



# 失敗しないコーティング選び

トライボロジーラボ 受託試験・分析のご案内



[www.nanocoat-ts.com](http://www.nanocoat-ts.com)

 **地球環境にやさしいドライコーティング**  
**ナノコート・ティーエス 株式会社**

<石川事業所>

〒923-1211 石川県能美市旭台 2-10  
TEL 0761-51-0300 FAX 0761-51-0312

<トライボロジーラボ>

〒196-0033 東京都昭島市東町 3-6-1 多摩テクノプラザ ラボ 2  
TEL 042-519-7504 FAX 042-519-7584



## 目次

	ページ
トライボロジーラボのご紹介	2
ラボスケールトライボメータ 基礎実験用 摩擦摩耗試験機 AP TRIBOMETER	3
工業用トライボメータ 多目的 摩擦摩耗試験機 HEF TRIBOMETER	5
非接触 表面粗さ／表面形態測定 白色干渉顕微鏡	9
非破壊・非接触 DLC 膜厚測定 分光干渉式 DLC 膜厚計	15
表面清浄度／仕事関数 測定器 コロナサーフ	19
樹脂離型力 測定試験	21
コーティング不良解析サービス	23
ラマン分光による DLC 構造評価	24
フランス ICE-T エンジントライボロジーイノベーションセンターのご紹介	25

トライボロジーラボは、東京都立産業技術研究センターの多摩地区の拠点である多摩テクノプラザ内にあります。自社内設備のほか多摩テクノプラザの測定・分析機器を活用して、表面改質・材料・トライボロジーのスペシャリストがお客様の問題解決のための受託試験・受託分析サービスを提供します。

また弊社グループ本社であるフランス HEF 社が参画する ICE-T（エンジントライボロジーイノベーションセンター）での各種エンジン試験も可能です。

### <トライボロジーラボの業務内容>

- ★ 最適表面処理・被膜材質選定のためのトライボロジー試験受託
- ★ 表面処理トラブルの原因調査・不良解析
- ★ 品質管理特性（膜厚分布・工程能力など）の調査
- ★ 要求仕様に適合する表面改質処理・被膜材質の開発

お問い合わせ先

- ☎ 042-519-7504
- 📠 042-519-7584
- ✉ [tribo@nanocoat-ts.com](mailto:tribo@nanocoat-ts.com)

アクセス



JR 青梅 / 五日市線  
西立川駅下車 徒歩 5分



多摩テクノプラザ本館



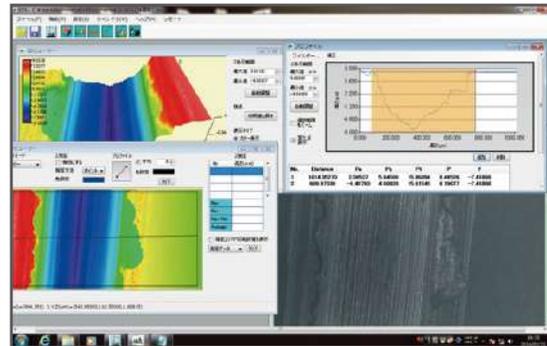
トライボロジーラボ設備

ラボスケールトライボメータ アントンパール製 TRIBOMETER

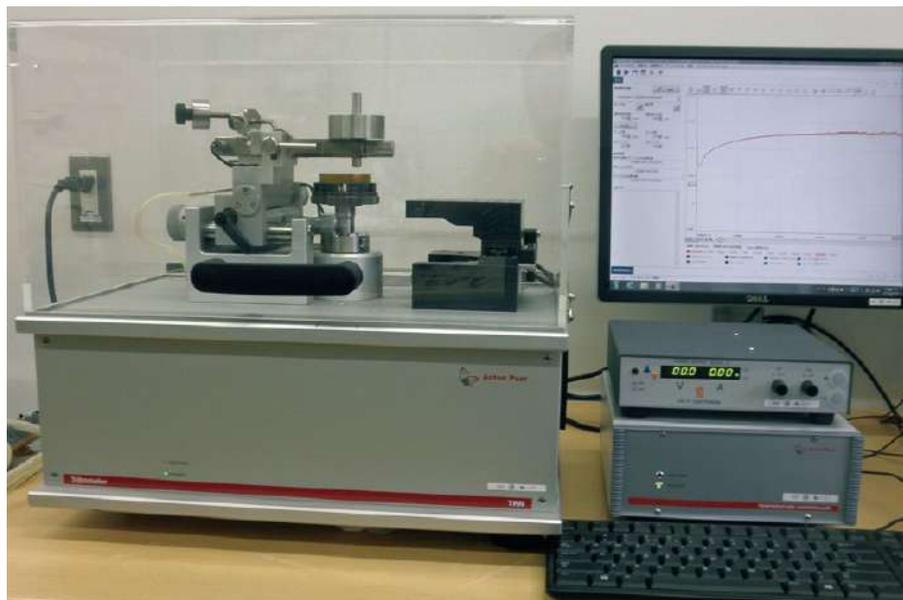
■ 歴史 1980年代にスイス時計研究所 LSRH で開発されたトライボメータです。世界中に多くの実績がありトライボメータの世界標準になっています。メカニズムの基本設計は変わっていませんが、より多彩な試験モードに対応し、先進のデータ解析機能に進化しています。ダブル変位センサーにより測定アームの熱膨張を補正し正確な摩擦係数の測定が可能です。

取得可能なトライボロジー特性

- ☆ 静摩擦係数・動摩擦係数
- ☆ 比摩擦量・比凝着量
- ☆ ストライベック曲線
- ☆ 摩擦面の粗さ解析
- ☆ 摩擦面の成分分析
- ☆ 摩耗粉の成分分析



\* ストライベック曲線の取得、摩擦面や摩耗粉の分析はオプションになります。提出データについては事前のお打ち合わせで決めさせていただきます。



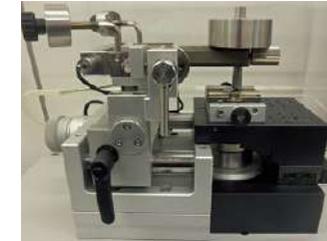
アントンパール製 TRIBOMETER 外観

ラボスケールトライボメータ アントンパール製 TRIBOMETER

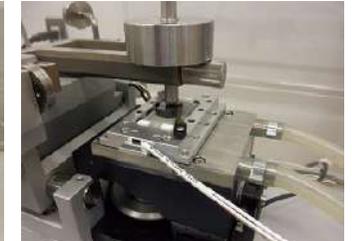
■ 試験モード



回転ボールオンディスク



往復動ボールオンディスク



往復動加熱ステージ



回転 油中



往復動 油中 50°C加熱

- 標準在庫ボール  
 鉄鋼：SUJ2,SUS440C,SUS304  
 Al 合金：A5052  
 Cu 合金：純銅, 真鍮  
 超硬合金, ガラス (BK7)  
 セラミック：SiC, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>  
 樹脂：PP, PE, PC, POM, PA66, PEEK, PMMA, PTFE

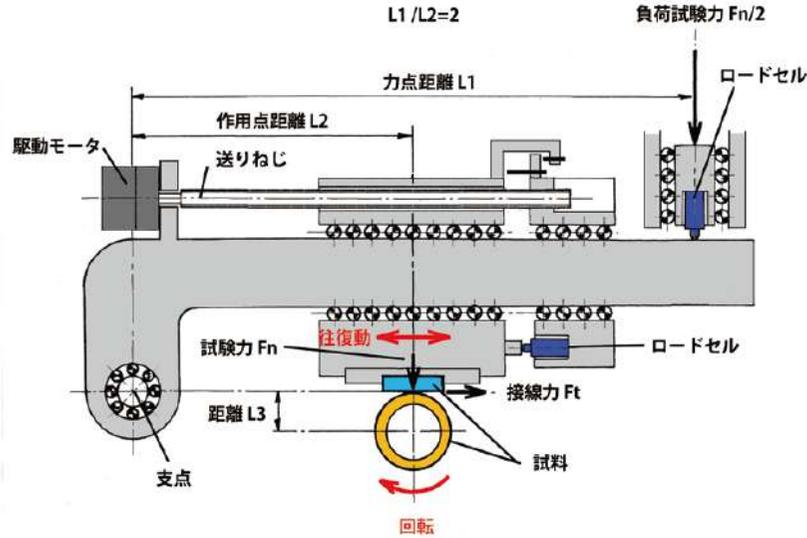
■ 試験機仕様

諸元	仕様	備考
試験力 (垂直荷重)	最大 60 N 最小 0.5N	おもり方式 (標準おもり：0.5/1/2/5/10 N)
摩擦力	最大 10 N	精密板ばねの変位を変位センサーで検出
摩擦力 AD 変換分解能	0.03 mN	ダブル変位センサーで熱膨張影響を補正
回転運動	回転速度	0.3 ~ 1500 rpm
	回転半径	0.5 ~ 35 mm
	回転トルク	450 mN.m
直線往復動	ストローク	最大 60 mm
	速度	最大 370 mm/s
	周波数	0.01 ~ 8 Hz
加熱試験 (ドライ)	最大 200°C	往復動のみ, 加熱エリア 25 x 45 mm
油中試験	回転	室温
	往復動	室温 ~ 120°C
試験雰囲気制御	相対湿度 15 ~ 95 %, Ar, 乾燥窒素などの摺動部への吹きつけ	
対応規格	ASTM G99, ASTM G133, DIN 50324, ISO 18535	

