

## 創立100周年記念論文

## 薄膜コーティング事業のあゆみ

History of Thin Film Coating Business

今井 修\* 岡崎 尚登\*\*  
O. Imai N. Okazaki

## 概要

当社は、既存分野のコア技術として長年培ってきた高電圧技術や真空技術をもとに、1980年代にこれらを基盤とした新規事業分野の探索を開始した。これらの事業はビーム・真空応用事業本部に引き継がれ、当社の4つのポートフォリオの一旦を担う基幹事業に成長した。本稿では、ビーム・真空応用事業本部の中の薄膜コーティング事業のあゆみと将来展望について概説する。

## Synopsis

In 1980s, Nissin Electric company started to research for new business based on the core technologies of high voltage and vacuum engineering which had been cultivated over long period. This new business, the fine coating business, has grown up to one of the four portfolios of our company, and has been succeeded to Beam and Vacuum Technology Division. In this report, we explain an outline about the history and prospects of the fine coating business.

## 1. はじめに

当社は、在来分野以外の新規市場への展開を模索し、高電圧技術と真空技術を基盤としたイオンや電子の加速技術をもとに電子線照射装置、イオン注入装置や、イオンを利用した蒸着装置の開発を1980年頃から進めてきた。当時、アーク放電を利用した成膜技術が注目されつつあり、米国マルチアーク社（以下、マルチアーク社）、住友商事株式会社と当社で合併会社を設立し、マルチアーク社の薄膜形成装置の輸入元として事業を開始した。その後、日本国内にて装置をノックダウン生産する権利を取得、マルチアーク社との合弁を解消し自社独自開発を進め、本格的に装置の製造・販売事業を開始した。サービス事業について、1984年に住友電気工業株式会社との合弁で事業化を進めることが決定され、日本アイ・ティ・エフ株式会社（日本ITF）の設立へと続く。その後、薄膜形成装置は当社が、コーティングサービスは日本ITFがそれぞれ独自に開発を進めてきたが、2010年に装置販売事業を当社から日本ITFに移管し、コーティングサービス事業との融合により更なる事業拡大を進めている。

以下、コーティングサービスと装置事業のそれぞれ

のあゆみを概説し、今後の事業展開について述べる。

## 2. コーティングサービス事業のあゆみ

## 2. 1 サービス事業の始まり

当社の薄膜コーティングサービス事業は1983年に遡る。当事業は、住友電気工業と2社協業により進める事となり、本格的な検討が開始された。住友電工は工具を対象としたコーティング技術をすでに有していたが、住友電気工業・伊丹研究所で新たに開発されたプラズマCVD技術の事業化を模索しており、当社の装置技術と融合することでタイムリーな立上げが期待された。そして1984年11月に当社から6名が住友電気工業・伊丹研究所に出向し、薄膜事業の基礎技術習得と製品開発を進めることとなった。

対象とする市場は、国家プロジェクトとして開発がすすめられていた核融合炉（JT-60）の炉壁材料へのコーティング（図1）や、半導体（GaAs）用ルツボの表面処理、電子機器用精密部品の表面処理などを想定し、更に、伊丹研究所で開発された非晶質ダイヤモンド膜の応用部品開発も含まれた。これらを対象としたフィージビリティスタディに基づき、住

\*ビーム・真空応用事業本部  
\*\*日本アイ・ティ・エフ株式会社

友電気工業との合併会社として1985年10月1日に日本ITFが誕生した。



図1 核融合炉 (JT-60) 内部

## 2. 2 日本ITF創業期

日本ITFは、日新電機・久世工場内に生産設備を構え、プラズマCVD技術とイオンプレATING技術を用いて上述の新規機能性材料の表面処理を事業の中心として事業を開始した。しかしながら、1987年に核融合炉用炉壁材料の仕様変更され、日本ITFの独自技術であるプラズマCVD法によるTiC膜の採用が無くなったため事業方針の転換を余儀なくされた。そのため、このプラズマCVD成膜技術を用いて人工衛星用イオンエンジン(図2)のグリッド保護膜やウェーハチャック用保護膜等に展開し、種々の製品の耐久性向上に貢献してきた。

