耗性に優れた特性を示す薄膜です。また、DLCは、相手材を摩耗、損傷させず、化学的に安定で焼付き、凝着、溶着を起こしにくい薄膜材料であり、^(4, 5) その優れた特性から工具、金型、部品など、幅広く産業界で利用されています。今後はさらに厳しい環境(高面圧、高回転数、高温、無潤滑下など)での使用に耐え得るDLC膜が求められる傾向があります。

DLC膜の合成は、表3に示すようにイオン化蒸着法、スパッタ法等のPVD法(物理蒸着法)やプラズマCVD法(化学蒸着法)等さまざまなプロセスで実施されています。マルチアークPVD装置によって形成されるDLC膜は、固体のカーボン源から物理的に蒸発させるため、水素含有量の少ないDLC膜が得られる特徴があります。また、他

の成膜法に比べダイヤモンド結合比が高く、カーボンのイオン化率が高いこともあり高硬度なDLC膜が得られます。さらに本装置では、高速成膜が可能であり量産性に優れる特徴があるといった点が挙げられます。^(2, 3) このように、従来の水素を含むDLC膜とその特性が大きく異なるため、軟質金属加工用の工具、金型に適用されています。

図6にマルチアークPVD装置でのバイアス電圧の変化に伴う膜硬度の変化を示します。電圧の増加とともに膜硬度が増加し、-100VにてHv3,500以上の極めて硬い膜が形成できることがわかります。一般にプラズマCVD法やスパッタ法によって形成されたDLC薄膜の硬度は、Hv1,000~2,500程度であると言われていたことから、他の方式に比べて構造を制御することにより非常に高硬度な膜が形成されることが判ります。図7に本装置で形成したDLC膜のピン・オン・ディスク試験機による摩擦・摩耗評価を示します。SCM415基材上に形成したDLC薄

手法	原料	膜中水素量	密度(g/cm ³)	硬度(Hv)
P-CVD	CH ₄	多	~2.2	~1000
イオン化蒸着	C ₆ H ₆	↓	↓	↓
スパッタ	グラファイト			
アークPVD	グラファイト	少	~3.4	~3500