工業用トライボメータ フランス HEF 製 HEF TRIBOMETER

■ 歴史

1953年創業のフランス HEF 社が 1960年代からトライボロジーの基礎研究に使用してきた摩擦摩耗試験機です。基本設計を保持しつつレトロフィットを繰り返し、現在でもエンジンベンチ試験前の DLC と潤滑油の組み合わせ評価や各種接触形態での摩擦摩耗特性評価に使用されています。高い剛性のメカニズムとユニークな摩擦力測定機構により、カム/タペットやカム/フィンガーフォロワー等の高面圧接触をシミュレーションします。



試験機メカニズム模式図



試験機 測定ヘッド外観

工業用トライボメータ フランス HEF 製 HEF TRIBOMETER

■ 試験モード

\* 下記以外にも種々の試験モードが可能です。お問い合わせください。

接触形態	点接触	線接触	面接触	
試験模式図 試料寸法	 クロスシリンダーリング Φ35mm ピンΦ6～21mm	 ボールオンプレート ボールオンリング ボールΦ6～10mm リング Φ35mm	 ブロックオンリング リング Φ35mm  シャフトインブッシュ ブッシュ ID シャフト OD Φ 15～21mm	
面圧範囲	500～2400 MPa	1000～3000 MPa	50～500 MPa (B on R) 0.1～2.3 MPa (S in B)	0.01～5 MPa
試験環境	ドライ・油浸漬 ～80℃・グリース塗布			

■ 試験機仕様

\* 面圧範囲は鋼同士の接触の場合の値です。

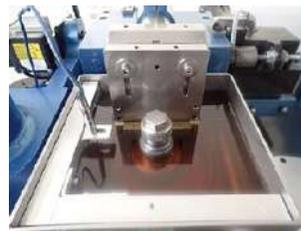
諸元		仕様	
試験力 Fn レンジ		最大 10/1000/2000 N	
接線力 Ft レンジ		最大 20/50/200/500 N	
接線力ロードセル直線性		1% フルスケール	
回転運動 (リング)	回転速度	40～3000 rpm	
	周速度 (Φ35)	0.07～5.5 m/s	
直線往復動 試験片	ストローク	0～20 mm	
	速度	0～15 mm/s	
油中試験	サイクル	0～1.5 Hz	
	油量	1.5 L (最大 2L)	
		油温度	室温～120℃



クロスシリンダー



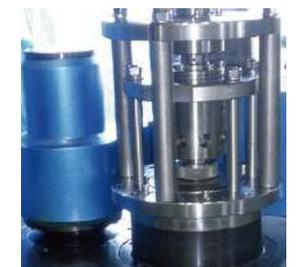
ボールオンリング



油中浸漬試験



ブロックオンリング



シャフトインブッシュ

エンジン油中でのクロスシリンダー一定荷重試験：各種 DLC 被膜の比較

■ まとめ

市販エンジン油 0W-20 中の高圧 (ヘルツ接触圧力 0.9GPa) 下の境界潤滑領域でのクロスシリンダー摩耗試験において、ta-C コートピンは a-C:H コートピンと比較し約 94%の比摩耗量低減を達成しました。

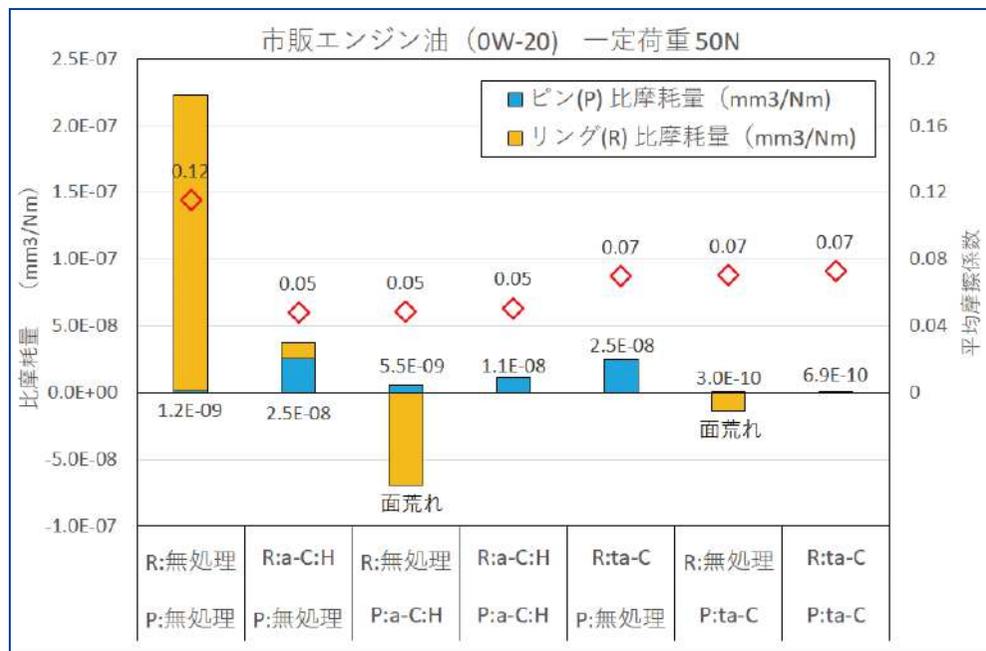
無処理ピン / a-C:H リングの組み合わせにおいてピン表面に MoDTC 添加剤由来と考えられる Mo-C 化合物の生成が確認されました。a-C:H と ta-C の摩耗速度の違いに Mo-C 化合物による DLC の摩耗メカニズムが関わっていると推測されます。

試験中の平均摩擦係数は、無処理同士で 0.12、a-C:H の組み合わせで 0.05、ta-C の組み合わせで 0.07 でした。本試験での a-C:H と ta-C の摩擦係数差異は、DLC の添加剤吸着効果の差異によるものではないと推測されます。