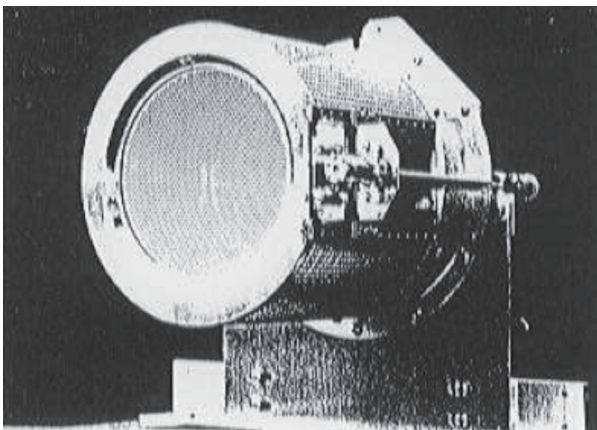


図2 人工衛星用姿勢制御エンジン  
(グリッド部分にTiC膜を成膜処理)

また、1987年に住友電気工業からプラズマCVD技術を用いたDLC (Diamond Like Carbon) 成膜技術を移管し、1988年にスピーカー振動板(図3)への受託

加工で事業化に成功し<sup>(1)</sup>、その後、ビデオデッキのテープ走行部品等の摺動する機械部品への応用を進めた。1993年に東陶機器株式会社(現、TOTO株式会社)向け家庭用シングルハンドレバー湯水混合栓(図4)に採用が決まり<sup>(2)</sup>、月産20万個を超える部品の量産を経験し、DLC技術は日本ITFの事業を支える重要技術となった。



図3 DLCコーティング振動板

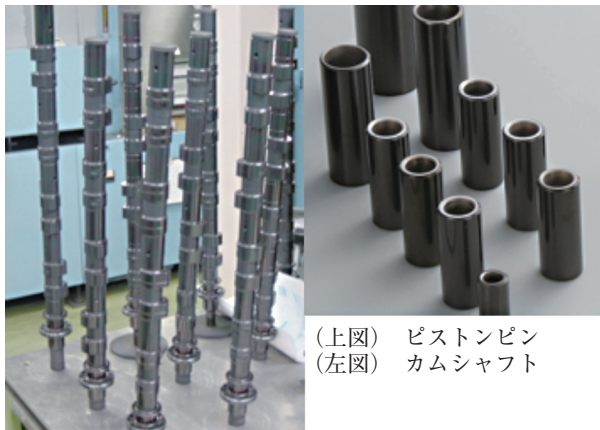


図4 DLCコーティングバルブを利用した湯水混合栓

## 2. 3 自動車部品産業への参入

DLC膜の優れた摺動特性は、モータースポーツの盛んな欧州で注目を集め、レース車エンジン部品に採用され高い評価を得た。日本のメーカーもレース車を中心にDLC膜の採用を検討し、1998年にF1用エンジン部品に日本ITFのDLC膜が採用された。(図5)