表3 各種成膜法によるDLC膜の比較

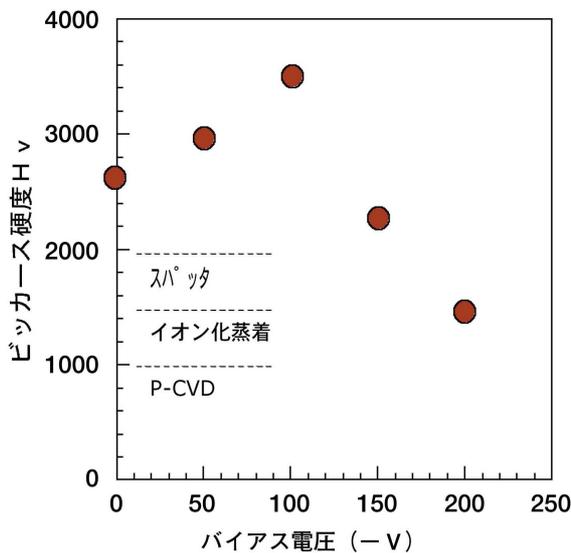


図6 バイアス電圧変化に伴うDLC膜硬度変化

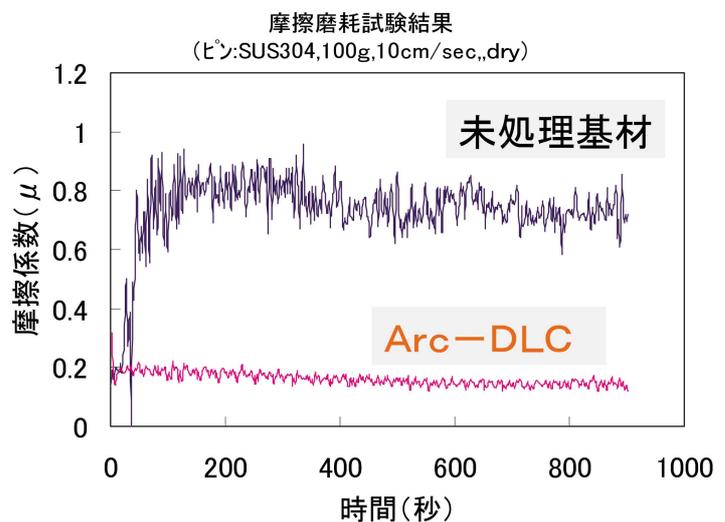


図7 DLC膜の摩擦磨耗試験

膜をディスク材とし、相手材のピンにはSUS304材を用いて大気中無潤滑環境で試験を実施した結果、本装置で形成したDLC膜は0.1程度の非常に低い摩擦係数を示し、優れた摺動性特性を有することが確認されました。

非鉄金属に対する切削加工の分野では、従来のコーティング膜では切削中に被削材である相手金属が刃先に凝着しやすいため、ドライ加工は難しいと言われています。⁽⁶⁻⁸⁾ 超硬合金とDLCコーティングしたスローアウェイ

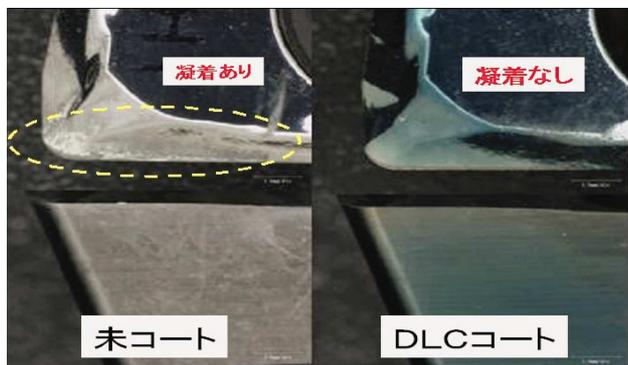


写真3 アルミニウム合金切削加工後の刃先状況の比較

チップを用い、アルミニウム合金A5052に対するドライ切削試験による評価を行なった結果を写真3に示します。DLCコーティングチップは、アルミニウム合金の凝着もほとんど認められず良好な切削特性を示しています。

5. 受託コーティングサービスのご紹介

当社グループの日本アイ・ティ・エフ株式会社では、京都（久世、梅津）前橋という3拠点において各種セラミックコーティングの受託加工とエンジニアリングサービスを展開し、各企業の皆様に薄膜技術の提供を行っております。

また、海外におきましても、図8に示すように中国、東南アジアを中心にコーティングサービスセンターを展開し、皆様方からのご要望を請けたまわっております。現地製造拠点において硬質膜コーティングの必要とご希望がありましたら、お近くの各受託サービスセンターの方へお問い合わせください。



図8 ファインコーティング受託事業のインドアセアン・東アジアへの展開

参考文献

- (1) 岡崎、緒方、入澤、平塚、宮崎、大谷：日新電機技報Vol.46, No.2 (2001)
- (2) 日本アイ・ティ・エフ株式会社ホームページ：
<http://www.nippon-itf.co.jp>
- (3) 石井 孝也、古川 展己、村上 浩：真空アークイオンプレーティングによる硬質DLC膜形成技術の開発，日新電機技報Vol.50, No.127 (2005)
- (4) 鈴木秀人、池永勝：事例で学ぶDLC成膜技術、日刊工業新聞社 (2003)
- (5) 三宅正二郎：DLC膜の最新動向と展望，真空ジャーナルVol.11, No.85 (2002)
- (6) 園部 勝：DLC膜の切削工具への適用，トライボロジスト, Vol.47, No.11 (2002)
- (7) 福井治世：真空アーク法で成膜したDLCコーティング工具のアルミニウム合金の切削性能，トライボロジスト, Vol.49, No.6 (2004)
- (8) 中東 孝浩：DLCコーティングと工具への適用，機械と工具, Vol.48, No.3 (2004)

執筆者紹介



石井孝也 Takaya Ishii
機能性薄膜事業本部
ファインコーティング事業部
技術部
技術担当グループ長



今井 修 Osamu Imai
機能性薄膜事業本部
ファインコーティング事業部
コーティングサービス部長



梶間俊郎 Toshio Kajima
機能性薄膜事業本部
ファインコーティング事業部長