試料のセット状況

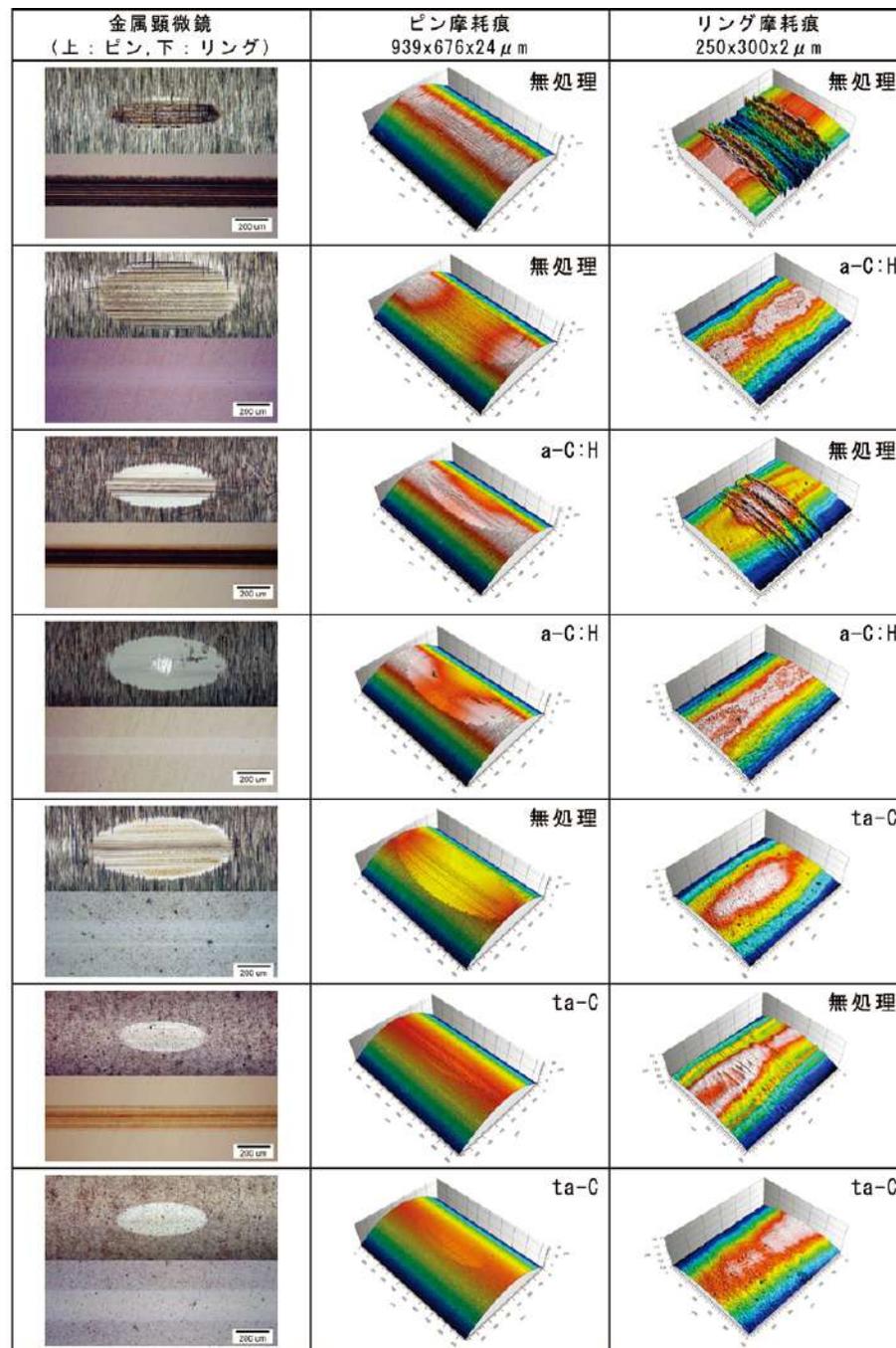
試料寸法	ピン Φ6.3 リング Φ35
試験力	50 N
ヘルツ接触圧力	0.9 GPa
リング周速度	300 mm/s
試験時間	30 min
試験環境	市販エンジン油 (0W-20) 80℃



各種組み合わせによる比摩耗量と平均摩擦係数

エンジン油中でのクロスシリンダー一定荷重試験：各種 DLC 被膜の比較

■ 摩耗痕の観察：金属顕微鏡と白色干渉顕微鏡



白色干渉顕微鏡 新東 S プレジジョン製 OPTIFIS

■ 測定原理

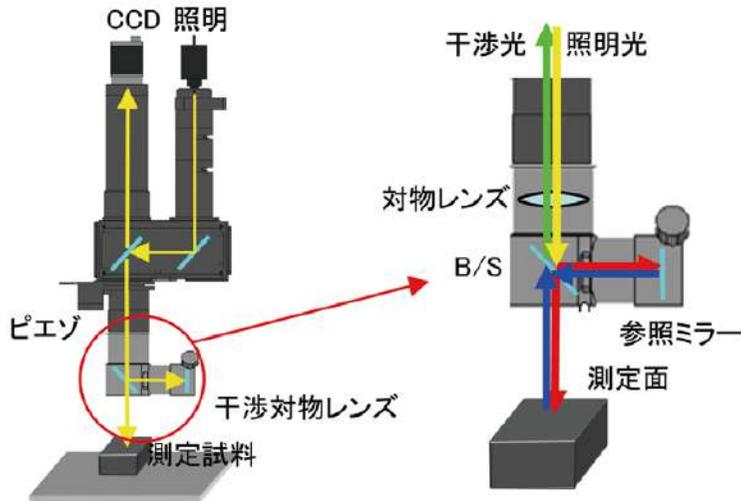
光源から出た白色光は対物レンズ内で 2 つに分かれ、参照ミラーと試料表面へ向かい反射されます。この 2 つの光は反射後に同一光路に戻り重なり合うことで干渉縞が得られます。干渉縞は 2 つの光の距離（光路）の差の情報を持っており、対物レンズを Z 方向に移動させながら撮影した際の画面ごとの干渉縞の変化を解析することにより、試料表面の凹凸形状が得られます。また、干渉縞を解析する方法として、次の 2 つが用いられます。

① 垂直走査法

白色光源を使用した場合、測定面と参照ミラーの光路差がゼロの時、干渉縞のコントラストが最大となります。対物レンズを Z 方向に連続的に移動させて画像を取得し、各画素において干渉縞の輝度値が最大になる Z の位置を求めると測定対象表面の相対高さを求める方法です。

② 位相シフト法

対物レンズを Z 方向に  $1/8 \lambda$  ( $\lambda$  は使用している光源の中心波長) ずつ 3 回動かして測定面と参照ミラーの位相差を求めます。各画素の位相差を計算処理で繋ぎ合わせて相対高さを求める方法です。干渉縞が面内全体に広がっている平滑面の測定に適しており、垂直走査法より高いサブナノレベルの高さ測定分解能を得ることができます。ただし、隣接する各ピクセル間が連続かつ滑らかにつながっている面でのみ使えるため、主に光学部品などの高精度に研磨された面の表面状態の計測に用いられます。



測定原理図

(新東 S プレジジョン社カタログより転載)

■ 仕様

最大測定物サイズ 201W×104D×90H mm  
 最大測定物重量 2 kg  
 高さ計測範囲 250  $\mu$ m  
 Z 軸測定分解能 垂直走査法：1nm 位相シフト法：0.1nm  
 段差測定繰返し精度 0.5% (垂直走査法、8 $\mu$ m 段差測定時)  
 対物レンズ倍率と視野・XY 方向分解能の関係は下表のとおりです。

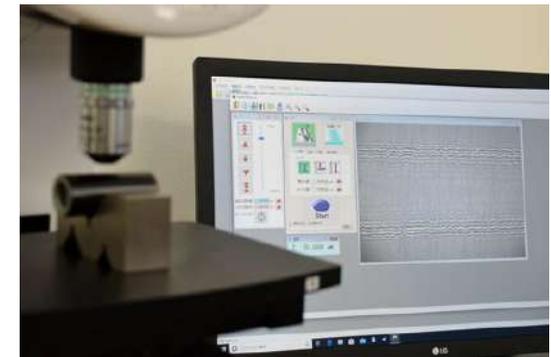
対物レンズ倍率	5 倍	10 倍	20 倍	50 倍
視野 (mm)	3.75x2.72	1.88x1.36	0.94x0.68	0.38x0.27
XY 方向分解能 ( $\mu$ m)	2.31	1.17	0.59	0.23

■ 規格

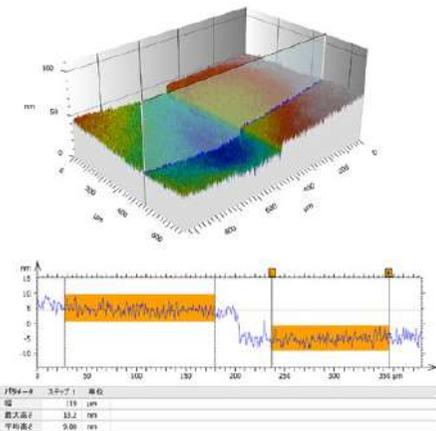
面粗さ JIS B 0681-2:2018 (ISO 25178-2)  
 線粗さ JIS B 0601:2001 (ISO 4287:1997)  
 JIS B 0671:2002 (ISO 13565-1:1998)