(上図) ピストンピン  
(左図) カムシャフト

図5 自動車レースで採用されたDLC部品

市販車においては地球環境の悪化や燃料の高騰などから燃費規制や排ガス規制が強化されつつあり、DLC膜の低摩擦特性を市販車に利用することで燃費改善が期待された。住友電気工業もこの開発に取り組んでいたが、従来のプラズマCVD技術では油中での摺動特性が改善されないという課題に直面した。エンジン油中で唯一摩擦低減効果のある材料はダイヤモンドであることが判明し、日新電機のアーク式イオンプレーティング法を用いることによりダイヤモンドに近いDLC膜（水素フリーDLC膜）の開発に成功した。この技術の市販車への適用は、2001年に日産自動車株式会社と住友電気工業でエンジン用バルブリフター（図6）を対象に開発がスタートした。この技術<sup>(3)</sup>は2002年に日本ITFへ移管され、2004年に日産車の車種限定での先行量産を開始した。市販車部品の量産は、月産180万個と既存の工場では対応できないため、部品メーカーに近い当社前橋工場内に専用工場の建設が決められた。ただ、日本ITFでは月産百万個を超える量産技術や品質管理技術がないため、日新電機、住友電気工業の生産技術部の支援をうけ生産ラインを構築し、2006年春より前橋工場での量産を開始、2008年には月産180万個を達成した。その後、リーマンショックや東日本大震災等の厳しい時期を乗り越え、現在では累積生産数1億個を超えるまでに成長した。この水素フリーDLC膜は日本発のDLC技術として評価され、機械振興協会から「新機械振興賞」を受賞した。

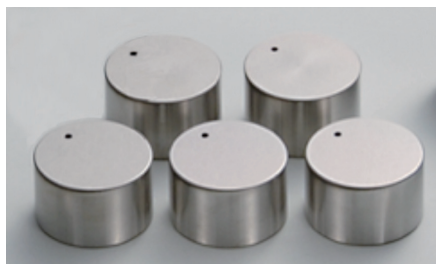


図6 DLCバルブリフター外観

一方、従来のプラズマCVD法によるDLC技術は、日本ITFで独自に開発を進め2004年に高信頼性厚膜DLC膜として完成させ、エンジン部品以外の自動車部品への適用を進めてきた。その結果、2007年に駆動系シャフト部品、2008年にクラッチ用部品、2009年に二輪車の燃料ポンプ部品に採用され、自動車産業の発展とともに拡大しつつある。

## 2. 4 グローバリゼーションへの対応

日本ITFは、1986年の操業以来、国内の工具、金型や自動車用部品を中心とした表面処理サービスを展開してきたが、自動車を中心とした製造業の海外展開に伴い2000年頃から海外での表面処理ニーズが高まりを見せてきた。当社は、これら海外での需要に対応するため2003年にNissin Electric (Thailand) Co., Ltd. (NET) に当社のPVD装置を設置し、海外でのコーティングサービス1号店を展開した。事業開始当初は、住友電工の子会社である住友ハードメタル・タイランドで生産される工具の表面処理が中心であったが、現在では日系自動車部品メーカーや現地の加工メーカーなど幅広い業種に展開している。また、中国では自動車生産台数の急速な拡大に伴い、住電精密工具（上海）有限公司（現、住友電工硬質合金（常州）有限公司）からコーティング処理の要請を受け、2005年に日新（無錫）機電有限公司（NEW）内に当社PVD装置を設置し海外2号店（中国1号店）を展開した。その後も中国の急速な自動車関連産業の成長を背景に、2006年に日新高性能塗層（東莞）有限公司（2015年に閉鎖）、2007年に日新高性能塗層（瀋陽）有限公司（ACS）を設立した。さらに、2008年には住友硬質合金（天津）有限公司（現：住友硬質合金（常州）有限公司に統合）の製造する工具へのコーティングや日系自動車部品メーカーの需要を想定し、天津にサービス拠点を展開した（日新高性能塗層（天津）有限公司）。タイ、中国以外では2008年にインドのデリー近郊に現地企業との合弁でコーティングサービス会社を設立（Nissin Advanced Coating Indo Co. PVT. Ltd.）し、現在の海外生産体制が確立した。

近年、自動車及びその部品メーカーは、現地で販売する車は現地で部品の調達を行う方針を強め、海外でのコーティングサービスの需要がより拡大してきており、2014年に日本ITFで処理していた自動車の駆動系部品やクラッチ部品の製造をNETへ移管し、2015年夏から日新電機グループとして初めての海外での自動車部品量産処理ラインが始動した。