白色干渉顕微鏡本体



円筒形状試料の干渉縞

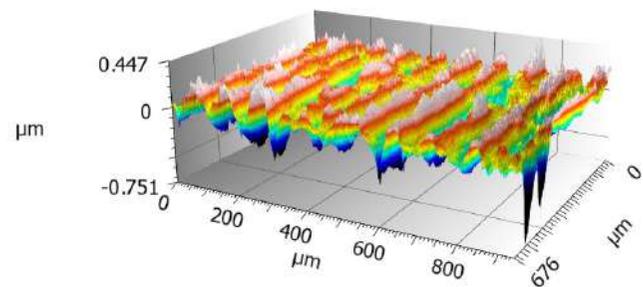


膜厚 9.8nm DLC の膜厚測定

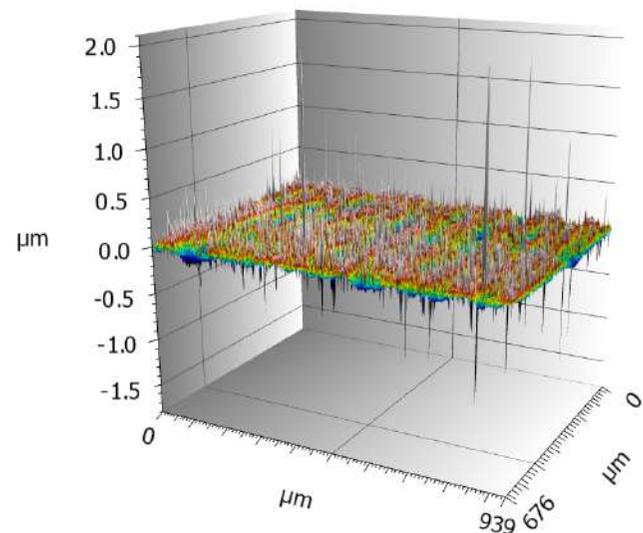
触針式表面粗さとの比較／2次元・3次元粗さの比較：コーティング試料

■ 実験方法 SKD11パンチの外周面について、従来の触針式表面粗さ測定器による2次元粗さと白色干渉顕微鏡（WLI）による2次元/3次元粗さの比較をおこないました。無処理は研削面ですが、コーティングは陰極アーク方式によるドロップレットが多い表面です。表面粗さの性状の違いと測定方法の違いによって、各表面粗さパラメータがどのように変化するかを見るのが目的です。各方法の測定パラメータは以下のとおりです。

測定方法	評価領域	カットオフλc	カットオフλs
触針式表面粗さ測定器	4 mm	0.8 mm	—
WLI 20倍 2次元	0.94 mm	0.08 mm	2.5 μm
WLI 20倍 3次元	0.94x0.68 mm	0.25x0.25 mm	—



無処理 SKD11パンチ表面の3次元表面粗さ（フィルター処理後）

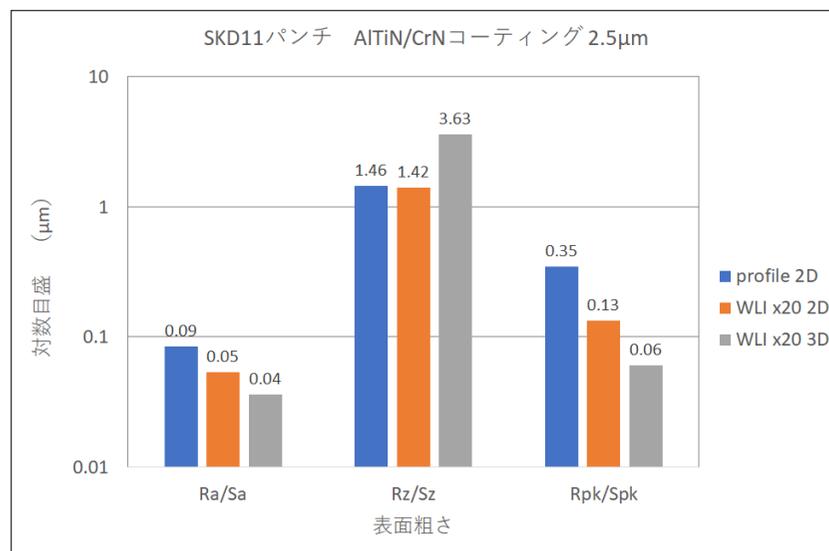
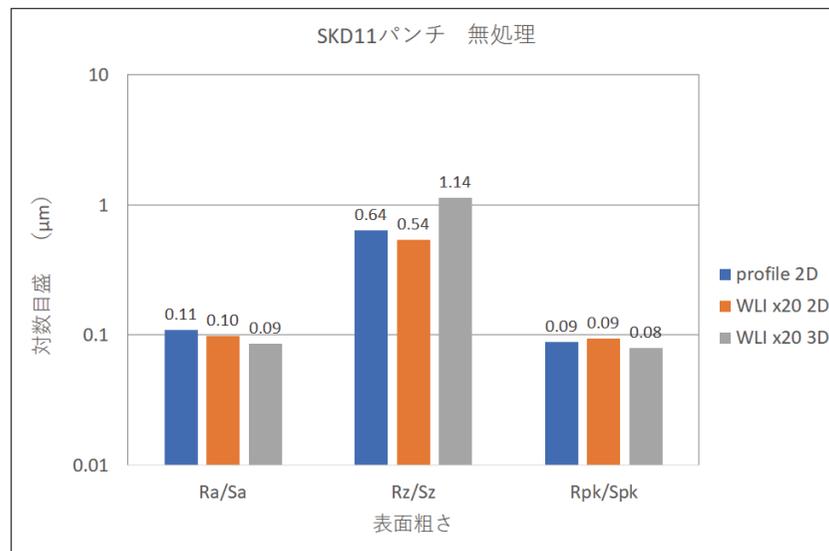


AITiN/CrNコートパンチ表面の3次元表面粗さ（フィルター処理後）

触針式表面粗さとの比較／2次元・3次元粗さの比較：コーティング試料

■ 実験結果 無処理品では、算術平均粗さ Ra/Sa, 突出し山部高さ Rpk/Spk は触針式と WLI でほぼ同等の値が得られた。3次元 WLI では最大高さ粗さ Rz/Sz がやや大きくなった。コート品では、3次元 WLI で Sa, Spk が小さく、Sz が大きくなる傾向が見られた。

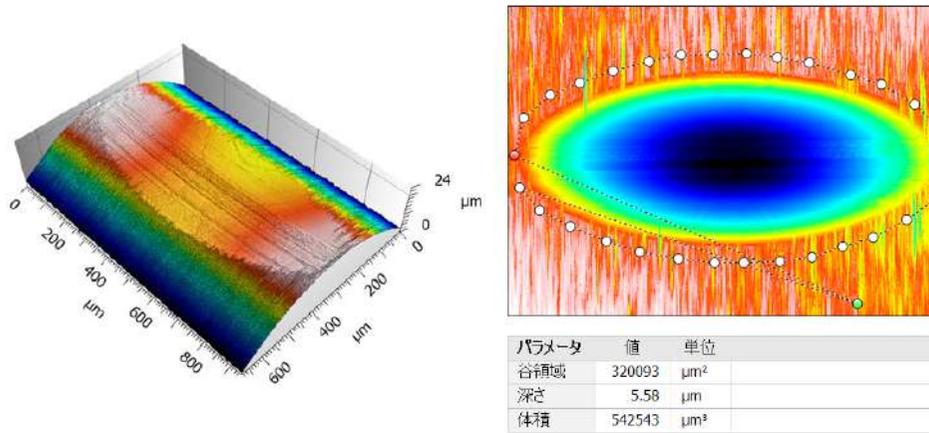
■ 所見 WLI では、なめらかな急角度面の測定ができない場合もあり、ドロップレット測定感度について、XY 分解能も考慮し検討が必要です。また成膜時のイオンボンバードによる表面平滑効果も考慮が必要です。



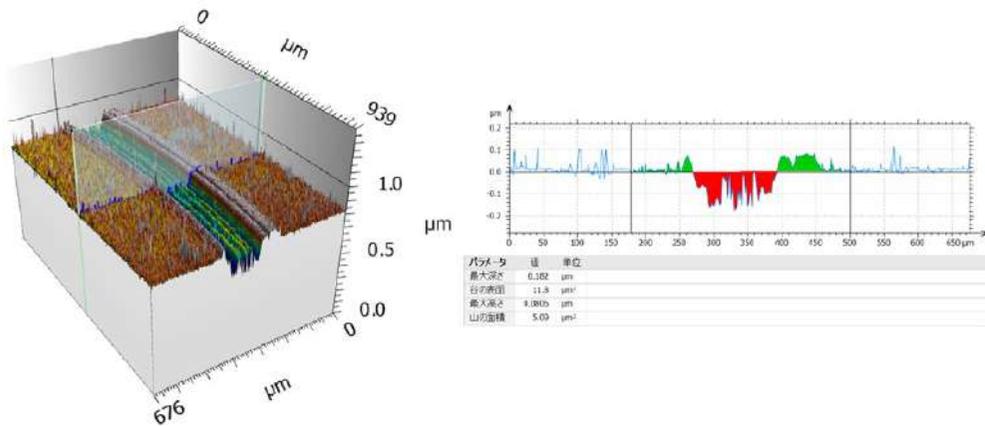
### 各種トライボロジー試験後の摩耗痕観察と摩耗量測定

■ 説明

トライボロジー試験後の摩耗痕の形態を nm レベルの精度で観察および測定できます。さまざまな形状の試料の摩耗量を簡単に計算できるのも特徴です。測定領域より大きな摩耗痕の場合は、連続した画像をスティッチング処理により結合して測定することができます。材質に関する情報は得られませんが、摩耗試験の接触界面や摩耗粉の形態についての詳細な情報が得られます。



クロスシリンダー摩耗試験のピン摩耗量の測定  
(左：摩耗痕の3次元画像, 右：ピン形状除去処理後の摩耗体積測定)

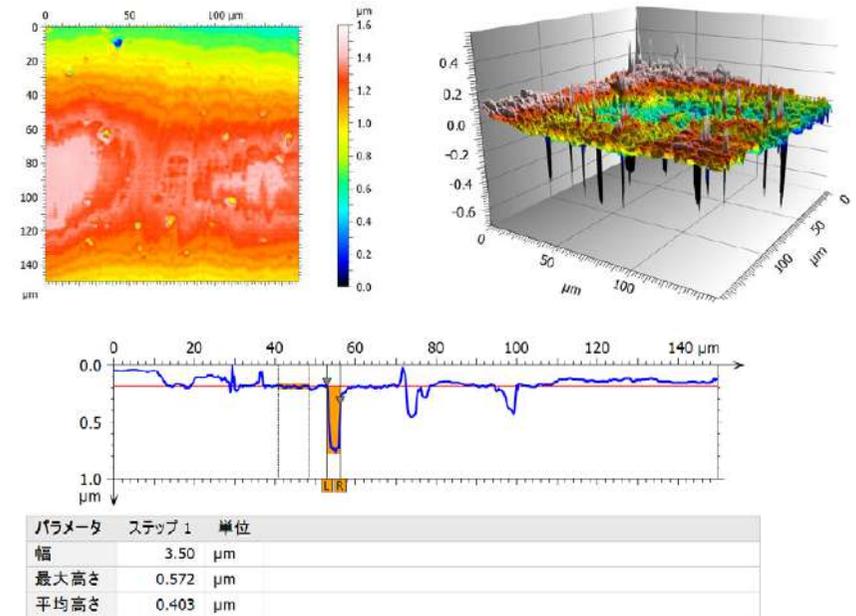


ボールオンディスク試験のディスク試料摩耗量の測定  
(左：摩耗痕の3次元画像, 右：摩耗痕断面積の測定)

### 成膜品の不良解析：欠陥形態の観察と測定

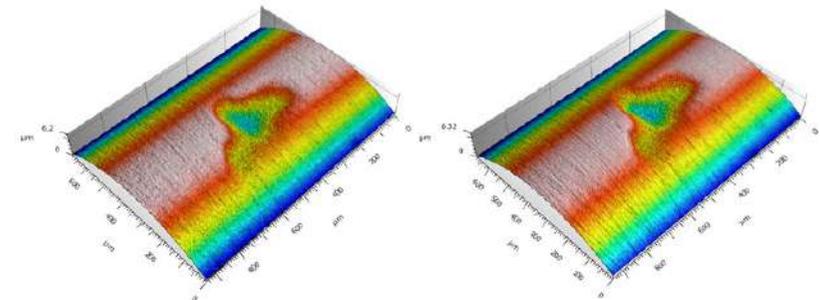
■ ドロップレット除去磨き後のピンホール欠陥の大きさ測定

陰極アーク法 Cr-N コーティング 2.0 μm を成膜後ドロップレットを研磨で除去し WLI にて表面形態の観察およびピンホール欠陥の大きさ測定をおこないました。測定領域内でのピンホール深さはおよそ 0.5 μm でした。



■ 自動欠陥検査機で不良品判定された欠陥の観察

自動欠陥検査機で不良判定された欠陥の形態を観察し欠陥の要因を考察します。被膜を除膜処理した後、再度欠陥を観察することにより要因解析が容易になります。



DLC 被膜欠陥の3次元画像  
(左：除膜処理前, 右：除膜処理後)

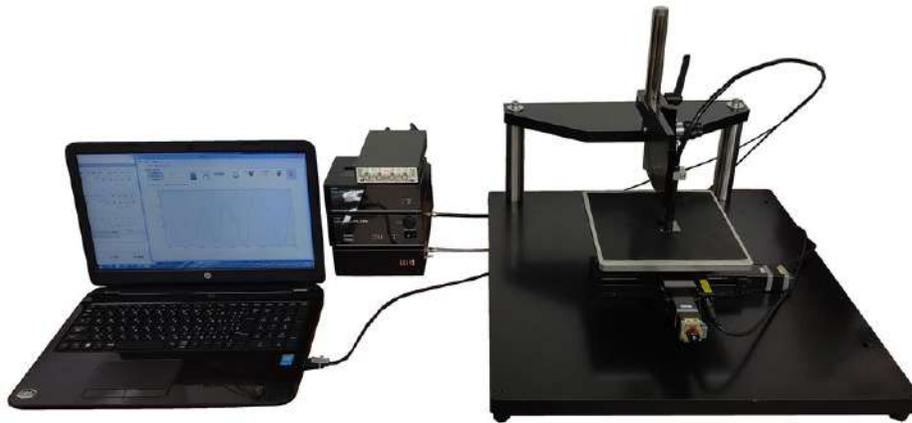
分光干渉式 DLC 膜厚計

開発：オプトエレクトロニクスラボラトリ (OEL)  
(大阪大学レーザー科学研究所発ベンチャー)

■ 測定原理  
試料表面に近赤外光を照射し、DLC 表面で反射する光と DLC/ 下地層界面で反射する光の干渉光を分光計で分光し波長スペクトルを求めます。別途屈折率計で測定した屈折率を入力しスペクトルをフィッティング解析し膜厚を求めます。膜厚が厚いほど山谷の数が多いスペクトルが得られます。

■ 特徴  
☆ 非破壊・非接触なので実体製品の測定が可能です。  
☆ DLC の付きまわり性や膜厚分布が短時間で測定可能です。  
☆ 自動 XY ステージでのインデックス測定が可能です。  
☆ 穴の内面の測定も可能です。(穴径Φ12 mm 以上)