今後、既存製品のグローバル化の動きはますます加速するとともに、ガソリン、ディーゼル、ハイブリッドや電気自動車など動力源の多様化とそれに伴う新

たなDLC膜のニーズが期待され、既存の海外サービス拠点を中心に海外拠点でのサービス展開が拡大するものと想定される。

### 3. 装置事業のあゆみ

#### 3. 1 マルチアークとの出会い

当社ではイオンを利用した薄膜形成装置として、ICB、IVDやIBSなどユニークな商品を開発したが、マルチアーク方式を発端とするPVD装置のみが約30年にわたって事業が存続している。これは、早くから生産性とコストを念頭に置いて装置が開発されてきたためと考えられる。

当初マルチアークPVD装置については、1983年にマルチアーク社、住友商事株式会社と当社で合併会社を設立し、アジア圏を中心とする輸入代理店からスタートした。その後、日本国内で装置をノックダウン生産する権利を取得し、本格的に装置の製造・販売事業を開始した。

#### 3. 2 スムースコーティング

日本国内で製造販売を開始したものの、思う様に需要が伸びず、基本原理についての考察を改めて行った。同装置の技術的な課題は、アーク法の持つ特有の問題点（ドロプレットの発生）によりコーティング表面が粗いことが挙げられた。ドロプレットとは、カソード表面にアーク放電を起こした際に、カソード表面から飛び出す数十～数百ミクロンのサイズの金属粒子である。

そのため当社では、幾つかの方法によりドロプレット低減を長年に渡り研究・開発をしていく事となる。

まず、最初に注目した点は、窒素ガス雰囲気中でチタンを材料としてアーク放電を起こした場合、真空状態あるいはアルゴン雰囲気の場合と比較して、ドロプレットの発生が極めて少ないというものであった<sup>(4)</sup>。これは、窒素ガスがアーク放電の材料であるチタンの表面を窒化させ（ポイズニング効果と呼ばれている）、高融点化するために放電が細かくなり、結果ドロプレットが減少するものである。

当社はこの現象を利用して、窒素ガスをカソードに積極的に供給してやるハードウェアと、微少な窒素ガスを含む雰囲気での金属イオンボンバードのプロセスを合わせたスムーズコーティングの技術を完成させ、特許化<sup>(5,6,7)</sup>した。

上記技術をスムーズコーティングと名付け、蒸発源を2S型（図7）と命名した。本技術が開発できた事で米国から輸入する装置との差別化が図れ、この2S蒸発源を搭載した装置でMAVシリーズを構成し、販

売を開始した。

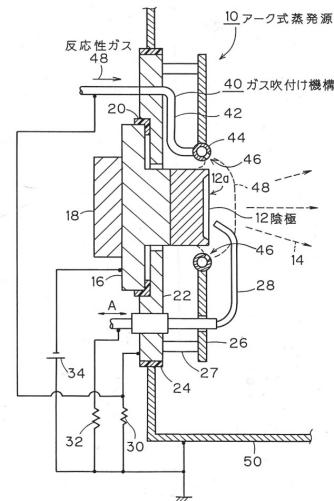


図7 2S蒸発源の原理図<sup>(2)</sup>

#### 3. 3 3S蒸発源

3S蒸発源は、マルチアーク社から試験的に購入したエンハンストアーク蒸発源を改良して開発した。

エンハンストアーク蒸発源は、既報<sup>(8)</sup>に示す通り、強い磁場を形成するコイルと、コイルの内側に磁気レンズを作り出す磁性体と非磁性体との組み合わせ構造を有する。エンハンストアーク蒸発源の問題点は、カソードの消耗が進むと放電が不安定になる事であった。

上記問題を解決するため磁場解析を進め、磁性体/非磁性体をうまく組み合わせ、チャンバ内に放射状に伸びる磁場配置を持つ3S蒸発源を完成させ特許化<sup>(9)</sup>した。

図8に3S蒸発源の原理を、図9に磁場によるドロプレット低減の効果を示す。前述の2S蒸発源が窒素ガスを用いる事に対して、本方式ではアルゴン雰囲気でもドロプレット低減の効果があり、平滑な金属下地層の形成や、平滑窒化膜の形成に利用できる。