■ 仕様  
適用膜厚範囲 0.5 ~ 20 μm  
測定精度 ±5%  
分光波長範囲 900 ~ 1700 nm



分光干渉式 DLC 膜厚計システム外観



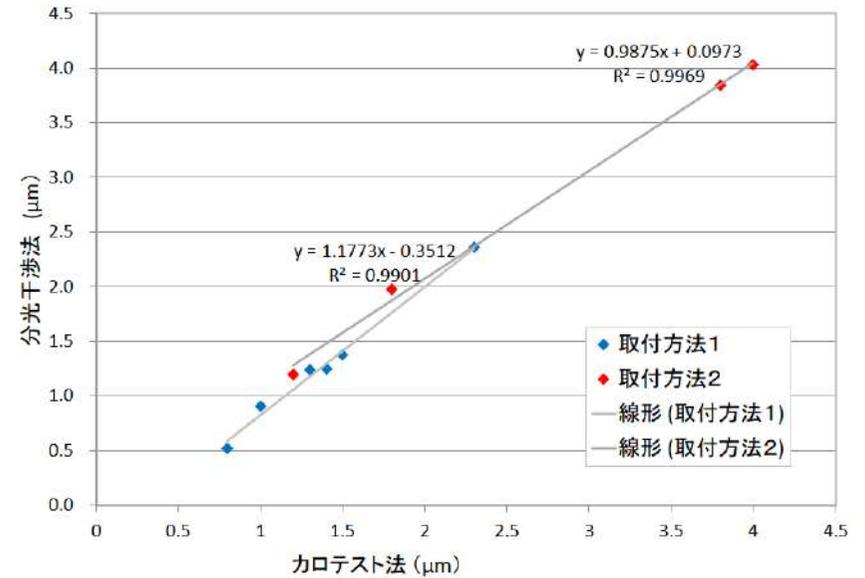
屈折率測定器



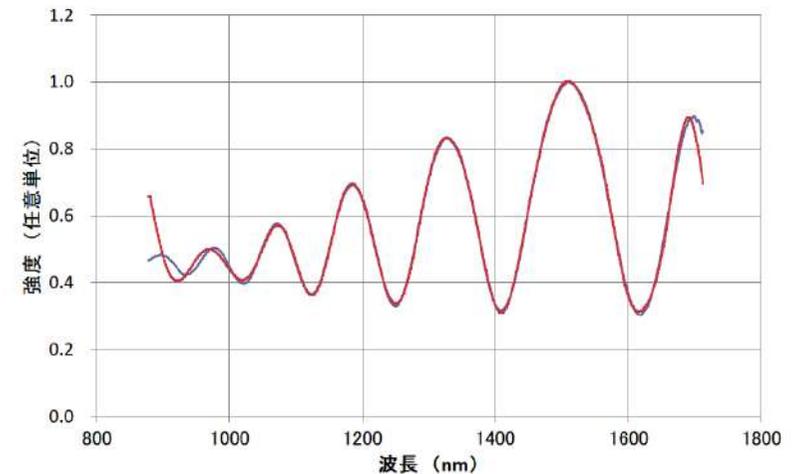
膜厚測定ヘッド

分光干渉式 DLC 膜厚計の測定例：a-C:H 被膜—カロテスト法との比較—

■ 実験内容  
ブロック試験片の回転治具への取付方法を変えて同一バッチにて処理した下地層を有する DLC (a-C:H) 被膜の測定データです。取付方法 1 では試験片が治具に埋め込まれているのに対して、取付方法 2 では試料は成膜空間に飛び出しているため成膜速度が速くなっています。



分光干渉法—カロテスト法 膜厚相関図

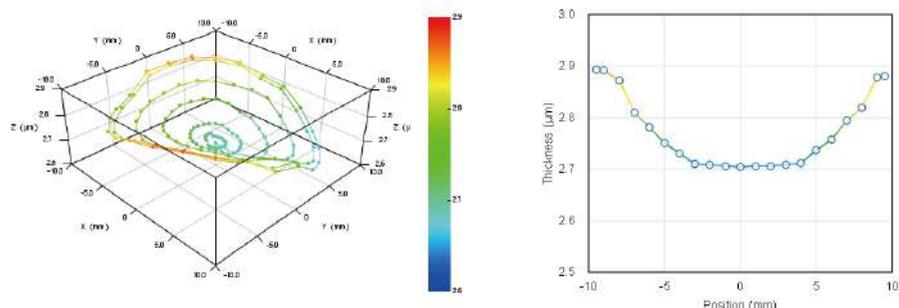


a-C:H 膜厚 2.5 μm の分光干渉スペクトル (黒：測定値, 赤：解析値)

分光干渉式 DLC 膜厚計の測定例：a-C:H 被膜－膜厚分布の測定－

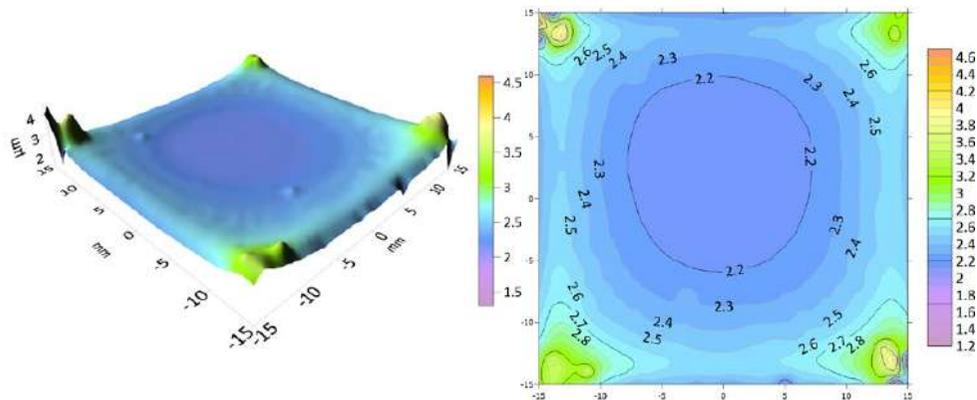
■ 実験内容 Φ20mm 厚さ 6mm の丸形試験片と、30mm 角厚さ 1mm の角形試験片の面内膜厚分布を XY ステージにてインデックス測定し膜厚分布を解析しました。

Φ20mm 厚さ 6mm の丸形試験片の面内膜厚分布



中心部近傍から端部にかけて膜厚が大きくなる傾向が確認されます。プラズマ CVD プロセスによるエッジ効果（放電の集中）、成膜時のセッティングによって生じている膜厚の差異であるものと思われます。

30mm 角厚さ 1mm の角形試験片への DLC コーティングの面内膜厚分布



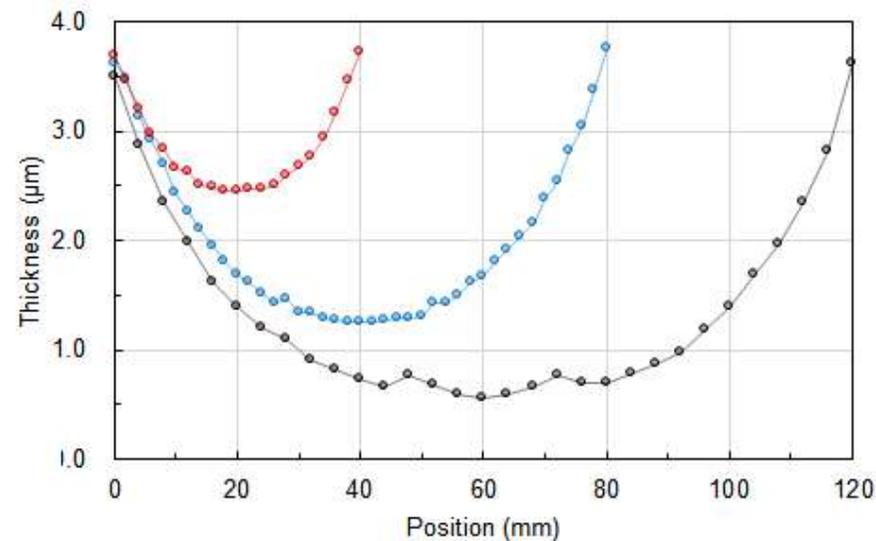
プラズマを利用した成膜プロセスでは製品に電圧を印加するため、コーナー部の電流密度が高くなり膜厚が厚くなります。これを避けるためには製品の保持治具を工夫して電界を調整する必要があります。上記は治具を使用しない場合でコーナーの膜厚増加が顕著です。XY 自動ステージを用いて 1mm 間隔で取得した膜厚データの分布測定例です。

分光干渉式 DLC 膜厚計の測定例：a-C:H 被膜－パイプ内面膜厚の測定－

■ 実験内容 内径Φ40.3mm（肉厚 4mm）長さ 40/80/120mm の 3 種類のステンレスパイプの両開口から DLC（a-C:H）被膜を成膜し、内径の軸方向の膜厚分布を測定しました。測定ピッチは長さ 40/80mm が 2mm、長さ 120mm が 4mm です。



サンプル長軸方向への DLC 被膜つきまわり性の差異が顕著に確認されます。開口径に対して穴長さが 1 倍のものにおいては約 40% の、3 倍のものにおいては約 85% の中心部での膜厚減少がそれぞれ確認されます。形状もののコーティング膜厚評価の蓄積によって、より高精度な成膜技術を、複雑な形状を有する製品へフィードバックするため、日々技術力の向上を行っています。



長さの異なるパイプ内面の軸方向膜厚分布

表面清浄度／仕事関数 測定器 コロナサーフ<sup>®</sup> CORONASURF

■ 歴史 1990年代にフランス HEF で開発された原型をライセンスにもとづき国産化しました。ケルビンプローブによる精密な仕事関数(表面電位)測定とコロナサーフによる電荷付与を組み合わせたユニークな測定器です。仕事関数測定による表面の電子構造の測定と、表面汚染／酸化層による帯電特性の測定を組み合わせ、表面の汚染や酸化等を評価します。表面処理前の表面清浄度の評価、プラズマ処理の効果確認、離型被膜の評価などに利用されています。

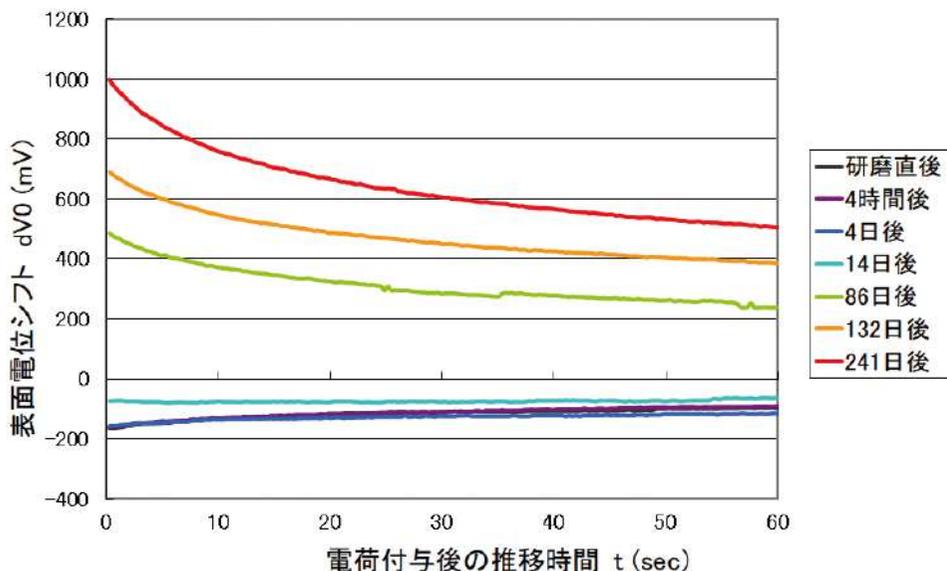
主な応用分野

- ☆ 金型の樹脂・ゴム汚れの評価
- ☆ 金めっき表面の清浄度管理
- ☆ 表面改質層の表面電気特性の評価
- ☆ Crめっきの不動態被膜評価
- ☆ 洗浄プロセスの評価
- ☆ 各種材料の帯電特性の評価



表面清浄度測定器コロナサーフ外観

■ 測定データ例 下図はりん脱酸銅を #800 研磨紙で研磨した直後の測定から 241 日間放置による表面電位シフト  $dV_0$  の変化を示します。表面電子シフト  $dV_0$  はコロナ放電電荷付与による表面電位のシフトを示します。自然酸化層の成長に伴う  $dV_0$  値の負側から正側への推移が観察されます。

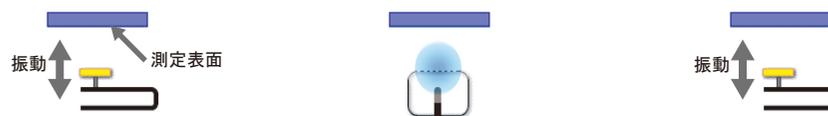


表面清浄度／仕事関数 測定器 コロナサーフ<sup>®</sup> CORONASURF

■ 測定手順

測定手順

- 初期表面電位  $V_i$  測定
- コロナ放電による電荷付与
- 表面電位推移測定

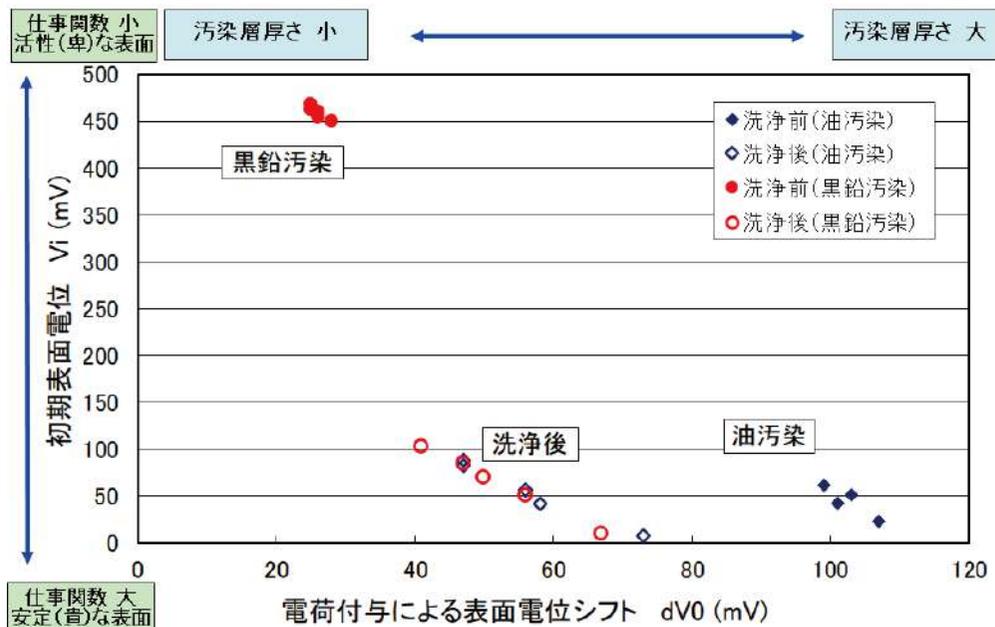


測定表面から数 mm の距離で金めっき電極(直径約 6mm)を振動させ振動容量法で表面電位を測定します。振動する電極はケルビンプローブと呼ばれます。まず測定表面の初期電位  $V_i$  を測定します。初期電位は基本的には測定面の金属の元素(標準酸化還元電位)に依存しますが、それに加えて表面の汚れや改質層(酸化、吸着、機械加工・洗浄等の前工程による化学反応層など)により変化します。

初期電位  $V_i$  の測定が終わるとコロナ放電(直径約 6mm)を振動させ振動容量法で表面電位を測定します。振動する電極はケルビンプローブと呼ばれます。まず測定表面の初期電位  $V_i$  を測定します。初期電位は基本的には測定面の金属の元素(標準酸化還元電位)に依存しますが、それに加えて表面の汚れや改質層(酸化、吸着、機械加工・洗浄等の前工程による化学反応層など)により変化します。

コロナ放電による電荷の付与が終わると再びケルビンプローブが測定表面の前に移動し、所定の推移時間の表面電位  $V(t)$  を測定します。正電荷付与による電位シフト  $dV_0 = V(t) - V_i$  は、清浄な金属表面の場合は負になります。データ解析には、通常  $dV_0$  を X 軸、 $V_i$  を Y 軸にした表面電位マップを行います。

■ 試験機仕様 下図は SUS 基板上の異なる汚染物質のコロナサーフによる  $V_i$ - $dV_0$  マップです。洗浄後の清浄表面では同じ領域ですが、汚染種類により異なる場所特性を示します。汚染材質により  $dV_0$  の解釈は異なります。



PA66 (ナイロン 66) 樹脂の離面力測定試験

■ 実験方法

AP TRIBOMETER の加熱ステージと荷重負荷機構を使って、評価試験片表面で PA66 (ナイロン 66) 樹脂を熔融附着させます。冷却後、引張試験機を用いて樹脂と試験片表面の離面力を測定します。



試験に使用した試験機器



加熱ステージ上の樹脂ボールホルダー



引張試験機にボールホルダー / 試料をセット



60°C/min で 240°Cまで加熱



25°Cまで冷却



引張試験



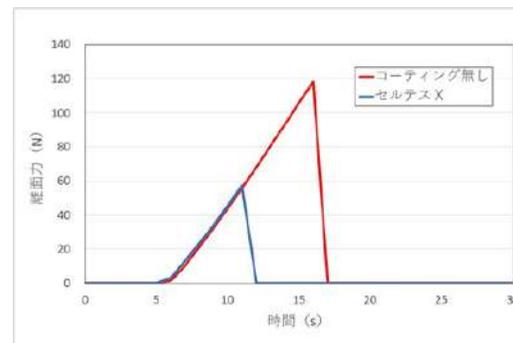
離面完了

PA66 (ナイロン 66) 樹脂の離面力測定試験

■ 試験結果

無処理高速度工具鋼とセルテス X (Cr-N) コーティング品の比較では、無処理と比べセルテス X で 52%の離面応力低減が得られた。

試験片	接触面積	離面力	離面応力
無処理高速度工具鋼	11.9 mm <sup>2</sup>	118.2 N	9.93 N/mm <sup>2</sup>
セルテス X コート	11.2 mm <sup>2</sup>	57.5 N	5.16 N/mm <sup>2</sup>