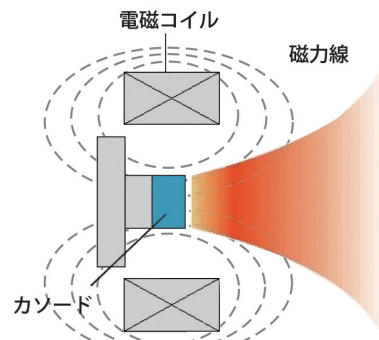


図8 3S蒸発源の原理図



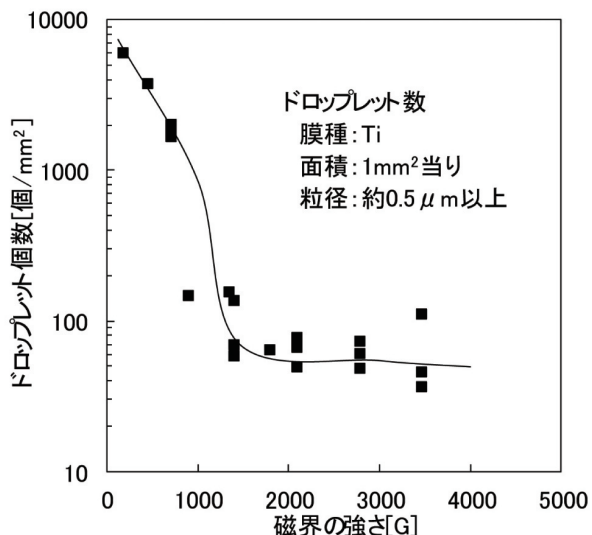


図9 3S蒸発源の磁場によるドロプレット低減効果

更に、材料効率向上のため、棒状のカソード材料を、消耗に従って前に送り出す構造を発明し特許化<sup>(10,11)</sup>を行った。この方式の場合、アークスポットをカソード端面に留める事と、カソード自体の冷却を確実にする事の2点の困難さがあったが、磁場解析や冷却水流の試験により製品化を行う事が出来た。

### 3.4 Mシリーズ

2002年に、それまでのMAV-26, MAV-32のサイズラインナップを見直して、新たにMシリーズを開発した(図10)。Mシリーズには以下の技術を盛り込んだ。



図10 M500D外観写真

- ・1源での成膜分布の実験値から、複数台を縦方向に配置した際の成膜分布をシミュレーションにより最適化、有効ゾーン内で均一性が±10%に収まるような蒸発源配置を採用した。
- ・基材のセットの容易性を考慮し、治具台車を外に搬出できるよう、構造変更を行った。

- ・それまでのグロープラズマによる基材クリーニング方式から、より強力なフィラメントからの熱電子放出による方式を採用した。
- ・メンテナンス性を考慮し、前後に二つの大型扉を配置し、蒸発源は扉に実装する事により、内部から蒸発源へのアクセスを容易にした。
- ・防着板の取り付け・取り外しを容易にするために、ひっかけ式防着板を採用した。
- ・成膜レシピの編集やデータ解析など、人とのインターフェイスの部分を判りやすくするために、制御ソフトを新作した。

### 3.5 iDS500

Mシリーズの蒸発源では、カソード材料の直径が64mmと、事業開始以来変更されておらず、カソード裏面を直接水冷する方式であった。ドロプレットの放出は比較的少なかったが、材料使用効率が悪い事と、まれにカソードの締結が悪くチャンバ内に水分が放出されるトラブルが発生していた。

よって、カソードの大型化と間接冷却方式(薄いダイヤフラムで冷却水と真空とを隔てる方式)について検討を行った。ただカソードを大型化しても、カソードは均一には消耗されないため、材料コストの低減は十分ではない。また、間接冷却によりカソードの冷却効率が低下するために、ドロプレットが放出されやすくなる。