離面力測定グラフ

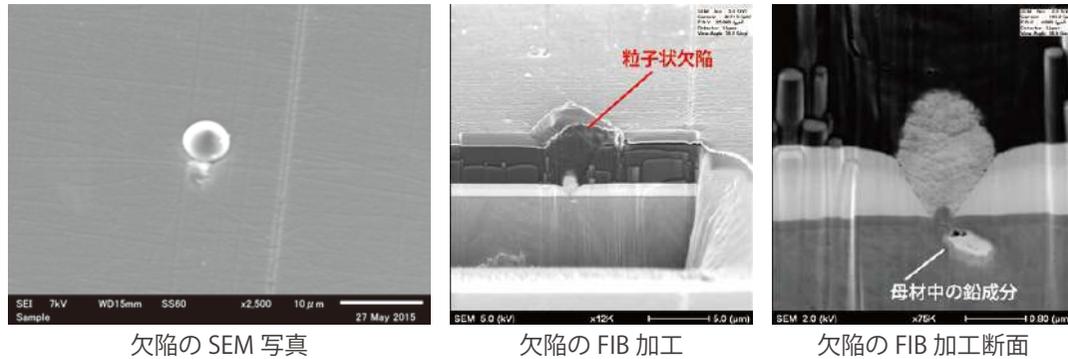
プラスチック成形では硬質フィラーによるアブレイブ摩耗だけでなくガスによる腐食など種々の課題があります。課題に応じて最適の表面改質をご提案します。



近年の高機能樹脂材料では、型汚れや離型性の向上が大きな課題となっています。

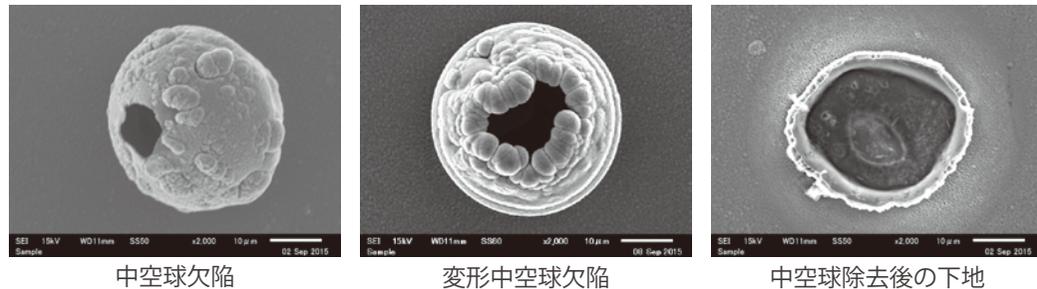
母材に含まれる鉛成分による不良

- 不良現象: DLC コーティング後に表面にクモリ状に見える微細な粒子が多数観察される。
- 分析方法: 金属顕微鏡・SEM 観察ではわからなかった不良原因が欠陥部の FIB 加工後の SEM 観察・EDS 成分分析で明らかになった。
- 不良原因: 母材に含有される鉛成分が表面に露出していると、成膜プロセス中に真空中で加熱された際に蒸発し、その上に異常な被膜が成長し粒子状に盛り上がっていることがわかった。



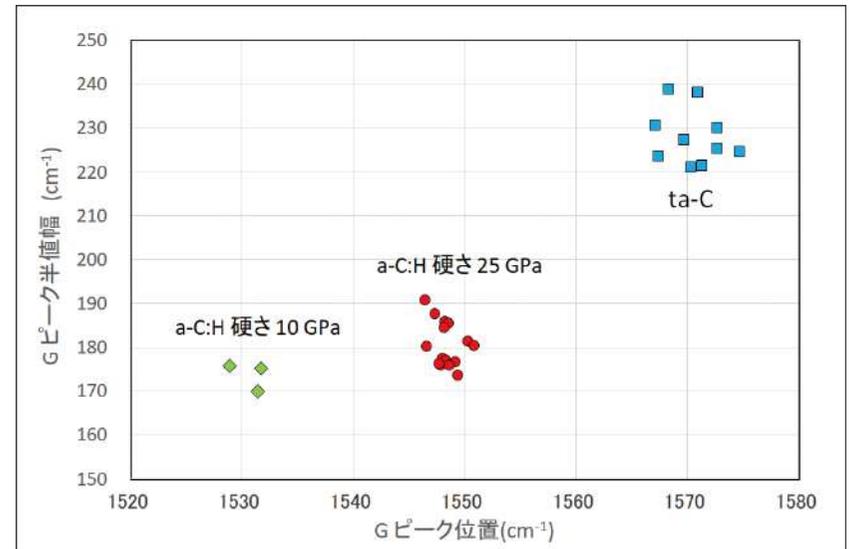
ゴム手袋汚染による成膜異常欠陥

- 不良現象: 樹脂成形金型への Cr-N 成膜品にポツ欠陥が発生する。SEM 観察 /EDS 分析によると欠陥は 20 ~ 30 $\mu$ m 大の中空球で除去後に下地表面には Ca,Na,K 等の汚染が見られた。
- 分析方法: 金属顕微鏡・SEM 観察・EDS 成分分析
- 不良原因: 詳細メカニズムは不明だが特定のゴム手袋でのみ発生することから、手袋に使用されている添加成分の金型表面への付着によるものと考えられる。

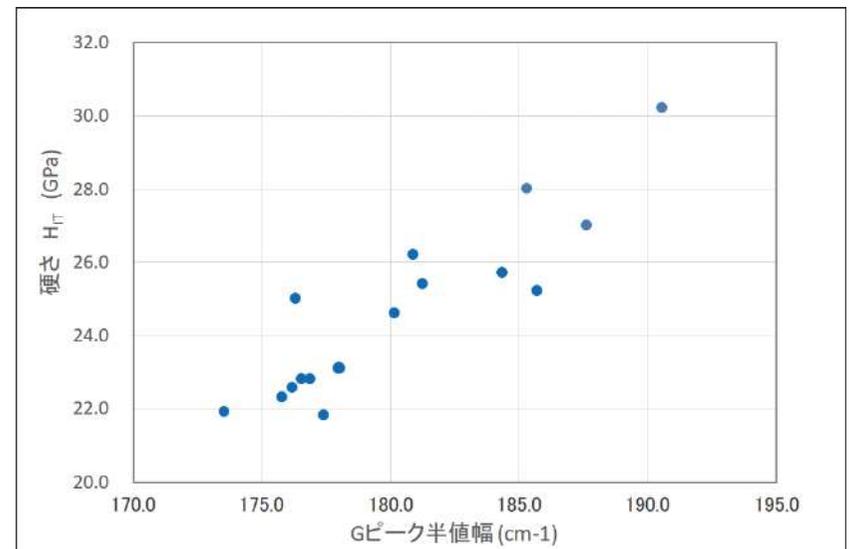


各種 DLC 被膜のラマン分光 G ピーク特性マップ

- 測定原理: 物質にレーザー光を照射すると物質の分子構造によって決まる分子の振動エネルギー分だけシフトしたラマン散乱光が観測されます。DLC のラマンスペクトルを G ピーク（グラファイト結合に由来）と D ピーク（微細化したグラファイト結合）に波形分離し、G ピークのピーク位置と半値幅から DLC の構造を特定します。下図に示すように水素含有 DLC (a-C:H) や水素フリー DLC (ta-C) の DLC 構造を明確に分離し、硬さも推測することができます。



各種 DLC のラマン分光 G ピーク特性マップ



DLC (a-C:H) 硬さのラマン分光 G ピーク半値幅依存性

## 組織

- ◆ 官民パートナーシップ：HEFグループ・オーベルニュ-ローヌ-アルプ地域圏サンテチエンヌ市・フランス国立中央理工科学学校リヨン校・国立応用科学院リヨン校（INSA）・サンテチエンヌ ジャン-モネ大学



- ◆ 世界中の高名なトライボロジストが参画  
（科学解析およびトライボメータ設計）

- ◆ 学問領域を超えて結成された熟練技術者のチーム  
（トライボロジー・材料科学・機械工学・自動車エンジン・音響振動）

CONFIDENTIAL

All the information in this document are exclusive property of IREIS and cannot be reproduced without the written consent of IREIS.

## テストベンチのラインアップ



CONFIDENTIAL

All the information in this document are exclusive property of IREIS and cannot be reproduced without the written consent of IREIS.