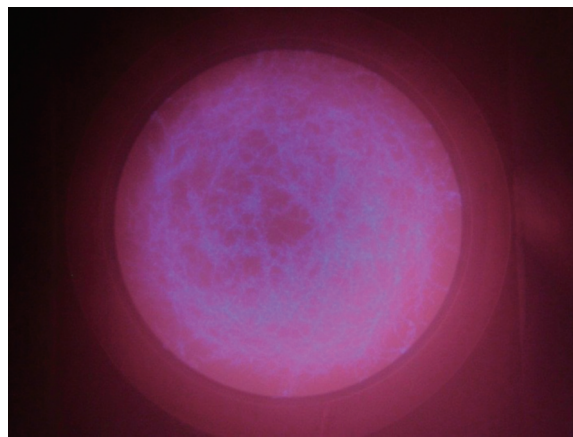


図11 ステアワン蒸発源 0.5秒間のスポットの動き

上記2点の解決のため、カソード裏面に永久磁石を回転させる機構を備えたステアードアーク方式を採用、その機構のためのスペースを確保する独自の磁場配置を発明し、特許出願<sup>(12)</sup>を行った。こうして開発された蒸発源をステアワン(STEER-ONE)蒸発源(図11)と名付けた。

ステアワン蒸発源を搭載する事をメインとして、また更なる排気速度アップを図った新型装置iDS500(図12)を2014年に発売開始した。



図12 iDS500外観写真 201421©

本装置は更に、治具台車を出し入れする扉を前後に分けて、後ろ扉から治具を取り出し、取り出し場所の空気を清浄化できる「ダスト飛散防止ブース<sup>(13)</sup>」をオプションで取り付けられる様に改良した。

#### 4. むすび

1980年初に新規事業探索から始まった薄膜コーティング事業は、2015年には日本ITF創立30周年を経て売上高30億円を超えるまでに成長した。その間、コーティングサービス部門では創業当時の基盤技術であったプラズマCVD法TiC膜からDLC膜へと移行し、自動車部品に採用されたことをきっかけに国内トップのDLCコーティングメーカに成長した。今後、自動車部品は海外での生産比率がますます高まることが想定され、我々も積極的

に海外への展開を進め、顧客ニーズに対応していく方針である。また、装置部門も切削工具を主体とした市場から金型や自動車部品へ適用範囲を拡大することにより、安定的成長の基盤が確立された。膜を作る装置部門とその膜を使うサービス部門が車の両輪となり、グローバル市場に向けて更なる発展を進める計画である。

#### 参考文献

- (1) 今井：「DLC薄膜の特性と実用例」NEW DIAMOND No.56 p.9 (2000.1)
- (2) 桑山：「家庭用混合水栓に応用したDLCコートアルミナ」NEW DIAMOND No.42 p.20 (1996.7)
- (3) 日本特許：3587379号 住友電工、日産自動車
- (4) 岡本、上條：「マルチアーク方式PVD装置によるTiN膜の研究」、日新電機技報 Vol.32, No.2 (1987.4)
- (5) 日本特許：2877058号 日新電機 平塚、他
- (6) 日本特許：3287163号 日新電機 村上、他
- (7) 日本特許：3758248号 日新電機 村上、他
- (8) 石井、他：「Enhanced Arc 蒸発源」、日新電機技報 Vol.38 No.2 (1993.10)
- (9) 日本特許：4019457号 日新電機 岡崎、他
- (10) 日本特許：3104701号 日新電機 岡崎、他
- (11) 日本特許：4356162号 日新電機 岡崎、他
- (12) 国際特許公報：WO2014/178100日本ITF 岡崎、他
- (13) 国際特許公報：WO2015/092928日本ITF 岡崎、他

#### 執筆者紹介



今井 修 Osamu Imai  
チーム・真空応用事業本部  
ファインコーティング部長



岡崎 尚登 Naoto Okazaki  
日本アイ・ティ・エフ株式会社  
執行役員

「薄膜コーティング事業のあゆみ」 年表

